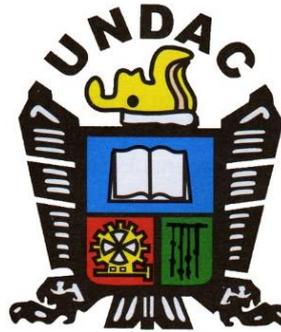


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA**

**METALURGICA**



**TESIS**

**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**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Metalurgista**

**Autor: Bach. Juan Carlos BLAS BAZAN**

**Asesor: Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO**

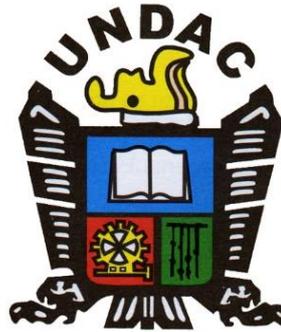
**Cerro de Pasco – Perú - 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA**

**METALURGICA**



**TESIS**

**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**

**Sustentado y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA**

**PRESIDENTE**

---

**Mg. Luis Villar. REQUIS CARBAJAL**

**MIEMBRO**

---

**Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ**

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis principalmente a Dios quien guía mi camino, dándome fuerzas y enseñándome enfrentarme a las diversas adversidades de la vida.

A mis queridos padres por sus apoyos incondicionales en los momentos difíciles, y por la ayuda necesaria para mis estudios.

## **RECONOCIMIENTO**

- ✓ A la UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, por brindarme la gran oportunidad de desarrollar capacidades, habilidades blandas y duras; y por optar el grado académico de Ingeniero Metalurgista.
- ✓ Al Decano de la facultad de Ingeniería y a mis Docentes en general.
- ✓ A mis queridos padres por el gran apoyo incondicional que me brindaron; ya que sin ellos no hubiese logrado este grado académico.
- ✓ A la empresa BROCAL S.A.A. por darme la facilidad de los datos prácticos para realizar esta investigación.

## RESUMEN

Sociedad Minera el Brocal S.A.A. se encuentra actualmente en la mejora continua de las operaciones dentro de la Planta de Procesamiento de Minerales, por tal motivo se trata de encontrar los valores promedio de la velocidad crítica de rotación de los molinos.

Los molinos utilizados para el presente estudio tienen dimensiones de 8x10, los cuales son en número de 2 molinos que se encuentran en paralelo.

La velocidad crítica de rotación de los molinos se encuentran entre valores de 65% y 85% de la velocidad de rotación. Variando el análisis granulométrico de acuerdo a la velocidad de rotación del molino, teniendo como parámetro principal el porcentaje pasante de malla -200, teniendo los valores de porcentaje pasante malla -200 de 59.67% y 65.17%.

El mejor valor del porcentaje de velocidad crítica de rotación del molino es de 75% con un porcentaje pasante de malla -200 es de 67.43%.

El radio de reducción obtenido pasa de valores de 1.78 a 2.17 incrementándose ligeramente el tonelaje de mineral tratado, para el cual se compara la relación entre el F80 del alimento y el P80 del producto.

**Palabra clave:** granulometría, velocidad crítica, molienda, P80, F80.

## ABSTRACT

Sociedad Minera el Brocal S.A.A. It is currently in the continuous improvement of operations within the Mineral Processing Plant, for this reason it is about finding the average values of the critical speed of mill rotation.

The mills used for the present study have dimensions of 8x10, which are in number of 2 mills that are in parallel.

The critical speed of rotation of the mills are between values of 65% and 85% of the speed of rotation. The granulometric analysis varies according to the speed of rotation of the mill, having as a main parameter the passing percentage of mesh -200, having the values of passing percentage mesh -200 of 59.67% and 65.17%.

The best value of the critical speed of rotation of the mill is 75% with a passing percentage of -200 mesh is 67.43%.

The reduction radius obtained goes from values from 1.78 to 2.17, slightly increasing the tonnage of treated ore, for which the ratio between the F80 of the food and the P80 of the product is compared.

**Keyword:** granulometry, critical speed, grinding, P80, F80.

## INTRODUCCIÓN

El propósito de la presente investigación es mejorar el radio de reducción de los molinos 8 x 10 cambiando la velocidad crítica de rotación de los molinos en la Planta Concentradora de la Sociedad Minera el Brocal,

La investigación realizada contiene los análisis granulométricos del producto y alimento del molino, y las modificatorias que se realizaron con la finalidad de optimizar los procesos, así también como objetivo tenemos el de mejorar los tiempos en el mantenimiento de los equipos.

**En el capítulo 1.** En esta parte presentamos la descripción del problema, también nos formulamos los problemas y los objetivos que esperamos alcanzar, para el cual nos trazamos objetivos realizables de acuerdo a nuestra realidad.

**En el capítulo 2.-** Aquí se presenta los antecedentes y el fundamento teórico de la molienda del mineral que se involucran en la presente investigación, así como la terminología técnica se explica cada uno de ellos respecto a la granulometría y molienda de minerales, así también se plantean las hipótesis que nos facilitaran el camino de la búsqueda de resultados de hallar valores de porcentaje de velocidad crítica de rotación del molino.

**En el capítulo 3.-** en esta parte se explica cuál es el método y tipo de investigación, así como damos a conocer cuál es el diseño del experimento que vamos realizar en los dos molinos que se encuentran trabajando en paralelo.

**Finalmente, en el capítulo 4.-** mostramos los resultados de los diferentes variaciones del porcentaje de la velocidad crítica de rotación y cual es el efecto del análisis granulométrico de producto, teniendo como indicador principal porcentaje pasante de malla -200. Luego realizamos la discusión de resultados .

Luego incluimos las conclusiones, las recomendaciones y la bibliografía

## INDICE

DEDICATORIA	
RECONOCIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1    Identificación y determinación del problema .....	1
1.2    Delimitación de la investigación .....	2
1.3    Formulación del problema.....	3
1.3.1    Problema general. ....	4
1.3.2    Problemas Específicos.....	4
1.4    Formulación de objetivos .....	4
1.4.1    Objetivo General. ....	4
1.4.2    Objetivos Específicos. ....	4
1.5    Justificación del problema .....	5
1.6    Limitaciones de la investigación .....	5
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO .....	7
2.1    Antecedentes de estudio .....	7
2.2    Bases Teóricas – Científicas.....	11
2.2.1    Sociedad Minera EL BROCAL.....	11
2.2.2    Proceso minero. ....	15
2.2.3    Proceso metalúrgico. ....	16
2.2.4    Flotación de minerales.....	16
2.2.5    Reactivos de flotación. ....	18
2.2.6    Reducción de tamaño. ....	22
2.2.7    Operación con molienda.....	23
2.2.8    Etapas de molienda.....	23
2.2.9    Clasificaciones de molinos. ....	28
2.2.10    Velocidad crítica.....	31
2.2.11    Obtención de la velocidad crítica del molino. ....	32
2.2.12    Circuito de molienda. ....	33
2.2.13    Diagrama de los circuitos, abierto, inverso y cerrado. ....	34
2.3    Definición de Términos Básicos .....	34
2.4    Formulación de Hipótesis.....	37
2.4.1    Hipótesis general. ....	37
2.4.2    Hipótesis Especificas.....	38
2.5    Identificación de las variables .....	38

2.5.1	Variable independiente.....	38
2.5.2	Variable dependiente.....	38
2.5.3	Variabes intervinientes.....	39
2.6	Definición operacional de variables e indicadores.....	39
CAPÍTULO III.....		40
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....		40
3.1	Tipo de Investigación.....	40
3.2	Métodos de Investigación.....	40
3.3	Diseño de la investigación.....	41
3.4	Población y muestra.....	41
3.4.1	Población.....	41
3.4.2	Muestra.....	42
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	42
3.5.1	Velocidad critica del molino 8x10(2) y 8x10(3).....	42
3.6	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	44
3.7	Tratamiento Estadístico.....	44
3.7.1	Evaluación de los molinos 8x10 antes del cambio de Piñon.....	45
3.7.2	Resultados de molino 8x10(3) antes de cambio de piñon.....	46
3.8	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación..	49
3.9	Orientación ética.....	49
CAPÍTULO IV.....		50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		50
4.1	Descripción del trabajo de campo.....	50
4.2	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	51
4.3	Prueba de hipótesis.....	56
4.3.1	Prueba de hipótesis general.....	56
4.3.2	Prueba de hipótesis específico.....	56
4.3	Discusión de resultados.....	57
CONCLUSIONES.....		58
RECOMENDACIONES.....		59
BIBLIOGRAFIA.....		60
FUENTES BIBLIOGRAFICA.....		60
FUENTES ELECTRÓNICAS.....		60
ANEXOS		

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Identificación y determinación del problema

En la planta concentradora Huaraucaca de Sociedad Minera el Brocal S.A.A., se tiene una gran preocupación por incrementar el tonelaje tratado y a la vez mejorar la liberación de los minerales para los siguientes procesos de separación fisicoquímica, para el cual mostramos el análisis químico del mineral de cabeza.

*Tabla 1 Ley de Cabeza calculada en el alimento*

CABEZA CALCULADA				
Ag oz/t	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe
1.42	0.09	1.5	3.21	21.28

Fuente: Laboratorio Químico de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

La gran razón principal de una planta de procesos es cuando se puede tratar la mayor cantidad de mineral de acuerdo a su capacidad, pero a la vez se debe tener una disminución del radio de reducción, así como también se debe tener cuidado

con la producción de excesivas cantidades de finos que incrementaran las propiedades negativas de las arcillas que contiene este mineral, para el cual se debe de tener operaciones de separación de arcillas previo a los procesos de molienda.

La variación del porcentaje de velocidad crítica se necesita de reemplazo de componentes en el sistema de transmisión de movimiento del molino, para tal motivo se debe hacer un periodo de mantenimiento de los equipos y maquinaria de la planta.

## **1.2 Delimitación de la investigación**

Esta investigación es necesaria para que las compañías mineras del Perú y Centro de Investigaciones Universitarias mediante la optimización de reducción de velocidad crítica en los molinos 8 x 10 mejore su radio de reducción. Con el cual se demuestre tener una planta de procesos inmejorables para tratar la mayor cantidad de mineral.

Pretende que los centros de formación profesional y centros de investigaciones en el Perú desarrollen temas de diseños y optimización de las plantas concentradoras para así tener los enfoques necesarios, y mejorar la metalurgia en muchas plantas concentradoras, ya que la mayoría presenta la misma dificultad de bajo grado y baja recuperación lo cual indica la poca preparación y lo poca información respecto a este tema de investigación.

La presente tesis es para poder coadyuvar a los investigadores de la fracturación de partículas minerales cual es la influencia de los parámetros de velocidad de rotación para obtener partículas de determinada granulometría,

además se debe tener en cuenta el tipo de mineral y las maquinarias de reducción de tama;o que se están utilizando, así tenemos las siguientes delimitaciones

**Delimitación Espacial** la presente investigación[on se realizo en la Planta Concentradora Huaraucaca de la Sociedad Minera el Brocal S.A.A.

**Delimitación Temporal:** la Investigación[on se realizo durante:

Fecha Inicio: Agosto del 2019

Fecha de culminación: Octubre del 2019

**Delimitación del Universo:** la población que se esta estudiante son los minerales tratados en la Planta Concentradora Huaraucaca de Sociedad Minera el Brocal S.A.A.

**Delimitación del Contenido:** los conceptos y terminología a utilizar será el de molienda y el principal ´parámetro a utilizar será el de velocidad critica de rotación, así como el radio de reducción, para ello involucraremos conceptos de análisis granulométrico.

### **1.3 Formulación del problema**

La presente investigación surge debido a muchos inconvenientes con respecto a la granulometría del producto de la molienda secundaria para el cual se debe comenzar cual es el problema que se tiene en la Planta Concentradora Huaraucaca de la Sociedad Minera el Brocal S.A.A., para el cual se tiene que formular el problema general y específico según detallamos a continuación:

### **1.3.1 Problema general.**

¿De qué manera influiría la 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?

### **1.3.2 Problemas Específicos.**

- ✓ ¿Cuál es la velocidad crítica para incrementar el tonelaje tratado en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019?
- ✓ ¿Cuál es la velocidad crítica para mejorar el radio de reducción en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019?
- ✓ ¿Cuál es el mejor radio de reducción en molinos 8x10 en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019?

## **1.4 Formulación de objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General.**

Determinar la influencia de la reducción de la velocidad crítica para mejorar el radio de reducción en molinos 8 x 10 en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019.

### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- ✓ Identificar la velocidad crítica para incrementar el tonelaje tratado en la Planta Concentradora de Sociedad Minera EL Brocal S.A.A., Pasco-2019.
- ✓ Identificar la velocidad crítica para mejorar el radio de reducción en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019

- ✓ Medir el mejor radio de reducción en molinos 8x10 en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019

### **1.5 Justificación del problema**

La optimización del proceso de la planta concentradora de Sociedad Minera el Brocal S.A.A. se basa primordialmente en tratar la mayor cantidad de mineral de acuerdo a su capacidad; y a la vez el mejoramiento del radio de reducción en molinos de 8 x 10 reduciendo la velocidad crítica y tener la oportunidad eliminar excesivas cantidades de finos que incrementen propiedades negativas de las arcillas en el mineral. A su vez el mantenimiento de los equipos y maquinaria de la planta.

### **1.6 Limitaciones de la investigación**

Las limitaciones de la investigación de la presente investigación es respecto a los siguientes:

#### **1.6.1 Limitación Espacial**

La investigación se realizará en las instalaciones de la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., específicamente en la sección de molienda.

#### **1.6.2 Limitación temporal**

Las pruebas se realizaron en la planta concentradora durante los meses de mayo a octubre del presente año.

#### **1.6.3 Limitación conceptual**

Los conocimientos teóricos están enmarcados dentro de los siguientes conceptos:

- Granulometría
- Molienda
- Radio de reducción
- Velocidad crítica de rotación

#### 1.6.4 Limitaciones Economicas

La toma de datos se ha realizado en la Planta concentradora de Sociedad Minera el Brocal con el mineral tratado producto de la explotación minera.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de estudio**

Para realizar el presente trabajo de investigación, se ha requerido una revisión de informes y experiencias realizadas sobre el tema, con la finalidad de obtener información histórica y reciente, que permita tener un replanteo de trabajo, sobre los diferentes aspectos relacionados al método de flotación usado para el tratamiento de los minerales en forma compleja; con el uso de reactivos químicos y con la respectiva maquinaria en la Planta Concentradora de Sociedad Minera EL BROCAL S.A.A. Por lo que no hay antecedentes relacionados sobre este trabajo de investigación.

La presente investigación tiene como marco de referencia, la bibliografía Fundamentos de la teoría y la práctica de empleo de reactivos químicos de flotación; a su vez la experiencia de los ingenieros a cargo de la Planta Concentradora de Sociedad Minera EL BROCAL S.A.A.

Se señalan las siguientes investigaciones relacionadas con el tema:

1. Tesis de grado para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, titulado: "**OPTIMIZACIÓN EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S. A. A. DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN ANIMÓN, MEDIANTE EL USO DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN FLASH**".

*Autor:* Bachiller Pedro A. Castellares Torres

*Año:* 2009

*Universidad:* Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica.

En conclusión, a este estudio de investigación, se cita:

a) Las Pruebas experimentales realizadas en la Unidad de Producción Animón, para el uso de una Celda de Flotación Flash, en el proceso metalúrgico ha determinado que la elección sería por UNA CELDA FLASH SK – 240, por que ha demostrado:

✓ Minimizar la sobre molienda de los minerales valiosos debido, a que esta Celda trabaja con una granulometría gruesa.

✓ La obtención de Concentrados de Alta Ley, que son recuperados en una sola etapa.

✓ La Recuperación de una cantidad considerable de minerales valiosos, ocasionando una capacidad extra en el circuito de Flotación y aumentando el tiempo de Residencia del mineral. Y,

✓ Permitir que los Concentrados de gruesa granulometría, obtenidos por esta Celda sean fáciles de filtrar.

b) Los resultados de las Pruebas experimentales, han establecido Ventajas y Beneficios para la Instalación de una Celda de Flotación Flash (CELDA FLASH SK – 240), en la Unidad de Producción de la Compañía Minera Volcán, el mismo que lograría Optimizar la Metalurgia del Plomo, para:

✓ Captar o separar el Plomo tan pronto el Proceso lo permita, y esto será posible a que la Celda Flash tenga que recuperar el 50 % a 60 % de Plomo antes de sufrir una sobre molienda;

✓ Disminuir los desplazamientos de Plomo hacia el Concentrado de Cobre, de 13.0 % a 8.0 % de Plomo.

✓ Disminuir la Humedad del Concentrado de Plomo, que originaba altas pérdidas por Mermas de 11 % a 8 % de Humedad.

✓ Disminuir el consumo de Bicromato de Sodio, por la generación de mayores áreas superficiales, y ser éste un Contaminante que afecta y daña el Medio Ambiente de 8 gr/TMS a 6 gr/TMS. (Ecología).

c) El Lugar de Instalación más favorable de una Celda de Flotación Flash (CELDA FLASH SK – 240), en la Unidad de Producción Animón de la Compañía Minera Volcán, sería en el “AREA DE MOLIENDA – CLASIFICACION DE LA PLANTA CONCENTRADORA” por qué le permitiría Captar la descarga de los Molinos de Bolas 7’ x 8’ y 8’ x 10’, con una Bomba HM – 150 y alimentar a la Celda SK – 240, ya que las espumas de ésta celda irán por gravedad directamente al Concentrado Final y el Relave 106 también por gravedad se juntara con la descarga del Molino de Barras 9’ x 12’; ésta Pulpa será Bombeada a los

Hidrociclones; Los Finos del OF serán alimento del Circuito de Flotación Bulk y los Gruesos del UF serán la carga de los molinos de bolas de 7' x 8' y 8' x 10'.

2. Tesis de grado para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalurgista, titulado: **"ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE PLOMO A CONCENTRADOS DE COBRE, ZINC Y AL RELAVE FINAL MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS UNITARIAS SKIM-AIR (SK-240 Y SK-80) EN LA DESCARGA DE LOS MOLINOS EN C.I.A. MINERA RAURA"**.

**Autores:** Marco Antonio CORTEZ ROSARIO y Deysi Yeraldine NINANYA ORTIZ

**Año:** 2009

**Universidad:** Universidad Nacional del Centro del Perú - Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales

En conclusión, a este estudio de investigación, se cita:

- a) Compañía minera Raura ha Optimizado la aplicación de las celdas unitarias para la flotación de Pb en la descarga de los molinos, los cuales se están difundiendo en otras empresas.
- b) Es posible extraer hasta un 80% del Pb total solo con las celdas Sk-80 y SK-240 debido al incremento del tiempo de flotación al operarse con densidades mayores a 1,700 gr/lit. repercutiendo en la disminución del volumen del circuito convencional que permite operar selectivamente, con lo cual se minimizan los contaminantes originados por arrastres mecánicos.

- c) Producir concentrado de Cu de 30% hasta con leyes de cabeza de 0.20% de Cu y leyes de cabeza de Pb mayores a 3%. Eliminando los sustentos antiguos de que con esta relación no es posible obtener concentrados de Cu.
- d) Reducir el consumo de depresores del Pb, tal como muestra el gráfico de consumo de bicromato de sodio y otros de mayor relevancia en cuanto a costos.
- e) . Incrementar los ingresos de la Empresa por la mejora de la calidad de los concentrados, subiendo el grado de Pb de 58.5% a 68%.
- f) Compartir nuestros logros con mineras polimetálicas similares a la nuestra como Atacocha a la cual hemos transmitido todas las bondades sin ningún tipo de mezquindades en una visita que nos hicieron a nuestras instalaciones el año 2003. lo cual les ha permitido alcanzar muy buenos resultado.

## **2.2 Bases Teóricas – Científicas**

### **2.2.1 Sociedad Minera EL BROCAL.**

La Sociedad Minera EL BROCAL se encuentra ubicado en el Distrito ce Tinyahuarco, Provincia Pasco y Región Pasco, a una altitud de 4250 m.s.n.m. a una distancia de 289 km de Lima.

Figura 1:UBICACIÓN DEL DISTRITO



*Fuente:* página web de EL BROCAL

La Sociedad Minera EL BROCAL realiza operaciones en las Unidades Mineras de Colquijirca y la Planta Concentradora de Huaraucaca, EL BROCAL explota minerales de plata, plomo y zinc en su mina tajo abierto denominado TAJO NORTE y minerales de cobre en su mina subterránea denominada MARCAPUNTA NORTE.

El mineral extraído por esta empresa se procesa por una planta de concentración de minerales, con una gran capacidad de tratamiento de 18,000 toneladas métricas por día y cuenta con una gran infraestructura que posee centrales hidroeléctricas, sub estaciones, talleres, almacenes canchas de relaves, planta de tratamiento de aguas ácidas, viviendas y oficinas administrativas y a la vez cuentan con maquinarias eficientes para dicha capacidad de tratamiento.

### ***Operaciones.***

Sociedad Minera El Brocal S.A.A. en su unidad minera Colquijirca, Tinyahuarco – Cerro de Pasco, realiza sus operaciones de explotación bajo el

método de tajo abierto en la mina denominada Tajo Norte y subterránea en la mina Marcapunta Norte.

Asimismo, las minas Marcapunta Oeste y San Gregorio constituyen los proyectos de exploración más importantes.

Figura 2: DISTRITO MINERO DE COLQUIJIRCA



*Fuente:* página web de EL BROCAL

### ***Mina.***

#### ***Tajo norte.***

La mina Tajo Norte, es una operación a tajo abierto que explota minerales de contenido polimetálico, conformado principalmente por sulfuros de plata, plomo, zinc y cobre; constituido principalmente por galena, esfalerita y en menor proporción por galena argentífera, y enargita; y la ganga está constituida por pirita, baritina, hematina y siderita. La mineralización se presenta en capas paralelas a la estratificación, alternando con horizontes de calizas, margas y tufos que forman un sinclinal (Flanco Principal) y un anticlinal (Flanco Mercedes Chocayoc).

Figura 3: TAJO NORTE



*Fuente:* página web de EL BROCAL

*Marcapunta norte.*

La mina Marcapunta Norte, es una operación subterránea que explota minerales de cobre consistente principalmente de enargita y en cantidades menores de calcocita, calcopirita, tennantita, luzonita, colusita y bismutinita; y la ganga incluye principalmente pirita, cuarzo, alunita, caolinita y arcillas. La mineralización está alojada en rocas carbonatadas alternando con horizontes arcillosos y la geometría del yacimiento se presenta paralela a la estratificación.

Figura 4: MARCAPUNTA NORTE



*Fuente:* página web de EL BROCAL

### ***Competitividad.***

La competitividad en la industria minera se caracteriza por la habilidad de los operadores de producir concentrados o metal a bajo costo, debido a que las empresas no tienen capacidad de influir en los precios de venta. En ese sentido, El Brocal cuenta con ventajas competitivas significativas, como son: ser titular de importantes yacimientos mineros, tener acceso a infraestructura (energía, transporte, etc.) y contar con mano de obra calificada, entre otros.

### **2.2.2 Proceso minero.**

En el esquema general del proceso, tanto el mineral derivado de la explotación a cielo abierto o subterránea, como el de viejos vertederos integrados en programas de aprovechamiento, deben ser ligeramente preparados en una planta de trituración o chancado y luego, si es necesario, de aglomeración para conseguir una granulometría controlada que permita asegurar un buen coeficiente de permeabilidad de la solución.

### **2.2.3 Proceso metalúrgico.**

La metalurgia es la técnica de la obtención y tratamiento de los metales desde minerales metálicos hasta los no metálicos. También estudia la producción de aleaciones, el control de calidad de los procesos.

La metalúrgica es la rama que aprovecha esencialmente la ciencia, la tecnología y el arte de obtener metales y minerales industriales, partiendo de sus minas, de una manera eficiente, económica y con resguardo del ambiente, a fin de adaptar dichos recursos en beneficio del desarrollo y bienestar de la humanidad.

### **2.2.4 Flotación de minerales.**

Desde el punto de vista del beneficio de minerales se ha indicado que sin el desarrollo de la flotación no hubiera sido posible el desarrollo de la industria minera. Regularmente toda la producción de cobre, plomo, zinc y plata, para mencionar solo algunos, es obtenida primeramente por medio de flotación para concentrarlos a partir de sus menas. Entre los grandes descubrimientos científicos podemos mencionar en lo referente a la industria minera la fundición de metales, hace más de 5,000 años, y últimamente (1905) la flotación de minerales. Antes sólo se fundían los metales nativos (oro y cobre) pero ahora el desarrollo de la flotación ha permitido la explotación de yacimientos de baja ley y de minerales complejos; igualmente ha convertido las antiguas canchas de relave en minas de hoy en día.

Los productos metálicos que son recuperados a partir de sus minerales por flotación son él: Cu, Pb, Zn, Fe, Mo, Ag, Au, Mn, Cr, Ni, Co, Bi, etc. además dentro de los no metálicos se tiene los fosfatos, micas, fluorita, feldespatos,

carbonatos, berilo, baritina, talco, carbón, silicatos, etc. y aún las sales solubles como el cloruro de potasio son recuperados por flotación. Se flotan también productos alimenticios, desperdicios, impurezas de las aguas servidas, plata de las películas fotografías, metales de las escorias, etc.

