



**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

# **TESIS**

**“MODELAMIENTO DE UNA ECUACIÓN MULTIPARAMÉTRICA PARA  
DETERMINAR EL DESGASTE DE LOS REVESTIMIENTOS DEL  
MOLINO SAG DE LA PLANTA GOLD MILL - ÁREA DE PROCESOS -  
EMPRESA MINERA YANACOCCHA S.R.L. – CAJAMARCA 2016”**

PRESENTADA POR:

Bach. ROCÍO DEL PILAR FLORES CABRERA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO

CAJAMARCA – PERÚ  
2016

## **DEDICATORIA**

Al Ing. Augusto B. Cervantes por sus palabras de aliento y motivación, que hicieron posible renovar mi energía y voluntad para culminar mi carrera.

## **AGRADECIMIENTO**

Al M.Cs. Víctor Sánchez C., quien han aportado sus conocimientos en la realización y culminación de este trabajo de investigación.

## **RECONOCIMIENTO**

A la Empresa Minera Yanacocha S.R.L – Área de Procesos, que a través de sus colaboradores, me brindaron las facilidades para la recolección de información del presente trabajo de investigación.

## SUMARIO

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RECONOCIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Delimitación de la investigación	3
1.2.1. Delimitación espacial	3
1.2.2. Delimitación social	3
1.2.3. Delimitación temporal	4
1.2.4. Delimitación conceptual	4
1.3. Problemas de investigación	4
1.3.1. Problema principal	4
1.3.2. Problemas secundarios	4
1.4. Objetivos de la investigación	5
1.4.1. Objetivo general.	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis y variables de la investigación	5
1.5.1. Hipótesis general	5

1.5.2.	Hipótesis secundarias	6
1.5.3.	Variables (definición conceptual y operacional)	7
1.6.	Metodología de la investigación	8
1.6.1.	Tipo y nivel de investigación	8
	a) Tipo de investigación	7
	b) Nivel de investigación	7
1.6.2.	Método y diseño de investigación	8
	a) Método de investigación	8
	b) Diseño de investigación	8
1.6.3.	Población y muestra de la investigación	9
	a) Población	8
	b) Muestra	9
1.6.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	9
	a) Técnicas	9
	b) Instrumentos	9
1.6.5.	Justificación, importancia y limitaciones de la investigación	10
	a) Justificación	11
	b) Importancia	12
	c) Limitaciones	12
	<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	12
2.1.	Antecedes del problema	12
2.2.	Bases teóricas	21
2.3.	Definición de términos básicos	45
	<b>CAPITULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	48
3.1.	Validez y confiabilidad de los instrumentos	48
3.2.	Análisis de tablas y gráficos	49
3.3.	Prueba de hipótesis	65

CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	82
ANEXOS	84

## RESUMEN

En la industria minera se utilizan quipos de molienda, como son los molinos autógenos (AG), de bolas y semi autógenos (SAG), que son medios utilizados para la pulverización de minerales o moler materiales de 1/4 pulgadas o más pequeños, hasta un tamaño de partícula de 20 a 75 micrones en circuito cerrado con un hidrociclón.

En el año 2009, Minera Yanacocha S.R.L. inauguró oficialmente la Planta Gold Mill, (molino SAG) que procesa aproximadamente 6.5 millones de toneladas de mineral al año, utilizando un proceso de rápida recuperación de minerales de alta ley de oro y con presencia de cobre.

Este medio de molienda es el segundo de mayor costo dentro de la concentradora de molienda después de la energía, eso por sí sólo hace que su calidad sea relevante y su mantenimiento sea considerado como uno de los más importantes dentro de la planta; en el pronóstico de duración de componentes se registran fallas prematuras por la presencia de minerales agresivos durante el proceso de molienda, que ocasiona el desgaste de revestimientos del molino SAG.

Desde la inauguración de la Planta Gold Mill, el equipo de ingeniería de mantenimiento de la Empresa Minera Yanacocha S.R.L. – Área Procesos, ha realizado mediciones de estos medios (revestimientos: zona plate y lifter) a través de inspecciones de ultrasonido, para el pronóstico de desgaste, utilizando el mineral (KTn) como único parámetro de cálculo, el cual no ha sido eficiente para la reducción de presupuesto en: detención de equipo (\$ 34.000 por hora), capacitación de personal, contratación de empresas para medición de gases, etc.

Y con el objetivo de reducir estos costos dentro de la empresa planteo una alternativa en el pronóstico de desgaste de revestimientos en la zona plate y lifter del molino SAG, que es la creación de ecuaciones multiparamétrica para cada zona, para tal fin se ha estudiado diversas fuentes de información de



revestimientos y operación de molinos SAG, determinando los parámetros relacionados con el desgaste siendo los siguientes:

- Mineral en toneladas (Tn)
- Ph de la pulpa del molino
- Índice de trabajo
- Potencia del motor
- Adición de agua al molino
- Velocidad del motor
- Bolas de acero (Tn)
- Tamaño de partículas (F80)
- Densidad de la pulpa del molino
- Mineral en kilo toneladas (KTn)

Para las ecuaciones de revestimientos: zona plate y se ha procesado datos recogidos desde el 06 junio del 2012 al 31 agosto del 2015 de registros realizados por operaciones, ingeniería de mantenimiento y PI data Link de la Empresa Minera Yanacocha S.R.L.; y mediante el uso del software estadístico minitab y haciendo uso de metodologías como:

- Análisis de correlación lineal,
- Matriz de correlaciones
- Modelo de regresión
- Prueba de análisis de varianza (ANOVA)
- Prueba t-student  $\alpha=5\%$

Se ha determinado los parámetros más influyentes en el desgaste de revestimientos en la zona plate, lifter del molino SAG y son:

- Zona plate son: mineral en KTn, bolas de acero y tamaño de partículas
- Zona Lifter son: mineral en KTn, índice de trabajo y ph de la pulpa.

**La autora**

## ABSTRACT

This grinding medium is the second largest cost within the concentrator grinding after power, that alone makes relevant quality and maintenance is considered one of the most important within the plant; prognosis of premature failure duration of components are recorded by the presence of aggressive minerals during the milling process, which causes wear coatings SAG mill.

Since the opening of the Gold Mill Plant, equipment maintenance engineering Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Area Process, has made measurements of these means (coatings: zone plate and lifter) through inspections ultrasound for prediction of wear, using the mineral (KTN) as the only parameter calculation, which has not been efficient for reducing budget: stopping equipment (\$ 34,000 per hour), staff training, hiring companies for measuring gases, etc.

And with the aim of reducing these costs within the company pose an alternative prognosis wear coatings on the plate and lifter SAG mill, which is the creation of multiparametric equations for each zone, for that purpose area has studied various information sources coatings and SAG mills operation, determining parameters related to wear to be:

- Mineral tonnes (tons)
- Ph pulp mill
- Work Index
- Motor power
- Adding grist to the mill
- Motor speed
- Steel Balls
- Particle size (F80)
- Density pulp mill
- Mineral in kilo tons (KTN)

For equations of coatings: zone plate and has processed data collected from 06 June 2012 to 31 August 2015 of records made by operations, maintenance and engineering data IP Link Mining Company Yanacocha S.R.L .; and using the Minitab statistical software and using methodologies as:

- Linear correlation analysis,
- Correlation Matrix
- Selection of data to be processed observations
- Regression model
- Anova Test (analysis of variance)
- Student t test alpha = 5%

Has been determined in the most influential parameters wear coatings in the plate area, and SAG mill lifter are:

- Zone plate are: KTN ore, steel balls and particle size
- Zone Lifter are: mineral KTN, work index and pH of the pulp.

## INTRODUCCIÓN

En la Empresa Minera Yanacocha S.R.L. se utiliza equipos de grandes dimensiones para realizar la molienda, dentro de ellos está, el molino semi autógeno (SAG) que es considerado como la herramienta más importante y eficiente para la pulverización de minerales dentro de las operaciones de la Planta Gold Mill del Área de Procesos, siendo prioridad la realización de sus mantenimientos programados, evitando los correctivos.

Uno de los factores que aqueja a este tipo de mantenimiento es la presencia de minerales abrasivos, ocasionando el desgaste prematuro de revestimientos del molino SAG en la zona plate y lifter. Para determinar este modo de falla, el equipo de ingeniería ha venido realizando el cálculo de desgaste en base a un parámetro (KTn de mineral), lo que no ha generado aún a fecha la reducción de costos en el revestido del molino SAG.

Frente a esta problemática y como medida de ahorro en costos se ha realizado ecuaciones multiparamétricas para determinar el desgaste de revestimientos en la zona plate y lifter y que se ha realizado mediante el estudio de parámetros como: mineral, densidad de la pulpa, potencia del motor, tamaño de partículas, work index, velocidad del motor, ph de la pulpa, bolas de acero y adición de agua al molino, como parámetros que influyen en el desgaste de revestimientos, y mediante la recolección de datos del 06 junio del 2012 hasta el 31 agosto del 2015,

Los datos se procesaron con el software estadístico minitab y utilizando la metodología diseño de experimentos, seleccionando los tres parámetros más influyentes en el desgaste para la zona plate (mineral en KTn, bolas de acero, tamaño de partículas) y lifter (mineral en KTn, índice de trabajo, ph de la pulpa) del revestimiento del molino SAG.

