



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA**  
**SALUD**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**  
**TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**TEMA:**

**“EVALUACION OPERACIONAL DE UN SISTEMA DE MOLIENDA MOLINO  
DE BOLAS HARDINGE PARA MANTENER LA EFICIENCIA Y LA  
CLASIFICACIÓN DEL MINERAL EN LA EMPRESA MINALTA S.A. DEL  
CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO EN EL AÑO 2014”**

**AUTOR:**

**FRANCISCO AGUSTÍN SALINAS YADAICELA**

**TUTOR:**

**DR. FREDIS PESANTEZ Mg. EF.**

**MACHALA – EL ORO – ECUADOR**

**2015**

## **CERTIFICACIÓN**

El presente trabajo de titulación, cuyo tema es: **“EVALUACIÓN OPERACIONAL DE UN SISTEMA DE MOLIENDA MOLINO DE BOLAS HARDINGE PARA MANTENER LA EFICIENCIA Y LA CLASIFICACIÓN DEL MINERAL EN LA EMPRESA MINALTA S.A. DEL CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO, 2014”**, realizado por el egresado de la Carrera de Ingeniería Química de la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, el Sr. Francisco Agustín Salinas Yadaicela, ha sido prolijamente dirigido y revisado por la que, el autor está autorizado a presentarlo previo a la obtención del título de Ingeniero Químico.

**Dr. Freddis Pesantez, Mg. EF.**  
**TUTOR**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORIA**

Yo Francisco Agustín Salinas Yadaicela, con cédula de ciudadanía. 0704194091, egresado de la Carrera de Ingeniería Química de la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud, de la Universidad Técnica de Machala, responsable del Presente Trabajo de Titulación titulado **“EVALUACION OPERACIONAL DE UN SISTEMA DE MOLIENDA MOLINO DE BOLAS HARDINGE PARA MANTENER LA EFICIENCIA Y LA CLASIFICACIÓN DEL MINERAL EN LA EMPRESA MINALTA S.A. DEL CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO EN EL AÑO 2014”**, Certifico que la responsabilidad de la investigación, resultados y conclusiones del presente trabajo pertenecen exclusivamente a mi autoría; una vez que ha sido aprobada por mi Tribunal de Sustentación autorizando su presentación. Deslindo a la Universidad Técnica de Machala de cualquier delito de plagio y cedo mis derechos de Autor a la Universidad Técnica de Machala para ella proceda a darle el uso que crea conveniente.

---

Francisco Agustín Salinas Yadaicela  
C.I. 0704194091

## **RESPONSABILIDAD**

Yo, Francisco Agustín Salinas Yadaicela, con C.I. 0704194991, egresado de la Carrera de Ingeniería Química de la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, autor del presente trabajo de titulación, cuyo tema es: **“EVALUACIÓN OPERACIONAL DE UN SISTEMA DE MOLIENDA MOLINO DE BOLAS HARDINGE PARA MANTENER LA EFICIENCIA Y LA CLASIFICACIÓN DEL MINERAL EN LA EMPRESA MINALTA S.A. DEL CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO.2014”**, expreso que las investigaciones, resultados y conclusiones expuestos en el presente trabajo de titulación es de mi completa responsabilidad.

---

**Francisco Agustín salinas Yadaicela**

**C.I. 0704194091**

**AUTOR**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo quiero compartirlo para las futuras generaciones que se avecinan en el campo de la minería, nuestro país esta es prosperidad de avances en esta índole a la metalurgia de extracción de minerales, través del sistema de molienda con los molinos de bolas, dejando en obsoleto en la extracción de mineral en forma artesanal ya conocidos.

Aquí dejo un breve estudio acerca de este sistema como aporte dando factibilidad en el proceso de extracción de minerales, sobre todo en la extracción del mineral, ya que nuestro País cuenta con yacimientos ricos en dicho mineral, en los cuales se le está sacando frutos beneficiosos y sobretodo dando mayor oportunidad a profesionales jóvenes y procreando fuentes de trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco sobre todo a mis padres que siempre me dieron su apoyo sin declinación alguna, que me empujaron arduamente para cumplir mi objetivo sobre todo a mi padre Francisco Agustín Salinas (+), eh aquí padre mío...! que dejo plasmo en este estudio las ganas y dedicación, que tú siempre me inculcaste, aunque siempre quisiste arduamente mi progreso, no tuviste la oportunidad de ver ese tan anhelado proceso de vida, que con tu arduo esmero querías tallar en mí, pero sé que desde el cielo te sentirás orgulloso de tu vástago.

Agradezco también a mi madre que a pesar de todo nunca perdió la fe en mí, que mediante su trabajo y afán me dio la facilidad para poder forjarme en la vida, madre este fuerza es debido también a ti, aunque te saque lágrimas y etapas de enojo pero eh aquí te dejo un manojito de felicidad y prosperidad.

Agradezco a mi familia que a pesar de todo me ayudaron moralmente para conseguir este gran objetivo.

Agradezco también cada uno de mis amigos que fueron compañeros de estudios, que el trayecto de mi esfuerzo fueron apareciendo como mis grandes profesores y jefes a la vez, sembrando en mí valores útiles para el diario convivir, lo cual me ha permitido culminar uno de mis más grandes anhelos, ya que recién comienzo en una nueva etapa de vida forjada por dedicación y estudios, gracias a todos.

# ÍNDICE

CERTIFICACIÓN .....	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORIA .....	ii
RESPONSABILIDAD.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
JUSTIFICACIÓN .....	2
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	3
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. MOLINOS.....	4
1.1.1. Molino de Bolas Tipo Hardinge .....	4
1.1.1.1. <i>Diagrama de Flujo de un Molino Bolas Tipo “Hardinge”</i> .....	5
1.2. PARTES PRINCIPALES DE UN MOLINO .....	6
1.2.1. Trunión de alimentación .....	6
1.2.2. Chumaceras.....	6
1.2.3. Piñón y catalina.....	6
1.2.4. Cuerpo o Casco del Molino o Shell .....	6
1.2.5. Tapas.....	7
1.2.6. Forros o Chaquetas .....	7
1.2.7. Trunión de descarga.....	7
1.2.8. Cucharón de alimentación .....	7
1.2.9. Trommel.....	7
1.2.10. Ventana de Inspección .....	7

1.2.11.	Rejillas de los Molinos .....	8
1.2.12.	Cuerpos Trituradores .....	8
1.3.	CARACTERÍSTICAS DEL MOLINO DE BOLAS .....	9
1.4.	FUNCIONAMIENTO.....	10
1.4.1.	Parámetros de Funcionamiento.....	12
1.4.1.1.	<i>Velocidad Crítica</i> .....	12
1.4.1.2.	<i>Determinación de la Velocidad Crítica (VC)</i> .....	13
1.4.1.3.	<i>Determinación de la Velocidad de Operación (VO)</i> .....	14
1.4.1.4.	<i>Relaciones Entre los Elementos Variables.</i> .....	14
1.4.1.5.	<i>Tamaño Máximo de los Elementos Moledores</i> .....	14
1.4.2.6.	<i>Volumen de Llenado o Carga del Molino.</i> .....	15
1.4.2.7.	<i>Descarga de un Molino</i> .....	17
1.4.2.8	<i>Potencia</i> .....	18
1.4.2.8.1	<i>Calculo del Workindex</i> .....	18
1.4.2.8.2	<i>Cálculo de Potencia en el Motor.</i> .....	19
1.4.2.8.3.	<i>Cálculo Relación de Transmisión por Banda.</i> .....	20
1.4.2.9	Tipos de Molienda: Molienda Húmeda y Molienda Seca .....	22
1.5.	FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE MOLIENDA. ....	23
1.5.1.	Incidencia por el Exceso de Agua en el Molino .....	23
1.5.2.	Incidencia por la Falta de Agua en el Molino.....	24
1.5.3.	Variables que Determinan la Frecuencia de Carga de los Agentes Moledores Tiempo de Operación de la Molienda .....	24
1.5.4.	Causas de la Sobre Carga en el Molino .....	24
1.5.5.	La Densidad Muy Baja en la Descarga del Molino .....	24
1.5.6.	Las Pérdidas de Tonelaje en el Molino son Ocasionadas .....	25
1.6.	MECANISMOS DE MOLIENDA .....	25
1.7.	CIRCUITOS DE MOLIENDA.....	26

1.7.1.	Descripción del Molino por Parada. ....	26
1.7.2.	Descripción del Molino Circuito Cerrado (Recirculación).....	27
1.7.3.	Descripción Tecnológica y Funcionamiento de un Molino de Bolas Cilíndrico de una Cámara .....	29
1.8.	LINEAMIENTOS GENERALES DEL COSTO DE PRODUCCIÓN. ....	31
1.8.1.	Capacidad de Producción.....	31
1.8.2	Revestimiento Interno de un Molino de Bolas .....	32
1.9.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN MOLINO DE BOLAS .....	33
1.9.1	Mantenimiento Correctivo y Proactivo.....	34
1.9.2	Mantenimiento Correctivo .....	34
1.9.3	Mantenimiento Proactivo.....	34
1.9.4.	Mantenimiento Preventivo.....	35
1.9.5	Mantenimiento Predictivo.....	36
2.	METODOLOGÍA.....	39
2.1.	LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN: EMPRESA MINALTA S.A. ....	39
2.1.1	Recolección y Preparación de Muestra.....	39
2.2	MÉTODOS .....	40
2.2.1	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	40
2.2.2	Análisis Directo Dependiente de Producción del Molino .....	40
2.2.3	Grado de Molienda. ....	41
2.2.4	Tiempo de Molienda .....	42
2.3	TIPO DE ESTUDIO : CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA ...	42
2.3.1	Grado de Quebrado .....	42
2.3.2	Determinación de Densidad de Materia Prima .....	43
2.4.	MATERIALES .....	43
3.	RESULTADO Y DISCUSIÓN .....	45

3.1.	CALCULOS PARA OBTENER LA DENSIDAD DE LA MATERIA PRIMA.....	45
	Porcentaje de Humedad de Material de Carga.....	46
3.1.1.	Cantidad de Materia Prima que Ingresa al Molino de Bolas .....	48
3.2.1.	Grado de Quebrado .....	48
3.2.2.	Determinación de Densidad del Material de Descarga.....	50
3.2.3.	Cantidad de Material de Descarga del Molino de Bola .....	51
3.3.	CARACTERÍSTICAS DEL MOLINO.....	53
3.3.1.	Control de Alimentación de Bolas al Molino. ....	54
3.4.	CONTROL DE OPERACIÓN DEL MOLINO. ....	55
3.4.1.	Tiempo de Operación del Molino.....	55
3.4.2.	Consumo de Energía del Molino .....	55
3.4.3.	Consumo de Agua en el Molino .....	56
3.5.	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRABAJO DEL MOLINO DE BOLAS.. .....	57
3.6.	INGENIERÍA DEL DETALLE.....	62
3.6.1.	Avistamiento Lateral Derecho del Molino “ HARDINGER” .....	62
3.7.	BALANCE DE MATERIA .....	64
3.8.	DIAGRAMA DE FLUJO .....	66
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	68
4.1.	CONCLUSIONES .....	68
4.2.	RECOMENDACIONES .....	69
5.	BIBLIOGRAFÍA .....	70
	ANEXOS .....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Págs.

Figura 1. Molino de bolas Tipo Hardinge.....	5
Figura 2. Bolas de acero utilizadas en el molino de bolas .....	9
Figura 3. Capacidad de carga moledora.....	16
Figura 4. Diagrama de flujo del molino por parada.....	27
Figura 5. Diagrama de flujo del molino circuito cerrado (recirculación).....	27
Figura 6. Plan de Mantenimiento Mensual .....	36
Figura 7. Plan de mantenimiento anual .....	37
Figura 8. Densidad materia prima.....	45
Figura 9. Transporte de material en la banda (entrada) .....	48
Figura 10. Transporte de material en la descarga (agua + decantado) .....	52
Figura 11. Agua total de descarga .....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Págs.

Tabla 1. Desgastes de bolas y revestimiento en un molino de bolas en minería. ....	33
Tabla 2. Rendimiento de trabajo y diseño .....	40
Tabla 3. Porcentaje de Humedad .....	46
Tabla 4. Dimensiones del molino .....	60

## ÍNDICE DE CUADROS

Págs.

Cuadro 1. Tamización (muestra referencial 100 gr, y se hizo pasar el tamiz 200 $\mu$ m) ..	41
Cuadro 2. Descarga de mena (500 gramos de muestra) .....	42
Cuadro 3. Densidad de la pulpa, caudal de la pulpa y agua .....	47
Cuadro 4. Densidad específica del material de descarga.....	51
Cuadro 5. Características físicas del molino de bolas .....	53
Cuadro 6. Carga de bolas de molino capacidad de producción 40 toneladas al día ....	54
Cuadro 7. Fuerza de fricción de molienda.....	59
Cuadro 8. Calculo de Velocidad del Molino de Bolas. ....	61
Cuadro 9. Características longitudinales del molino .....	62
Cuadro 10. Costo de Operación del sistema de molienda .....	67

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Págs.**

Anexo 1 Faja transportadora de entrada de material hacia el molino donde se tomó la muestra de alimentación. ....	74.
Anexo 2. Avistamiento de una bola de acero de 2 pulgadas. ....	74
Anexo 3 Juego de bola de acero de 4 pulgadas, 1 1/2 pulgada y de 1 pulgada.. ....	74
Anexo 4. Medición de una bola de acero con “el calibrador Vernier” .....	75
Anexo 5. Lectura de una bola de acero con “el calibrador vernier” dándonos una medición de 2 pulgadas .....	75
Anexo 6. Pesado de las muestras para efectuar la gravedad específica y el tamizado. ...	76
Anexo 7. Probeta con 80 ml de agua y 60 gr de materia prima pesada.....	76
Anexo 8. Colocando la muestra en la probeta agua para proceder a realizar su debida gravedad específica .....	77
Anexo 9. . Dejando la muestra en reposo para poder dar lectura a la gravedad específica del material .....	77
Anexo 10. Una vez pesada la muestra se procede a Colocar la muestra en el tamiz +200 gramos de mena.....	78
Anexo 11. . Tamizando la muestra, lo que queda en la parte superior del tamiz vendría hacer el producto +200, lo que pasa el tamiz vendría ser el producto -200.....	79
Anexo 12. Residuos de material en el tamiz como también en el recipiente de recepción del material fino comprobando el grado de molienda y eficiencia del molino.....	80

## LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

<b>VC</b>	Velocidad Crítica
<b>D</b>	Diámetro
<b>Rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>Ft</b>	Pies,
<b>VO</b>	Velocidad de Operación
<b>V</b>	Volumen
<b>h</b>	Altura
<b>w</b>	Peso
<b>Di</b>	Diámetro interno
<b>Li</b>	Longitud interno
<b><math>\rho_w</math></b>	Densidad aparente
<b>% <math>V_w</math></b>	Porcentaje de carga
<b><math>\mu\text{m}</math></b>	Micrones
<b>P</b>	Energía
<b>W</b>	Consumo de energía
<b>Volts</b>	Voltaje
<b>Amps</b>	Amperaje
<b><math>\sqrt{3}</math></b>	Factor de corrección del motor trifásico
<b><math>\text{Cos } \phi</math></b>	Factor de potencia
<b>T</b>	Tonelaje
<b>Tc</b>	Transmisión por cadena
<b><math>R_{TB}</math></b>	Relación de transmisión por banda
<b><math>R_{TC}</math></b>	Relación de transmisión por cadena
<b>Hp</b>	Caballos de Potencias
<b><math>M_{CH}</math></b>	Relación de transmisión por engranaje helecooidales.
<b><math>M_{CR}</math></b>	Relación de transmisión por engranaje recto.
<b>G</b>	Gravedad
<b>G.e</b>	Gravedad especifica
<b>M</b>	Masa
<b><math>r^2</math></b>	Radio al cuadrado

<b>D<sub>S</sub></b>	Diámetro Superior
<b>L<sub>S</sub></b>	Longitud Superior
<b>π</b>	Pi unidad adimensional
<b>m</b>	Metros
<b>Pug</b>	Pulgadas
<b>Tn/dia</b>	Toneladas por días
<b>Mm</b>	Milímetros
<b>Cm</b>	Centímetros
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>T/m<sup>3</sup></b>	toneladas métricas.
<b>J</b>	Joule
<b>U</b>	Coefficiente de fricción acero
<b>N</b>	fuerza normal
<b>W</b>	Watt
<b>Rad/s</b>	radianes sobre segundos
<b>T<sub>M</sub></b>	torque del motor
<b>ω</b>	Velocidad angular
<b>P<sub>MOTOR</sub></b>	Potencia del motor
<b>I</b>	Intensidad
<b>T</b>	Trabajo
<b>t</b>	Tiempo.