La explotación minera ha ido cambiando bastante en los últimos años debido entre otras cosas a la eficacia de este proceso, así por ejemplo en 1935 la ley promedio de los minerales de cobre tratados fue de 1.57%, en 1960 era ya de 0.72%, y aun así el precio del cobre ha decrecido, se estima que anualmente se trata mediante flotación una cantidad de minerales por un valor de más de 1.5 billones de dólares (1960), tomando como base un precio de 0.60 dólares la libra de cobre esto representará 950,000 millones de toneladas de minerales de cobre con 0.8% de ley tratadas al año.

El proceso de flotación fue presentado la patente en 1906 por E. Sulman, H. Pickard y J. Ballot para el cual el ácido oleico fue el primer colector usado y que a también sirvió de espumante, luego siguieron el descubrimiento de los xantatos de la esfalerita con sulfato de cobre; la patente de los xantatos expiró en 1942. Hasta antes del descubrimiento de la flotación, la concentración gravimétrica primero y luego la cianuración fueron los procesos más usados para concentrar y recuperar los valores metálicos. La concentración gravimétrica, sin embargo, estaba limitada a tamaños mayores que la malla 100 (149 micrones), considerándose el tamaño menor como lamas no recuperables.

Los principios de flotación son una combinación compleja de las leyes de química de superficie, química de coloides, cristalografía y física que aún 103 años después de inventada no son claramente comprendidos.

Es bastante interesante reseñar la historia del proceso de flotación, del avance progresivo y del modo en que este proceso se ha ido perfeccionado hasta llegar a lo que hoy en día representa para la industria minera, razones de espacio, sin embargo, nos impiden hacer esto por lo cual en estas líneas nos referimos sobre todo a los principios modernos que gobiernan el proceso, así como algunas de sus aplicaciones.

### 2.2.5 Reactivos de flotación.

Reactivos de flotación son sustancias químicas capaces a la sorbición electiva en límites de fases y al cambio de sus propiedades físicos y químicos, creando condiciones para la flotación electiva de partículas de un mineral determinado.

Figura 5: CLASIFICACIÓN DE LOS REACTIVOS DE FLOTACIÓN



Fuente: Ph.D. Natalia Petrovskaya

Los reactivos de flotación se clasifican según su destinación y su carácter de influencia al proceso de flotación de la siguiente manera:

- ✓ Hidrofobizantes o colectores.
- ✓ Espumantes.

- ✓ Modificadores.
- ✓ Activadores.
- ✓ Depresores.
- ✓ Reguladores del medio.
- ✓ Modificadores de uso particular

***Reactivos-hidrofobizantes (colectores).***

Sustancias predestinadas para disminuir mojabilidad de superficie de partículas de un mineral.

Compuesto orgánico heteropolar que se absorbe selectivamente sobre la superficie de las partículas. Haciendo que estas se vuelvan hidrófobas (aerófilas).

***Reactivos-espumantes (formantes de espuma).***

Sustancias predestinadas para estabilización de las burbujas aéreas y de la espuma de flotación.

***Función de los espumantes:***

- ✓ Disminución de la tensión superficial del agua.
- ✓ Disminución de la coalescencia de burbujas (Coalescencia es el fenómeno de unión de las burbujas).
- ✓ Formación de las burbujas más finas.
- ✓ Regulación de la velocidad a la cual las burbujas suben hacia la superficie de la pulpa.
- ✓ Estabilización de la espuma.

## ***Los reactivos-modificadores.***

### *Modificadores.*

Sustancias predestinadas para aumento de selectividad de sujeción de colectores sobre superficie de minerales determinados. Los modificantes se subdividen en:

✓ Activadores: sustancias que facilitan sujeción de colectores sobre superficie de mineral. Activadores son reactivos que forman condiciones favorables para que colectores se pegan en superficie de minerales.

✓ Depresores: sustancias que disminuyen la capacidad de flotación de minerales, cuya extracción al estrato de espuma no está deseable en este momento. Reactivos depresores son aquellos que se usan para prevención de hidrofobización de minerales por colectores. Son predestinados para aumentar la selectividad flotación durante separación de minerales que tienen propiedades flotativas parecidas.

✓ Reguladores del medio: sustancias, que disminuyen la pH de ambiente y que crean las condiciones óptimas para interacción de reactivos de flotación con superficie de minerales.

✓ Modificadores de uso particular.

✓ Los reactivos de flotación se afirman en un límite de fases gracias a la sorbición.

### ***Muy importante:***

✓ Surtido de reactivos.

✓ Consumo de reactivos para flotación.

- ✓ Dosificación de reactivos.
- ✓ Lugar de adición de los reactivos de flotación.
- ✓ Tiempo de acondicionamiento.

***Fundamentos de sorbición de los reactivos de flotación variedades y formas de sorbición.***

La pulpa de flotación se trata con reactivos para un cambio de grado de hidrofobidad de superficie de minerales y creación de condiciones favorables. Los reactivos son un medio potente y flexible, y abastecen la selectividad necesaria de flotación. Los reactivos de flotación pueden ser de origen orgánico y no orgánico, pueden estar en la pulpa en forma molecular o iónica. El orden y la forma de adición de los reactivos dependen del tipo de sorbición y del mecanismo de influencia a los componentes del sistema flotativo.

Los reagentes se dividen dependientemente del lugar de concentración preponderante y del mecanismo de influencia de la siguiente forma:

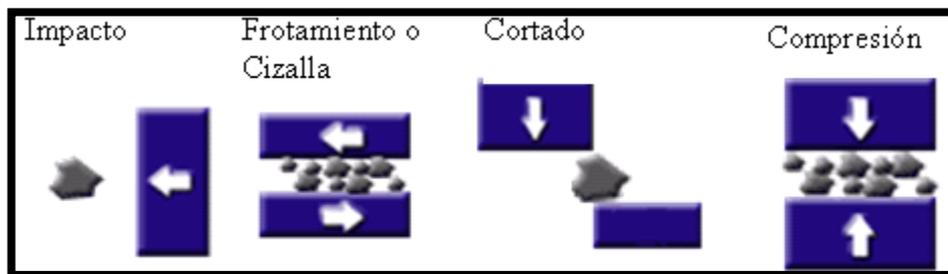
- ✓ Reactivos que se concentran en el límite de fases sólido y líquido. En este grupo están los hidrofobizantes (colectores), mayoría de los activadores y depresores.
- ✓ Reactivos que se concentran en el límite de fases líquido y gas. En general son los espumantes y algunos hidrofobizantes.
- ✓ Reactivos que se concentran en la fase líquida. Son los reguladores del medio.

Concentración de reactivos existe como un resultado de sorbición en los límites de fases.

### 2.2.6 Reducción de tamaño.

Es la operación unitaria en la que el tamaño medio de los alimentos sólidos es reducido por la aplicación de fuerzas de impacto, compresión, cizalla (abrasión) y/o cortado. La compresión se usa para reducir sólidos duros a tamaños más o menos grandes. El impacto produce tamaños gruesos, medianos y finos, la frotación o cizalla, produce partículas finas y el cortado se usa para obtener tamaños prefijados.

Figura 6: REDUCCIÓN



Fuente: La Operación Unitaria Reducción de Tamaño - Monografias.com

Los fines de la reducción de tamaño es muy importante en la industria por las siguientes razones:

- ✓ Facilita la extracción de un constituyente deseado que se encuentre dentro de la estructura del sólido, como la obtención de harina a partir de granos y jarabe a partir de la caña de azúcar.
- ✓ Se pueden obtener partículas de tamaño determinado cumpliendo con un requerimiento específico del alimento, como ejemplo la azúcar para helados, preparación de especias y refinado del chocolate.

✓ Aumento de la relación superficie-volumen incrementando, la velocidad de calentamiento o de enfriamiento, la velocidad de extracción de un soluto deseado, etc.

✓ Si el tamaño de partículas de los productos a mezclarse es homogéneo y de tamaño más pequeño que el original, la mezcla se realiza más fácil y rápido, como sucede en la producción de formulaciones, sopas empaquetadas, mezclas dulces, entre otros.

### **2.2.7 Operación con molienda.**

la molienda es una operación que permite la reducción del tamaño de la materia hasta tener una granulometría final deseada, mediante los diversos aparatos que trabajan por choques, aplastamiento o desgaste.

En esta operación de molienda, es donde se realiza la verdadera liberación de los minerales valiosos y se encuentra en condiciones de ser separados de sus acompañantes.

Por lo general, la molienda está precedida de una sección de trituración y por lo tanto, la granulometría de los minerales que entran a la sección molienda es casi uniforme. Los tamaños pueden variar de un F80 de 20 mm. (20000 micrones) a unos 5 mm. (5000 micrones), hasta obtener un producto de P80, variando normalmente entre unas 200 mallas por pulgada lineal (74 micrones) hasta 100 mallas (147 micrones).

### **2.2.8 Etapas de molienda.**

Las etapas de reducción de tamaño, usan los siguientes equipos:

### ***Molienda Primaria:***

Seguido a etapa de chancado.

Molinos de “cascadeo”, medios de molienda: barras, bolas, autógenos.

Operan en circuito abierto, sin clasificadores intermedios.

### ***Molienda Secundaria y Terciaria:***

Molinos de “cascadeo”, molinos verticales, molienda fina y ultrafina. Operan en circuito cerrado con clasificación.

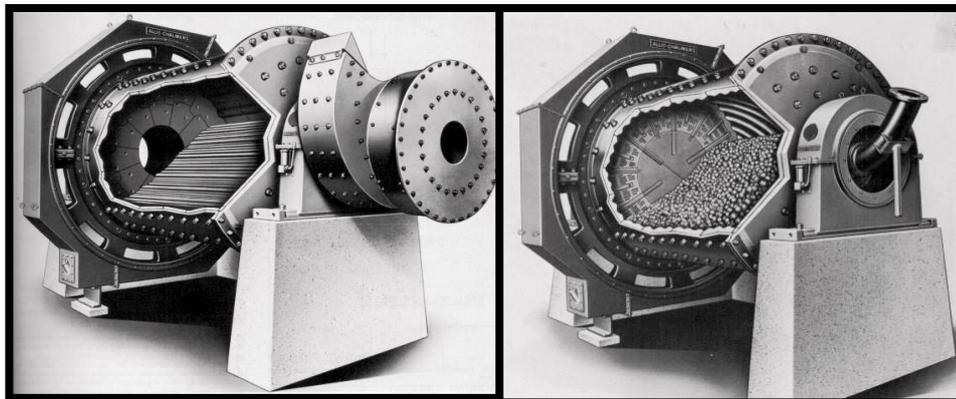
El producto final de las etapas de chancado tiene un tamaño menor a ½ pulg.

Para llegar a los tamaños indicados anteriormente, decenas de micrómetros, se realizan nuevas etapas de reducción de tamaños, denominadas molienda. La molienda se realiza habitualmente en cilindros rotatorios que contienen diferentes medios moledores en su interior, los que son levantados por la rotación del cilindro, para fracturar las partículas minerales por medio de la combinación de diferentes mecanismos de fractura, como son impacto y abrasión principalmente. Los medios de molienda pueden ser el mismo mineral (molinos autógenos), medios no metálicos naturales o manufacturados (molinos de pebbles) o medios metálicos manufacturados (molinos de barras o molinos de bolas).

En general el término molino rotatorio incluye molinos de barras, molinos de bolas, molinos de guijarros y molinos autógenos. El molino rotatorio posee una forma cilíndrica o cónico - cilíndrica, que rota en torno a su eje horizontal. La velocidad de rotación, el tipo de revestimiento y la forma y tamaño de los medios de molienda son seleccionados para proveer las condiciones deseadas de operación para cada aplicación específica de molienda.

La alimentación al molino rotatorio se realiza a través del orificio del muñón de entrada. El método de descarga del producto varía dependiendo del diseño de la descarga del molino. El método de descarga rápida o por rebalse permite al mineral molido pasar a través del orificio del muñón de salida del molino. En un molino con parrilla de retención al interior del molino, el mineral debe ser molido a un tamaño tal que las partículas puedan pasar a través de la parrilla. En este tipo de descarga, se pueden alcanzar velocidades de descarga intermedias y/o lentas. Los molinos rotatorios convencionales (a diferencia de los molinos autógenos o semiautógenos) tienen una razón entre el largo y el diámetro del cilindro del molino, mayor a 1.5.

Figura 7: VISTA ESQUEMÁTICA DEL INTERIOR DE MOLINOS DE BARRAS Y DE BOLAS.