**La autora**

## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

Hoy en día la calidad de los medios de molienda en el mundo ha alcanzado grandes aceptaciones por parte de las compañías mineras. La tendencia en el mercado a nivel global es procesar minerales de baja ley, lo cual demanda una gran capacidad de procesamiento total y una altísima fiabilidad en todo momento. La preferencia apunta a molinos de bolas más grandes y molinos SAG aún de mayores tamaños, los que contienen cada vez mayores relaciones de potencia con respecto al diámetro del molino. (PUCP, 2014)

El Perú no es ajeno a las beneficios de estos medios aplicados al sector minería es por ello que cuenta con los molinos GMD más grandes del mundo para el procesamiento de minerales como es el caso del proyecto Toromocho que en general es una recopilación de características superlativas y otro hito innovador en la historia de los equipos de molienda. (ABB, 2010)

Así mismo, en la ciudad de Cajamarca 2016 se encuentra la Empresa Minera Yanacocha que explota la mina de oro más grande de Latinoamérica y, quien no es exento al uso de los beneficios de los medios de molienda que existen en la actualidad y que por ello en el año 2009, “el líder tecnológico ABB completó exitosamente la puesta en marcha del

Sistema Gearless Mill Drives (GMD) o accionamiento de molino sin engranajes de 16.5 MW, para un molino SAG de 32 pies. (ABB, 2009), que permite desintegrar el mineral y transformarlo en pulpa para su posterior tratamiento, usando un proceso semiautógeno de molienda, empleando además del mismo mineral, bolas de acero.

Debido a esta interacción se ocasiona el desgaste por abrasión, considerado como el principal modo de falla, motivo por el cual es necesario la instalación de revestimientos interiores metálicos para proteger el material base o casco del molino; de aquí surge la necesidad de estimar el desgaste de revestimientos en la zona plate y lifter de los revestimientos mediante el reemplazo de datos en ecuaciones, para programar las paradas de planta de revestido del molino SAG y realizar importantes ahorros en costos en detención de equipos (\$ 34.000 por hora), capacitación del personal en aislamiento de energía y espacios confinados, limpieza del espacio confinado, personal calificado para realizar mediciones entre otros.

Desde la inauguración de la Planta Gold Mill – Área Procesos, la estimación de este desgaste (Ingeniería de Mantenimiento) se calcula en función a un parámetro (tonelaje en kilo toneladas) que es medido y determinado empleando ultrasonido e inferencia estadística.

Y con el fin de establecer un intervalo más confiable y ahorro de costos en el pronóstico de desgaste de revestimientos del molino SAG, se plantea el presente trabajo de investigación que tiene como objetivo de estudio, realizar el modelamiento de una ecuación multiparamétrica para determinar el desgaste de los revestimientos del molino SAG de la Planta de Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L, en base a datos recopilados desde el año 2012 al 2015, y que mediante el reemplazo de datos en las ecuaciones de la zona plate y lifter se obtiene los resultados de desgaste.



**Figura 1. Molino SAG de la Planta Gold Mill - Minera Yanacocha S.R.L.**  
Fuente: Elaboración propia 2015.



**Figura 2. Revestimientos del molino SAG - Planta Gold Mill**  
Fuente: Elaboración propia 2015.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

El trabajo de investigación se realizó en el Área de Procesos (Ingeniería de Mantenimiento) de la Planta de Gold Mill - Empresa Minera Yanacocha S.R.L.- Cajamarca 2016.

### **1.2.2. Delimitación social**

El trabajo de investigación está orientado al equipo de Ingeniería de Mantenimiento del Área de Procesos de la Planta de Gold Mill - Empresa Minera Yanacocha S.R.L – Cajamarca 2016.

### **1.2.3. Delimitación temporal**

El trabajo de investigación se realiza en dos etapas: los datos a procesar serán recopilados desde el 06 junio del 2012 hasta el 02 noviembre del 2015 y el procesamiento de información se realizará a partir de 15 de noviembre al 15 de mayo del 2016.

### **1.2.4. Delimitación conceptual**

Mediante el presente trabajo de investigación se busca realizar el modelamiento de una ecuación multiparamétrica que ayude a determinar el desgaste de los revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.

## **1.3. Problemas de investigación**

### **1.3.1. Problema principal**

- ¿Cómo realizar el modelamiento de la ecuación multiparamétrica que me permita determinar el desgaste de los revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016?

### **1.3.2. Problemas secundarios**

- ¿Qué parámetros influyen en el desgaste de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016?
- ¿Qué fuentes informativas se utilizarán para obtener los datos y mediciones de desgaste de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016?
- ¿Cuáles son las correlaciones más influyentes entre parámetros que se relacionan con el desgaste de



revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. – Cajamarca 2016?

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

##### **1.4.1. Objetivo general.**

- Realizar el modelamiento de la ecuación multiparamétrica que el determine el desgaste de los revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros que influyen en el desgaste de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.
- Realizar el registro de datos de los parámetros y mediciones de desgaste de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.
- Determinar las correlaciones de los parámetros más influyentes que se relacionan con el desgaste de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.

#### **1.5. Hipótesis y variables de la investigación**

##### **1.5.1. Hipótesis general**

Existe un modelo lineal causal explicativo para el desgaste de los revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.

***Crterios:***

- $H_0$ : el modelo para el desgaste de los revestimientos del molino SAG no es lineal.
- $H_1$ : el modelo para el desgaste de los revestimientos del molino SAG es lineal.

**1.5.2. Hipótesis secundarias**

Los parámetros de la ecuación multipamétrica participan con una significación o error menor a 5% en la zona lifter y plate de los revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.

**Criterio 01:**

- $H_0$ : la matriz de correlaciones no presenta indicadores válidos para formular el modelo.
- $H_1$ : la matriz de correlaciones presenta indicadores válidos para formular el modelo.

**Criterio 02:**

- $H_0$ : el modelo para estimar el desgaste del revestimiento en la zona lifter no es lineal
- $H_1$ : el modelo para estimar el desgaste del revestimiento en la zona lifter es lineal.

**Criterio 03:**

- $H_0$ : el modelo para estimar el desgaste del revestimiento en la zona plate no es lineal
- $H_1$ : el modelo para estimar el desgaste del revestimiento en la zona plate es lineal

### 1.5.3. Variables (definición conceptual y operacional)

**Tabla 1.** Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS
<b>V.I.</b> Ecuación multiparamétrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Una ecuación multiparamétrica permite representar una o varias curvas o superficies en el plano o en el espacio, mediante valores arbitrarios o mediante varias constantes, llamadas parámetros o variables independientes de cuyos valores se desprenden las variables dependientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Son ecuaciones que están compuesta por parámetros, y estos a su vez están compuesto por constantes que se manipulan con el objetivo de realizar el modelamiento de la ecuación multiparamétrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mineral en toneladas</li> <li>Tamaño de partículas</li> <li>Adición de agua al molino</li> <li>Ph de la pulpa del molino</li> <li>Densidad de la pulpa</li> <li>Potencia del motor</li> <li>Velocidad del motor</li> <li>Bolas de acero</li> <li>Índice de trabajo</li> <li>Mineral en kilo toneladas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tn</li> <li>F80</li> <li>m3/h</li> <li>acidez</li> <li>Tn/m3</li> <li>Kw</li> <li>Rpm</li> <li>Tn</li> <li>Kwh/Tn</li> <li>(KTn)</li> </ul>	-
<b>V.D.</b> desgaste de los revestimientos del molino SAG	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es la pérdida progresiva de material procedente de la superficie de un cuerpo sólido, causada por razones mecánicas, por el contacto y movimiento relativo de un sólido, fluido o sustancia gaseosa sobre dicha superficie. (UPC, 2009)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es una aceleración del ratio en la zona de la plate en función al desgaste de la zona lifter (Minera Yanacocha, 2015).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zona lifter</li> <li>Zona plate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unidades de medida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muestreo secuencial de los parámetros</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia - 2016

## 1.6. Metodología de la investigación

### 1.6.1. Tipo y nivel de investigación

a) **Tipo de investigación:** el tipo de investigación utilizado en el presente trabajo de investigación es la investigación aplicada porque la ecuación de desgaste de revestimientos del molino SAG – Planta Gold Mill se ha usado datos numéricos tratados con herramientas del campo de la estadística (Minitab).

b) **Nivel de investigación:** el nivel de investigación utilizado en el presente trabajo de investigación es la investigación causal explicativa, porque la formulación de la ecuación de desgaste de los revestimientos del molino SAG – Planta Gold Mill se describieron las relaciones entre dos o más parámetros, o variables en un momento determinado, en función de la relación causa (presencia de parámetros) efecto (desgaste).

### 1.6.2. Método y diseño de investigación

a) **Método de investigación:** el método que se ha utilizado en el presente trabajo de investigación es el método inductivo porque la ecuación de desgaste en los revestimientos del molino SAG – Planta Gold Mill de la zona plate y lifter se han obtenido a partir de los resultados estadísticos (minitab), permitiendo llegar a una ecuación específica de resultados con la presencia de parámetros de desgaste.

b) **Diseño de investigación:** el diseño utilizado en el presente trabajo de investigación es la investigación no experimental: correlacional causal porque en la formulación de la ecuación de desgaste de revestimiento del molino SAG – Planta Gold Mill, no se tiene el control directo sobre las variables independientes

(parámetros), ni puede influir sobre ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos (desgaste).

### 1.6.3. Población y muestra de la investigación

#### a) Población y muestra

**Tabla 2.** *Número revestidos del molino SAG 2012 - 2015*

PROVEEDOR	GROWTH STEEL				TOTAL
AÑO	2012	2013	2014	2015	
CANTIDAD	1	1	1	2	5

Fuente: Hoja de datos de desgastes - Minera Yanacocha S.R.L.