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la operacionalidad del molino de bolas tipo “HARDINGE”, el cual consta de Casco, Chaquetas o revestimiento, Rejillas, Cuerpos trituradores, Dispositivos de carga y descarga y el accionamiento o mando del molino, se diferencia del resto de molinos debido a su características; cilíndrica y cónica, esta máquina se la utiliza más en el proceso de remolienda debido a su eficacia al momento de moler. Estos molinos de bolas son más eficientes que los molinos de rueda debida que al momento de moler ocupa toda su dimensión cilíndrica, dando lugar a una efectiva en la remolienda y en la separación de oro capsulado en las menas. La diferencia de un molino de bolas tipo “HARDINGE “con otros tipos de molinos es su efectividad la cual es alrededor de 80 a 90 %. La evaluación del sistema de molienda se la realizo en función de los caudales de entrada y salida de mena y su flujo de recirculación, para lo cual se midió el caudal másico (Kg/min). Los resultados de la evaluación, nos dio que el sistema de molienda es de un 90 %. Se ha concluido que la eficiencia del sistema de molienda se ve afectado por la densidad del material a moler y la frecuencia con que se cargue las bolas.

***Palabras Clave:*** Hardinge, Eficiencia, Mena, Caudal, Densidad.

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to evaluate the operability of the ball mill type "HARDINGE" which consists of Casco, jackets or coating, Grids, grinding bodies, loading and unloading devices and drive or control the mill, differs from other mills because of its characteristics; cylindrical and conical, this machine uses in the process of regrind due to its effectiveness when grinding. These ball mills are more efficient than that due grinding mill when grinding cylindrical occupies its entire dimension, resulting in effective separation regrinding and capped in gold ores. The difference in a ball mill type "HARDINGE" with other types of mills is their effectiveness which is about 80 to 90%. The evaluation of the grinding system is performed based on the input and output flows of ore and recirculation flow, for which the mass flow rate (kg / min) was measured. The results of the evaluation gave the grinding system is 90%. It was concluded that the efficiency of the grinding system is affected by the density of the material to be ground and the frequency with which the balls are loaded.

**Keywords:** Hardinge, Efficiency, Mena, Flow, Density.

# INTRODUCCIÓN

La liberación de especies minerales, etapa previa a la concentración, es sin lugar a dudas el proceso unitario de mayor relevancia práctica en todo circuito de beneficio, por cuanto demanda la principal Inversión de Capital, incide fuertemente en los costos unitarios y determina en gran medida la rentabilidad de la operación (Chillce & Rojas, 2012).

Actualmente los proyectos de minería están relacionados con equipos rotatorios utilizados en la molienda de mineral. Estos equipos son de gran importancia en el proceso productivo y su monitoreo es un valor agregado al momento de detectar un mal funcionamiento.

El mal funcionamiento puede ser verificado mediante el rompimiento de la normalidad en su operatividad poniendo en riesgo la producción de la molienda.

Aprovechando el estudio de factibilidad en nuevas tecnologías, se presenta un sistema capaz de enviar datos desde el equipo rotatorio sin necesidad de fabricar un equipo adicional para encontrar la posición que indique a qué posición corresponde cada registro. Se trata de incorporar tecnología a la transmisión de datos aprovechando que existe una posibilidad, aunque de precisión relativa, por es útil para el registro de la posición en la que está ubicado el sensor de molienda.

## **JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo de investigación se enfoca en la descripción teórica de los principales componentes y partes del molino Hardinge que se usan frecuentemente en la industria minera, el estudio que se realizó permite el mejoramiento, la eficiencia y eficacia en el funcionamiento del molino antes indicado, que se utiliza para obtener el material de relave utilizado en la obtención del mineral a procesarse.

Además de mencionar el mantenimiento que se debe de realizar para preservar en óptimas condiciones el molino evitando pérdidas en la producción.

Esperando que este trabajo de investigación sirva como manual de consulta, para aplicar los conocimientos básicos de una forma clara y ordenada para la ayuda de futuras generaciones.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la operacionalidad de un sistema de molienda molino de bolas Hardinge para mantener la eficiencia y la clasificación del mineral en la empresa MINALTA S.A. del cantón Zaruma, provincia de El Oro en el año 2014”.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Realizar el control y seguimiento de la operatividad del molino Hardinge mediante la aplicación de tablas.
2. Evaluar la eficiencia productiva del molino de bolas.
3. Seleccionar la capacidad nominal del molino teniendo en cuenta todas las variables que intervienen en este proceso.
4. Determinar el costo de operación para optimizar los recursos del sistema de molienda.

# 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1. MOLINOS

Se llaman así a las máquinas en donde se produce la operación de molienda. Existen diversos tipos según sus distintas aplicaciones, los más importantes son:

- de Rulos y Muelas.
- de Discos.
- de Barras.
- de Bolas.
- de Rodillos.

Las de Rulos y Muelas consisten en una pista similar a un recipiente de tipo balde, y un par de ruedas (muelas) que ruedan por la pista aplastando al material.

En la antigüedad, para brindar la fuerza necesaria para hacer rodar las muelas por la pista se empleó la molienda manual o impulsada por animales. Más tarde este método fue reemplazado por el molino de viento, donde las aspas del mismo captan y transforman la energía eólica en energía mecánica. Por medio de un sistema de engranajes adecuado se genera el movimiento necesario para moler el grano. Así es como se obtenía en la antigüedad la harina a partir de cereales (Solari, 2012).

### 1.1.1. Molino de Bolas Tipo Hardinge

Los molinos de bolas Hardinge consisten en cámaras giratorias de acero, de forma cilíndrica o tronco cónicas, llenas hasta su mitad con bolas de hierro o acero, y, en ciertos casos, con guijarros. La reducción de tamaños se produce gracias a los choques que ocasionan estas bolas al caer, desde la altura a que son levantadas, por la rotación de la cámara. La longitud del cilindro suele ser igual al diámetro.

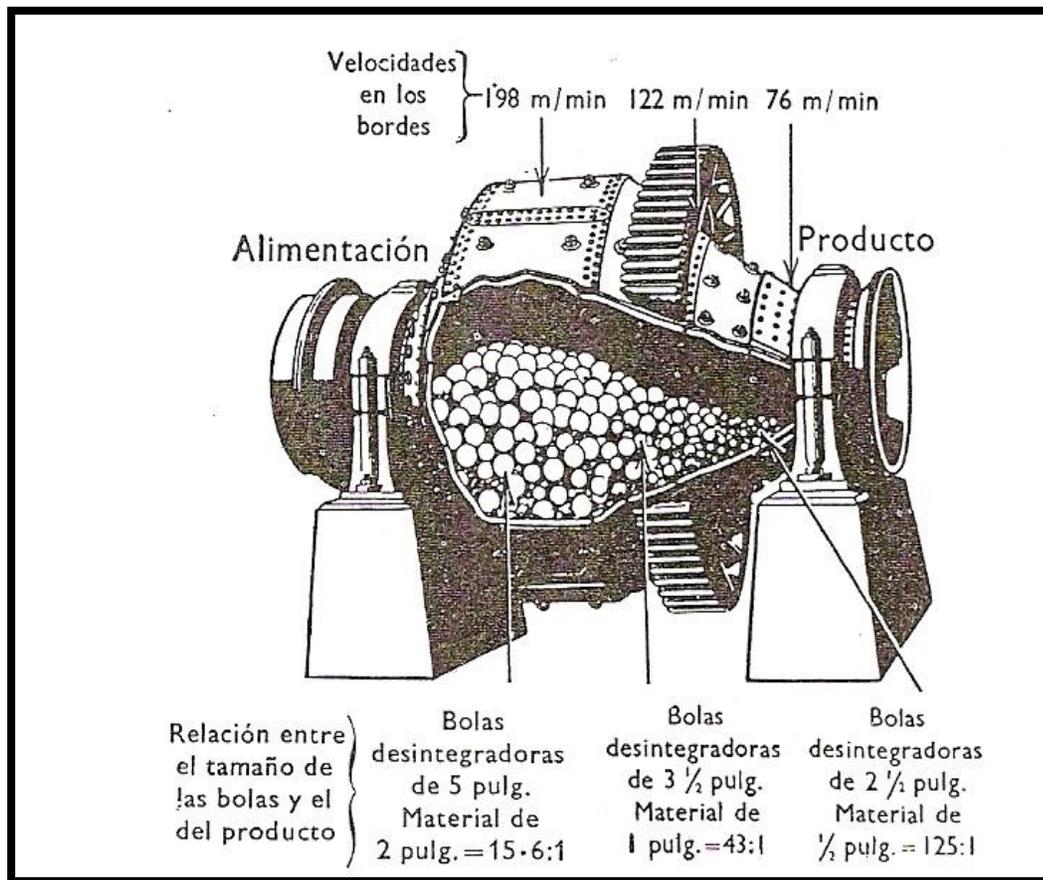
La mayoría de los molinos de bolas son aparatos de trabajo continuo; la alimentación llega por un extremo y la descarga se efectúa por el extremo opuesto o por la periferia. Estos molinos pueden operar en seco o en húmedo.

En los molinos de bolas cilíndricos, el producto puede descargarse por rebose por uno de los cojinetes, que es hueco. Las partículas más pequeñas se suspenden y arrastran por el fluido circulante, que puede ser aire o agua (Romero, Sánchez, Santana, & Vázquez, 2010).

Tipos de molinos de bolas: molino de Hardinge, rejilla y compound.

**1.1.1.1. Diagrama de Flujo de un Molino Bolas Tipo “Hardinge”**

**Figura 1.** Molino de bolas Tipo Hardinge



**Fuente:** (Romero, Sánchez, Santana, & Vázquez, 2010).

## **1.2. PARTES PRINCIPALES DE UN MOLINO**

Las piezas fundamentales de un molino son: Casco, Chaquetas o revestimiento, Rejillas, Cuerpos trituradores, Dispositivos de carga y descarga y el accionamiento o mando del molino (Rodríguez, 2012).

### **1.2.1. Trunión de alimentación**

(O muñón de entrada), es el conducto para la entrada de carga impulsada por la cuchara de alimentación

### **1.2.2. Chumaceras**

Se comporta como soporte del molino y la vez la base sobre la que gira el molino.

### **1.2.3. Piñón y catalina**

Son los engranajes que sirven como mecanismo de transmisión de movimiento. El motor del molino acciona un contra-eje al que esta adosado el piñón, este es encargado de accionar la catalina la que proporciona movimiento al molino, dicha catalina es de acero fundido con dientes fresados (Hualan, Nuñez, & Rojas, 2013).

### **1.2.4. Cuerpo o Casco del Molino o Shell**

El casco del molino está diseñado para soportar impactos y carga pesada, es la parte más grande de un molino y está construido de placas de acero forjadas y soldadas.

Tiene perforaciones para sacar los pernos que sostienen el revestimiento o forros. Para conectar las cabezas de los muñones tiene grandes flanges de acero generalmente soldados a los extremos de las placas del casco. En el casco se abren aperturas con tapas llamadas manholes para poder realizar la carga y descarga de las bolas, inspección de las chaquetas y para el reemplazo de las chaquetas y de las rejillas de los molinos. El casco de los molinos está instalado sobre dos chumaceras o dos cojinetes macizos esféricos (Rodríguez, 2012).

### **1.2.5. Tapas**

Soportan los cascos y están unidos al trunnión

### **1.2.6. Forros o Chaquetas**

Sirven de protección del casco del molino, resiste al impacto de las bolas así como de la misma carga, los pernos que los sostienen son de acero de alta resistencia a la tracción forjados para formarle una cabeza cuadrada o hexagonal, rectangular u oval y encajan convenientemente en las cavidades de las placas de forro (Romero, Sánchez, Santana, & Vàsquez, 2010).

### **1.2.7. Trunnión de Descarga**

Es el conducto de descarga del mineral en pulpa, por esta parte se alimenta las bolas, sobre la marcha.

### **1.2.8. Cucharón de Alimentación**

O scoopfreeders que normalmente forma parte del muñón de entrada del molino

### **1.2.9. Trommel**

Desempeña un trabajo de retención de bolas especialmente de aquellos que por excesivo trabajo han sufrido demasiado desgaste. De igual modo sucede con el mineral o rocas muy duras que no pueden ser molidos completamente, por tener una granulometría considerable quedan retenidas en el trommel. De esta forma se impiden que tanto bolas como partículas minerales muy gruesas ingresen al clasificador o bombas (Romero, Sanchez, Santana, & Vasquez, 2010).

### **1.2.10. Ventana de Inspección**

Está instalada en el cuerpo del molino, tiene una dimensión suficiente como para permitir el ingreso de una persona, por ella ingresa el personal a efectuar cualquier reparación en el interior del molino.

Sirve para cargar bolas nuevas (carga completa) así como para descargarlas para inspeccionar las condiciones en las que se encuentra las bolas y blindajes.

- las chumaceras del contra eje
- el contra eje
- las poleas
- reductor de velocidad
- el acoplamiento
- el motor eléctrico

#### **1.2.11. Rejillas de los Molinos**

En los molinos se instalan unas rejillas destinadas a retener los cuerpos trituradores y los trozos de mineral grueso, durante el traslado del mineral molido a los dispositivos de descarga.

Para dejar el mineral molido, el muñón de descarga, está separado del espacio de trabajo por parillas dispuestas radialmente con aberturas que se ensanchan hacia la salida. El mineral molido pasa por las parillas, es recogido por las nervaduras, dispuestas radialmente y se vierte fuera del molino por el muñón de descarga. Las parillas y las nervaduras se reemplazan fácilmente cuando se desgastan (Rodas, 2012).

#### **1.2.12. Cuerpos Trituradores**

Los cuerpos trituradores van a ser utilizados en los molinos cuya acción de rotación transmite a la carga de cuerpos moledores fuerzas de tal naturaleza que estos se desgastan por abrasión, impacto y en ciertas aplicaciones metalurgistas por corrosión.

Mientras sea el cuerpo moledor, más resistente a la abrasión va a ser para los trabajadores de abrasión tenemos una gran dureza, pero dentro de un molino tenemos moliendo por impacto, se desea que el producto sea lo más tenaz posible (Rodríguez, 2012).

**Figura 2.** Bolas de acero utilizadas en el molino de bolas



**Fuente:** (Rodríguez, 2012).

### **1.3. CARACTERÍSTICAS DEL MOLINO DE BOLAS**

La clasificación es la operación en la que se produce la separación de un sistema particulado, de una cierta distribución granulométrica, en dos fracciones, una con una distribución en la que prevalecen los tamaños mayores y en otra los tamaños menores (Contreras, 2006).

Esta operación es de amplio uso industrial y su objetivo principal es manipular las distribuciones de tamaños de los flujos en una planta con el fin de optimizar el comportamiento de otras operaciones. En este trabajo de investigación veremos la clasificación en seco y húmedo, el harneado, los equipos de clasificación y las variables que afectan la clasificación.

El principio empleado en la clasificación para producir la separación, depende de la magnitud de los tamaños de las partículas que componen el sistema (Balza, 2012).