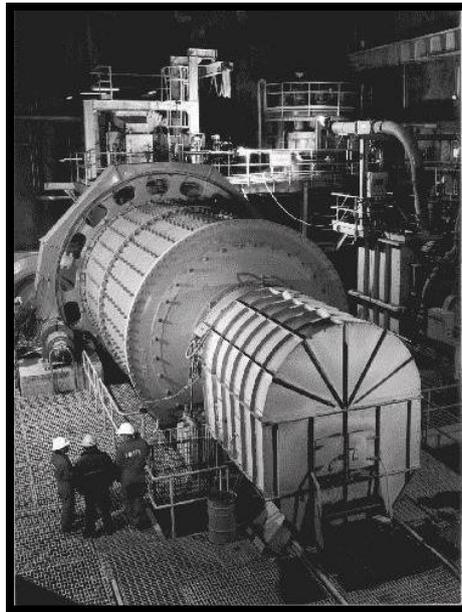


Fuente: <https://www.academia.edu/35496161/MOLIENDA>

Por otro lado, en la molienda autógena (AG), rocas de hasta 8 plg o más son alimentadas a un molino cilíndrico, cuya característica física principal es que el diámetro es 2 a 3 veces su largo. La palabra autógena indica que la molienda ocurre debido a la propia acción de caída de las colpas minerales desde una altura cercana

al diámetro del molino, es decir, no se emplea otro medio de molienda adicional que la roca misma.

FIGURA 7: MOLINO DE BOLAS DE DIVISIÓN ANDINA DE CODELCO CHILE.



Fuente: <https://www.academia.edu/35496161/MOLIENDA>

Por lo tanto, la carga de alimentación debe contener una fracción gruesa con la suficiente calidad y competencia como medio de molienda (dureza), para impactar y friccionar las fracciones de menor granulometría de la carga hasta reducir sus tamaños. La molienda semiautógena (SAG) es una variación del proceso de molienda autógena, es la más frecuente en la práctica y en ella se adicionan medios de molienda metálicos al molino. El nivel volumétrico de llenado de bolas varía normalmente de 4 a 14 % con respecto al volumen interno del molino. Estos molinos son de gran tamaño y alta capacidad de procesamiento (sobre 28 pies de diámetro y más de 6.000 HP de potencia instalada).

Actualmente existen 20 molinos semiautógenos en operación en el país, representando una potencia instalada total cercana a los 138,000 kW y una capacidad de tratamiento de diseño de alrededor de 367,000 t/d. A nivel mundial, los molinos más grandes en operación hoy en día son, en función de los mayores fabricantes:

- ✓ Fuller: 36 x 14 pies, con 11,900 kW de potencia
- ✓ Svedala: 40 x 20 pies, con 18,000 kW de potencia.

En fabricación se encuentran:

- ✓ Fuller: 36 x 17.25 pies, con 14,900 kW de potencia.

Y ya se tienen diseños desarrollados para molinos:

- ✓ Fuller: 42 x 20 pies, con 25,000 kW de potencia
- ✓ Svedala: 44 x 23 pies, con 26,000 kW de potencia.

En la Figura 8 se muestran: uno de los molinos semiautógenos de División Chuquicamata de Codelco-Chile, de 32 pies de diámetro y el molino semiautógeno de División El Teniente de Codelco-Chile, de 36 pies de diámetro.

En la figura se presenta (a) Molino semiautógeno de 32 pies de diámetros (9.75 m) y 17 pies de largo (5.2 m), que opera en División Chuquicamata de Codelco-Chile, con capacidad para procesar 27.500 toneladas de mineral al día. (b) Molino semiautógeno de 36 pies de diámetro (10.97 m) y 17 pies de largo (5.2 m), que opera en División El Teniente de Codelco-Chile, con capacidad para procesar 25.000 toneladas de mineral por día.

Figura 8 los molinos semiautógenos de División Chuquicamata de Codelco-Chile



Fuente: <https://www.academia.edu/35496161/MOLIENDA>

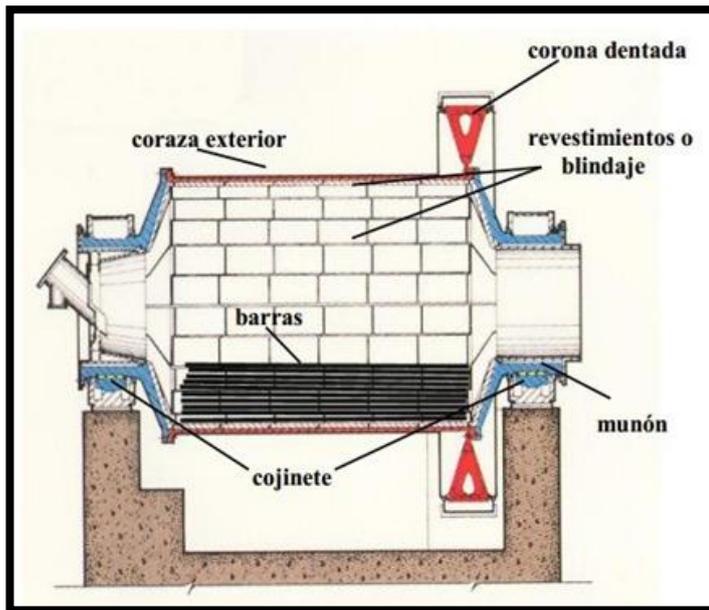
### 2.2.9 Clasificaciones de molinos.

Según su aplicación y el tipo de medios de molienda empleados, podemos catalogar a los molinos de la siguiente manera:

#### *Molinos de barras*

Generalmente empleados para molienda primaria, algo como etapa intermedia entre chancado y molienda (por ejemplo: cuando la presencia de arcilla o panizo en el mineral dificulta el chancado fino). Se caracterizan por una razón largo/diámetro del cilindro mayor de 1.5: 1. Por las limitaciones mecánicas en el largo de las barras, existen limitaciones en la dimensión y la capacidad de este tipo de molinos, que recientemente comienza a perder preferencia (aunque aún operan en algunas plantas de la sierra peruana).

Figura 9 Molino de barras



Fuente: <https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjv6z497LIAhXxwVkkHTxdBjEQjB16BAgBEAM&url=http%3A%2F%2Fprocesaminerales.blogspot.com%2F2012%2F09%2Fmolienda-etapas-y-tipos.html&psig=AOvVaw34HUrTqTxMCmbUM-C5QUVK&ust=1571939181683341>



Fuente: <https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjv6z497LIAhXxwVkkHTxdBjEQjB16BAgBEAM&url=http%3A%2F%2Fprocesaminerales.blogspot.com%2F2012%2F09%2Fmolienda-etapas-y-tipos.html&psig=AOvVaw34HUrTqTxMCmbUM-C5QUVK&ust=1571939181683341>

### ***Molinos de bolas***

Operan con bolas de hierro (o aleaciones anti abrasivas especiales) fundido o acero forjado, con razones de largo/día, 1.5: 1 o menos. El diámetro de bolas usadas varía entre 4" para molienda gruesa y 3/4" para molienda fina y remolienda de concentrados u otros productos intermedios.

Estos pueden ser utilizados como molinos de molienda primaria, secundaria y remolienda. Los molinos de bolas para molienda primaria son de forma cilíndrica y de gran tamaño y en su interior la carga moledora o bolas también son de gran diámetro (3-4 1/2"), ocupan el 45% del volumen del molino y trabajan en circuito abierto. En el caso de molinos de bolas de molienda secundaria y de remolienda por lo general son de forma tubular, es decir, su diámetro es ligeramente menos que su largo y trabajan en circuito cerrado con clasificadores mecánicos (rastrillos, espirales) o hidrociclones para maximizar su rendimiento y para evitar sobre molienda que es perjudicial para la concentración.

Los molinos de bolas constituyen hoy día la máquina de molienda más usada y mejor estudiada como molino secundario o como molino único en circuitos de molienda en una sola etapa, que parecen corresponder a la tendencia actual para plantas concentradoras de escalas pequeñas a medianas.

En cuanto a plantas de mayor capacidad y/o de minerales complejos polimetálicos cuyo tratamiento conduce a problemas de diferenciación de varios concentrados selectivos, si bien se prefiere molienda en una sola etapa

previa a la concentración (flotación), es frecuente remoler concentrados o productos intermedios.

### 2.2.10 Velocidad crítica.

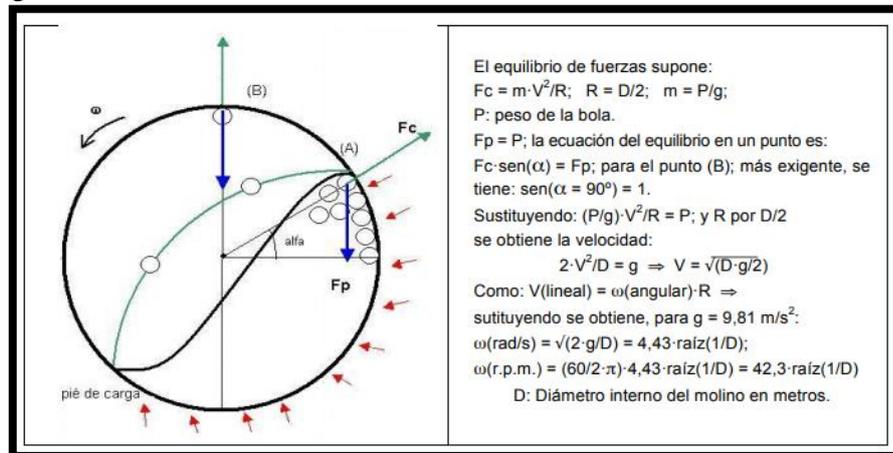
La velocidad de giro de un molino (velocidad de trabajo) se define como un porcentaje de la “velocidad crítica teórica” o “velocidad crítica” del molino, y que es aquella velocidad de rotación del molino para la cual la primera fila de bolas en contacto con la carcasa o las protecciones en su caso, y por el efecto centrífugo, se adhiere a la carcasa y deja de producir efecto de molienda, permanece adherida a la carcasa durante una vuelta completa. Esta velocidad es teórica y por el efecto de deslizamiento o el contrario de arrastre de los forros sufre ligeras modificaciones, pero siempre se considera una velocidad de referencia. La definición de velocidad crítica teórica se refiere a aquella velocidad que centrifugaría una partícula infinitesimal situada en la periferia interna del molino. El concepto de crítica se aplica porque representa la menor velocidad que produce el efecto mencionado, ya que cualquiera velocidad mayor que ésta, produce dicho efecto de adherencia en la fila de bolas exterior y en las siguientes en función del valor de dicha velocidad. En el momento que se alcanza la velocidad crítica, el molino pierde capacidad de molienda ya que hay un porcentaje de la carga de elementos molidores que no realiza trabajo alguno. El valor de la “velocidad crítica,  $V_c$  o  $\omega_c$ ” es:

$$V_c = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \quad \omega_c = \frac{4,43}{\sqrt{D}}$$

- ✓  $V_c$ : Velocidad crítica en r.p.m.
- ✓  $\omega_c$ : Velocidad crítica en rad/s.

- ✓ D: Diámetro interno del molino en (m) y que puede tener la expresión  $D = D_n - 2 \cdot E_f - D_b/2$
- ✓  $D_n$ : Diámetro nominal del molino, indicado normalmente en catálogo.
- ✓  $E_f$ : Espesor medio de los forros.
- ✓  $D_b$ : Diámetro medio de las bolas/barras.

Figura 10 Velocidad crítica de rotación



Fuente: [https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjE1arj-LLIAhWOMlkKHWD6ApoQjRx6BAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.slideshare.net%2FAdolfoMittaCorrales%2F8-molienda-tecnologia-metalurgica-europa&psig=AOvVaw05IkKVHo\\_KnRrCMBD4YeBu&ust=157193939692104](https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjE1arj-LLIAhWOMlkKHWD6ApoQjRx6BAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.slideshare.net%2FAdolfoMittaCorrales%2F8-molienda-tecnologia-metalurgica-europa&psig=AOvVaw05IkKVHo_KnRrCMBD4YeBu&ust=157193939692104)

3

### 2.2.11 Obtención de la velocidad crítica del molino.

Se considera suficiente aproximación en la bibliografía la dada por  $D = D_n - 2 \cdot E_f$ . Para una partícula infinitesimal en la zona exterior,  $D = D_n$  que es el valor teórico. Para obtener la expresión anterior se considera el equilibrio entre la fuerza centrífuga que impulsa la bola contra la carcasa y la fuerza de gravedad que tiende a separarla y se comparan en la peor situación para asegurar la adherencia en los  $360^\circ$ , esta se corresponde al punto (B) indicado en la figura. Se observa que esta

velocidad crítica depende del diámetro interno del molino y es independiente del tipo de material molido. La velocidad real del molino se suele fijar en un porcentaje de esta velocidad crítica y varía entre el 60% y el 80% normalmente. El punto de máximo rendimiento, medido por la potencia necesaria para accionar el molino, está en el entorno del 75% y se suelen utilizar velocidades de rotación de 65-70% para los molinos de bolas y de 50-70% para los molinos de barras.

#### **2.2.12 Circuito de molienda.**

El circuito de molienda esta conformado tanto de un molino como de un ciclón para cual así evaluar un circuito se debe considerar todas las variables de operación y de diseño tanto del ciclón como del Molino.