### 1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### a) Técnicas

- Muestreo secuencial de los parámetros
- Muestreo secuencial del desgaste

#### b) Instrumentos

- Dayly report: control room report
- Hoja de medición de desgastes
- Registro de parámetros de desgaste del molino SAG
- Consolidado de parámetros y desgastes 2012 – 2015

### **1.6.5. Justificación, importancia de la investigación y limitaciones de la investigación**

#### **a) Justificación**

El área de Procesos de la Planta Gold Mill de la Empresa Minera Yanacocha, va en dirección de reducir costos operativos, como única alternativa de supervivencia frente a los cada vez más bajos precios de metales básicos, donde prevalece el funcionamiento óptimo de los equipos en tiempos determinados y teniendo en cuenta criterios sustentados en estudios estratégicos de mantenimiento programado. Y debido a la molienda de minerales más abrasivos con respecto a años anteriores y aumento de la capacidad de la Planta Gold Mill, el desgaste de equipos se ha visto afectado prematuramente.

Por ello, con el presente trabajo de investigación se realizó el estudio de los tres parámetros más influyentes en el desgaste de revestimientos del molino SAG en la zona plate y lifter con el objetivo de determinar la vida útil de los mismos, para establecer los periodos de revestido del molino, siendo de mucha ayuda dentro del grupo de colaboradores de Ingeniería de Mantenimiento quienes se encargan de realizar el pronóstico de vida de los equipos dentro del área.

#### **b) Importancia:**

El molino SAG del Área de Procesos ubicado en la Planta Gold Mill de la Empresa Minera Yanacocha, es el segundo equipo de mayor costo dentro de la concentradora de molienda, después de la energía.

Eso por sí sólo hace que su calidad sea relevante, y porque la calidad tiene que ver con la duración de los medios de molienda (revestimientos), significa que a mayor duración de estos medios, se obtiene un ahorro importante en costos.

Con la ayuda de la ecuación multiparamétrica se podrá conocer los tiempos de revestido del molino SAG, para planificar los recursos (humanos, tecnológicos, etc.) necesarios para el cambio de revestimientos y así reducir los intervalos de tiempo de confianza en el mantenimiento programado de equipos, así como determinar el desgaste mínimo permisible en la zona plate.

### **c) Limitaciones**

Dentro de las limitaciones señalo las siguientes:

- La investigación sólo se realizará en la Empresa Minera Yanacocha S.R.L. Planta Gold Mill - Área Procesos
- Idioma de la bibliografía de los medios de molienda

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedes del problema

#### 2.1.1. Internacional

En el trabajo de investigación titulado **“Diseño de aceros bainíticos para revestimientos de molinos SAG y bolas de molienda”** realizado por Andrés Jesús Araneda Rosello (2013) de la Universidad de Chile, menciona que:

El desarrollo industrial de Chile es la explotación de sus recursos a través de la minera. “Una parte importante del proceso de producción que se realiza en una minera, es el proceso de molienda, a través del uso de los molinos SAG, los cuales deben ser mantenidos por causa del desgaste de las bolas de molienda o del acero que reviste el molino”. (Araneda, 2013), que menciona que el reemplazo de revestimientos de los molinos en la etapa de molienda produce que los procesos mineros se detengan por bastante tiempo, por lo que el diseño de aceros que tengan una



buena resistencia al desgaste producto de moler las rocas y una dureza aceptable para esta labor, puede ser muy útil para la industria minera y para Chile.

En este trabajo se diseñan aceros para revestimientos de molino SAG y bolas de molienda. Además de esto, se estudian relaciones microestructura-propiedades en aceros bainíticos, se diseña la composición de aceros bainíticos para bolas y revestimientos, y seleccionan los tratamientos térmicos.

El estudio se centra en aceros bainíticos debido a que tienen una mejor relación entre dureza y resistencia al desgaste que los aceros perlíticos, los cuales son actualmente utilizados en la industria minera para revestimientos de molinos. Además, los aceros bainíticos presentan una mejor resistencia al desgaste a una misma dureza que los aceros martensíticos utilizados para confeccionar las bolas de molienda.

La metodología es buscar bibliografía apropiada, para luego seleccionar aceros según ésta y así solicitar diagramas CCT (Transformación por enfriamiento continuo) de los aceros seleccionados a la Universidad Federico Santa María, los cuales son obtenidos mediante un programa computacional, e intersectados con las curvas de enfriamiento de las bolas y los revestimientos confeccionadas con tratamientos térmicos utilizados en la industria. Después, utilizando ecuaciones se obtienen las propiedades de los aceros estudiados.

Las aleaciones seleccionadas son las siguientes:

- Bolas de Molienda: Aleaciones con la siguiente composición: 0,7%C-2%Mn-1%Cr-2%Si-0,25%Mo para enfriamiento con

agua con agitada fuertemente y 0,7%C-0,7%Mn-1%Cr-2%Si-0,5%Mo para enfriamiento con agua agitada violentamente.

- 
- Revestimientos (Lifter y Parrilla): Aleación con la siguiente composición: 0,3%C-0,7%Mn-2,5%Cr-2%Si-0,5%Mo para enfriamiento con aire forzado.

Las propiedades mecánicas para los revestimientos son:

- Límite de fluencia lifter: 1528,5 [MPa]. Límite de fluencia parrilla: 1551,8 [MPa].
- Dureza lifter: 513,1 [HB]. Dureza parrilla: 518,2 [HB].
- Tenacidad lifter: 59 [MPa√m]. Tenacidad parrilla: 59,39 [MPa√m].

Llegando a las conclusiones siguientes:

- Los diagramas CCT (Transformación por enfriamiento continuo) para cada acero con las curvas de enfriamiento obtenidas para cada tratamiento térmico, se determinó mediante la composición de aceros bainíticos para bolas y revestimientos, obteniendo más de un 50% de bainita en ambos casos, 0,7% de carbono en el caso de las bolas, y 0,3% de carbono en el caso de los revestimientos.
- Las aleaciones seleccionadas son las siguientes: bolas de molienda: aleaciones 16 y 35. La primera aleación mencionada es para bolas confeccionadas con agitación fuerte del agua para enfriarlas, la segunda para agitación violento, y revestimientos (izadores y parrilla): aleación 40.

En el trabajo de investigación titulada: **“Balance poblacional en un molino de bolas para una ley de desgaste de tipo**

**exponencial e hiperbólico en tiempos largos”** presentada por el investigador Ismael Eduardo Rivera Madrid (2012), de la Universidad Nacional de Colombia plantea que:

El procesamiento de minerales y más específicamente en la molienda ha sido estudiado el desgaste de bolas con el fin de determinar qué tipo ecuación describe el desgaste de bolas en una operación de molienda convencional de un molino rotatorio. Los efectos de comprender la cinética y el mecanismo de desgastes de bolas, impacta fuertemente sobre los costos de energía en la industria minera. Esta investigación se enfoca en el análisis del desgaste de medios moledores de acero en la industria del cemento.

“Metodológicamente, el trabajo se divide en dos etapas: la primera etapa se enfoca en determinar la ecuación constitutiva que mejor se ajusta a los datos experimentales de desgaste de las bolas, donde se obtuvieron datos en intervalos de cada 600 horas aproximadamente, después de haber sido operado el molino las bolas durante 3000 horas y se determinó que el mejor ajuste se obtuvo para una curva exponencial y otra lineal. En la segunda etapa es se aplica una ecuación de balance poblacional; teniendo en cuenta la ecuación constitutiva lineal y exponencial previamente obtenida y se verificó que el nuevo modelo planteado posee un excelente ajuste con los datos experimentales; permitiendo establecer el flujo de bolas en la recarga del molino y el mecanismo cinético de desgaste de bolas al interior del mismo”. (Rivera, 2012)

Llegando a las siguientes conclusiones:

- La aplicación del modelo propuesto nos permitió calcular con muy buenas aproximaciones la recarga de bolas en el molino y el consumo de acero de acero por desgaste de las bolas para dos leyes de desgaste diferentes. Teniendo en cuenta los dos

mecanismos de descarga diferentes se observa que el del modelo 1 difiere ligeramente del modelo 2, además de ser mucho más realista el modelo 2 en la práctica industrial.

- La ecuación de balance poblacional propone una adición continua de bolas aunque en realidad ésta es discreta. Esto no constituye un problema, debido a que las constantes de tiempo del proceso son mucho más grandes que la diferencia de tiempo entre adiciones sucesivas de bolas, sin embargo, se puede enfrentar el modelo de desgaste de bolas como un proceso discontinuo, en el que se podría utilizar algún método numérico, para su solución. La utilidad práctica del modelo de desgaste de bolas desarrollado puede resumirse en dos aspectos.
- Puede usarse para planear y controlar la operación de los molinos en relación a la recarga de cuerpos moledores y consumos de acero.
- Además se puede usar en combinación con un simulador de la molienda para optimizar la eficiencia energética y la productividad.