Cuando se trata de tamaños gruesos la separación se produce por el impedimento físico de una superficie provista de aberturas, la que retiene sobre ella aquellas partículas con tamaños mayores que su abertura; en este caso la operación se denomina “Harneado”.

Cuando los tamaños de la distribución son relativamente pequeños, la separación se realiza haciendo uso de principios hidrodinámicos (sedimentación) y la operación recibe el nombre de “clasificación” (Pavez, 1996).

No existe un tamaño de partícula que representa una frontera entre la aplicación de estos dos principios, sino que más bien ésta queda definida principalmente por la eficiencia de los equipos, la magnitud y la naturaleza de la operación.

Existe una gran variedad de propósitos que justifican una separación por tamaños, en la industria minera, los principales son:

- Prevenir la entrada de finos a las etapas de reducción de tamaño, así se evita la entrada de finos a las etapas de reducción de tamaño, se evita la formación de lamas y se aumenta la capacidad y eficiencia del proceso.
- Prevenir que los gruesos pasen a la siguiente etapa, en circuito cerrado en operaciones de reducción de tamaño.
- Preparar un material de rango de tamaño más estrecho para aumentar la eficiencia de otras operaciones en el procesamiento de minerales: Flotación, concentración gravitacional, etc.

#### **1.4. FUNCIONAMIENTO**

El molino de bolas funciona entre 35% a 45% de nivel de llenado. Su medio de molienda está constituido por bolas de acero forjado, y generalmente opera en circuito cerrado con un clasificador (Armendáriz, Hernández, Laurel, Sánchez, & Pérez, 2011).

Su principal característica es que permite pulverizar material más fino que otros tipos de molino. Esto es debido a que las bolas presentan más superficie de contacto con el mineral lo que permite alcanzar con mayor facilidad partículas más finas.

Para molienda primaria se emplean bolas de 50mm a 100mm y para molienda secundaria bolas de 20 mm a 50 mm.

Para hacer funcionar el molino de bolas buenas, que deberá respetar estrictamente los procedimientos de operación y mantenimiento. Antes de iniciar el molino de bolas, comprobar si el perno de conexión, los engranajes, los acoplamientos se apriete;

Compruebe si el aceite del depósito de aceite y reductor es en la adecuación, y si el dispositivo de lubricación y la instrumentación tiene problemas. Determina el flujo de la tubería. Compruebe si hay mineral para evitar que el molino de bolas de funcionamiento de la máquina. Compruebe la corona y piñón de la caja de engranajes, con o sin ruido anormal (Shcrushervip, 2012).

El encendido de la máquina el orden es: En primer lugar iniciar el molino de bolas bomba de aceite. Cuando el alcance de la presión del aceite  $1.5 \sim 2.0 \text{ kg / cm}^2$ , se le permite iniciar el molino de bolas, y luego arrancar la máquina de clasificación. Todos están funcionando correctamente, a continuación, comenzar a moler.

En la operación, siempre debemos prestar atención a la temperatura del rodamiento. La temperatura no superará el  $50 \sim 65 \text{ }^\circ\text{C}$ . Además, siempre prestar atención a los motores, tensión, corriente, temperatura, sonido, etc., y prestar atención a los sistemas de lubricación. La temperatura del depósito de aceite no excederá de  $35 \sim 40 \text{ }^\circ\text{C}$ , la presión a la tubería debe mantenerse en  $1,5 \sim 2,0 \text{ kg / cm}^2$  (Pargadgo, 2013).

Verifique la lubricación de componentes de transmisión, tales como engranajes, cojinetes principales, reductor de maquinaria de clasificación. Constantemente prestar atención al cambio de la naturaleza del mineral, y para tomar las medidas apropiadas de manera oportuna, dadas las circunstancias.

Cuando se interrumpe el molino de bolas, primera parada de la máquina de alimentación, y luego se detiene la máquina de molino de bolas hasta que el mineral ha sido tratado. La última es la bomba.

Con aparatos de clasificación de la máquina de elevación de tornillo para aumentar la superficie de arena, y luego se detiene la máquina de clasificación (Mager & McCann, 2010).

### **1.4.1. Parámetros de Funcionamiento**

Existe una serie de elementos importantes que influyen en la molienda de los materiales.

Estos son (Basurto, 2011):

- Velocidad Crítica.
- Relaciones entre los elementos variables de los molinos.
- Tamaño máximo de los elementos moledores.
- Volumen de llenado o carga de un molino
- Descarga de un molino.
- Potencia.
- Tipos de Molienda: húmeda y seca.

#### ***1.4.1.1. Velocidad Crítica***

La velocidad crítica para un molino y sus elementos moledores es aquella que hace que la fuerza centrífuga que actúa sobre los elementos moledores, equilibre el peso de los mismos en cada instante. Cuando esto ocurre, los elementos moledores quedan “**pegados**” a las paredes internas del molino y no ejercen la fuerza de rozamiento necesaria sobre el material para producir la molienda. El molino, entonces, deberá trabajar a velocidades inferiores a la crítica (Fortuna, 214).

### ***1.4.1.2.Determinación de la Velocidad Crítica (VC)***

En un molino a una velocidad angular baja, los medios de molienda, se elevan a una cierta altura, junto con el tambor, y luego resbalan o ruedan hacia abajo. Al aumentar la velocidad de rotación a partir de una velocidad llamada crítica, las bolas bajo el efecto de una fuerza centrífuga se adhieren a las paredes internas del molino y giran junto con él sin realizar ningún trabajo de molienda (De la cruz, 2010).

La velocidad crítica se calcula con la siguiente expresión:

$$V_c = 76,8 / \sqrt{D}$$

**Dónde:**

**V<sub>c</sub>** = Velocidad crítica en RPM

**D** = Diámetro entre revestimientos en ft

**Ejemplo:**

Calcular la velocidad crítica del molino de bolas 7' x 6'

**Solución:**

$$V_c = 76,8 / \sqrt{D}$$

Reemplazando en la relación

$$V_c = 76,8 / \sqrt{7} = 76,8 / 2,646 = 29,02 \text{ RPM}$$

### **1.4.1.3. Determinación de la Velocidad de Operación (VO)**

La velocidad de operación se determina en función de la velocidad crítica.

Para molino de bolas:  $V_o = 70 - 85$  % de la  $V_c$

Para molino de barras:  $V_o = 60 - 75$  % de la  $V_c$

Para molino ò Gena:  $V_o = 75 - 95$  % de la  $V_c$

### **1.4.1.4. Relaciones Entre los Elementos Variables**

El diámetro del molino, su velocidad, y el diámetro de los elementos moledores son los elementos variables del proceso. Teniendo en cuenta que en la molienda se emplean elementos moledores de distintos tamaños, las relaciones entre los elementos variables son (Alcantara, 2008):

- A mayor diámetro de bolas, mayor es la rotura de partículas grandes (percusión).
- A menor diámetro de bolas, mayor es la molienda de partículas pequeñas por una mayor superficie de los elementos moledores (fricción).
- A mayor diámetro de bolas, mejora la molienda de material duro (percusión).
- Para igual molienda, a mayor diámetro del molino o mayor velocidad, menor el diámetro necesario de bolas.

### **1.4.1.5. Tamaño Máximo de los Elementos Moledores**

En los molinos de barras y bolas, los elementos moledores no son todos los elementos moledores del mismo tamaño, sino que a partir de un diámetro máximo se hace una distribución de los elementos moledores pero en tamaños inferiores. El tamaño máximo de los elementos moledores, se obtiene de la distribución porcentual y los respectivos diámetros de los componentes para efectuar una debida molienda (Rodriguez, 2012).

#### ***1.4.2.6. Volumen de Llenado o Carga del Molino.***

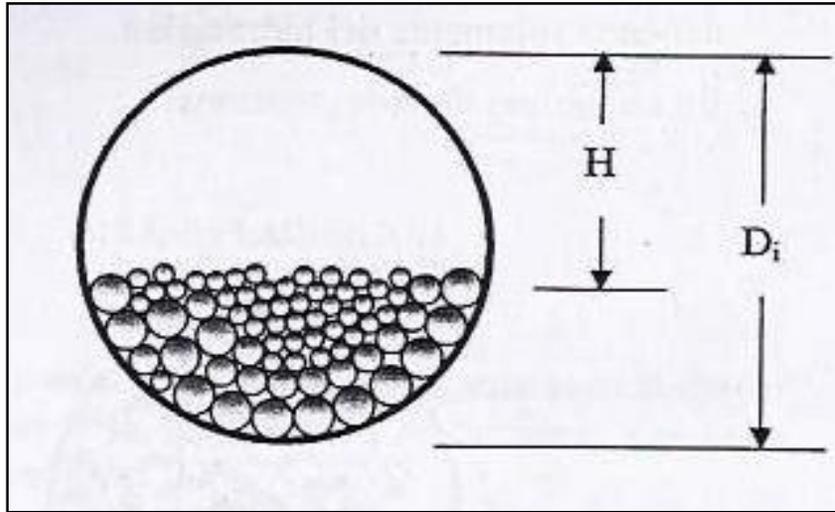
El volumen o nivel de la carga de bolas está relacionado con la dureza del mineral y tonelaje de alimentación que puede tratar el molino para un mismo grado de molienda. Por ejemplo, un aumento del tonelaje a tratar involucra un menor tiempo de residencia, lo que se compensa con una mayor carga de bolas, a fin de aumentar la probabilidad de contacto entre bolas y mineral. Lo mismo sucede frente a un mineral que presenta una mayor dureza (Austin & Concha, 1994).

La carga de bolas se expresa usualmente como un porcentaje del volumen del molino que es ocupado por las bolas. El cálculo de la fracción o nivel de llenado para un molino en forma cilíndrica puede hacerse una vez que se conoce la altura desde la superficie de la carga hasta el tope del molino. Denominamos  $h$  a esa altura y  $D$  al diámetro interno del molino, tal como lo muestra la figura:

El porcentaje de carga moledora (a usar en un molino) depende de la dureza del mineral y el tonelaje a procesar, este porcentaje varía entre 35 % a 45 % del volumen interno del molino sin embargo para molinos Batch es 30% como máximo, el porcentaje de carga moledora incluye el espacio vacío que hay entre las bolas o barras y se calcula con la siguiente fórmula empírica (Vargas, 2010).

$$\% V_w = 113 - 126 * \frac{H}{D_i}$$

**Figura 3.** Capacidad de carga moledora



**Fuente:** (Vargas, 2010).

**Seguin taggart:**

$$W = 80 * D_i^2 * L_i$$

**Donde**

**W** = peso de la carga moledora (libras)

**Di** = diámetro interno del molino (pies)

**Li** = Longitud interno del molino (pies)

La fórmula de taggart es válida para 35 % de  $V_w$  y 280 lb/pie<sup>3</sup> de densidad aparente de carga moledora (bolas o barras) para otros valores de %  $v_w$  y  $\rho_w$  aplicar una regla de tres simple

Según bond:

$$W = \frac{D_i^2 * L_i \% V_w * P_w}{2.688}$$

**Dónde:**

**W** = peso de la carga moledora (TM)

**D<sub>i</sub>** = diámetro interno del molino (pies)

**L<sub>i</sub>** = longitud interno del molino (pies)

**ρ<sub>w</sub>** = densidad aparente de carga moledora (Lb/pie<sup>3</sup>)

% **V<sub>w</sub>** = porcentaje de carga moledora

***1.4.2.7. Descarga de un Molino***

Es una operación de amplio uso industrial, presentando una gran variedad de equipos. Se realiza normalmente sobre materiales gruesos, perdiendo eficiencia rápidamente con la disminución del tamaño de la partícula.

En forma simple un harnero es una superficie con una multiplicidad de aberturas de una cierta dimensión. De tal forma que al pasar un sistema articulado sobre ella retendrá encima las partículas con tamaños mayores que la abertura, dejando pasar las de tamaño menor.

Estas superficies están constituidas por barras paralelas, placas perforadas o mallas de alambre.

Las superficies con aberturas pequeñas son por naturaleza más cara y de menor resistencia física, presentando además, en la operación, una alta tendencia a bloquearse con partículas retenidas. Esto hace que la operación de harneo se vea, en la práctica, restringida a materiales con tamaños mayores que 250 micrones. La placa perforada es también otro tipo de superficie de separación utilizada en la industria. Estas placas pueden ser, de acero con aberturas circulares o cuadradas y cada vez con mayor frecuencia de goma de poliuretano debido a su mayor resistencia al desgaste por abrasión e impacto, menor ruido y menor peso.

Existe evidencia experimental que indica una vida útil cinco veces superior de este tipo de superficies respecto de la malla de alambre (Diaz, 2013).

#### **1.4.2.8 Potencia**

La potencia máxima se desarrolla cuando el volumen de carga es del 50% aproximadamente, sin embargo, generalmente se trabaja entre un 30% y un 40% ya que como la curva es bastante plana, la potencia entregada es similar a la del 50%. N 30 40 50 V (%).

##### **1.4.2.8.1 Calculo del Workindex**

Para el cálculo del consumo de energía se emplea las siguientes relaciones

$$P = \frac{\text{Volts} * \text{Amps} * \sqrt{3} * \cos\Phi}{1000}$$

$$W = \frac{P}{T}$$

**Dónde:**

**P** : Energía realmente suministrada en kw

**W** : Consumo de energía (Kw-hr/TC)

**Voltios** : Voltaje suministrado al motor. (Se toma de la placa en voltios)

**Amperios:** Amperaje realmente suministrado al motor; se determina midiendo el amperaje de las tres líneas y se promedia

$\sqrt{3}$  : Factor de corrección en estrella del motor trifásico. 3

**cos  $\phi$**  : Factor de potencia  $\cos\phi$

**1000** : Factor de conversión de watts a Kw

**T** : Tonelaje de mineral alimentado en (TC/Hr). Tonelaje horario procesado.

Usando las relaciones anteriores calcular la energía consumida para triturar 400 TC de mineral por día, si el motor de la trituradora trabaja con 440 voltios y el amperaje determinado experimentalmente es 228 amperios.

Considerar el factor de potencia en 0,75.

#### **1.4.2.8.2 Cálculo de Potencia en el Motor.**

Con los datos de operación de maquinaria y teniendo en cuenta las eficiencias de los componentes mecánicos presentes en los ejes, determinamos la potencia en el eje S1 o eje central (Shames, 1995).

$$n_{\text{banda}} = 95 \%$$

$$n_{\text{engranajes helicoidales}} = 97\%$$

$$n_{\text{engranajes rectos}} = 97\%$$

$$n_{\text{cadena}} = 96 \%$$

$$P_{s1} = \frac{\text{Potencia}_{\text{maq N}^\circ 1}}{\text{Perdidas de eje}_{s3}} + \frac{\text{potencia}_{\text{maq N}^\circ 2}}{\text{Perdida eje}_{s2}}$$

**Dónde:**

$$P_{s1} = \text{Potencia eje}_{s1}$$

$$\text{Potencia}_{\text{maq N}^\circ 1} = 15 \text{ Hp}$$

$$\text{Potencia}_{\text{maq N}^\circ 2} = 10 \text{ Hp}$$

$$\text{Perdida ejes}_{s3} = 1 - \text{Perdida}_{\text{cadena}} - \text{Perdidas}_{\text{engranajes helicoidal}}$$

$$\text{Perdida eje}_{s3} = 1 - 0.04 - 0.03$$

$$\text{Perdida eje } s_3 = 0.93$$

$$\text{Perdida eje } s_2 = 1 - \text{Perdidas engranajes rectos}$$

$$\text{Perdidas eje } s_2 = 1 - 0.03$$

$$\text{Perdidas eje } s_2 = 0.97$$

$$P_{s1} = \frac{\text{Potencia}_{\text{maq N}^\circ 1}}{\text{Perdidas de eje } s_3} + \frac{\text{potencia}_{\text{maq N}^\circ 2}}{\text{Perdida eje } s_2}$$

$$P_{s1} = \frac{15 \text{ Hp}}{0.93} + \frac{10 \text{ Hp}}{0.97}$$

$$P_{s1} = 26.4383061 \text{ Hp}$$

Por consiguiente la *potencia del motor* se determina de la siguiente manera:

$$P = \frac{P_{s1}}{n_{\text{banda}}}$$

$$P = \frac{26.4383061 \text{ Hp}}{0.95}$$

$$P = 23.83 \text{ Hp}$$

#### 1.4.2.8.3. Cálculo Relación de Transmisión por Banda.

A continuación se procede a determinar la relación de transmisión por banda, de la siguiente manera.

$$R_{\text{transmision eje } s_3} = \frac{\text{Rpm}_{\text{motor}}}{\text{Rpm}_{\text{maq N}^\circ 1}} = R_{\text{TB}} * R_{\text{TC}} * M_{\text{CH}}$$

$$R_{\text{transmision je } s_2} = \frac{\text{Rpm}_{\text{motor}}}{\text{Rpm}_{\text{maq N}^\circ 2}} = R_{\text{TB}} * M_{\text{CR}}$$

**Dónde:**

$R_{TB}$  = Relacion de transmision por banda (mm, cm, mts, pulg, pie).