Se debe considerar de acuerdo al orden en el que entra el mineral al circuito y al ordenamiento de los equipos se puede tener un circuito abierto, circuito inverso circuito cerrado.

### **2.2.13 Diagrama de los circuitos, abierto, inverso y cerrado.**

Cuando el mineral entra directamente al molino y la descarga del mismo pasa al área siguiente de beneficia se trata de un circuito abierto, cuando el mineral que sale del molino se alimenta a un ciclón del cual el derrame se envía al proceso siguiente y las arenas regresan al molino se trata de un circuito cerrado, cuando el mineral fresco no entra primero al molino si no al ciclón y las arenas ingresan al molino como única alimentación se habla de un circuito inverso. La aplicación de uno u otro circuito dependerá tanto de las características del mineral alimentado como de las propiedades que se requiera que tenga el producto.

## **2.3 Definición de Términos Básicos**

**Flotación.** - La flotación es un proceso fisicoquímico de tres fases (sólido-líquido-gaseoso) que tiene por objetivo la separación de especies minerales mediante la adhesión selectiva de partículas minerales a burbujas de aire. En química, es una mezcla heterogénea a nivel molecular o iónico de dos o más especies químicas que no reaccionan entre sí, cuyos componentes se encuentran en proporción que varía entre ciertos límites.

Toda disolución está formada por un soluto y un medio dispersante denominado disolvente o solvente. El disolvente es la sustancia que está presente en el mismo estado de agregación que la disolución misma; si ambos (soluto y disolvente) se encuentran en el mismo estado, el disolvente es la sustancia que existe en mayor cantidad que el soluto en la disolución; en caso que haya igual cantidad de ambos (como un 50% de etanol y 50% de agua), la sustancia que es más frecuentemente utilizada como disolvente es la que se designa como tal (en

este caso, el agua). Una disolución puede estar formada por uno o más solutos y uno o más disolventes. Una disolución será una mezcla en la misma proporción en cualquier cantidad que tomemos (por pequeña que sea la gota), y no se podrán separar por centrifugación ni filtración.

Un buen ejemplo podría ser un sólido disuelto en un líquido, como la sal o el azúcar disuelto en agua (o incluso el oro en mercurio, formando una amalgama). Esto nos lleva al importante concepto llamado flotación, que se trata con el principio de Arquímedes.

Cuando un cuerpo se sumerge total o parcialmente en un fluido, una cierta porción del fluido es desplazado. Teniendo en cuenta la presión que el fluido ejerce sobre el cuerpo, se infiere que el efecto neto de las fuerzas de presión es una fuerza resultante apuntando verticalmente hacia arriba, la cual tiende, en forma parcial, a neutralizar la fuerza de gravedad, también vertical, pero apuntando hacia abajo. La fuerza ascendente se llama fuerza de empuje o fuerza de flotación y puede demostrarse que su magnitud es exactamente igual al peso del fluido desplazado. Por tanto, si el peso de un cuerpo es menor que el del fluido que desplaza al sumergirse, el cuerpo debe flotar en el fluido y hundirse si es más pesado que el mismo volumen del líquido donde está sumergido. El principio de Arquímedes es un enunciado de esta conclusión, del todo comprobada, que dice que todo cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido, está sometido a una fuerza igual al peso del fluido desalojado.

Este principio explica el funcionamiento de un tipo de hidrómetro empleado universalmente en los talleres para determinar el peso específico del líquido de las baterías de los automóviles. Un flotador se hunde o no hasta cierta señal,

dependiendo del peso específico de la solución en la que flota. Así, el grado de carga eléctrica de la batería puede determinarse, pues depende del peso específico de la solución.

**Absorción.** – retención de las sustancias disueltas en un fluido sobre la superficie de un sólido, por ejemplo, carbón activado.

**Velocidad crítica de operación.** - 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.

$$\text{Velocidad crítica} = 76.63/\sqrt{D-d}; \quad \text{RPM}$$

**Donde:**

- ✓ D = es el diámetro entre linternas en pies.
- ✓ d = es el diámetro máximo de bola solo se emplea este valor para diámetros entre linternas menores a 5 pies, en caso contrario este valor es cero.

**Molienda.** - Proceso mediante el cual se reduce el tamaño del material mineralizado a menos de 0,2 milímetros, de manera que sea adecuado para la flotación. Al material mineralizado que viene de la planta de chancado se le agrega agua y algunos reactivos, y se lleva a los molinos de barra y de bolas. Los molinos giran y las barras o bolas muelen el material.

***Molienda en Seco:***

- ✓ Genera más finos.
- ✓ Produce un menor desgaste de los revestimientos y medios de molienda.

- ✓ Adecuada cuando no se quiere alterar el mineral (ejemplo: sal).

### ***Molienda en Húmedo:***

Generalmente se muele en húmedo debido a que:

- ✓ Tiene menor consumo de energía por tonelada de mineral tratada.
- ✓ Logra una mejor capacidad del equipo.
- ✓ Elimina problema del polvo y del ruido.
- ✓ Hace posible el uso de ciclones, espirales, harneros para clasificar por tamaño y lograr un adecuado control del proceso.
- ✓ Hace posible el uso de técnicas simples de manejo y transporte de la corriente de interés en equipos como bombas, cañerías, canaletas, etc.

**Molienda de bolas.** - Las bolas de acero que tiene el molino de bolas, caen sobre las rocas cuando el molino gira, reduciendo aún más su tamaño.

Este molino, cuyas dimensiones son 16 x 24 pies (es decir, 4,9 m de diámetro por 7,3 m de ancho), está ocupado en un 35% de su capacidad por bolas de acero de 3,5 pulgadas de diámetro, las cuales son los elementos de molienda. En un proceso de aproximadamente 20 minutos, el 80% del mineral es reducido a un tamaño máximo de 180 micrones.

## **2.4 Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general.**

Si realizamos la reducción de la velocidad crítica entonces mejoraremos el radio de reducción en molinos 8x10 en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019

## **2.4.2 Hipótesis Especificas**

- ✓ Si identificamos la velocidad critica entonces incrementaremos el tonelaje tratado en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019.
- ✓ Si halamos la mejor la velocidad critica entonces mejoraremos el radio de reducción en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019.
- ✓ Si identificamos el mejor radio de reducción en molinos 8x10 entonces mejoraremos el producto de la molienda en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019.

## **2.5 Identificación de las variables**

### **2.5.1 Variable independiente.**

Velocidad critica

- ✓ Velocidad critica
- ✓ Análisis granulométrico del mineral
- ✓ Densidad de pulpa de la pulpa final.
- ✓ Caudal de la pulpa final en el molino

### **2.5.2 Variable dependiente.**

Radio de reducción

- ✓ Radio de reducción
- ✓ Densidad de pulpa.
- ✓ Velocidad de flujo volumétrico.

### 2.5.3 Variables intervinientes

- ✓ Dureza del mineral
- ✓ Relación agua mineral
- ✓ Porcentaje de sólidos y densidad del mineral.

### 2.6 Definición operacional de variables e indicadores

OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES		
VARIABLE	INDICADORES	ÍNDICES
<p><b><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VELOCIDAD CRITICA</li> </ul>	<p><b><u>Indicadores:</u></b></p> <p>Porcentaje de velocidad critica</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 0-30 malo</li> <li>✓ 30-70 bueno</li> <li>✓ 80-100 mejor</li> </ul>
<p><b><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• RADIO DE REDUCCION</li> </ul>	<p><b><u>Indicadores:</u></b></p> <p>Radio de reducción</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Menor a 1 malo</li> <li>✓ Igual a 1 bueno</li> <li>✓ Mayor a 1 mejor</li> </ul>

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

De acuerdo al tipo de investigación, naturales del problema y objetivos formulados en este trabajo, el presente estudio de investigación reúne las condiciones suficientes para ser calificado como una investigación Tecnológica del tipo Aplicado porque para su desarrollo, en la parte teórica conceptual, se apoyará en conocimientos de ingeniería a fin de ser aplicados en el área de operación correspondiente. Ya que estaremos tratando de explicar el efecto de la granulometría respecto a la velocidad crítica de rotación del molino

#### **3.2 Métodos de Investigación**

El presente trabajo de Investigación, por tener una naturaleza de carácter práctico, se empleará el método experimental y empírico. Para el cual se debe hacer las pruebas directamente en los molinos industriales, debiendo probar durante

guardias enteras a fin de poder encontrara el valor optimo de la velocidad critica de rotación del molino.

La investigación realizada se trata de indagar la velocidad critica de rotación del molino para obtener una granulometría con mayor porcentaje de finos.

### **3.3 Diseño de la investigación**

Las pruebas que se van hacer es en los molinos que se estarán operando en la Planta de Procesamiento de minerales de Sociedad Minera el Brocal S.A.A., por tanto la investigación corresponde a un diseño cuasi experimental.

Para la presente investigación se realizaran los siguientes pasos:

1. Se tomaran muestras antes de los cambios en todos los puntos de entrada y descarga del molino
2. Se realizaran los análisis granulométricos respectivos
3. Se realizaran las modificaciones en los circuitos de molienda.
4. Se tomaran las muestras en los diferentes puntos de entrada y salida del molino.
5. Se realizaran los cálculos y análisis de los resultados obtenidos.

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población.**

La población para la investigación será toda una gama de minerales tratados en la planta concentradora Huaraucaca de la Sociedad Minera el Brocal. ubicado en Distrito de Quiruvilca. Tinyahuarco, en la molienda de minerales del molino 8x10.

### **3.4.2 Muestra.**

El muestreo es aleatorio, ya que lo hicimos tomando con cuarteadores automáticos instalados en las fajas y tubos de transporte de mineral y pulpa respectivamente.

El tamaño de muestra se obtendrá aplicando la teoría de Taggart donde el tamaño de muestra depende del mayor tamaño de partícula, así que se va muestrear cada 15 minutos aproximadamente con cortes que proporcionen 1kg, en una guardia se obtendrán 120 kilos, de los cuales se deben homogenizar y cuartear hasta 10 kilos, para proceder a realizar el análisis granulométrico, así como para las muestras en pulpa se realizara cortes cada 15 minutos, obteniendo al final una muestra de pulpa aproximadamente de 10 litros de pulpa.

## **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Los datos son tomados en la Planta Concentradora de la Sociedad Minera el Brocal de acuerdo a los ítems [presentados a continuación.

### **3.5.1 Velocidad critica del molino 8x10(2) y 8x10(3)**

Actualmente se tiene dos molinos que trabajan con diferentes porcentajes de velocidad critica de rotación del molino, el molino 8x10(2) trabaja con 77,51 % de  $V_c$  y el molino 8x10(3) trabajo con 84,89% de  $V_c$ , con estas velocidades se aprecia que el molino 8x10(2) trata mayor tonelaje y tiene mayor radio de reducción, según resultados de muestreos anteriores. Por

dicha razón en parada de planta se planea cambiar el piñón de 23 dientes a 21 dientes en el molino 8x10(3).

Foto 1 Puesta de piñones



Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Se presentaran resultados de muestreos realizados antes y después del cambio de piñón, los muestreos siempre se realizó paralelos al molino 8x10(2) para determinar la proporción de carga en cada molino, al momento de muestreo se tomaron amperajes de operación y nivel de aceros, los muestreos se realizaron con una duración de 5 a 6 horas

Antes del cambio de piñón fue muy difícil repartir la carga del oversize de las ZAF a 50% a cada molino porque al cabo de 10 a 15 minutos la descarga del molino 8x10(3) se atoraba, por consiguiente se realizo el muestreo en la proporción graduada por el operador, se muestreo en el oversize de la ZAF y alimento a los molinos con dichos análisis granulométrico se determina la proporción hacia cada molino por balance de mallas

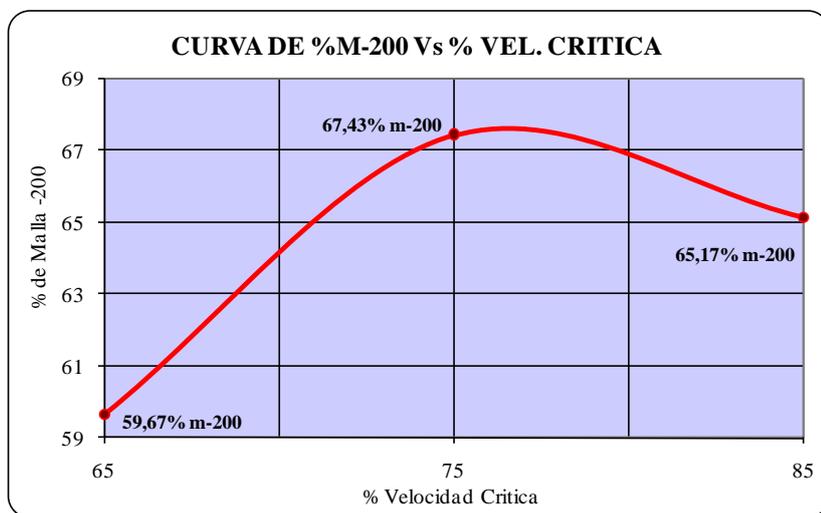
### 3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos tomados en el laboratorio en la etapa de molienda fueron procesados en una hoja de Excel obteniendo los siguientes resultados de la cinética de molienda

#### 3.6.1 Pruebas de cinética de molienda

En el laboratorio metalúrgico con el molino de velocidad variable se realizó molienda con diferentes % de velocidad crítica obteniendo la siguiente curva

Figura 11 Cinética de molienda



Fuente: Planta de Procesamiento de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

La mejor molienda se obtiene a 75% de velocidad crítica, entonces 77.53 y 73.82 uno está a dos puntos por encima y el otro está a dos puntos debajo es decir ambos deberían tener la misma eficiencia

### 3.7 Tratamiento Estadístico

Con los datos tomados de las diferentes guardias se procedieron a calcular los diferentes parámetros respecto al análisis granulométricos

### 3.7.1 Evaluación de los molinos 8x10 antes del cambio de Piñón

Resultados de molino 8x10(3) antes cambio de piñón, para el cual mostramos los siguientes resultados.