### **2.1.2. Nacional**

En el trabajo de investigación titulada **“Implementación del sistema experto en molinos para optimizar la molienda del circuito de cobre en la planta concentradora de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.”**, planteada por los investigadores Víctor Manuel Chillcce Aquino y Roger Hernán Rojas Amaro (2012) de la Universidad Nacional del Centro del Perú plantea que:

“En el desarrollo minero metalúrgico, se realizan cambios acorde a la variación de las características del mineral y la mejor

recuperación de concentrado. En el caso de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. mejorar la recuperación es un objetivo trazado por este motivo se puso a realizar pruebas, optimizando el circuito de molienda y el cual se ve reflejado en los buenos resultados de una mejor recuperación, reducción de otros costos y beneficios". (Rojas, 2012)

Una vez implementado el sistema experto de molinos se realizaron corridas las cuales en un inicio tuvieron algunos problemas con las lógicas de control, las cuales se fueron corrigiendo en el camino y de esta manera lograr un sistema experto que fuera confiable para el proceso.

Por lo que al notar que través de las se logró una malla de +65 de 7.6 % con una presión de 14.8 PSI lo cual nos indicaría que podemos incrementar el tonelaje por hora ya que tenemos un circuito bastante aliviado.

Entonces se procedió a cambiar los límites de las variables de operación al sistema experto para maximizar ya en este caso el tonelaje, porque una malla muy baja tampoco es conveniente porque perdemos recuperación por finos y la clasificación de arenas en el dique de la presa de relaves se vea afectada. Para la prueba Nro. 04 Ya con los límites de las variables de operación corregidos, se tuvo una malla +65 de 10.5% con una presión de ciclones de 18.5 PSI, se nota aquí que se tienen un circuito con mucho más tonelaje por hora tratado y una malla, más adecuada para la flotación y sin perjudicar a la clasificación de gruesos para la presa de relaves.

Es así que con un control con el sistema experto de molinos se nota claramente una mejora en la liberación del mineral de cobre con un tonelaje mucho mayor. Llegando a las siguientes conclusiones:

- Mediante la instalación y la puesta en marcha el Sistema Experto de molinos fue posible mejorar la molienda de esta manera tener un grado óptimo de liberación de minerales de Cu.
- Con la puesta en marcha del Sistema Experto de molinos se garantiza una moliendabilidad adecuada que garantiza una buena recuperación.
- El Control por Sistema Experto de molinos nos ha permitido alcanzar una mayor capacidad de tratamiento de mineral.
- El Sistema Experto de molinos nos ha permitido lograr una mayor eficiencia de clasificación en los Hidrociclones. La implementación del Sistema Experto de molinos nos permite tener un mejor control de las variables de operación en planta.
- El sistema Experto de molinos es capaz de resolver situaciones complejas en la operación de acuerdo a su programación.

La tesis titulada: **“Modelo “Cebaco” aplicado al control de procesos en el circuito de molienda-clasificación en una planta concentradora de minerales mediante el software LabVIEW”**, César Marino Basurto Contreras (2011) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos plantea que:

“El control de procesos en una planta concentradora se presenta como un problema desde el mismo momento que el mineral bruto cae a las trompas del molino, el proceso es continuo y solo cesa esta continuidad cuando el producto finalmente emerge para descansar en las canchas de almacenamiento de los concentrados y las canchas de relave de las colas.

El material en proceso no puede ser pesado sin interrumpir tal continuidad; consecuentemente, el control de la planta dependerá mucho del muestreo adecuado del material tratado que se encuentra en forma de pulpa. De estas muestras se obtendrá la información esencial y útil por medio del análisis, en cuanto al contenido del metal, distribución del tamaño de partículas y contenido de agua u otros ingredientes en la pulpa del mineral". (Contreras, 2011)

En el presente trabajo se propone una metodología de control de procesos llamado "Cebaco" que consiste básicamente de tres partes principales:

EL primero es el diseño del método de control del proceso que se propone, el control de las variables operativas en el circuito de molienda-clasificación en una planta concentradora que se fundamenta en un mallaje en húmedo en el mismo sitio de muestreo, para la cual solamente se necesitan 2 mallas, éstas pueden ser las No.60 y 200 que son los más recomendables y también contar con un densímetro (balanza MARCY) con su respectivo nomograma, un pesa pulpa de 1 litro de capacidad, conociendo la gravedad específica del mineral, la densidad de la pulpa con estos datos se puede calcular al instante el porcentaje de sólidos en cada flujo del clasificador, y con lo cual se calcula los porcentajes acumulados negativos y positivos de las mallas mencionadas, con dichos datos obtenidos utilizando los modelos matemáticos de Gaudín-Schuhmann y de Rosín-Rammler, los más usados en procesamiento de minerales, con los cuales se obtienen los perfiles granulométricos casi al instante.

El segundo aporte es la elaboración y propuesta del modelo matemático que se basa en función de las densidades de la pulpa tomadas estas en cada flujo del clasificador y de las densidades

obtenidas al hacer el mallaje en húmedo respectivamente en las mallas ya mencionadas y el tercero es la implementación del software Goliat 0.2 en el lenguaje de programación LabVIEW con los modelos matemáticos que se propone donde se puede visualizar en el ordenador los resultados obtenidos al instante. Las pruebas de aplicación y comprobación se realizaron, en las plantas concentradoras de “Austria Duvaz” en Morococha, “Corona” de Chumpe en Yauricocha, Yauyos y “Huari” ubicada en la Oroya perteneciente a la UNCP.

- El control de las variables operativas en el circuito de molienda clasificación realizadas con la metodología propuesta “CEBACO” es eficiente hasta en un 90 % con un nivel de significancia de 0.08 y económicamente rentable en 11.53 dólares americanos por tonelada de mineral tratado. 2.
- El tamaño de partición llamado d50 calculado por el método tradicional es de 81.31 micrones y por el método propuesto es de 83.56 micrones siendo la variación de tan solamente 2.7 %.
- La eficiencia de clasificación calculada por la metodología tradicional es de 57.93 % y por la metodología propuesta es de 53.18 %, siendo la variación solamente del 8% y con un nivel de significancia del 0.08.
- Los resultados más óptimos que se obtuvieron fue donde el tamaño de corte (d50) calculado con la metodología “Cebaco” es de 85.2559 micrones y el d50 calculado con los datos del análisis granulométrico realizado por la metodología tradicional es de 88.3061 micrones casi son similares siendo la diferencia de tan solamente 3.45%, la eficiencia de clasificación calculada por la metodología “Cebaco” es de 51.6255% y haciendo los cálculos con la metodología tradicional da que la eficiencia de



clasificación es de 51.8102 % los resultados son similares siendo la diferencia de tan solamente el 0.36%, y la razón de la carga circulante calculada por la metodología “Cebaco” es de 1.887 y la razón de carga circulante calculada por la metodología tradicional es de 1.903.

- El tiempo que se demora para realizar el control de las variables operativas con el método tradicional es de aproximadamente 4 horas y con el método propuesto el tiempo es de tan solamente 5 minutos, existiendo una diferencia considerable.

### 2.1.3. Local

No existen trabajos de investigación en la ciudad de Cajamarca 2016 con relacionados con el título del trabajo de investigación.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Molinos ABB

Los molinos son usados en la etapa de la molienda, con el fin de seguir reduciendo el tamaño de las partículas que componen el mineral, para obtener una granulometría máxima de 180 micrones (0,18 mm), la que permite finalmente la liberación de la mayor parte de los minerales de oro o cobre según sea la producción de la empresa.

**a) Tipos:** actualmente existe en la industria minera molinos de grandes dimensiones y son de tres tipos: autógeno (AG), de bolas y semi autógeno (SAG).

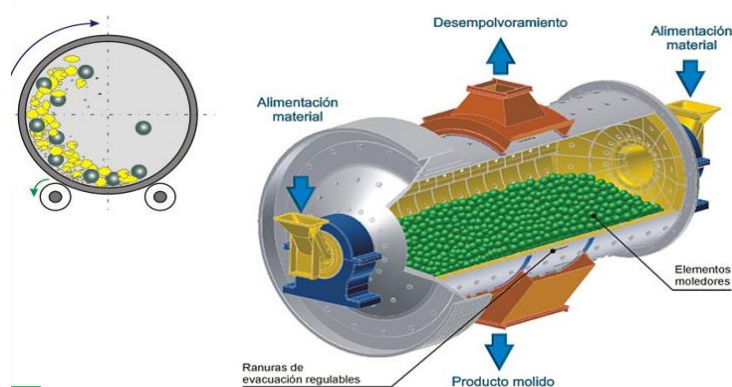
1. **Molino de bolas:** un molino de bolas (Figura 3) es una herramienta eficiente para la pulverización de varios tipos de materiales en polvo fino, por lo general son utilizados

para moler materiales que son de 1/4 pulgadas o más pequeños, hasta un tamaño de partícula de 20 a 75 micrones. Generalmente en circuito cerrado con un hidrociclón aunque pueden operan en circuito abierto. (Galvez, 2010)

Los molinos de bolas pueden ser clasificadas en dos tipos principales, tipo fluente y tipo tubular, dependiendo en las diferentes formas de la materia de descarga.

#### a. Principio de funcionamiento del molino de bolas

Un molino de bolas tiene cilindro rotatorio que es montado horizontalmente y es controlado (conducido) por un engranaje externo. Un eje de manguito transfiere uniformemente el material a la cámara de pulverización. La cámara se compone de diversas especificaciones de bolas de acero tales como escala lineal y onda lineal. La rotación del cilindro horizontal crea fuerzas centrífugas que eleven las bolas para una altura certera donde vuelven a caer, pulverización de los materiales.