$R_{TC}$  = Relacion de transmision por cadena (mm, cm, mts, pulg, pie).

$M_{CH}$  = Relacion de transmision por engranaje helecoidales (Rpm)

$M_{CR}$  = Relacion de transmision por engranajes rectos (Rpm).

**Suponiendo:**

$$R_{TC} = 3.0$$

$$M_{CH} = 2.5$$

$$R_{\text{transmision eje s3}} = \frac{Rpm_{\text{motor}}}{Rpm_{\text{maq N}^{\circ}1}} = R_{TB} * R_{TC} * M_{CH}$$

$$\frac{1150 \text{ Rpm}}{100 \text{ Rpm}} = R_{TB} * 3.0 * 2.5$$

$$R_{TB} = 1.533333$$

$$R_{\text{transmision eje s2}} = \frac{Rpm_{\text{motor}}}{Rpm_{\text{maq N}^{\circ}2}} = R_{TB} * M_{CR}$$

$$\frac{1150 \text{ Rpm}}{300 \text{ Rpm}} = R_{TB} * M_{CR}$$

Remplazando el valor hallado anteriormente para la relación de transmisión por banda se obtiene el siguiente valor, para la relación de transmisión por engranajes rectos.

$$M_{CR} = \frac{\frac{1150 \text{ Rpm}}{300 \text{ Rpm}}}{1.533333}$$

$$M_{CR} = 2.5$$

Por consiguiente determinamos los Rpm de la polea inducida de la siguiente manera;

$$R_{TS} = \frac{Rpm_{\text{ Polea motriz}}}{Rpm_{\text{ Polea inducida}}}$$

$$Rpm_{\text{ Polea inducida}} = \frac{Rpm_{\text{ Polea motriz}}}{T_{TB}}$$

$$Rpm_{\text{ Polea inducida}} = \frac{1150 \text{ Rpm}}{1.53333}$$

$$Rpm_{\text{ Polea inducida}} = 750 \text{ Rpm}$$

La velocidad crítica es función de la inversa de la raíz cuadrada del diámetro del molino”.

#### 1.4.2.9 Tipos de Molienda: Molienda Húmeda y Molienda Seca

La molienda se puede hacer a materiales secos o a suspensiones de sólidos en líquido (agua), el cual sería el caso de la molienda Húmeda. Es habitual que la molienda sea **seca** en la fabricación del cemento Portland y que sea húmeda en la preparación de minerales para concentración.

En la molienda húmeda el material a moler es mojado en el líquido elevando su humedad, favoreciéndose así el manejo y transporte de pulpas, que podrá ser llevado a cabo por ejemplo con bombas en cañerías. En la molienda húmeda moderna, luego del proceso de desintegración, la clasificación de partículas se llevará a cabo en hidrociclones y si se desea concentrar el mineral se podrá hacer una flotación por espumas (Ecured, 2012).

El líquido, además, tiene un efecto refrigerante con los calores generados en el interior.

## **1.5. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE MOLIENDA.**

### **1.5.1. Incidencia por el Exceso de Agua en el Molino**

Un exceso de agua lavara las bolas y cuando se hace funcionar el molino no se obtiene una buena acción de molienda pues el mineral no está pegado a las bolas, haciendo una pulpa demasiado fluida que saca la carga de mineral demasiado rápida, no dando tiempo a moler disminuyendo el tiempo de molienda, dando como resultado una molienda excesivamente gruesa, consumo exagerado de bolas aumento de costo de producción y una baja eficiencia de molienda (Custodio, 2014).

El exceso de agua en la molienda da como resultado:

- Molienda gruesa
- Aumento de costo de producción
- Densidad baja
- Menor eficiencia del molino
- Bajo tonelaje del molino
- Excesivo consumo de bolas y chaquetas o revestimiento
- Paradas obligadas del molino por pernos flojos, rupturas de pernos, caída de chaquetas o revestimiento interiores del molino.
- Costo de molienda altos.

### **1.5.2. Incidencia por la Falta de Agua en el Molino**

La falta de agua en un molino, hace que la pulpa del mineral avanza lentamente y se hace cada vez más densa, las bolas no muelen, porque el barro se muele muy espeso alrededor de las bolas, impidiendo buenos golpes por que el barro amortigua todos los golpes (Ikep, 2013).

En estas condiciones de operación las bolas pueden salir junto con la pulpa de mineral.

La falta de agua en un molino ocasiona:

- molienda gruesa y mala
- paradas obligatorias del molino
- densidad elevada
- molienda deficiente por que el barro se pega a las bolas amortiguando los golpes
- perdidas de tonelaje en el molino.

### **1.5.3. Variables que Determinan la Frecuencia de Carga de los Agentes Molidores Tiempo de Operación de la Molienda**

- Tonelaje de mineral de trabajo
- Tamaño de la carga en la entrada del molino
- Malla deseada por la planta
- Dureza del mineral de alimentación

### **1.5.4. Causas de la Sobre Carga en el Molino**

- Falta de agua en un molino
- Mala regulación del tonelaje
- Sobrecargas
- Exceso de carga en el molino

### **1.5.5. La Densidad Muy Baja en la Descarga del Molino**

- Falta de agua en molino
- Tonelaje elevado en el molino
- Mala regulación de agua en molino

### **1.5.6. Las Pérdidas de Tonelaje en el Molino son Ocasionadas**

- Paradas innecesarias del molino
- Mal funcionamiento de las fajas de alimentación
- Fajas de alimentación descentradas
- Polines trabados en fajas de alimentación
- Swtchs electrónicos flojos en las fajas de alimentación

## **1.6. MECANISMOS DE MOLIENDA**

El mecanismo de molienda de los más corrientes, los que molían grano, con independencia de donde obtenían la energía, generalmente constaba de una piedra circular fija, llamada *solera*, que podía llegar a tener un diámetro superior a 8,50 metros y 80 a 120 cm de espesor, sobre la que se movía otra de forma semejante (*volandera*). En otros casos, la piedra móvil podía ser más pequeña, de forma troncocónica que al girar seguía la forma de la solera; en este caso se llama muela. Podía haber dos y hasta tres muelas sobre la solera y funcionaban mejor que la volandera porque tenía menos rozamiento (Koch, 1977).

En el caso de los molinos hidráulicos de Para mover la piedra móvil (volandera o muela), se utilizaba la energía eólica (molino de viento), la hidráulica (molino hidráulico), animales (molino de sangre) y, en molinos pequeños, la manual (un ejemplo doméstico de ellos son los *molinillos* de café, aunque actualmente son eléctricos en su mayoría).

El grano se vertía por un agujero central de la volandera y el polvo molido salía por los bordes, donde se recogía. Una vez molido el grano (de cualquier cereal) y reducido a harina, se utilizaba el cernedor. Era un cilindro con varias secciones de malla de cedazo, cada una con un tamaño de paso distinto, que se hacía girar mientras la harina pasaba por su interior, dejando pasar cada sección harina de mejor calidad (*harina de flor*) a peor (más fina a más gruesa) y finalmente el salvado, que es la cascarilla del grano molida.

Rodete horizontal, la calidad (grosor) de la harina se regulaba mediante un tornillo sin fin que levantaba o bajaba el eje de la rueda superior para aumentar o disminuir el rozamiento con la rueda inferior.

Un sistema de molienda más primitivo, usado en Europa desde el siglo XI, consistía en hacer lo mismo que con la mano del mortero sobre el almirez, machacando el grano para pulverizarlo, pero con martillos, que se movían con las mismas energías que los anteriores (aire o agua), pasando del movimiento rotativo al alternativo mediante un árbol de levas.

Este mecanismo también se usa en los batanes eficiente alimentación debido a continuos atoros en los chutes.

## **1.7. CIRCUITOS DE MOLIENDA.**

Históricamente, los procesos de concentración utilizados requerían menores necesidades de molienda en cuanto al grado de finura. Además los minerales tratados eran mucho más ricos que los actuales, por lo que los tamaños de liberación eran superiores.

Al escasear los minerales ricos fue necesario reducir el tamaño de las partículas obtenidas en la molienda, para luego realizar una concentración más significativa. De aquí surge la necesidad de realizar una molienda más fina, combinando la molienda con bolas con la de barras (circuito abierto).

Debido a los cambios de desarrollados en la recuperación de materiales preciosos, se utilizó el proceso de flotación, aquí se hizo imprescindible controlar el tamaño de molienda.

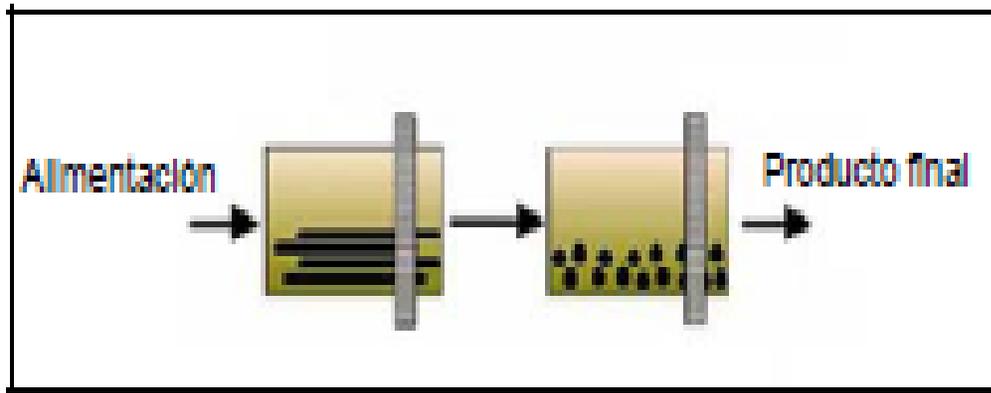
Así es como se incluye en el circuito anterior un clasificador que “fiscalizaba” el tamaño de partículas que se debía enviar finalmente a la etapa de concentración (circuito cerrado) (Romero, Flores, & Medina, 2009).

### **1.7.1. Descripción del Molino por Parada.**

Una maquina molino puede trabajar en circuito abierto o por parada con un clasificador cuando el rechazo de la criba (tamaños gruesos y no admisibles para la posterior concentración) no vuelve al molino.

Generalmente los circuitos abiertos funcionan de la siguiente manera: las partículas entregadas por un molino de barras ingresan directamente como alimentación a un molino de bolas, y la descarga de este último se envía a una etapa de concentración (Rodríguez, 2012).

**Figura 4.** Diagrama de flujo del molino por parada.



**Fuente:** (Rodríguez, 2012).

### 1.7.2. Descripción del Molino Circuito Cerrado (Recirculación)

En los circuitos cerrados, luego de la etapa de molienda se incluye un clasificador que rechaza tamaños gruesos y los hace retornar al molino. Así todo el producto final tendrá un tamaño igual o menor a un tamaño máximo requerido para la siguiente etapa. Se garantiza entonces una dimensión máxima del producto, aumentando la producción.

Como desventaja, para el circuito cerrado se supone una mayor inversión y costo de operación ya que se necesitan transportadores de cinta adicionales.

Los circuitos cerrados de molienda se utilizan para reducir el tamaño de las partículas de mena al tamaño requerido para su beneficio.

La mayoría de las menas sulfuradas se muelen en circuitos húmedos usando una o más etapas de molienda para obtener la liberación de los minerales necesarios para producir un

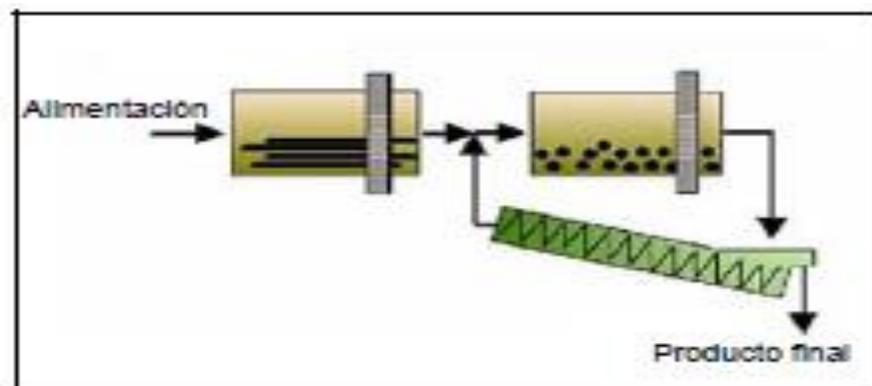
concentrado final que cumpla con los criterios deseados. Las ventajas de molienda húmeda son:

- Menor consumo de energía por tonelada de producto
- Mayor capacidad por unidad de volumen
- Posibilita el uso de harneado en húmedo o clasificación mecánica (centrifuga) para controlar bien el tamaño del producto.
- Elimina el problema de polvo (criterio ambiental)
- Hace posible el uso de métodos simples de manejo y transporte de pulpas tales como bombas, cañerías y canaletas.

Los hidrociclones son el equipo de clasificación usado en circuitos modernos de molienda húmeda.

Los circuitos cerrados a su vez se pueden clasificar según la ubicación de la criba en el mismo. En un circuito cerrado en pos cribado la criba se ubica después de la máquina de conminución, mientras que en un circuito en pre cribado, el clasificador se sitúa antes de la máquina eliminando los finos antes de la reducción de tamaño (Chillce & Rojas, 2012).

**Figura 5.** Diagrama de Flujo del Molino Circuito Cerrado (Recirculación)



**Fuente:** (Chillce & Rojas, 2012).

### **1.7.3. Descripción Tecnológica y Funcionamiento de un Molino de Bolas Cilíndrico de una Cámara**

Es un molino de acción periódica que está formado de un casco o Shell soldado eléctricamente, con anillos de acero fundido calzados en caliente o solados de entrada y salida sostenidos por cojines o chumaceras.

Para proteger al molino de un rápido desgaste, la carga interna del casco se reviste interiormente de placas o chaquetas de acero al manganeso o de otro mineral como Ni-Hard, cromo-molibdeno o de caucho, de acuerdo a las clases de mineral que se muele.

Este molino funciona girando sobre sus muñones de apoyo a una velocidad determinada para cada tamaño de molino.

En calidad de agente de molienda se usa bolas de acero de diferentes diámetros, de distinta dureza y composición siderúrgica. Cuando el molino gira, las bolas junto con el mineral es elevado por las ondulaciones de una chaqueta y suben hasta una altura determinada, de donde caen girando sobre si y golpeándose entre ellas y contra las chaquetas o revestimiento interiores. Luego vuelven a subir y caer y así sucesivamente. En cada vuelta del molino hay una serie golpes producidos por las bolas, estos golpes son los que van moliendo el mineral.

Normalmente los molinos de bolas trabajan 70 % a 78 % de sólidos, dependiendo del peso específico del mineral.

La cantidad de bolas que se coloca dentro de un molino depende en gran cantidad disponible de energía para mover el molino está en un rango de 40 % a 50 % generalmente nunca se llega a 50 % del volumen.