En la tabla siguiente se muestra los resultados del muestreo antes del cambio de piñón

Tabla 2 Velocidad Critica de rotación del molino 8x10 antes del cambio del piñón

	Rr	RPM Normal	% Vc	Amp Pract	TMS/hr	Dp Feed	% Bolas	% Carga
8'x10' (II)	2,05	21	77,51	550	125	2070	34	56,0%
8'x10' (III)	1,78	23	84,89	545	98	2060	37	44,0%

Fuente: Planta de Procesamiento de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

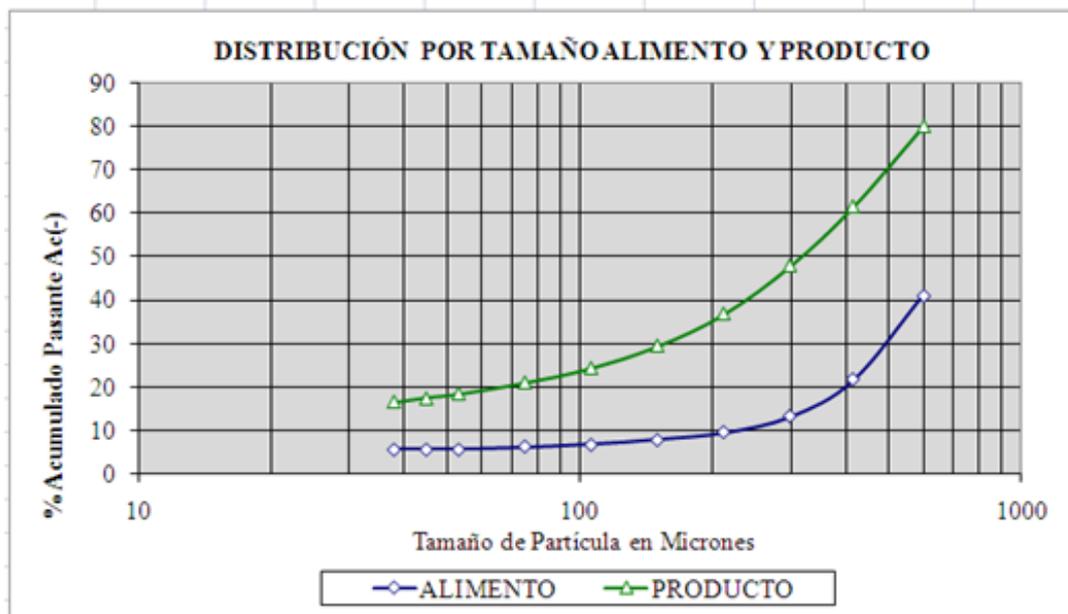
Se observa que el 56% de carga es alimentada al molino 8x10(2), 125 TMS/hr pese a mayor tonelaje tratado tiene mayor radio de reducción 2,05 frente al molino 8x10(3) que trata 98 TMS/hr con un radio de reducción de 1,78; el nivel de bolas es diferente debido que el molino 8x10(3) tiene menor consumo de aceros dicha medición se realizo un día después, en parada de planta, posterior a ello se empareja los niveles de acero

### 3.7.2 Resultados de molino 8x10(3) antes de cambio de piñón

<b>MOLINO DE BOLAS 8' x 10' Nro III</b>									
								<b>GUARDIA: 7.00 - 3.00 p.m.</b>	
Diámetro, pies	8,0			Velocidad crítica	27,09				
Longitud, pies	10,0			Velocidad periférica, pies/min	680,92				
RPM Normal	20,0			% Velocidad Crítica	73,82				
% de humedad				Radio de reducción	2,17				
Alimento, TMS/hr	103,0	49%		Consumo de Energía, Kw-h/TMS	3,20				
HP, Motor	550,0			Índice de trabajo, Kw-h/TMS					
Voltaje del motor, voltios	440,0			Tonelaje máximo tratar	128,36				
Factor de potencia, Cos Ø	0,80			Eficiencia del motor eléctrico	80,24				
Amperaje, Motor nominal	613,0			% Nivel de bolas	39,00				
Tamaño de bolas maximo	1,15			Amperaje, práctico	540,00				
Gravedad específica mineral	3,16			Wi = Laboratorio real	14				
								Densidad pulpa descarga	2060 g/lt

ABERTURA		ALIMENTO				PRODUCTO			
Mesh	Micrones	Peso gr.	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso gr.	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)
10	1700	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
30	600	176,70	58,90	58,90	41,10	60,20	20,07	20,07	79,93
35	417	58,30	19,43	78,33	21,67	55,20	18,40	38,47	61,53
50	300	25,10	8,37	86,70	13,30	40,90	13,63	52,10	47,90
70	212	11,40	3,80	90,50	9,50	33,40	11,13	63,23	36,77
100	150	5,00	1,67	92,17	7,83	21,70	7,23	70,47	29,53
140	106	2,90	0,97	93,13	6,87	15,50	5,17	75,63	24,37
200	75	1,80	0,60	93,73	6,27	10,10	3,37	79,00	21,00
270	53	1,60	0,53	94,27	5,73	7,90	2,63	81,63	18,37
325	45	0,00	0,00	94,27	5,73	2,60	0,87	82,50	17,50
400	38	0,00	0,00	94,27	5,73	3,00	1,00	83,50	16,50
-400		17,20	5,73	100,00	0,00	49,50	16,50	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>		<b>300,00</b>	<b>100,00</b>	<b>F<sub>80</sub></b>	<b>1309</b>	<b>300,00</b>	<b>100,00</b>	<b>P<sub>80</sub></b>	<b>602</b>



Fuente: Sociedad Mineral el Brocal S.A.A

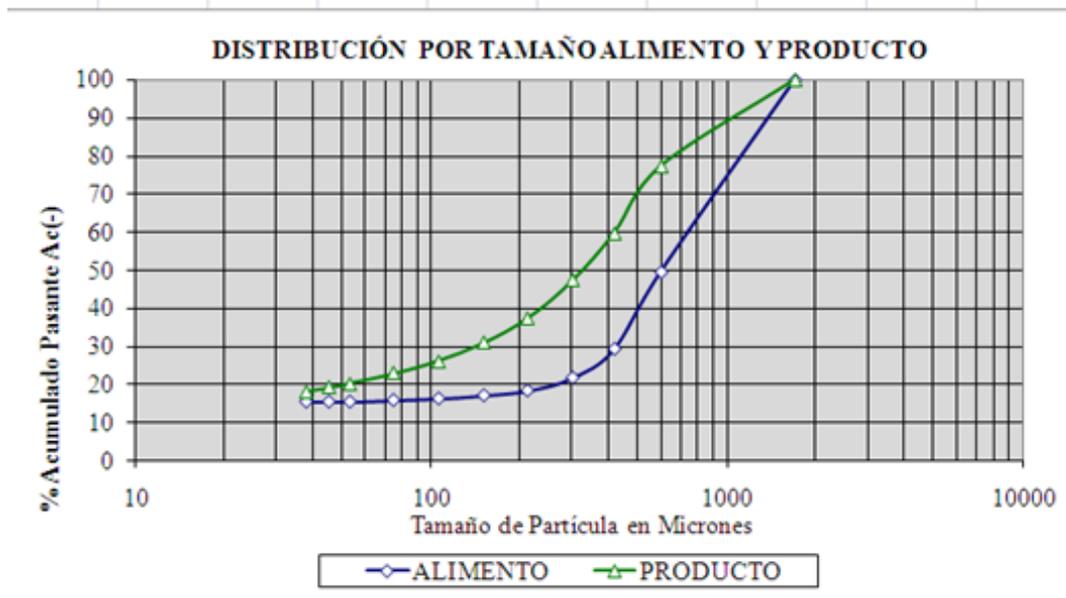
**Resultados de molino 8x10(2) antes de cambio de piñón**

## MOLINO DE BOLAS 8' x 10' Nro II

GUARDIA: 7.00 - 3.00 p.m.

Diámetro, pies	8,0	Velocidad crítica	27,09	
Longitud, pies	10,0	Velocidad periférica, pies/min	680,92	
RPM Normal	21,0	% Velocidad Crítica	77,51	
% de humedad		Radio de reducción	2,05	
Alimento, TMH/hr	125,1	56%	Consumo de Energía, Kw-h/TMS	2,68
HP, Motor	550,0	Índice de trabajo, Kw-h/TMS		
Voltaje del motor, voltios	440,0	Tonelaje máximo tratar	153,03	
Factor de potencia, Cos Ø	0,80	Eficiencia del motor eléctrico	81,73	
Amperaje, Motor nominal	613,0	% Nivel de bolas	34,00	
Tamaño de bolas maximo	1,15	Amperaje, práctico	550,00	
Gravedad específica mineral	3,21	Wi = Laboratorio real	14	
		Densidad pulpa descarga	2070 g/lt	

ABERTURA		ALIMENTO				PRODUCTO			
Mesh	Micrones	Peso gr.	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso gr.	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)
10	1700	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
30	600	182,60	60,87	60,87	39,13	64,20	21,40	21,40	78,60
35	417	67,20	22,40	83,27	16,73	52,50	17,50	38,90	61,10
50	300	26,90	8,97	92,23	7,77	36,00	12,00	50,90	49,10
70	212	11,40	3,80	96,03	3,97	28,10	9,37	60,27	39,73
100	150	4,70	1,57	97,60	2,40	17,70	5,90	66,17	33,83
140	106	2,80	0,93	98,53	1,47	12,90	4,30	70,47	29,53
200	75	1,70	0,57	99,10	0,90	8,60	2,87	73,33	26,67
270	53	1,70	0,57	99,67	0,33	7,20	2,40	75,73	24,27
325	45	0,00	0,00	99,67	0,33	2,50	0,83	76,57	23,43
400	38	0,60	0,20	99,87	0,13	2,70	0,90	77,47	22,53
-400		0,40	0,13	100,00	0,00	67,60	22,53	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>		<b>300,00</b>	<b>100,00</b>	<b>F<sub>80</sub></b>	<b>1327</b>	<b>300,00</b>	<b>100,00</b>	<b>P<sub>80</sub></b>	<b>648</b>



Fuente: Sociedad Mineral el Brocal S.A.A

### **3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

Los datos que se tomaron fueron en las diferentes guardias, de preferencia en el horario nocturno, además se ha seguido el plan de tesis que ha sido presentado a la universidad, habiendo sido aceptado en la oficinas correspondientes.

### **3.9 Orientación ética**

La investigación esta enfocado a resolver problemas técnicos que se presentan en la Planta Concentradora de Sociedad Minera el Brocal S.A.A., teniendo experiencia laboral en dicha compañía en la Planta Concentradora en las diferentes etapas, por el cual me decidí realizar el presente trabajo.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Descripción del trabajo de campo.

Se realizó el cambio de piñones en molino 8x10(3), de este modo reduciendo su velocidad de operación de 23 RPM a 20 RPM con % de velocidad crítica de 73,82% al molino 8x10(3).