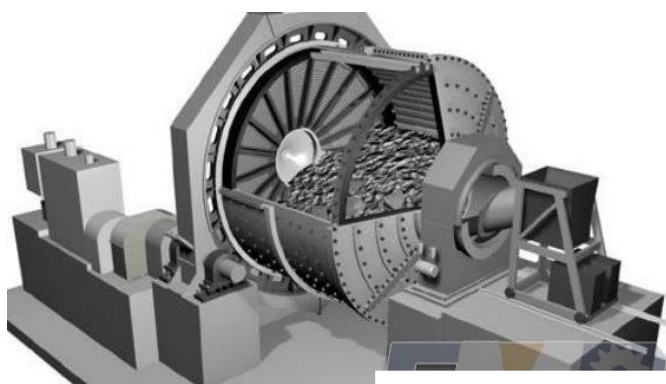


**Figura 3. Molino de bolas**  
Fuente: Bibliografía Metso

**2. Molinos autógenos (AG):** en estos molinos la reducción del tamaño se logra al hacer que el mismo mineral se voltee y caiga sobre sí mismo, las rocas trituran a otras rocas y las partículas paulatinamente se van haciendo más finas;

en estos molinos totalmente autógenos no hay presencia de bolas de acero, poseen una alta capacidad (corto tiempo de retención), son sensibles a la composición de alimentación. (FLORES, 2015)

La molienda autógena puede definirse en forma general, como un método de reducción de tamaño en el cual los medios moledores están formados principalmente por trozos de la mena que se procesa.



**Figura 4. Molino autógeno**  
**Fuente:** Manuales Metso

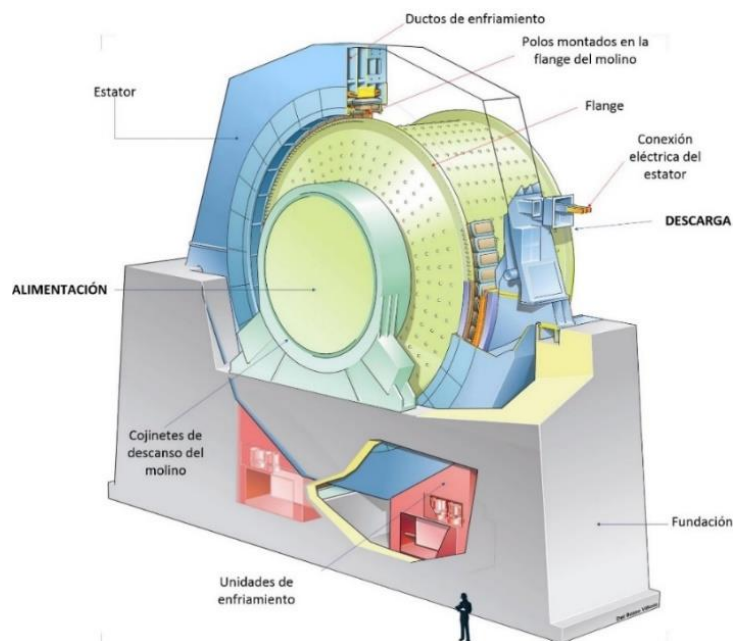
- 3. Molino semiautógeno (SAG):** el término SAG es una sigla para molino semiautógeno, son en todo similares a los molinos de bolas con la característica básica de que el elemento molturador lo constituye una mezcla de bolas y elementos del propio mineral a moler de tamaño grande o notablemente mayor que el correspondiente a un molino solo de bolas. (Blanco, 2011), cuya carga es mineral proveniente en forma directa de la mina, o que ha pasado por un chancado primario.

La cantidad de bolas de acero agregadas para mejorar la acción moledora, representa entre un 4 y 15% del volumen total del molino. Estas bolas generalmente son de tamaños mayores a 3" de diámetro. Dado que las

propias fracciones gruesas actúan como medio de molienda, la carga de alimentación debe contener una fracción gruesa con la superficie calidad y competencia como medio de molienda (dureza), para impactar y friccionar las fracciones de menor granulometría de la carga, hasta reducir su tamaño.

El molino SAG de la planta Gold Mill mide 32 pies de diámetro y 32 pies de largo. Es accionado por un motor envolvente de 16500 KW y puede rotar en cualquiera de las dos direcciones. Cuando se opera en condiciones normales, el volumen del molino está lleno al 25 al 28 % de mineral, bolas y agua. Sólo las bolas ocupan del 9 al 10 % del volumen.

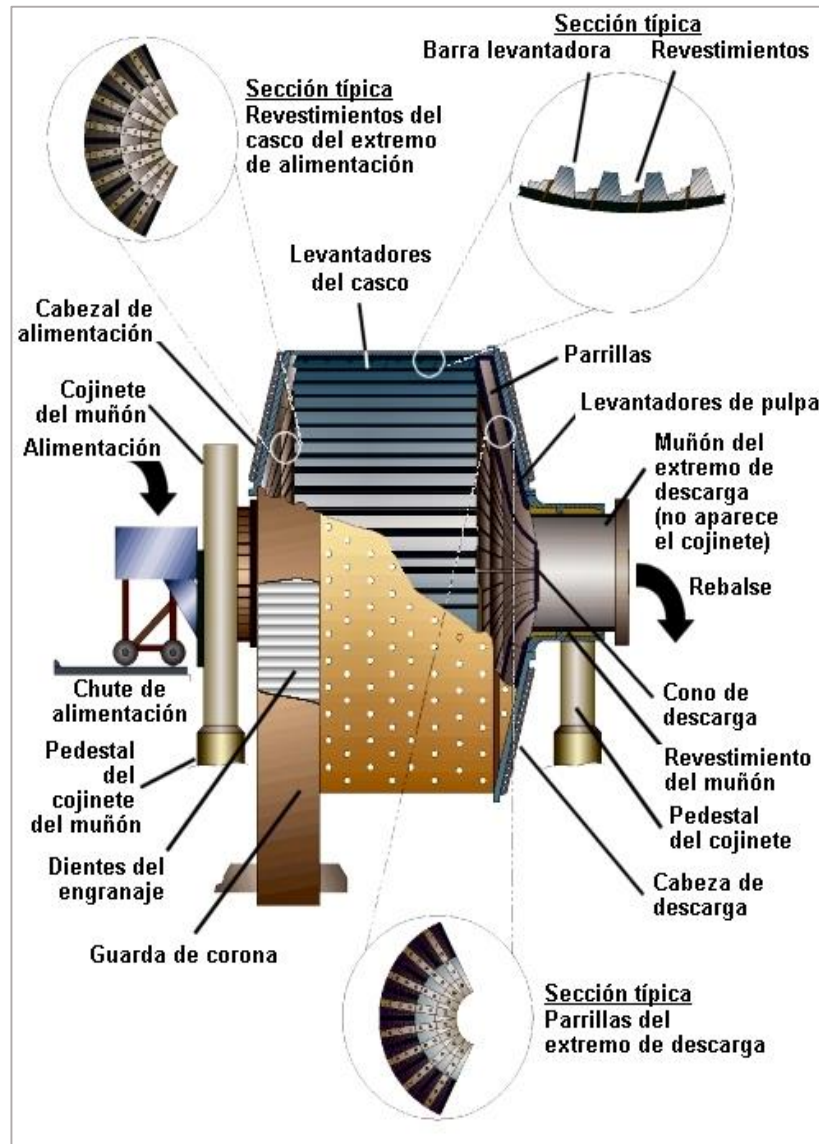
La densidad de pulpa dentro del molino es del 70 al 75 % de sólidos. (Metso Minerals, 2008) El motor del molino puede operar velocidad variable hasta una velocidad máxima del 80 % de su velocidad crítica.



**Figura 5. Molino semi autógeno (SAG)**

**Fuente:** Manuales ABB

- b) **Partes principales del molino SAG:** las principales partes del molino son: muñón de alimentación, casco o carcasa del molino, parrillas, levantadores de pulpa, muñón de descarga y forros o revestimientos

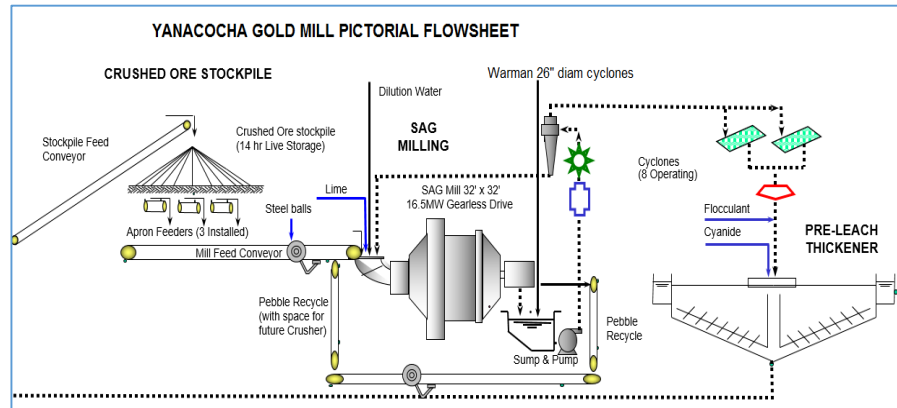


**Figura 6. Partes de un molino SAG**

Fuente: Minera Yanacocha

- c) **Principio de operación molino SAG:** según el diagrama de flujo (Figura 7), la carga que ingresa al molino SAG está conformada por mineral nuevo, bolas de acero 4 pulgadas, material grueso del Trommel y la carga circulante de gruesos de los hidrociclones. La carga total del molino es

aproximadamente 28% del volumen, siendo el 10% ocupado por bolas de acero trituradoras.