La carga de bolas debe ser correcta y bien proporcionada, con bolas lo suficientemente grandes para triturar las partículas de mineral más grande y duras, pero no las muy finas (Solis, 2012).

Los molinos de bolas dan un producto más fino que los molinos de barras porque, la acción de molienda es frenada por las partículas de mineral más gruesas que se interponen entre barra y barra. Estos molinos trabajan y operan en circuito cerrado con algún tipo de clasificador de rastrillo, espiral o hidrociclón

Estos molinos de bolas pueden ser accionados por una transmisión de correas trapezoidales y engranajes de mando o una reducción.

En el sistema de molienda en seco, el mineral ya molido hasta la finura indicada, circula hasta que termine que molerse las pocas partículas de mineral grandes no fraccionadas, lo cual aumenta el consumo de fuerza motriz por unidad de producción y disminuye el rendimiento del molino.

Al operar el molino por vía húmeda, el mineral finamente molido es extraído con agua de los intersticios entre las bolas y por tanto no perjudica la molienda de las partículas de mineral gruesas.

La capacidad de producción de los molinos de bolas se determina por el peso de carga y la duración del ciclo de operación y trabajo que es la suma de tiempo de carga, de molienda y de descarga.

La duración de molienda es función de las dimensiones del molino, del tamaño de las partículas de mineral entrante y de finura de molido exigida en la concentradora.

La potencia necesaria para el accionamiento del molino es proporcional a su carga y es de aproximadamente de  $1.5\text{kw-hr/Tm}$  de mineral y de la carga de las bolas de acero

En la operación por vía húmeda se agrega un 50 % a 60% de agua en peso, para asegurar una descarga rápida del mineral.

La cantidad de mineral que se puede cargar en un molino de bolas oscila de 0.4 a 0.5 toneladas por metro cúbico de capacidad

El molino de bolas normalmente emplea bolas grandes con un mineral alimentado grueso para rendir un producto relativamente grosero

En algunos molinos se colocan aros ajustados por la unión de la tolva de alimentación por la cual ingresa el mineral al molino

Sobre el casco cilíndrico se monta una rueda dentada de acero fundido con dientes fresados, para el accionamiento del molino. En caso de instalarse el molino sobre rodillos, se calzan sobre el casco cilíndrico, coronas de acero para su movimiento.

Los molinos de bolas con mando central, no tienen engranajes dentados.

## **1.8. LINEAMIENTOS GENERALES DEL COSTO DE PRODUCCIÓN.**

En el caso de los molinos de barras y bolas, por ser máquinas sencillas y de gran duración, pesa más el consumo de energía, el de revestimientos y elementos molidores, que la amortización de la máquina. Hay fórmulas empíricas para determinar el consumo de energía que, en el caso del molino de Bolas, tienen en cuenta el tonelaje de la carga del molino (bolas + material a moler) y el diámetro del mismo.

Por otra parte, numerosos estudios sobre el comportamiento de los molinos en trabajos en minería, han permitido determinar los desgastes de los revestimientos y los elementos molidores.

Así, para el molino de Barras, los desgastes de revestimientos oscilan entre 20 y 200 gr. /tn tratada y para los de Bolas, entre 100 y 1000gr. /tn tratada (Bouso, 2004).

### **1.8.1. Capacidad de Producción**

Antes de que el material entra en el molino de bolas, que se pueden triturar a un tamaño apropiado, porque el tamaño de alimentación del material tiene un gran efecto sobre la

capacidad. Así que si ponemos un triturador antes de que un molino de bolas, la capacidad pueda ser mucho mayor. Se puede aumentar el rendimiento de todo el sistema de molienda por la mejora de la tecnología de molienda (Ayala & Serralde Gonzalez, 2009).

Se puede aumentar la eficiencia del colector de polvo, por lo menos materiales y menos que cumplan con nuestro requisito volverá a la cavidad de molienda para su triturado y la carga de las disminuciones trituradoras.

### **1.8.2 Revestimiento Interno de un Molino de Bolas**

El revestimiento de los cilindros de molino está sujeto a un alto nivel de abrasión en las duras condiciones de operación diaria. Se desarrollan una serie de mejoras propias, en particular para las fijaciones semi atornilladas, ya que une las mayores ventajas para todos los días de operación (Guerrero, y otros, 2011):

- Alto grado de seguridad de la instalación,
- Una rápida sustitución de las placas,
- Breve período de parada de producción durante el cambio de placas

El revestimiento compuesto por placas, corazas, o líneas protectores del casco interior de molinos cilíndricos empleados para la molienda de minerales, por medio de cuerpos molidores esféricos (bolas) u otros semejantes, caracterizado porque dichas placas están estriadas helicoidalmente en su sentido longitudinal y cuyo paso, tamaño, cantidad, profundidad, distribución y ubicación, se determina en función de las dimensiones del molino y tipo de molienda que se requiere, de manera que su superficie interior queda estructurada por caminos helicoidales múltiples, continuos y no interrumpidos, a todo el largo del cuerpo del molino (Marín, 2013).

**Tabla 1.** Desgastes de bolas y revestimiento en un molino de bolas en minería.

	<b>Desgaste de revestimientos</b>	<b>Desgaste de bolas</b>
<b>Minería:</b>	Minería: 300 a 500 gr./tn tratada	100gr./tn tratada

**Fuente:** MINALTA S.A.

### **1.9. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN MOLINO DE BOLAS**

El mantenimiento de un molino de bolas se lo realiza cada seis meses lo que es un mantenimiento general

Para realizar dicho mantenimiento se procede de la siguiente manera

- Descargar de la cámara del molino toda la carga
- Secar todas las tuberías de agua
- Parar el molino
- Bajar breques de en entrada de corriente al motor
- Señalizar el área de trabajo
- Dar instrucciones al personal que va a trabajar en esta área
- Comenzar a aflojar los pernos que tienen sujetas a la tapa
- Luego de todo esto descargar las bolas
- Y comenzar a desmontar las chaquetas
- Y reponer por unas nuevas

El mantenimiento de catalina y chumaceras y reposición de bolas de acero (bolas de hierro fundido) se lo realiza a diaria.

### **1.9.1 Mantenimiento Correctivo y Proactivo**

Existen cuatro tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento, los cuales están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objetivo particular para el cual son puestos en marcha, y en función a los recursos utilizados, así tenemos:

### **1.9.2 Mantenimiento Correctivo**

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento reactivo”, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección de errores. Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- Afecta las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado.
- La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

### **1.9.3 Mantenimiento Proactivo**

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar conscientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento.

Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe

atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la organización. Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores (Knezevic, 2010).

#### **1.9.4. Mantenimiento Preventivo**

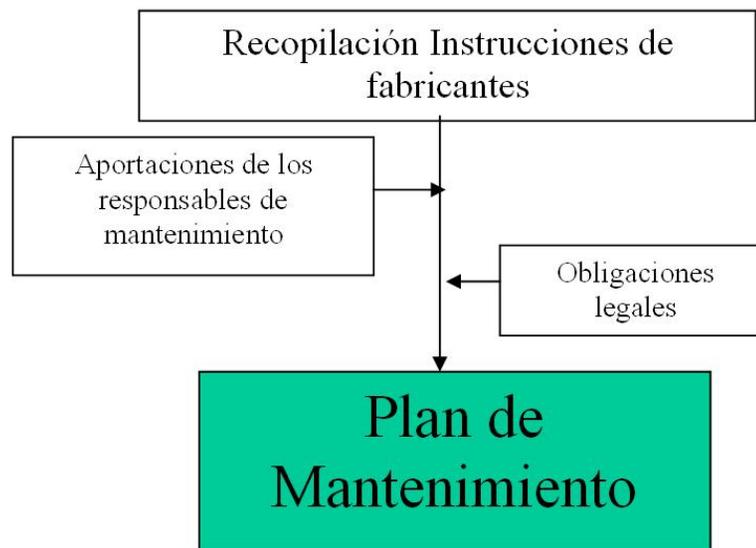
Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento planificado”, tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos. Presenta las siguientes características (Garcia, 2010):

- Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.
- Se lleva a cabo siguiente un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios “a la mano”.
- Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.
- Está destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.
- Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.

### 1.9.5 Mantenimiento Predictivo

Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo. El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en la aplicaciones de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. Tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, en instrumentos, y en contratación de personal calificado. Técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo (Knecevic, 2010):

**Figura 6.** Plan de Mantenimiento Mensual



**Fuente:** (Knecevic, 2010)

**Figura 7.** Plan de mantenimiento anual



**Fuente:** (Knezevic, 2010)

Diagrama de flujo para la elaboración de un plan de mantenimiento es basado en las recomendaciones de los fabricantes.



**Fuente:** (Knezevic, 2010)

El mantenimiento centrado en fiabilidad va más allá de las recomendaciones dadas por los fabricantes y la experiencia dada en los años de trabajo del encargado de la máquina.

Tras el estudio de fallos, no sólo obtenemos un plan de mantenimiento que trata de evitar los fallos potenciales y previsibles, sino que además aporta información valiosa para elaborar o modificar el plan de formación, el manual de operación y el manual de mantenimiento (Zurita, 2014).

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **EMPRESA MINALTA S.A.**

Planta de beneficio mineral “MINALTA”

Ubicación: sector Rosales de Machay

Parroquia Malvas, cantón Zaruma, provincia de El Oro

Coordenadas South a m 56 650.353 9`597.122

Una empresa, al servicio de la provincia de El Oro en la extracción, obtención y refinación del material aurífero de la parte alta de la provincia.

#### **2.1.1 Recolección y Preparación de Muestra**

La toma de muestras se realiza mediante la recopilación de información, tanto del control de procesos en la planta de extracción y refinación de minerales MINALTA como de la documentación que será facilitada por el personal de la empresa minera, como también la obtenida a través de los muestreos semanales realizados. En las eventuales visitas a las instalaciones de la planta procesadora de minerales.

Se tomó como parámetro principal el tiempo y la carga de alimentación al molino que esta a su vez se realiza mediante una faja transportadora.

También se tomó el mismo parámetro de alimentación en su descarga para obtener un énfasis de trabajo de operación en el molino, en las cuales se adjuntó en una tabla de alimentación y descarga del molino HARDINGE (MINALTA S.A, 2014).

## 2.2 MÉTODOS

### 2.2.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizó una evaluación para diagnosticar la situación actual del funcionamiento del molino de bolas.

En el presente trabajo se deseó determinar alternativas de ahorro de energía en el molino marca HANDIRGE por lo que la evaluación se desarrollará de la siguiente manera: se identifican las fuentes de energía y las áreas donde hay posibilidades de falla en el funcionamiento.

Se realizarán balances de materia mediante el análisis de los resultados obtenidos para proponer alternativas, las cuales son evaluadas técnicamente; esto comprende por una parte visualizar las mejoras en cuanto al rendimiento productivo y por otra parte mediante las propuestas de implementación para mejorar el proceso de producción.

Los cálculos se realizarán a partir de datos recopilados del funcionamiento real del proceso (grado de molienda, cantidad de materia prima procesada, etc.).

#### 2.2.2 Análisis Directo Dependiente de Producción del Molino

$$\frac{\text{carga de trabajo}}{\text{carga de diseño}} = 100$$

**Tabla 2.** Rendimiento de trabajo y diseño

	<b>Carga de trabajo</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>% Rendimiento</b>
	<b>Carga de Diseño</b>		
<b>Carga de diseño</b>	40	100	100
<b>Carga de trabajo</b>	39,65	0,99	99

**Fuente:** (MINALTA S.A, 2014).

### 2.2.3 Grado de Molienda.

A través del proceso de tamización se ha podido obtener la siguiente tabla identificando los grados de quebrados del mineral tratado en la Planta minera MINALTA S.A.

**Cuadro 1.** Tamización (muestra referencial 100 gr, y se hizo pasar el tamiz 200  $\mu\text{m}$ )

N°	Descripción	Código	Peso de muestra (gr)	Peso de muestra Tamizada (+200 gr)	Peso de muestra Tamizada (-200 gr)
1	Relavera 1	A	100	17,53	82,47
2	Relavera 2	B	100	46,76	53,24
3	Relavera 3	C	100	22,57	77,34
4	Relavera 4	D	100	36,8	63,2
5	Relavera 5	E	100	13,8	86,73
6	Relavera 6	F	100	33,34	66,66
7	Relavera 7	G	100	42	57,99
8	Relavera 8	H	100	53,5	46,5
9	Comimach 1	I	100	36,98	63,02
10	Comimach 2	J	100	48,7	51,3
11	Comimach 3	K	100	38,59	61,41
12	Comimach 4	L	100	43,25	56,75
13	Comimach 12	M	100	44,28	55,72
14	Comimach 13	N	100	41,97	58,03
15	Comimach 18	O	100	39,06	60,93
16	Arenado 1	P	100	50,84	49,16
17	Arenado 2	Q	100	52,77	49,16
18	Piscina Planta	R	100	28,23	71,77

**Fuente:** (MINALTA S.A, 2014)

**Cuadro 2.** Descarga de mena (500 gramos de muestra)

FECHA	MUESTRA	CODIGO	PESO MUESTRA DEL TAMIZADO (gr/tm)	LEY DE Au (gr/tm)	LEY DE Ag (gr/tm)	% RETENCION DE MALLA	PARTICULAS mm
22/12/2013	RELAVE	M		2,3	71	100	
22/12/2013	TAMIZ (+100)	M1	46	3,7	88,1	9,2	0,149
22/12/2013	TAMIZ (+140)	M2	71	2,3	76,26	14,2	0,105
22/12/2013	TAMIZ (+200)	M3	30	2,55	61,55	6	0,074
22/12/2013	TAMIZ (+270)	M4	76	0,9	60,3	15,2	0,053
22/12/2013	TAMIZ (+325)	M5	49	1,7	55,4	9,8	0,044
22/12/2013	TAMIZ (-325)	M6	225	2,6	80,5	45	0,037
			497			99,4	

**Fuente:** (MINALTA S.A, 2014)

#### 2.2.4 Tiempo de Molienda

El tiempo de molienda es el tiempo que permanece el mineral solido o la pulpa dentro del molino hasta lograr el tamaño óptimo deseable que permita alcanzar el mayor grado de liberación.

### 2.3 TIPO DE ESTUDIO : CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

#### 2.3.1 Grado de Quebrado

Para garantizar la representatividad de la muestra se realizó el muestreo en un tiempo de 48horas cada muestra se extrajo en intervalos de una hora, luego se sometió al cuarteo

Obteniendo muestras representativas de 10 kg en alimento al molino, 1kg rebose, 1kg en arenas y 1kg en la entrada al hidrociclón.

El porcentaje de análisis de malla en el alimento al molino tenemos los datos en el cuadro, pero para buscar una relación alimento y descarga del molino tenemos que buscar datos para mallas menores a seis.

Tenemos el nuevo cuadro en la cual podemos observar % aproximado para mallas menores a seis.