En la tabla siguiente se muestra los resultados del muestreo después del cambio de piñón

Tabla 3 Velocidad Crítica de rotación del molino 8x10 después del cambio del piñón

	Rr	RPM Normal	% Vc	Amp Pract	TMS/hr	Dp Feed	% Bolas	% Carga
8'x10' (II)	2,64	21	77,51	530	107	2100	38	51,0%
8'x10' (III)	2,17	20	73,82	540	103	2060	39	49,0%

Fuente: Planta de Procesamiento de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

El 51% de carga es alimentada al molino 8x10(2), 107 TMS/hr tiene un radio de reducción 2,64 frente al molino 8x10(3) 49% que trata 103 TMS/hr con un radio de

reducción de 2,17, se observa que el molino 8x10(3) mejoro el radio de reducción pese que trata mayor tonelaje

Para verificar se muestreo en fecha distinta después del cambio de piñón

Tabla 4 Velocidad Critica de rotación del molino 8x10 después del cambio del piñón en una guardia distinta

	Rr	RPM Normal	% Vc	Amp Pract	TMS/hr	Dp Feed	% Bolas	% Carga
8'x10' (II)	2,16	21	77,51	543	108	2020	40	49,0%
8'x10' (III)	1,64	20	73,82	545	113	2000	41	51,0%

Fuente: Planta de Procesamiento de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

El 49% de carga es alimentada al molino 8x10(2), 108 TMS/hr tiene un radio de reducción 2,16 frente al molino 8x10(3) 51% que trata 113 TMS/hr con un radio de reducción de 1,64, se observa que el molino 8x10(3) mejoro el radio de reducción y trata un tonelaje mayor que el molino 8x10(2), pero también se observa que tiene radio de reducción menor, esto es debido al forro del cilindro el molino 8x10(2) las chaquetas son de acero y del molino 8x10(3) son de caucho

#### 4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados

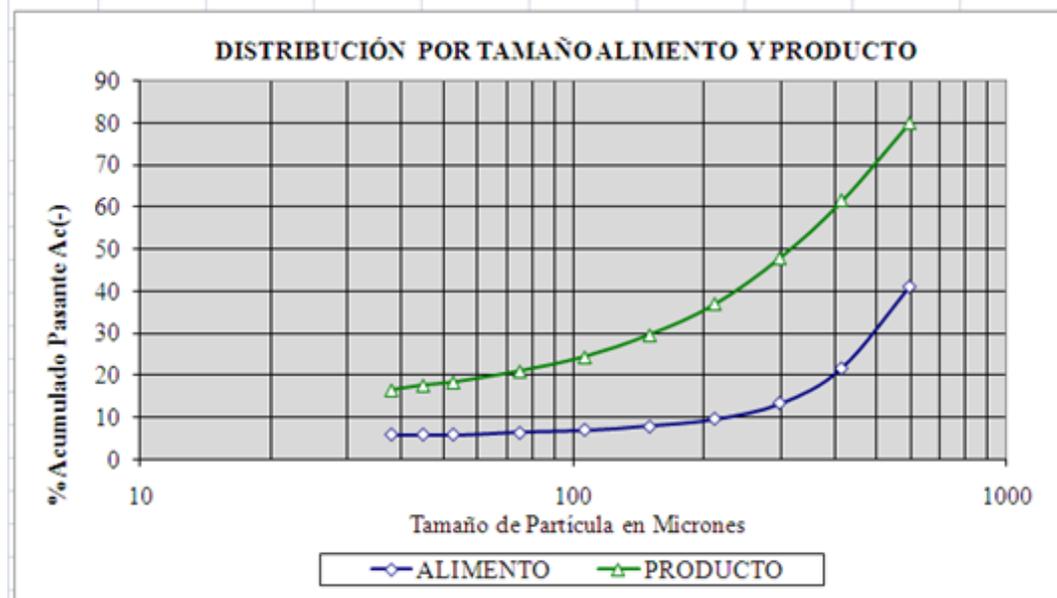
Después de realizar el trabajo de modificación de los piñones para incrementar la velocidad critica de rotación se obtuvieron los siguientes resultados:

Resultados de molino 8x10(3) después de cambio de piñón

**MOLINO DE BOLAS 8' x 10' Nro III**

				<b>GUARDIA:</b>	<b>7.00 - 3.00 p.m.</b>
Diámetro, pies	8,0			Velocidad crítica	27,09
Longitud, pies	10,0			Velocidad periférica, pies/min	680,92
RPM Normal	20,0			% Velocidad Crítica	73,82
% de humedad				Radio de reducción	2,17
Alimento, TMS/hr	103,0	49%		Consumo de Energía, Kw-h/TMS	3,20
HP, Motor	550,0			Índice de trabajo, Kw-h/TMS	
Voltaje del motor, voltios	440,0			Tonelaje máximo tratar	128,36
Factor de potencia, Cos Ø	0,80			Eficiencia del motor eléctrico	80,24
Amperaje, Motor nominal	613,0			% Nivel de bolas	39,00
Tamaño de bolas maximo	1,15			Amperaje, práctico	540,00
Gravedad específica mineral	3,16			Wi = Laboratorio real	14
				Densidad pulpa descarga	2060 g/lt

ABERTURA		ALIMENTO				PRODUCTO			
Mesh	Micrones	Peso gr.	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso gr.	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)
10	1700	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
30	600	176,70	58,90	58,90	41,10	60,20	20,07	20,07	79,93
35	417	58,30	19,43	78,33	21,67	55,20	18,40	38,47	61,53
50	300	25,10	8,37	86,70	13,30	40,90	13,63	52,10	47,90
70	212	11,40	3,80	90,50	9,50	33,40	11,13	63,23	36,77
100	150	5,00	1,67	92,17	7,83	21,70	7,23	70,47	29,53
140	106	2,90	0,97	93,13	6,87	15,50	5,17	75,63	24,37
200	75	1,80	0,60	93,73	6,27	10,10	3,37	79,00	21,00
270	53	1,60	0,53	94,27	5,73	7,90	2,63	81,63	18,37
325	45	0,00	0,00	94,27	5,73	2,60	0,87	82,50	17,50
400	38	0,00	0,00	94,27	5,73	3,00	1,00	83,50	16,50
-400		17,20	5,73	100,00	0,00	49,50	16,50	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>		<b>300,00</b>	<b>100,00</b>	<b>F<sub>80</sub></b>	<b>1309</b>	<b>300,00</b>	<b>100,00</b>	<b>P<sub>80</sub></b>	<b>602</b>



Fuente: Sociedad Mineral el Brocal S.A.A

Resultados de molino 8x10(2) después de cambio de piñón

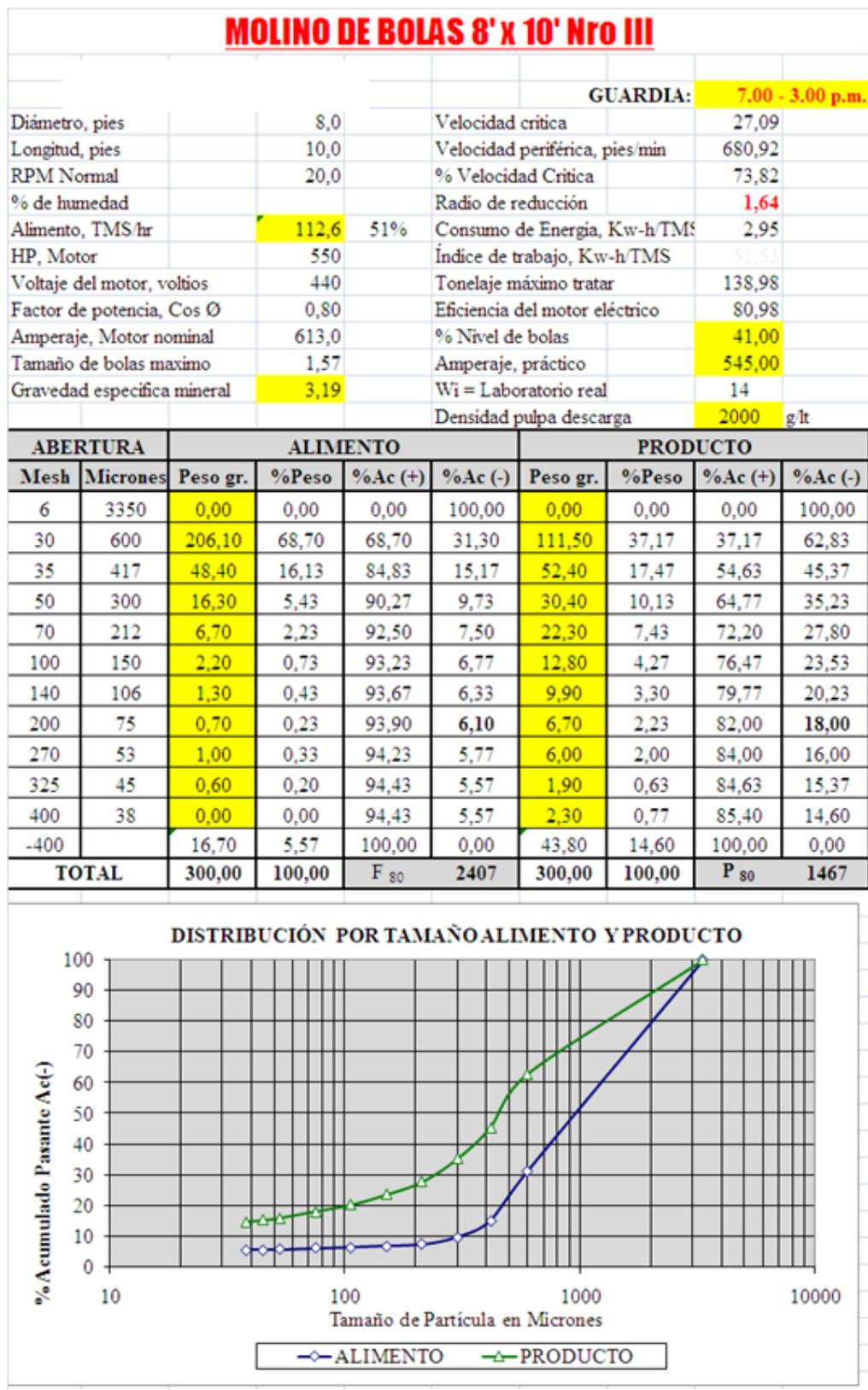
<b>MOLINO DE BOLAS 8' x 10' Nro II</b>						
					<b>GUARDIA: 7.00 - 3.00 p.m.</b>	
Diámetro, pies	8,0			Velocidad crítica	27,09	
Longitud, pies	10,0			Velocidad periférica, pies/min	680,92	
RPM Normal	21,0			% Velocidad Crítica	77,51	
% de humedad				Radio de reducción	2,64	
Alimento, TMH/hr	107,2	51%		Consumo de Energía, Kw-h/TMS	3,01	
HP, Motor	550,0			Índice de trabajo, Kw-h/TMS		
Voltaje del motor, voltios	440,0			Tonelaje máximo tratar	136,12	
Factor de potencia, Cos Ø	0,80			Eficiencia del motor eléctrico	78,75	
Amperaje, Motor nominal	613,0			% Nivel de bolas	38,00	
Tamaño de bolas maximo	1,14			Amperaje, práctico	530,00	
Gravedad específica mineral	3,16			Wi = Laboratorio real	14	
					Densidad pulpa descarga	2100 g/lt

ABERTURA		ALIMENTO				PRODUCTO			
Mesh	Micrones	Peso gr.	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso gr.	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)
10	1700	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
30	600	181,90	60,63	60,63	39,37	37,70	12,57	12,57	87,43
35	417	54,40	18,13	78,77	21,23	43,10	14,37	26,93	73,07
50	300	22,60	7,53	86,30	13,70	38,20	12,73	39,67	60,33
70	212	10,00	3,33	89,63	10,37	34,80	11,60	51,27	48,73
100	150	4,30	1,43	91,07	8,93	29,30	9,77	61,03	38,97
140	106	2,50	0,83	91,90	8,10	18,30	6,10	67,13	32,87
200	75	1,80	0,60	92,50	7,50	12,40	4,13	71,27	28,73
270	53	1,50	0,50	93,00	7,00	10,40	3,47	74,73	25,27
325	45	0,60	0,20	93,20	6,80	3,30	1,10	75,83	24,17
400	38	0,00	0,00	93,20	6,80	3,70	1,23	77,07	22,93
-400		20,40	6,80	100,00	0,00	68,80	22,93	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>		<b>300,00</b>	<b>100,00</b>	<b>F<sub>80</sub></b>	<b>1325</b>	<b>300,00</b>	<b>100,00</b>	<b>P<sub>80</sub></b>	<b>501</b>