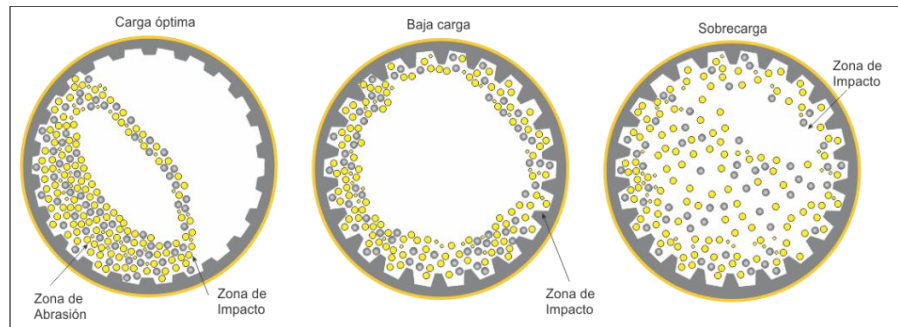
**Figura 7. Diagrama de flujo del circuito de molienda planta Gold Mill**  
Fuente: Minera Yanacocha

El molino SAG está forrado con revestimientos resistentes al desgaste (construido de un acero aleado con cromo-molibdeno) para proteger el casco o base del molino. (Minera Yanacocha, 2009), estos revestimientos normalmente están constituidos con elevadores (zona lifter) de acero que ayudan a levantar la carga durante la rotación del molino aproximadamente dos tercios del trayecto hacia arriba, antes de resbalar a la base de la carga.

La trituración del mineral dentro del molino SAG se origina por la acción de rotación del molino, que ocurre por impacto en las bolas de acero con el mineral o entre el mismo mineral, astillado entre partículas grandes con pequeñas y la presencia de abrasión en las partículas que se frotan unas contra otras y contra las bolas de acero.

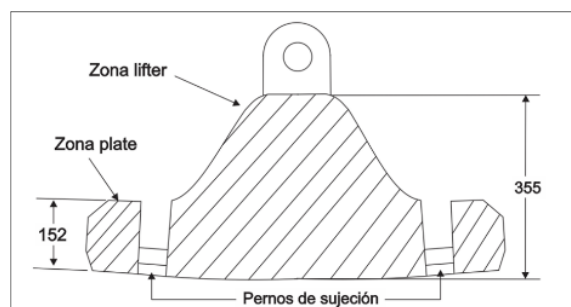
Siendo la velocidad del molino SAG la que genera la mayor parte de la acción levantadora del molino y es accionado por un motor de velocidad variable que opera al 75 a 80% de su velocidad crítica. Mantener el nivel de carga apropiado en el

molino es uno de los parámetros más importantes requerido para una molienda eficiente.



**Figura 8. Movimientos de la carga (mineral) del molino SAG**  
Fuente: Elaboración propia 2016

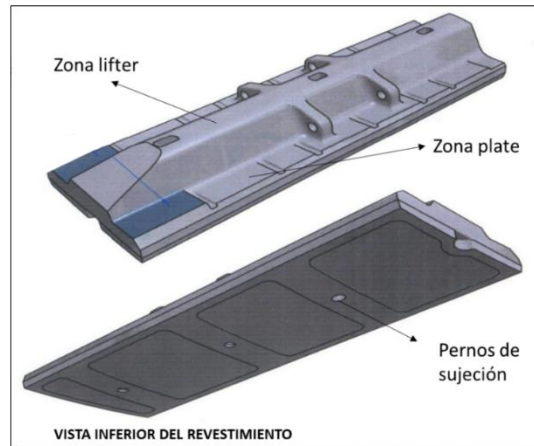
- d) Revestimientos del molino SAG:** el molino SAG está forrado con revestimientos de acero al cromo-molibdeno resistentes al desgaste para proteger el casco. Estos revestimientos están compuestos por dos zona plate y lifter, este último está fijado con elevadores que ayudan a levantar la carga durante la rotación del molino que es levantada hasta casi dos tercios de la extensión del arco de rotación del casco antes de caer hasta el pie de la carga.



**Figura 9. Corte transversal (zona plate y lifter) del revestimiento**  
Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.

Instalar revestimientos reemplazables en un molino no es sólo una cuestión de proteger el casco exterior, si no que tanto el diseño de los revestimientos como los materiales usados en su construcción juegan un papel crítico en el rendimiento del molino. Si se usa el material correcto y un apropiado diseño

levantador, el molino realizará la molienda eficazmente. (Simon Walker, 2010)



**Figura 10. Vista 3D de los revestimientos del molino SAG**  
Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.

Los revestimientos del casco tienen una variedad infinita de formas de izadores (zona lifter). En los recubrimientos lisos (zona plate) ocurre mucho desgaste por abrasión. Pero se puede obtener una trituración fina. En los revestimientos que tienen forma ondulada y/o de resalte y traslape la trituración del mineral se da por impacto así mismo se evita el desgaste de los revestimientos que ocurrido por tres mecanismos: corrosión, impacto y abrasión.



**Figura 11. Revestimientos del molino SAG**  
Fuente: Elaboración propia 2015



**1. ¿Por qué revestir?:** instalar revestimientos reemplazables en un molino no es sólo una cuestión de proteger el casco exterior; tanto el diseño del revestimiento como los materiales usados en su construcción juegan un papel crítico en el rendimiento del molino. Si se usa el material correcto y un apropiado diseño levantador, el molino realizará la molienda eficazmente. Por el contrario, una mala elección puede conducir a una molienda deficiente, exceso de energía utilizada y altos costos de mantención del revestimiento.

Aunque las características físicas del mineral que se está moliendo, tales como su abrasividad y la distribución del mineral dentro de la roca, tienen una gran influencia en la elección del mineral del revestimiento, otros factores también entran en juego.

Por ejemplo, la velocidad rotacional del molino, y consiguientemente la relación entre la gravedad y las fuerzas centrífugas actuando sobre las partículas de rocas y los medios de molienda, tiene un efecto significativo.

**2. Materiales de revestimiento:** “La elección, indicaron, está principalmente entre diferentes aleaciones de hierro y acero, y revestimientos de elastómero en base a cauchos tanto sintéticos como naturales”. (SME, 2006), ellos indicaron que el acero austenítico al manganeso y aceros cromo-molibdeno han sido materiales elegidos para revestimientos de molinos SAG y de bolas, aun cuando la tendencia ha sido hacia el uso de acero cromo-molibdeno con mayor contenido de carbono para molino SAG.

El acero con aleación cromo-molibdeno combina alta resistencia al impacto con una buena duración, y aún es el material predominante en la construcción de revestimientos de molinos SAG.

El hierro blanco sigue siendo el material escogido para zonas de desgaste altamente abrasivas sin impacto. (Royston D. , 2007), “una innovación interesante es el revestimiento bimetálico que usa un inserto de hierro blanco que pueda aumentar la vida útil en lugares de bajo impacto y propensos a la abrasión tales como revestimientos finales.

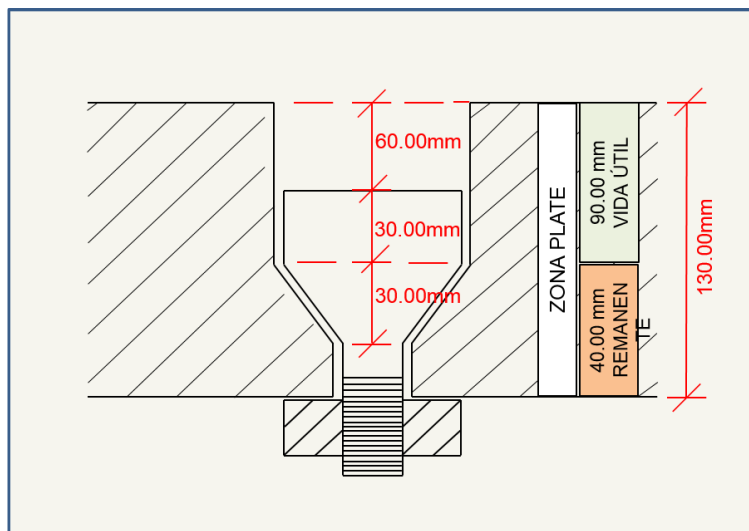
### **3. Tendencias de la práctica afectan requerimientos del revestimiento:**

“En años recientes, la tendencia hacia una alimentación de mineral de menor tamaño a los molinos SAG igualada por una tendencia hacia una mayor número de bolas más pequeñas en la carga de los molinos SAG. Altos índices bola-a-roca y bajos niveles totales de carga de molino ahora son ampliamente usados.

Estas prácticas pueden ocasionar una pérdida periódica de carga de roca y daño por bola-en-revestimiento. (Royston D. , 2010), “una larga duración del revestimiento en ambientes agresivos de molienda requiere una cuidadosa operación del molino para mantener la carga de rocas y evitar el daño por bola-sobre-revestimiento, como también un diseño robusto del revestimiento del molino”

**4. La logística del manejo de revestimientos:** volver a revestir un molino es una tarea ardua, no sólo a causa del simple peso de cada segmento de un revestimiento, sino también debido a la precisión con la que hay que instalar el revestimiento si se quiere operar el molino eficientemente.