### **2.3.2 Determinación de Densidad de Materia Prima**

Para este ensayo es necesario tener la muestra en su estado original (antes del proceso)

- Coloque 100 ml de agua en una probeta de 250 ml
- Pese 100 gramos de muestra
- Colóquela con cuidado dentro de la probeta con agua (asegúrese de que quede completamente sumergida)
- Mida el volumen
- Calcule el volumen introducida la materia prima (principio de Arquímedes)
- Calcule la densidad del sólido ( se podría calcular mediante la gravedad específica)
- Reporte los datos en la tabla

### **2.4. MATERIALES**

- Molino Hardinge
- Calibrador Vernier
- Materiales de laboratorio
- Probetas
- Vasos
- Tamiz 200 : 140 :100
- Picnómetro
- Estufa
- Capsula de porcelana
- Espátula
- Balanza analítica

- Calibrador Vernier
- Probetas de 250 ml.
- Vasos de precipitación
- Balanza analítica
- Tamices

### 3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

#### 3.1. CALCULOS PARA OBTENER LA DENSIDAD DE LA MATERIA PRIMA.

Mediante esta fórmula podemos obtener la densidad de la materia prima.

$$G.e. = \frac{W}{V}$$

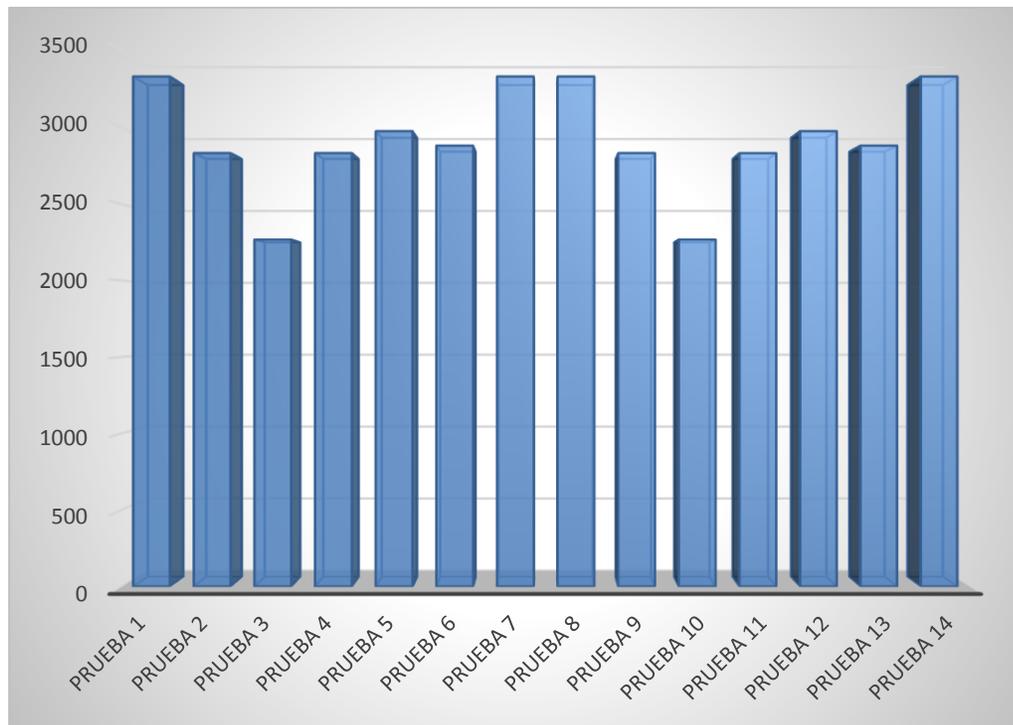
**Dónde:**

**G.E.:** gravedad específica

**W:** masa del material

**V** volumen ocupado del material

**Figura 8.** Densidad materia prima



**Fuente:** MINALTA S.A.

### Porcentaje de Humedad de Material de Carga

Para el cálculo de los flujos de pulpa es necesario conocer el porcentaje de sólidos, gravedad específica y la densidad de pulpa para componente del ciclón. En los cuadros anteriores determinamos cada uno de ellos es este siguiente cuadro tenemos los datos resumidos.

\* El volumen de agua se calcula con la siguiente formula

$$V_{H_2O} = T \left( \frac{100 - S}{S} \right)$$

**Tabla 3.** Porcentaje de Humedad

<b>PRODUCTO</b>	<b>TM/D</b>	<b>G.E</b>	<b>% SOLIDOS</b>	<b>VOLUMEN DE AGUA</b>
<b>F</b>	63,48	3,18	53.8	54,45
<b>U</b>	41,58	3,50	49.8	41,92
<b>R</b>	22	3,18	24.5	67.76

**Fuente:** MINALTA S.A.

Luego de obtener los datos de tonelaje, porcentaje de sólidos y las gravedades específicas para los productos del ciclón procedemos a calcular teóricamente con las formulas conocidas la densidad de pulpa, caudal de pulpa y agua.

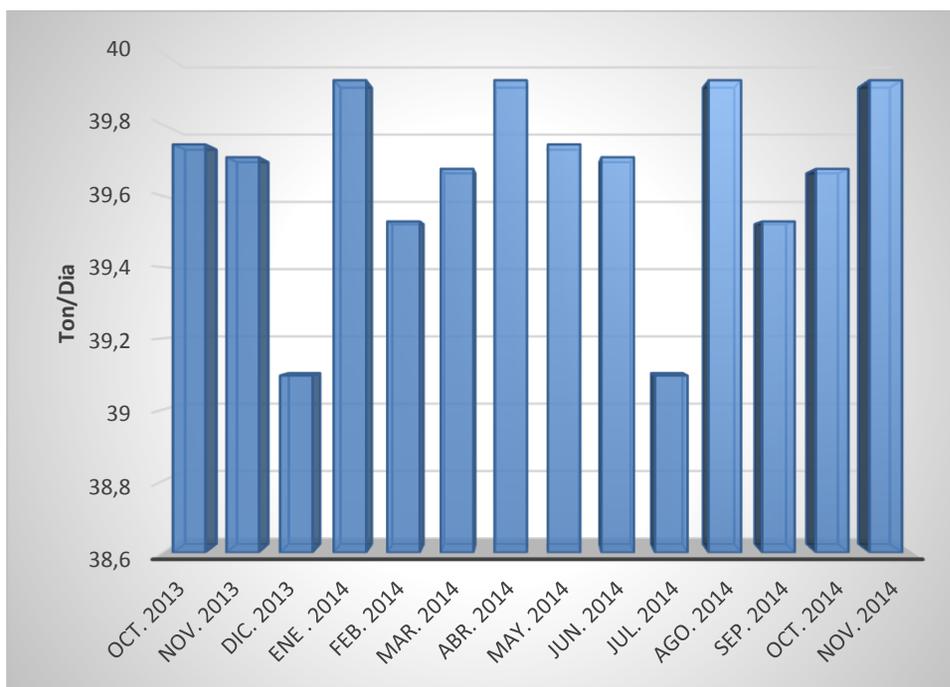
**Cuadro 3.** Densidad de la pulpa, caudal de la pulpa y agua

<b>Datos</b>	<b>Mineral</b>	<b>Molino</b>		<b>Hidrociclón</b>		
		<b>Alimentación</b>	<b>Descarga</b>	<b>Alimento</b>	<b>Arenas</b>	<b>Rebose</b>
<b>TMSD</b>	22	63,57	63,57	63,57	41,57	22
<b>Ge. % S</b>	2,72	3,1	3,18	3,18	3,5	3,18
<b>Dp. Kg/L</b>	2,3	1,66	1,84	1,58	2,15	1,31
<b>Flujo de pulpa M<sup>3</sup>/día</b>	10,0	64,68	64,68	74,58	25,73	47,77
<b>Flujo de agua M<sup>3</sup>/día</b>	1,91	44,17	31,31	54,58	13,85	40,85
<b>Agua adicionada M<sup>3</sup>/día</b>		28,40		23,27		

**Fuente:** MINALTA S.A.

### 3.1.1. Cantidad de Materia Prima que Ingresa al Molino de Bolas

**Figura 9.** Transporte de material en la banda (entrada)



**Fuente:** (MINALTA S.A, 2014).

Como podemos apreciar en la figura 9 la masa de la mena que ingresa al sistema de molienda, se ve influenciada por la densidad de la misma, lo cual se aprecia en las variaciones de las Ton/Día que se procesó durante el tiempo que duro la presente investigación.

## 3.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE DESCARGA

### 3.2.1. Grado de Quebrado

Es importante realizar el cálculo de eficiencia, para saber en qué medida se está efectuando la clasificación granulométrica del mineral, con qué eficiencia y cuáles son los tonelajes de Rechazo y Tamizado. De igual forma nos permite determinar si la zaranda es apropiada para el tonelaje de mineral tratado.

Aplicando el balance de materia:

$$F = R + T \quad (a)$$

$$Ff = Rr + Tt \quad (b)$$

Por definición, la eficiencia es:

$$E = Tt / Ff \times 100 \quad (c)$$

De (a) obtenemos:

$$R = F - T$$

Reemplazando en (b):

$$Ff = (F - T)r + Tt$$

$$Ff = Fr - Tr + Tt$$

$$F(f - r) = T(t - r)$$

$$T / F = (f - r) / (t - r)$$

Reemplazando en (c)

$$E = (f - r) t / (t - r) f \times 100$$

Como  $t = 100 \%$  siempre, la eficiencia resulta:

$$E = (f - r) 100 / f (100 - r) \times 100 \quad (6)$$

**Dónde:**

**F** = Tonelaje de mineral fresco alimentado

**T** = Tonelaje de mineral tamizado

**R** = Tonelaje de mineral rechazado

**d** = Abertura de malla de la criba o zaranda

**f** = Porcentaje de partículas finas inferiores que “d” en la alimentación

**r** = Porcentaje de partículas finas inferiores que “d” en el rechazo

**t** = Porcentaje de partículas finas inferiores que “d” en el pasante.

**3.2.2. Determinación de Densidad del Material de Descarga**

Existen varias formas para obtener este dato, en este caso nosotros optamos calcular con la siguiente formula en base a los datos de densidad de pulpa y la gravedad específica.

$$dP = \frac{100 * Ge}{S - Gex(100 - S)}$$

En este cuadro tenemos los cálculos realizados para obtener la gravedad específica y el porcentaje de sólidos.

**Cuadro 4.** Densidad específica del material de descarga

<b>DATOS</b>	<b>ALIMENTACIÓN</b>	<b>ARENAS</b>	<b>REBOSE</b>
<b>Masa</b>	35	35	35
<b>Fiola + pulpa</b>	186	187	186
<b>Peso agua y fiola</b>	162	162	162
<b>Ge.</b>	3,18	3,5	3,18
<b>%S</b>	53,82	49,79	24,50

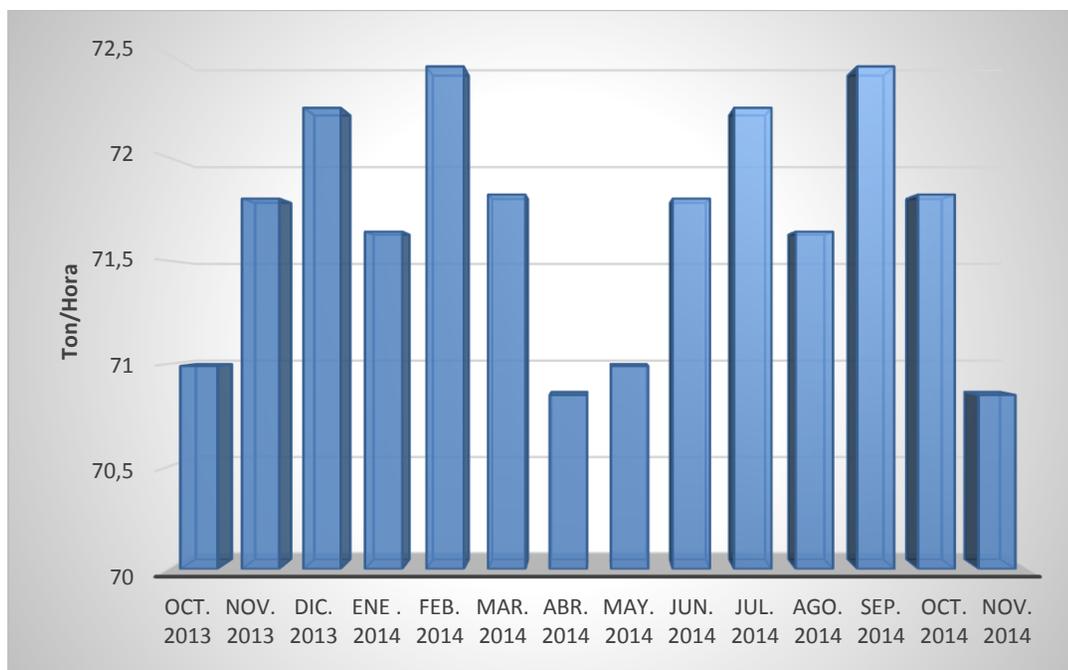
**Fuente:** MINALTA S.A.

### **3.2.3. Cantidad de Material de Descarga del Molino de Bola**

Las fajas sirven para transportar el mineral y están compuestos por:

- a) Faja propiamente dicha.-** Hecha de lona y jebe
- b) Poleas. -** Son las que sostienen a la faja, están compuestos por:
  - b<sub>1</sub>) Polea Motriz o Cabeza.** Que lleva acoplado el motor, que es la que la mueve a la faja.
  - b<sub>2</sub>) Polea de cola o impulsada.** Que lleva un tensor horizontal de tornillo, sirve para templar la faja.
- c) Polines.-** Sostienen a la faja la faja y están espaciados a una determina distancia, dan la forma de un canal a la faja para impedir que se derrame el mineral. Los polines de retorno sostienen a la faja en su retorno en su parte inferior. Los polines de guía controlan que la faja no se salga hacia los lados.

**Figura 10.** Transporte de material en la descarga (agua + decantado)



**Fuente:** (MINALTA S.A, 2014).

La figura 10, nos muestra la variación de la descarga de agua proveniente del sistema de molienda, debido a la disminución de masa de mena a procesar.

### 3.3. CARACTERÍSTICAS DEL MOLINO

**Cuadro 5.** Características físicas del molino de bolas

<b>MOLINO DE BOLAS HARDINGE</b>	
Estructura:	CONIFORME
Tipo de molino :	HANDIRGENE
Combustible que utiliza:	ENERGIA ELECTRICA
Capacidad de Producción:	40 TON /DIA
Revestimiento interno:	ACERO
Presión:	AGUA FLUJO NORMAL
Puertas:	1
Cantidad de bolas:	150 -200 -300
Volumen de las bolas :	4 pulg, 2.5 pulg, 1pulg
Volumen del molino	5,105 m <sup>3</sup>
Radio	2.609 m <sup>3</sup>

**Fuente:** MINALTA S.A.

### 3.3.1. Control de Alimentación de Bolas al Molino.

**Cuadro 6.** Carga de bolas de molino capacidad de producción 40 toneladas al día

ton/hora	1,67	kg/hora	1666,67	DENSIDAD ACERO						
volumen total molino = 5,105 m3				5,105	m3	7860kg/m3				
FECHAS	CANTIDAD	DIAMETRO PULG.	DIAMETRO cm	volumen $4\pi*r^3/3$ (cm3)	volumen m3	volumen total m3	Vol. Prom.m3	% llenado	masa total bolas kg.	masa total bolas Ton.
3 OCT. 2011	2400	4	10,16	549,14	0,000549	1,318		25,82	1001,08	1,0011
	950	2,5	6,35	134,07	0,000134	0,127	1,4526	2,49	57,32	0,0573
	850	1	2,54	8,58	0,000009	0,007		0,14	1424,35	1,4244
25 OCT. 2013	330	4	10,16	549,14	0,000549	0,181		3,55	1424,35	1,4244
25 NOV. 2013	200	4	10,16	549,14	0,000549	0,11		2,15	863,24	0,8632
25 DIC. 2013	150	4	10,16	549,14	0,000549	0,082		1,61	647,43	0,6474
25 ENE. 2014	160	4	10,16	549,14	0,000549	0,088		1,72	690,59	0,6906
25 FEB. 2014	140	4	10,16	549,14	0,000549	0,077		1,51	604,27	0,6043
25 MAR. 2014	140	4	10,16	549,14	0,000549	0,077		1,51	604,27	0,6043
25 ABR. 2014	110	4	10,16	549,14	0,000549	0,06		1,18	474,78	0,4748
25 MAY. 2014	100	4	10,16	549,14	0,000549	0,055		1,08	431,62	0,4316
	200	1,5	3,81	28,96	0,000029	0,006	0,0744	0,11	45,52	0,0455
	200	2	5,08	68,64	0,000069	0,014		0,27	107,91	0,1079
25 JUN. 2014	110	4	10,16	549,14	0,000549	0,06	0,0741	1,18	474,78	0,4748
	200	2	5,08	68,64	0,000069	0,014		0,27	107,91	0,1079
25 JUL. 2014	200	2	5,08	68,64	0,000069	0,014	0,0686	0,27	107,91	0,1079
	100	4	10,16	549,14	0,000549	0,055		1,08	431,62	0,4316
25 AGO. 2014	200	2	5,08	68,64	0,000069	0,014	0,0741	0,27	107,91	0,1079
	110	4	10,16	549,14	0,000549	0,06		1,18	474,78	0,4748
25 SEP. 2014	100	4	10,16	549,14	0,000549	0,055	0,0686	1,08	431,62	0,4316
	200	2	5,08	68,64	0,000069	0,014		0,27	107,91	0,1079
25 OCT. 2014	200	2	5,08	68,64	0,000069	0,014	0,0741	0,27	107,91	0,1079
	110	4	10,16	549,14	0,000549	0,06		1,18	474,78	0,4748
25 NOV. 2014	100	4	10,16	549,14	0,000549	0,055	0,069	1,08	431,62	0,4316
	200	2	5,08	68,64	0,000069	0,01		0,27	107,91	0,1079

Fuente: (MINALTA S.A, 2014)

### 3.4. CONTROL DE OPERACIÓN DEL MOLINO.

Para determinar la eficiencia de clasificación debemos tener el análisis de malla recalculado con la finalidad de no cometer errores, para ello calculamos el porcentaje pasante y en cada malla calculamos la eficiencia de clasificación del rebose y de las arenas.