Fuente: Sociedad Mineral el Brocal S.A.A

## Resultados de molino 8x10(3) después de cambio de piñón



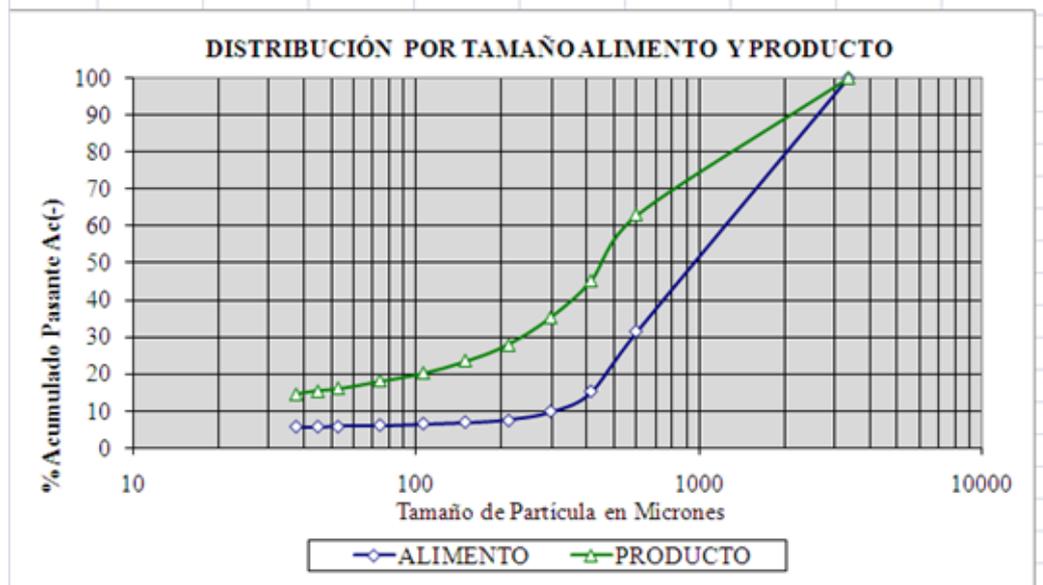
Fuente: Sociedad Mineral el Brocal S.A.A

Resultados de molino 8x10(2) después de cambio de piñón

**MOLINO DE BOLAS 8' x 10' Nro II**

				<b>GUARDIA: 7.00 - 3.00 p.m.</b>	
Diámetro, pies	8,0	Velocidad crítica	27,09		
Longitud, pies	10,0	Velocidad periférica, pies/min	680,92		
RPM Normal	21,0	% Velocidad Crítica	77,51		
% de humedad		Radio de reducción	2,16		
Alimento, TMH/hr	108,1	49%	Consumo de Energía, Kw-h/TMS	3,06	
HP, Motor	550	Índice de trabajo, Kw-h/TMS			
Voltaje del motor, voltios	440	Tonelaje máximo tratar	134,03		
Factor de potencia, Cos Ø	0,80	Eficiencia del motor eléctrico	80,69		
Amperaje, Motor nominal	613,0	% Nivel de bolas	40,00		
Tamaño de bolas maximo	1,55	Amperaje, práctico	543,00		
Gravedad específica mineral	3,2	Wi = Laboratorio real	14		
			Densidad pulpa descarga	2020	g/lt

ABERTURA		ALIMENTO				PRODUCTO			
Mesh	Micrones	Peso gr.	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso gr.	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)
6	3350	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
30	600	209,30	69,77	69,77	30,23	89,10	29,70	29,70	70,30
35	417	50,90	16,97	86,73	13,27	48,90	16,30	46,00	54,00
50	300	16,60	5,53	92,27	7,73	31,60	10,53	56,53	43,47
70	212	6,30	2,10	94,37	5,63	25,70	8,57	65,10	34,90
100	150	1,80	0,60	94,97	5,03	15,50	5,17	70,27	29,73
140	106	1,30	0,43	95,40	4,60	12,50	4,17	74,43	25,57
200	75	0,70	0,23	95,63	4,37	8,80	2,93	77,37	22,63
270	53	0,80	0,27	95,90	4,10	7,80	2,60	79,97	20,03
325	45	0,20	0,07	95,97	4,03	2,50	0,83	80,80	19,20
400	38	0,00	0,00	95,97	4,03	3,00	1,00	81,80	18,20
-400		12,10	4,03	100,00	0,00	54,60	18,20	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>		<b>300,00</b>	<b>100,00</b>	<b>F<sub>80</sub></b>	<b>2431</b>	<b>300,00</b>	<b>100,00</b>	<b>P<sub>80</sub></b>	<b>1127</b>



Fuente: Sociedad Mineral el Brocal S.A.A

### **4.3 Prueba de hipótesis**

Se hizo la reducción de la velocidad crítica para mejorar el radio de reducción en los molinos 8 x 10 en la planta concentradora de la Sociedad Minera EL BROCAL obteniendo buenos resultados que aumenta la productividad de los minerales.

#### **4.3.1 Prueba de hipótesis general.**

Al realizar la reducción de la velocidad crítica de 23 RPM A 20 RPM entonces mejoraremos el radio de reducción de 1.78 a 2.17 en los molinos 8x10 en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019

#### **4.3.2 Prueba de hipótesis específico**

- ✓ la velocidad crítica de tratamiento es de 73.82% entonces incrementaremos el tonelaje tratado de 98 TMS/hr a 103 TMS/hr en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019.
- ✓ la mejor la velocidad crítica es 73.82 entonces aumentaremos el radio de reducción a 2.17 en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019.
- ✓ el mejor radio de reducción es de 2.17 en molinos 8x10 el producto de la molienda P80 es de 647 micrones a 501 micrones en el molino 8x10(2) es de en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019.

### **4.3 Discusión de resultados.**

Con la reducción de la velocidad crítica en los molinos 8 x 10 pasando de 23 rpm a 20rpm se redujo la velocidad crítica de rotación de molinos con estos cambios hemos logrado aumentar el radio de reducción de 1,78 a 2,17; incrementar el tonelaje tratado de 98 TMS/hr a 103 TMS/hr y mejorar el producto de la operación de molienda

## CONCLUSIONES

1. En comparación con el primer muestro al molino 8x10(3) la carga sube de 44% a 49% subiendo ligeramente el radio reducción 1.78 a 2,17 pese al incremento de tonelaje
2. En comparación con el segundo muestreo al molino 8x10(3) la carga sube de 44% a 51% manteniendo el radio de reducción 1.78 a 1,64, esto debido al mayor tonelaje tratado
3. En laboratorio metalúrgico se determino que la mayor eficiencia se da al 75% de velocidad critica, entonces el molino 8x10(2) tiene 77, 53% a dos puntos encima del optimo, y el molino 8x10(3) tiene 73.82 a dos puntos debajo del optimo debido a la curva mostrada ambos molinos deberían tener la misma eficiencia (radio de reducción)
4. En todos los muestreos el molino 8x10(2) tiene mayor radio de reducción frente al molino 8x10(3) manteniendo constante nivel de bolas, velocidad critica y tonelaje alimentado, entonces esto se debe al forro del cilindro que es metálico, concluyendo que el forro metálico es el más adecuado, porque mejora el radio de reducción en la molienda
5. Al bajar la velocidad al molino 8x10(3) bajo ligeramente el amperaje de consumo (5-10 Amp) pese que subió el tonelaje de tratamiento
6. Como conclusión final al bajar de velocidad al molino 8x10(3) se logro incrementar el tonelaje de tratamiento en dicho molino, y mejorando el radio de reducción en ambos molinos, y sobre todo al molino 8x10(2) porque bajo el tonelaje de tratamiento

## **RECOMENDACIONES**

- 1) Continuar con muestreos periódicos para evaluar ambos molinos, pero manteniendo la proporción de carga al 50%, nivel de bolas y densidad de pulpa semejante
- 2) La densidad de pulpa en la descarga de los molinos debe ser 2100 a 2150 g/lt, para ello graduar el agua en el rebose (oversize) de las zarandas de alta frecuencia
- 3) El repartidor de carga (lengüeta) debe ser instalado a mayor distancia del cajón para permitir un reparto uniforme a ambos molinos tanto en granulometría y densidad

## BIBLIOGRAFIA

### FUENTES BIBLIOGRAFICA

- ✓ Wills B. A. (1987). Tecnología de Procesamiento de Minerales, México: Editorial Limusa.
- ✓ Álvarez Ramón. (1996). Trituración, Molienda y Clasificación, Fundación Gómez Prado, Universidad Politécnica de Madrid.
- ✓ Vargas, J. (2010). Evaluación de un circuito de molienda y clasificación. Tesis de Ingeniería en Minas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- ✓ I.B. Klymowsky, A.L.M. Rijkers (1996) The use of data from small-scale mills and computer simulation techniques for scale-up and design of SAG mill circuits. International Journal of mineral processing, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- ✓ Austin, G. L. Y Concha, A.F. (1994), Diseño y Simulación de Circuitos de Molienda y clasificación, España, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología.

### FUENTES ELECTRÓNICAS

- ✓ [http://www.elbrocal.pe/memoria\\_anual.html?fp\\_crit\\_contlist\[datefilter\]\[anho\]=2018](http://www.elbrocal.pe/memoria_anual.html?fp_crit_contlist[datefilter][anho]=2018)
- ✓ [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/797/1/castellares\\_tp.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/797/1/castellares_tp.pdf)
- ✓ <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2218/Cortez%20Rosario%20-%20Ninanya%20Ortiz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- ✓ <https://www.linkedin.com/pulse/clasificaci%C3%B3n-de-los-reactivos-flotaci%C3%B3n-autor-es-petrovskaya-ph-d/>
- ✓ <http://www.minmineria.gob.cl/glosario-minero-m/molienda/>

# **ANEXOS**



**MATRIZ DE CONSISTENCIA**  
**“REDUCCION DE LA VELOCIDAD CRITICA PARA MEJORAR EL RADIO DE REDUCCION EN MOLINOS 8X10 EN LA PLANTA**  
**CONCENTRADORA DE SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A., PASCO-2019”.**

FORMULACIÓN DEL PROBLEMAS	OBJETIVO	HIPOTESIS
<p><b><u>PROBLEMA GENERAL</u></b></p> <p>¿De qué manera influiría la 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?</p> <p><b><u>PROBLEMAS ESPECIFICOS</u></b></p> <p>i. ¿Cuál es la velocidad crítica para incrementar el tonelaje tratado en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019?</p> <p>b. ¿Cuál es la velocidad crítica para disminuir el radio de reducción en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019?</p> <p>c. ¿Cuál es el mejor radio de reducción en molinos 8x10 en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019?</p>	<p><b><u>OBJETIVO GENERAL</u></b></p> <p>Determinar la influencia de la reducción de la velocidad crítica para mejorar el radio de reducción en molinos 8 x 10 en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019.</p> <p><b><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u></b></p> <p>a. Identificar la velocidad crítica para incrementar el tonelaje tratado en la Planta Concentradora de Sociedad Minera EL Brocal S.A.A., Pasco-2019.</p> <p>b. Identificar la velocidad crítica para disminuir el radio de reducción en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019</p> <p>c. Medir el mejor radio de reducción en molinos 8x10 en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019</p>	<p><b><u>HIPÓTESIS GENERAL:</u></b></p> <p>Si realizamos la reducción de la velocidad crítica entonces mejoraremos el radio de reducción en molinos 8x10 en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019.</p> <p><b><u>HIPÓTESIS ESPECÍFICA:</u></b></p> <p>Si identificamos la velocidad crítica entonces incrementaremos el tonelaje tratado en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019</p> <p>Si hallamos la mejor la velocidad crítica entonces disminuirémos el radio de reducción en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019</p> <p>Si identificamos el mejor radio de reducción en molinos 8x10 entonces mejoraremos el producto de la molienda en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019</p>
<b>ORGANIZACIÓN DE LAS VARIABLES</b>		<b>METODOLOGÍA</b>
<b>VARIABLE</b>	<b>INDICADORES</b>	
	<b>ÍNDICES</b>	

<p><b><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VELOCIDAD CRITICA</li> </ul>	<p><b><u>Indicadores:</u></b></p> <p>Porcentaje de velocidad critica</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 0-30 malo</li> <li>✓ 30-70 bueno</li> <li>✓ 80-100 mejor</li> </ul>	<p><b><u>MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN</u></b></p> <p>La investigación utilizada es de tipo aplicada tecnológica, en el cual pondremos en practica la teoría que estipula que se debería tener el volteo de minerales con las bolas dentro del molino el de tipo cascada</p> <p><b><u>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u></b></p> <p>El diseño de la investigación es de tipo cuasi experimental.</p> <p><b><u>POBLACIÓN Y MUESTRA</u></b></p> <p><b><u>POBLACIÓN</u></b></p> <p>La población para la investigación será toda una gama de minerales tratados en la en la sección de molienda de la planta concentradora Huaraucaca de la Sociedad Minera el Brocal S.A.A. ubicado en Distrito de Tinyahuarco - Pasco</p> <p><b><u>MUESTRA</u></b></p> <p>El muestreo es aleatorio para extraer la muestra se utilizará muestreadores automáticos que toman la muestra cada 30 minutos, los cuales después deben ser cuarteados y homogenizados.</p>
<p><b><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• RADIO DE REDUCCION</li> </ul>	<p><b><u>Indicadores:</u></b></p> <p>Radio de reducción</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Menor a 1 malo</li> <li>✓ Igual a 1 bueno</li> <li>✓ Mayor a 1 mejor</li> </ul>	<p><b><u>MUESTRA</u></b></p> <p>El muestreo es aleatorio para extraer la muestra se utilizará muestreadores automáticos que toman la muestra cada 30 minutos, los cuales después deben ser cuarteados y homogenizados.</p>