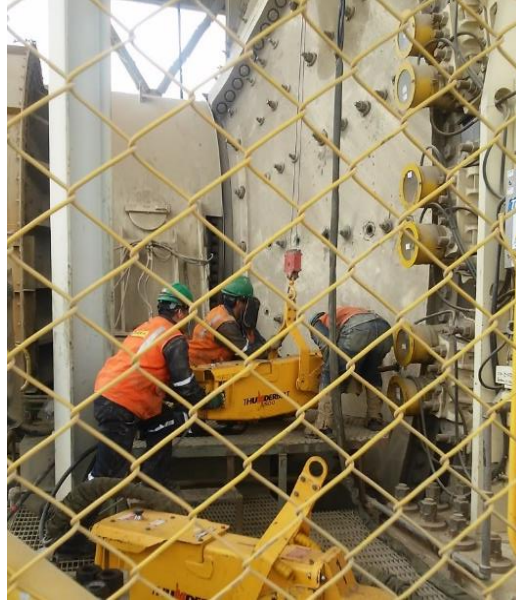
Además se debe tener en cuenta criterios para realizar los trabajos de revestido del molino SAG, como la vida remanente de 40 mm. del revestimiento, básicamente en la zona plate, por la existencia de pernos de sujeción, que determinan el desgaste máximo que debe estos medios deben tener, con el fin de evitar desprendimientos del revestimiento que ocasionaría daños en el casco del molino SAG, detallado en la figura que a continuación se presenta.



**Figura 12. Ratios de desgaste mínimo en la zona plate**  
Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.

“Su manipulador de rellenos de primerísima calidad, una máquina de revestido de ocho ejes dobles, ha reducido el tiempo necesario en alrededor de tres cuartos

para los molinos grandes, representando un importante ahorro de costos” (RME, 2011)



**Figura 13. Martillo hidráulico thunderbolt - RME RUSSELL**  
**Fuente:** Elaboración propia 2015

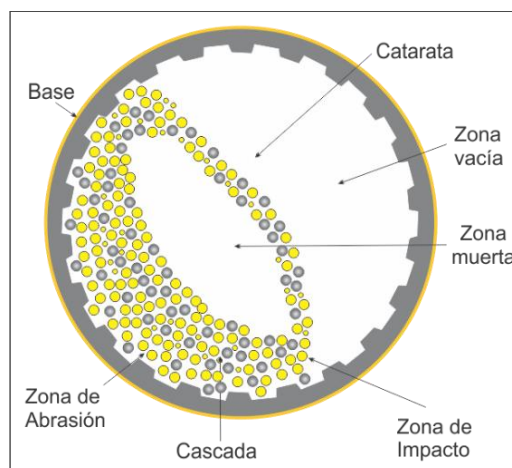


**Figura 14. Máquina de revestidos de molinos SAG Russell**  
**Fuente:** Elaboración propia 2015

### **e) Movimiento de la carga dentro del molino SAG**

Mientras el molino rota las bolas de acero y el mineral es levantado por los izadores (lifters), originando dentro del molino dos tipos principales de movimiento.

1. **En Cascada:** en el movimiento de cascada se produce la caída de bolas y de la carga (mineral) al momento de girar el molino, el cual resbala hacia la base. El producto de la molienda en cascada, es más fina y el desgaste del revestimiento es mayor.
2. **En Catarata:** en el movimiento de catarata las bolas son arrojadas de la carga (mineral) e impactan en la base de la misma (no en los revestimientos). La caída en catarata tiene como resultado la pulverización por impacto y un producto final más grueso con menos desgaste de revestimientos.



**Figura 15. Movimiento de bolas y la carga de mineral**  
**Fuente:** Elaboración propia 2016

3. **Abrasión (zona de cizallamiento):** las bolas son levantadas por izadores (zona Lifter) del molino unas sobre otras. El mecanismo de trituración es principalmente abrasivo. Aproximadamente 48% de trituración ocurre en esta zona. (UPC, 2009)
4. **Atrición (zona de cascada):** las bolas, en la parte superior de su viaje, empiezan a alejarse del casco y caen en cascada hacia la base de la carga. Esto causa acción de

trituration violenta (astillado). Aproximadamente 50% de trituration ocurre en esta zona.

**5. Zona de impacto (pie):** esta zona, conocida como el pie, es donde las bolas en catarata impactan en la base de la carga y fragmentan el mineral. Sólo 2% de trituration ocurre en esta zona.

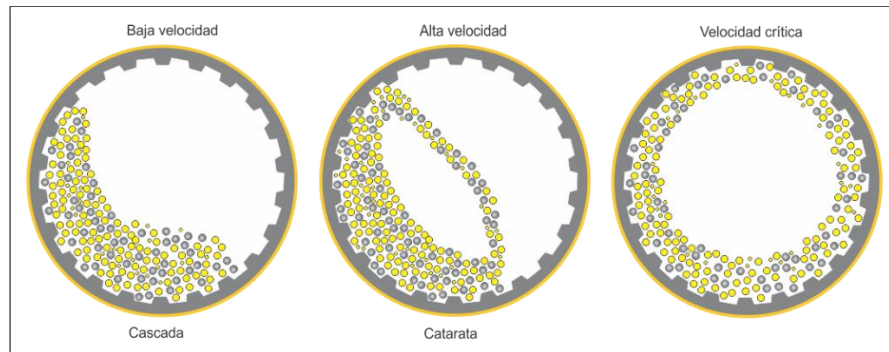
**6. Zona de no trituration (zona muerta):** estas áreas son donde las bolas se encuentran en el aire.

**7. Zona vacía:** esta es el área donde las bolas no llegan y está vacía.

**f) Velocidad del molino:** la velocidad del molino es importante porque determina la naturaleza del producto y la cantidad de desgaste en los revestimientos del casco. Las bolas deben caer al pie de la carga, y no en el revestimiento, lo que podría conllevar al rápido desgaste del revestimiento. (Minera Yanacocha, 2009)

A bajas velocidades o con revestimiento lisos, las formas del medio caen al pie del molino y se produce pulverización abrasiva. Esta caída en cascada tiene como resultado trituration más fina, con aumento de producción de pulpa mineral y aumenta el desgaste de los revestimientos. A mayores velocidades las formas del medio son despedidas de la carga antes de caer al pie de la misma.

Esta caída en catarata tiene como resultado pulverización por impacto y un producto final más grueso con reducción de desgaste del revestimiento. A la velocidad crítica del molino se aumenta la velocidad centrífuga y el medio es llevado en una posición fija contra el casco.

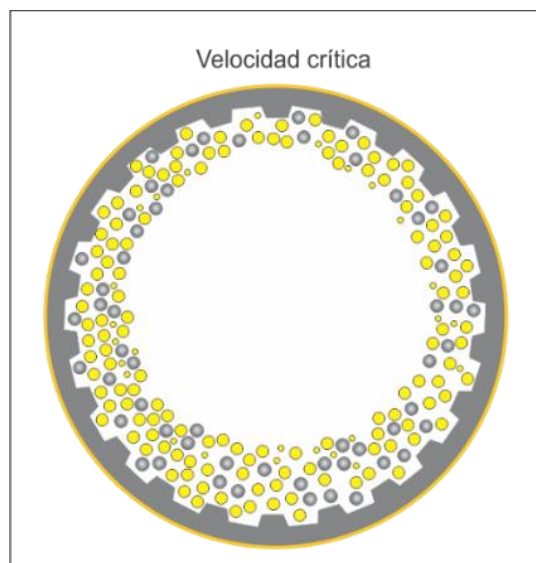


**Figura 16. Tipos de velocidad del molino SAG**

Fuente: Elaboración propia 2016

### g) Velocidad crítica

La velocidad crítica es la velocidad en que las bolas empiezan a centrifugar y se quedan adheridas en los revestimientos del molino durante la rotación del molino. La velocidad del molino se refiere a un porcentaje de la velocidad crítica. La tasa de molienda depende de la velocidad del molino donde la ruptura de partículas generalmente aumenta con la velocidad del molino. Esto es verdadero hasta una velocidad óptima que, de excederse, causará que la tasa de molienda disminuya. El Molino SAG de Gold Mill puede operar hasta un máximo del 80 % de su velocidad Crítica.



**Figura 17. Esquema de la velocidad crítica del molino SAG**

Fuente: Elaboración propia 2016

La velocidad Crítica se calcula con la fórmula:

$$N_c = \frac{76.63}{\sqrt{Dm}} \text{ en rpm}$$

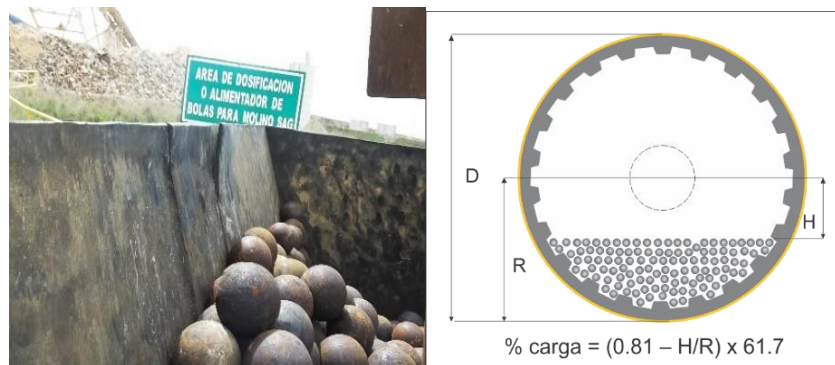
Donde Dm es en pies

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{Dm}} \text{ en rpm}$$

Donde Dm es en metros

**h) Nivel de llenado de carga:** La carga del molino es una medida del porcentaje de bolas de trituración en el molino, es muy importante que el volumen de carga de molino óptimo se mantenga y debe verificarse cada vez que el molino esté fuera de servicio por mantenimiento.