MALLA promedio MALLA' peso F' O' U' eficiencia

#### 3.4.1. Tiempo de Operación del Molino.

El molino tiene un tiempo de operación de 24 horas al día durante los 365 días del año teniendo una parada de dos veces al año durante su mantenimiento de dos días.

#### 3.4.2. Consumo de Energía del Molino

$$P = I \cdot V \cdot P = T / t$$

**P =** potencia

**I =** intensidad

**V =** voltaje

**T =** trabajo

**t =** tiempo

**Motor tipo molino: RGS**

**RPM:** 580

**VOLTIOS:** 460

**AMP:** 330

**CONSUMO ACTUAL DE ENERGIA: 320 VOLTIOS**

**HP =** 200

**MOTOR DE BOMBA DE SOLIDOS**

**RPM:** 17.60

**VOLTIOS:** 220

**AMP:** 13.3

**CONSUMO ACTUAL DE ENERGIA: 180 VOLTIOS**

**HP = 10**

**MOTOR QUE DA GIRO A LA BANDA TRANSPORTADORA**

**RPM: 858**

**VOLTIOS: 220**

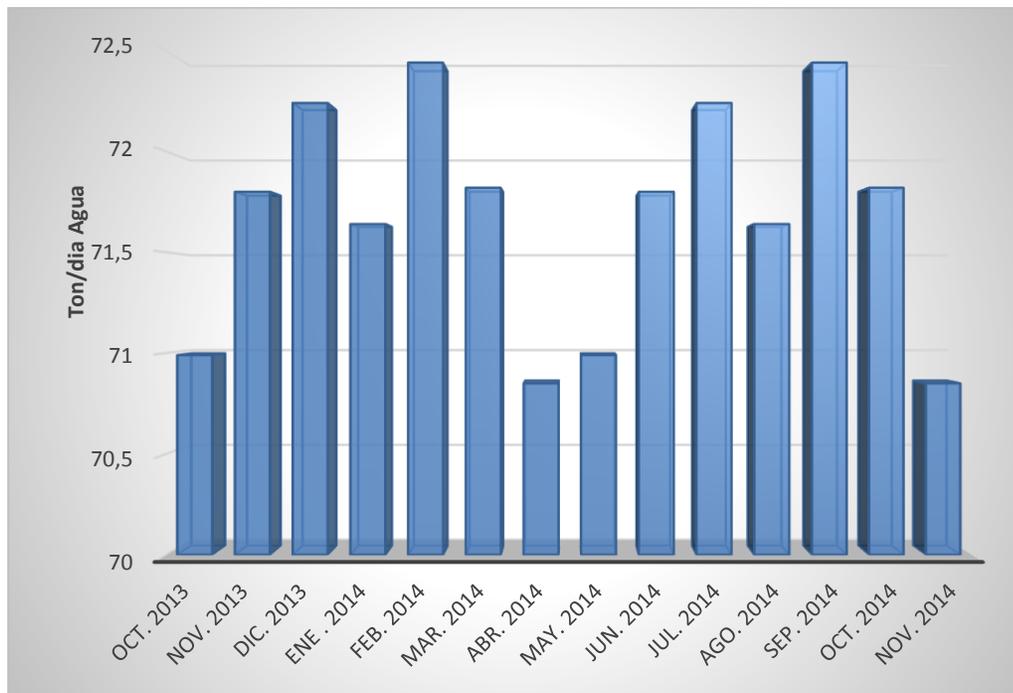
**AMP: 13.3**

**CONSUMO ACTUAL DE ENERGIA: 180 VOLTIOS**

**HP = 2.2**

**3.4.3. Consumo de Agua en el Molino**

**Figura 11.** Agua total de descarga



**Fuente:** MINALTA S.A.

Como podemos apreciar en la figura 11, las variaciones en las descargas de agua se deben en mayor parte a las fallas mecánicas del molino y mantenimiento del equipo.

### 3.5. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRABAJO DEL MOLINO DE BOLAS

Para realizar los cálculos se toma en consideración el motor de 200 HP de potencia con velocidad de 560r.p.m., este es el encargado de vencer la inercia del mecanismo y los torques generados por fuerzas friccionantes en el sistema.

Conociendo la potencia del motor se calculó la concentración de fuerzas de fricción de cada uno de los sistemas:

$$P_{\text{Motor (3HP)}} = T_M \times \omega$$

**Dónde:**

**P<sub>MOTOR</sub>** : es la potencia entregada por el motor.

**T<sub>M</sub>** : Torque del motor.

**ω** : es la velocidad angular.

$$T_M = \left( \frac{200 \text{ HP}}{560 \text{ r.p.m}} \right) \approx \left( \frac{149200 \text{ Watt}}{58.64 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \right) = 2544.2 \text{ Nxm}$$

$$1 \text{ Hp} = 746 \text{ Watt}$$

$$1 \text{ Rpm} = 0.10472 \text{ rad/s.}$$

Diagrama de fuerzas del sistema de molienda.

En el diagrama se aprecia como cuerpo libre el sistema de molienda, a partir de este esquema se obtiene:

$$\sum F_y = N - M * g = 0$$

$$N = M * g$$

Dónde:

**N:** es igual a la fuerza normal (Kilogramo \* metro / segundo<sup>2</sup>),

**M:** es la masa (kilogramos) del sistema de molienda y *g* representa la gravedad.

Para calcular la fuerza de fricción *Fr1* de cada uno de los elementos de molienda se tiene que:

$$FR_1 = \mu * N$$

Dónde:

**μ :** Es el coeficiente de fricción entre Acero-Acero en este caso es de 0.1 ya que el sistema está en constante lubricación.

Los cálculos se realizaron para el sistema de molienda. Del diagrama de cuerpo libre, se obtiene que reemplazando la ecuación en, la fuerza de fricción es de:

$$Fr1 = \mu * M * g$$

**u** = coeficiente de fricción acero

**M** = masa de cuerpos moledores

**g**= gravedad

$$Fr1 = 0.1 * 3303,52 * 9.81 = 3240.75 \text{ N.}$$

**Cuadro 7.** Fuerza de fricción de molienda

<b>FECHAS</b>	<b>Masa total bolas kg.</b>	<b>Masa total bolas Ton.</b>	<b>Fr1</b>
<b>14 Oct. 2013</b>	11417,32	11,4173	11200,39
<b>29 Oct. 2013</b>	1424,35	1,4244	1397,29
<b>29 Nov. 2013</b>	863,24	0,8632	846,84
<b>29 Dic. 2013</b>	647,43	0,6474	635,13
<b>29 Ene. 2014</b>	690,59	0,6906	677,47
<b>29 Feb. 2014</b>	604,27	0,6043	592,79
<b>29 Mar. 2014</b>	604,27	0,6043	592,79
<b>29abr. 2014</b>	474,78	0,4748	465,76
<b>29 May. 2012</b>	585,05	0,5851	573,93
<b>29 Jun. 2014</b>	582,69	0,5827	571,62
<b>29 Jul. 2014</b>	539,53	0,5395	529,28
<b>29 Ago. 2014</b>	582,69	0,5827	571,62
<b>29 Sep. 2014</b>	539,53	0,5395	529,28
<b>29 Oct. 2014</b>	582,69	0,5827	571,62
<b>29 Nov. 2014</b>	539,53	0,5395	529,28
<b>PROMEDIOS</b>	<b>19510,22</b>		<b>1352,34</b>

**Fuente:** (MINALTA S.A, 2014).

Para calcular el volumen del molino es necesario aplicar la siguiente expresión matemática debido a la forma cónica cilíndrica que el equipo posee;

$$r = (r_s^2 - r_b) * (r_i - r_i^2)$$

**Tabla 4.** Dimensiones del molino

<b>METROS</b> <b>(m)</b>	<b>radio</b> <b>superior</b>	<b>radio</b> <b>inferior</b>	<b>altura</b>
		2,133	0,688

**Fuente:** (MINALTA S.A, 2014)

$$r_{\text{total}} = (2,133^2 - 0,688^2) \times (2,25)$$

$$r_{\text{total}} = 2,609 \text{ m}^3$$

Para obtener el volumen del Molino objeto de estudio se aplica la ecuación siguiente:

$$V = \frac{1}{3} r^2 h$$

$$V = 1/3 (2,609\text{m})^2 (2,25\text{m})$$

$$V = 5,105 \text{ m}^3$$

La energía ( $E_{\text{molienda}}$ ) o el trabajo entregado al mecanismo de molienda que contará con un depósito encargado de transferir la energía necesaria a los medios moledores para que se produzca la conminación, se calcula de la siguiente manera.

$$E_{\text{molienda}} = Fr_1 * r * \text{Cantidad contenedores}$$

$$E_{\text{molienda}} = 1352.34 \text{ N} * 2,609 \text{ m} * 1$$

$$E_{\text{molienda}} = 3528.26 \text{ Joule}$$

**Cuadro 8.** Calculo de Velocidad del Molino de Bolas.

VELOCIDAD CRITICA			RELACIÓN CILINDRO Y POLEAS		
$V_c = 42.3 / (D \text{ molino})^{1/2}$			$D_1 \times V_1 = d_2 \times v_2$		
Diámetro molino (m)	4266	mm	Velocidad deseada del molino	14,34	rpm
Velocidad crítica (rpm)	20,48	rpm			
Porcentaje de velocidad crítica			<b>Molino / Cilindro</b>		
40%	8,19	rpm	Velocidad molino % Vc	14,34	rpm
50%	10,24	rpm	Diámetro exterior molino	4266	mm
60%	12,29	rpm	Diámetro rodillo	254	mm
70%	14,34	rpm			
75%	15,36	rpm	<b>Velocidad rodillo</b>	240,8	
Diámetro interno	3631	mm	<b>Polea cilindro / Polea motor</b>		
Longitud interna	1615	mm	Diámetro polea rodillo	254	mm
			Velocidad motor	560	rpm
Volumen	16723	l	Diámetro polea motor	355,6	mm
50% Volumen	8361,5	l			
			<b>Velocidad rodillo=</b>	784	rpm
Densidad bolas acero	7,86	Tn/m <sup>3</sup>			
Kg acero	65722	kg			

Debe mantenerse entre el 60 y el 75% de la velocidad crítica

Es la velocidad de salida de/ reductor del motor.

Hay que ajustar los valores d1, v1 y D2 para obtener el 75% de la velocidad del cilindro.

**Fuente:** (MINALTA S.A, 2014).

**Cuadro 9.** Características longitudinales del molino

<b>Revestimiento 2,5 pug.</b>	63,5CM	635MM
<b>Longitud externa</b>	225 CM	2250MM
<b>Diámetro rodillo 10 pug</b>	25,4CM	254MM
<b>Diámetro polea motriz 14 pug</b>	35,56CM	355,6MM

**Fuente:** (MINALTA S.A, 2014)

El parámetro clave para el buen funcionamiento del molino es la velocidad crítica, a partir de la cual las bolas no chocan entre ellas debido a la energía centrifuga. La velocidad del molino debe mantenerse entre 60 y 75 % de la velocidad crítica.

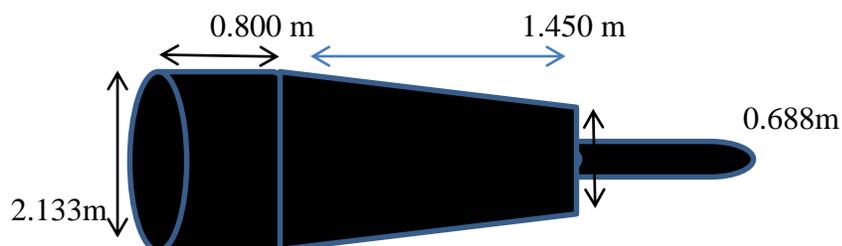
Otro aspecto en tener en cuenta es el grado de llenado del molino, debe llenarse con las bolas hasta un 50% de volumen y añadir el material a moler para que ocupe el espacio entre las bolas hasta un 60 % del volumen del molino.

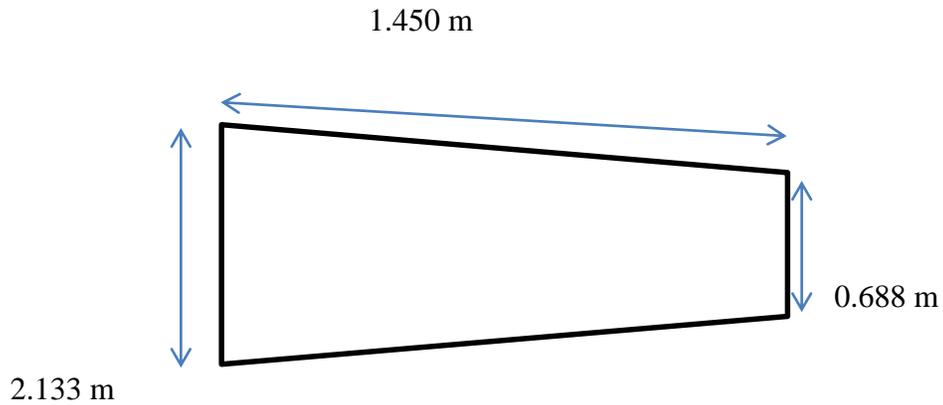
En la tabla anterior tenemos las fórmulas para calcular la velocidad crítica, el volumen y además se ha incluido una ayuda para el cálculo de las relaciones entre cilindros, y diámetros de poleas para ajustar la velocidad crítica.

Las celdas modificables son las variables del equipo según su función.- el volumen vacío entre las bolas permite una carga del 20 % del volumen total del molino

### 3.6. INGENIERÍA DEL DETALLE

#### 3.6.1. Avistamiento Lateral Derecho del Molino “ HARDINGER”





**Volumen cono truncado**  $V = \frac{1}{3} r^2 h * [(r_S^2 - r_s) \times (r_i - r_i^2) ]$

$$r = (r_S^2 - r_s) * (r_i - r_i^2)$$

**Área de Circunferencia**

$$A = \pi r^2$$

**Longitud de Circunferencia**

$$L = D * 3.1416$$

$$D_S = L_S / 3.1416$$

$$D_i = L_i / 3.1416$$

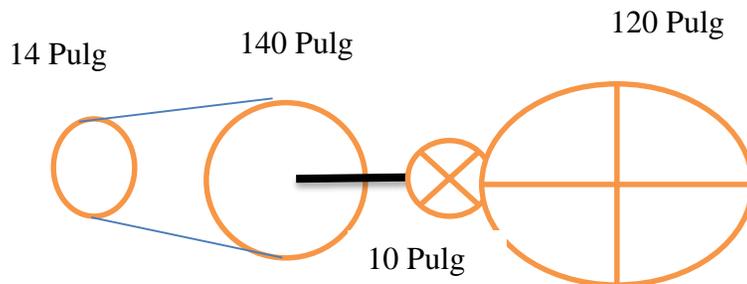
$D_S$  = diámetro superior (2.133 m)

$L_S$  = LONGITUD SUPERIOR (6.70 m)

$D_i$  = Diámetro inferior (0.688 m)

$L_i$  = LONGITUD INFERIOR (2,16 m)

Cinética de movimiento (diámetros de poleas)



### **Motor de Inducción Trifásico**

460 voltios

330 amperios

200 HP

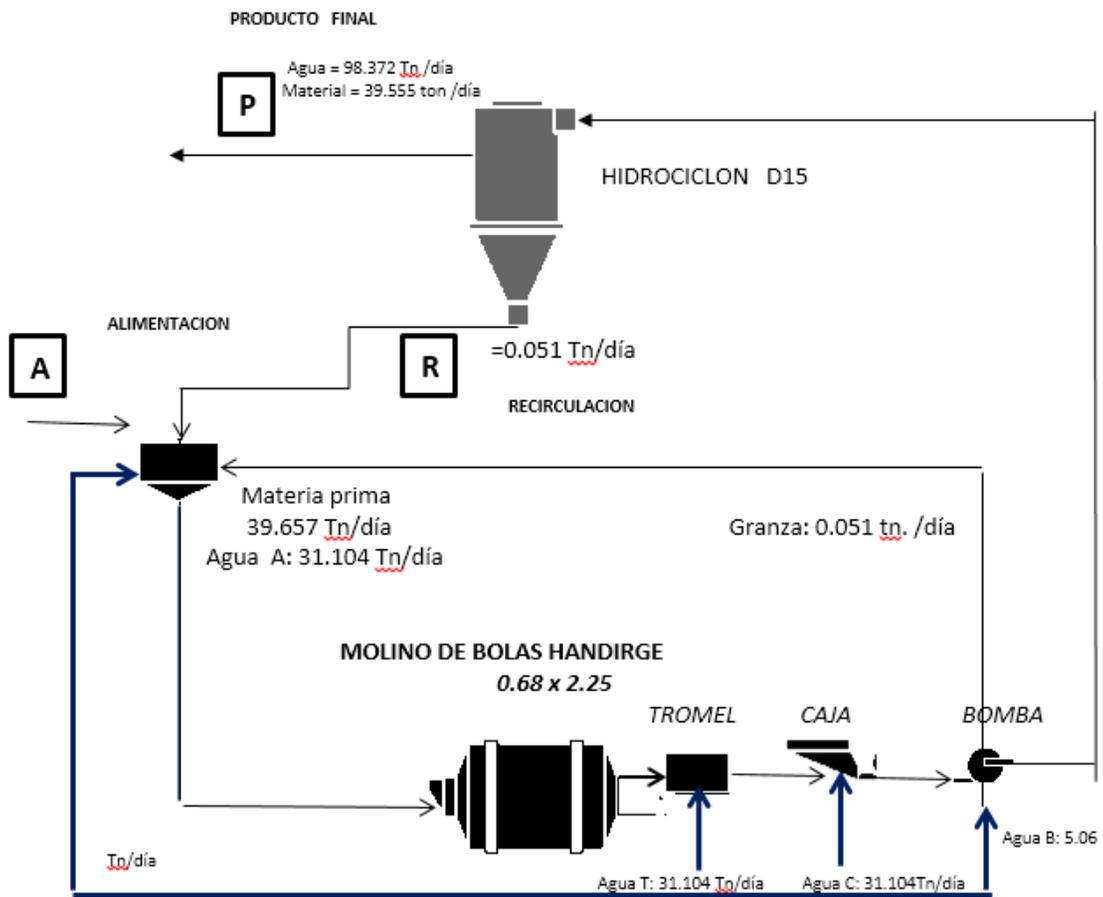
585 RPM

### **3.7. BALANCE DE MATERIA**

#### **PRODUCTO FINAL**

Agua = 98.372 Tn /día

Material = 39.555 ton /día

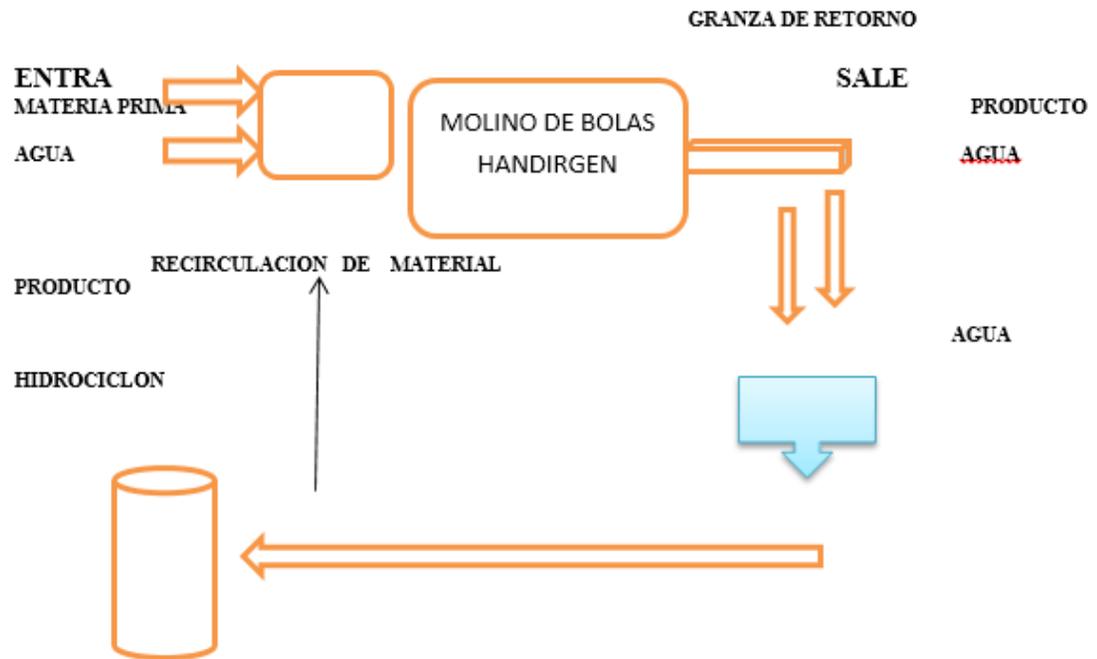


Materia prima

39.657 Tn/día Granza: 0.051tn. /día

Agua A: 31.104 Ton/día

### 3.8. DIAGRAMA DE FLUJO



A continuación en el cuadro 5 se muestran los costos estimados de la operación de molienda

**Cuadro 10.** Costo de Operación del sistema de molienda

<b>MATRIALES</b>	<b>PRECIO UNITARIO (Kg)</b>	<b>GASTO/DIA</b>	<b>GASTO MENSUAL</b>	<b>GASTO ANUAL</b>	<b>GASTOS/ 2 AÑOS</b>
<b>Desgaste De Chaquetas</b>					36000
<b>Desgaste De Bola De Acero De 2”</b>	1,5	50	2250		
<b>Cambio De Pernos</b>					2500
<b>Depreciación De Equipos</b>			1500	1800	
<b>Mantenimiento Al Motor</b>				1200	
<b>Grasa De Catalina</b>	2	2	120	1440	
<b>Grasa De Bloque De Chumaceras</b>	3	2.5	225	1687.50	
<b>Valor Total</b>				<b>22327.50</b>	<b>38500</b>

**Fuente:** (MINALTA S.A, 2014)

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

- El único objetivo de la clasificación, es la separación de un sistema de partículas en una cierta distribución de granulometría mediante dos procesos los cuales consisten:
  1. los prevalecen los tamaños mayores
  2. y los tamaños menores.
  
- Esta operación cumple una amplia importancia en la minería y en gran importancia en la hidrometalurgia, ya que en este proceso se prepara las partículas sólidas para el otro proceso de extracción que es la flotación. En esta se manipula la distribución de tamaños de los flujos en una planta con el fin de optimizar el comportamiento de otras operaciones.
  
- El factor predominante en la evaluación de proceso de molienda es el consumo energético el cual se ve influenciado por la densidad del material a moler, ahorrar energía operando el molino en su optima capacidad va a depender mayoritariamente la utilidad en el proceso, evitando una sobre molienda lo que se traduce en un mayor gasto de energía y aumento en los costos de operación.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Después de la realización de este ensayo se observó la importancia de la molienda en el proceso productivo.
- Se debe tener en cuenta durante la molienda son varios, pero uno de los más importante es el consumo de energía, del ahorro de esta depende mayoritariamente la utilidad en el proceso, evitando una sobre molienda lo que se traduce en un mayor gasto de energía y aumento en los costos de operación.
- Los revestimientos del molino tienen un tiempo de desgaste o deterioro, en las cuales se debe chequear un lapso de tiempo para que pueda trabajar con mayor efectividad en el sistema de molienda
- La alimentación debe ser unos de los parámetros también a tratar, se debe alimentar con la capacidad requerida del molino, una sobrecarga de material produce un envancamiento del molino, en las cuales se produce pérdida de tiempo y de producción al momento de su parada.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Alcantara, V. J. (2008). Diseño Practico de un Molino de Bolas. *Instituto Politecnico Nacional - Mexico, D.F*, Pàg. 4.
2. Armendáriz, L. M., Hernández, J. J., Laurel, A. A., Sánchez, M. M., & Pérez, G. F. (2011). Molino de Bolas. *Universidad Nacional Autonoma de Mexico*, Pág. 1.
3. Austin, L. G., & Concha, F. (1994). Diseño y simulacion de sistemas de molienda y clasificacion. *CYTED*, Pàg. 378.
4. Ayala, H. A., & Serralde Gonzalez, M. I. (2009). CENTRO MÓVIL TRITURADOR DE PET. *INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL*, Pàg. 30.
5. Balza, I. T. (2012). Metalurgia Extactiva. *METATALURGIA EXTRACTIVA I*, Pàg. 2.
6. Basurto, C. C. (2011). Modelo “Cebaco” aplicado al control de procesos en el circuito de Molienda-Clasificación en una planta concentradora de minerales mediante el software LabVIEW . *UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS* , Pàg. 87.
7. Bouso, E. J. (2004). Evolución histórica de los circuitos de molienda. *Rocas y Minerales*, Pàg. 2.
8. Chillce, A. V., & Rojas, A. R. (2012). IMPLEMENTACION DEL SISTEMA EXPERTO EN MOLINOS PARA OPTIMIZAR LA MOLIENDA DEL CIRCUITO DE COBRE EN LA PLANTA CONCENTRADORA DE SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A. *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ*, Pàg. 14.
9. Contreras, T. D. (2006). MANUAL GENERAL DE MINERIA Y METALURGIA. *Academia, edu*, Pàg. 32.
10. Custodio, R. J. (2014). Molino de bolas. *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA*, Pàg. 1.

11. De la cruz, F. (2010). Preparacion mecanica de minerales. *Scribd*, Pàg. 22.
12. Diaz, M. (2013). LABORATORIO DE METALURGIA EXTRACTIVA. *Scribd*, Pàg. 15.
13. Ecured. (2012). Molienda. *scribd*, pàg. 2.
14. Fortuna, N. (2014). preparacion mecanica de minerales. *Stone Crusher Parts*, Pág.14.
15. Garcia, T. O. (2010). Plan de Mantenimiento – Equipos de Fumigación . *Gerencia de Servicios a La Ciudad* , Pàg. 2.
16. Guerrero, V. H., Davila, J., Gales, S., Ponton, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdiviezo, C. (2011). Aplicaciones Estructurales Industrializados. *Nuevos Materiales*, Pàg. 166.
17. Hualan, Y. J., Nuñez, M. P., & Rojas, I. D. (2013). Analisis de la etapa de molienda de minerales. *Slideshare*, Pàg. 42.
18. Ikep. (2013). Molino de bolas. *Scribd*, Pàg. 9.
19. Knezevic, J. (2010). Ingenieria de Mantenimiento. *Universidad Saleciana*, Pàg. 10.
20. Koch, F. C. (1977). El Volga los alemanes: En Rusia y en las Américas. *University Park: Pennsylvania State University Press*, Pàg. 7.
21. Mager, S. J., & McCann, M. (2010). PROCESADO QUIMICO. *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO*, Pàg. 27.
22. Marín, T. F. (2013). EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR. *Industrial Carabobo II* , Pàg. 2.
23. MINALTA S.A. (2014). Proceso de moliendo. *Planta de Beneficio MINALTA*.
24. Pargadgo. (2013). Molino De Bola. *Club Ensayos*, Pág. 2.
25. Pavez, O. (1996). CONCENTRACIÓN DE MINERALES II . *UNIVERSIDAD DE ATACAMA* , Pàg. 42.

26. Rodas, B. G. (2012). Tecnología del molino de bolas. *Monografias. com*, Pàg. 2.
27. Rodriguez, R. M. (2012). Rediseño de la transmision de un molino de bolas en la planta de acido sulfurico grado mercantil Innophos Coatzacoalcos. *Tesis para acreditar la experiencia educativa: Experiencia Recepcional*, Pág. 24.
28. Romero, B. A., Flores, C. S., & Medina, S. R. (2009). Obtención de metales preciosos a partir de residuos sólidos mineros o relave. *Redalyc*, Pàg. 2.
29. Romero, Z. M., Sanchez, V. M., Santana, F. M., & Vasquez, V. V. (2010). Trituración y molienda de la piedra caliza como materia prima para la elaboración del cemento PORTLAND TIPO I en el molino de bolas del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabi. *Universidad Técnica De Manabí*, Pàg. 39.
30. Shames, I. (1995). Mecanica de Fluidos. *Mc Graw Hill*, Pàg. 505.
31. Shcrushervip. (2012). Funcionamiento de molinos de bolas. *Trituradora y Molinos*, Pàg. 2.
32. Solari, J. J. (2012). Moliendas. *Industrias I*, Pág. 3.
33. Solis, M. G. (2012). Molino de Bolas. *scribd.*, Pàg. 12.
34. Vargas, G. J. (2010). Evaluacion de un circuito de Molienda y Clasificacion . *Escuela Superior Politecnica del Litoral*, Pàg. 43.
35. Zurita, A. R. (2014). "Plan de RCM en un Motor de un sistema de Bombeo. *GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO*, Pàg. 12.

# ANEXOS



**Anexo 1.** Faja transportadora de entrada de material hacia el molino donde se tomó la muestra de alimentación.



**Anexo 2.** Avistamiento de una bola de acero de 2 pulgadas.



**Anexo 3.** Juego de bola de acero de 4 pulgadas, 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> pulgada y de 1 pulgada.



**Anexo 4.** Medición de una bola de acero con “el calibrador Vernier”



**Anexo 5.** Lectura de una bola de acero con “el calibrador vernier” dándonos una medición de 2 pulgadas.



**Anexo 6.** Pesado de las muestras para efectuar la gravedad específica y el tamizado.



**Anexo 7.** Probeta con 80 ml de agua y 60 gr de materia prima ya pesada.



**Anexo 8.** Colocando la muestra en la probeta con agua para proceder a realizar su debida gravedad especifica.



*Anexo 9.* Dejando la muestra en reposo para poder dar lectura a la gravedad específica del material.

## TAMIZACION



**Anexo 10.** Una vez pesada la muestra se procede a Colocar la muestra en el tamiz +200 gramos de mena.



**Anexo 11.** Tamizando la muestra, lo que queda en la parte superior del tamiz vendría hacer el producto +200, lo que pasa el tamiz vendría ser el producto -200.



**Anexo 12.** Residuos de material en el tamiz como también en el recipiente de recepción del material fino comprobando el grado de molienda y eficiencia del molino.