**1. Método 1:** se puede utilizar el siguiente cálculo para determinar el volumen que la carga del molino ocupa como un porcentaje.



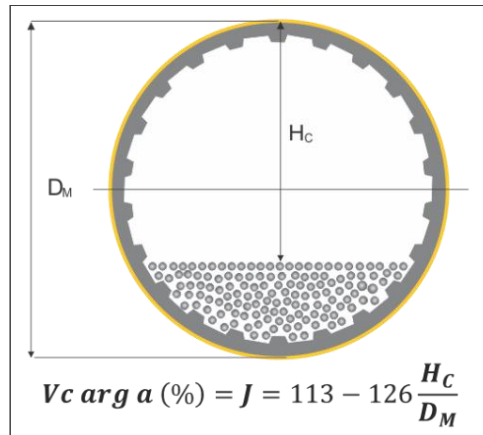
**Figura 18. Cálculo de la cantidad de carga al molino**

**Fuente:** Elaboración propia 2016

Existen otros métodos para medir la carga dentro del molino como:

**2. Método 2:** midiendo la altura desde la parte más alta hasta la carga.





**Figura 19. Altura de las bolas del molino SAG**  
**Fuente:** Elaboración propia 2016

**3. Porcentaje de llenado de bolas:** el nivel de llenado de bolas es de 9 a 10 % del volumen del Molino SAG, y se calcula de la siguiente expresión:

$$J_B = \frac{V_B}{V} * 100$$

$J_B$  = nivel de llenado de bolas

$V_B$  = volumen de bolas

$V$  = volumen de molino

**i) Densidad de pulpa:** la densidad de pulpa es el peso del mineral seco en la pulpa, es decir, el % de sólidos. En el molino SAG la descarga de sólidos es del 70 al 75 % y del 45 % en el cajón de las bombas que alimenta a los hidrociclones.

**1. Porcentaje de sólidos demasiado alto:** puede causar problemas de viscosidad donde los revestimientos en el molino se llenen de arcilla. Esto causa que la carga se apelmace a la carga molturante y tenga un efecto amortiguante. Esto causa una disminución de la potencia del molino.

**2. Porcentaje demasiado bajo de sólidos:** se diluirá la carga, aumentará el consumo de bolas a través de contacto

metal con metal, disminuirá el tiempo de residencia, el producto de la molienda es más grueso, causará desgaste de revestimiento y posible rotura a alta velocidad.

La base conceptual del manejo y control que utilizan los molinos SAG, consiste básicamente en variar los flujos de alimentación de mineral y agua y/o variar la velocidad del giro del molino para mantener la presión de las células de carga en los descansos de lubricación hidrostática, y la potencia consumida en un rango específico. El tiempo de indisponibilidad por mantención programada más significativo del molino corresponde al revestido del molino SAG, el cual debe planificarse en conjunto con los periodos de mantención general del concentrador, con el objeto de disminuir la indisponibilidad del molino por causa de este trabajo (Minerals, 2011)

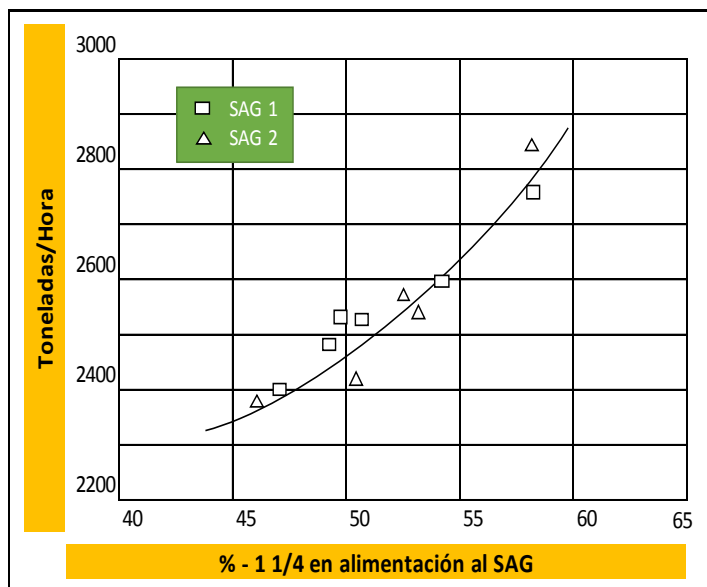
**j) Factores que afectan el rendimiento en molienda SAG:**

Dentro de los factores que tienen un impacto en el rendimiento del molino se pueden mencionar los más importantes a continuación:

- 1. Granulometría de alimentación:** la distribución de tamaños de partícula alimentados y la dureza son variables que están relacionadas y dependen de las características de la roca alimentada a los procesos de molienda. Por esta razón es poco frecuente que los efectos de ambas variables sobre el rendimiento de la molienda SAG puedan observarse por separado.

Esto se debe a que las rocas duras tienden a generar 2 efectos naturales: (i) Producen una mayor proporción de partículas gruesas partiendo desde la tronadura hasta la

alimentación del molino, y (ii) Se genera una mayor segregación en los stockpiles de alimentación al proceso de concentración, lo que complica el manejo de materiales para alcanzar el perfil granulométrico deseado u óptimo.



**Figura 20. Granulometría/ rendimiento de la molienda SAG**  
Fuente: Elaboración propia 2016

- 2. Dureza del mineral:** la dureza del mineral que se alimenta al molino, es algo sobre lo cual el operador no tiene control. Mientras más duro es el mineral, mayor será el tiempo que toma su reducción de tamaño, por esto, para un flujo de alimentación constante, el volumen de la carga aumentará junto con la dureza del mineral.

Si el molino está siendo operado con un tonelaje inferior a su capacidad máxima, al aumentar el volumen de su carga consumirá más potencia y el cambio en la dureza se compensará con un aumento del consumo de energía por tonelada de mineral fresco, sin embargo si el molino está siendo operado a su máxima capacidad, un aumento de la dureza, producirá un sobrellenado que sólo podrá ser compensado con una disminución del flujo de alimentación.



**Figura 21. Zona de descarga de material**

**Fuente:** Elaboración propia 2016

Cuando no existen problemas de segregación del mineral de alimentación, las variaciones en la granulometría pueden considerarse indicadoras de la dureza relativa del mineral, correspondiendo al mineral más duro una granulometría con mayor proporción de gruesos.

- Nivel de carga de bolas
- Abertura de parrillas de descarga
- Velocidad de rotación
- Densidad de pulpa
- Diámetro de bolas
- Diseño de los levantadores de carga

**k) Mantenimiento del molino SAG:** el mantenimiento es la clave para una operación exitosa del molino. Establecida por un programa que incluye procedimientos de mantenimiento preventivo y una inspección de mantenimiento, esta última determina la condición del elemento que se está inspeccionando mientras que el primero es un procedimiento que cambia las condiciones del elemento sobre el cual se realiza la acción. (Proyecto de Yanacocha, 2008)



**Figura 22. Mantenimiento del molino SAG – Planta Gold Mill**  
**Fuente:** Elaboración propia 2016

**2.2.2. Desgaste de materiales:** el desgaste puede ser definido como el daño superficial sufrido por los materiales después de determinadas condiciones de trabajo a los que son sometidos. Este fenómeno se manifiesta por lo general en las superficies de los materiales, llegando a afectar la sub-superficie.

El resultado del desgaste, es la pérdida de material y la subsiguiente disminución de las dimensiones y por tanto la pérdida de tolerancias. Los mecanismos de daño en los materiales se deben principalmente a deformación plástica, formación y propagación de grietas, corrosión y/o desgaste.

#### **a) Tipos de desgaste**

**1. Desgaste por fatiga de contacto:** este tipo de desgaste ocurre cuando piezas son sometidas a elevados esfuerzos, los cuales provocan la aparición y propagación de grietas bajo la acción repetitiva de estos. En el caso de piezas sometidas a deslizamiento, las capas superficiales sufren intensas deformaciones como resultado de la acción simultánea de las tensiones de contacto y de la fuerza de fricción.

Los esfuerzos a los que están sometidos los materiales particularmente en las capas superficiales, promueven en la mayoría de los casos, alteraciones en la estructura cristalina y en el tamaño de grano.

- 2. Desgaste abrasivo:** la norma ASTM G40-92 define el desgaste abrasivo como la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ella.

La diferencia entre desgaste abrasivo y desgaste por deslizamiento es el grado de desgaste entre los cuerpos involucrados (mayor en el desgaste abrasivo), ya sea por la naturaleza, tipo de material, composición química, o por la configuración geométrica.

En abrasión a de los cuerpos, el desgaste es causado por rugosidades duras pertenecientes a una de las superficies en contacto, mientras que la abrasión a tres cuerpos, el desgaste es provocado por partículas duras sueltas entre las superficies que se encuentran en movimiento relativo.

“El desgaste de un material puede calcularse además por métodos planimétricos en los que interesa no solo la comparación entre un material y otro, sino también la influencia de la forma y el diseño del elemento a ensayar. Este método planimétrico consiste en proyectar en una pantalla a escala ampliada el perfil del elemento a estudiar, y se determina así la pérdida de material sufrida” (EcuRed, 2016)

Existen mecanismos de desgaste abrasivo: el mecanismo de separación de las partículas de la superficie de contacto se origina debido a que las irregularidades del material más duro se introducen en la estructura del más blando mediante el deslizamiento plástico.

En presencia de un movimiento tangencial, la superficie dura se deslizaría formando surcos en la superficie de menos dureza, pudiendo desprender al mismo tiempo material de este.

La destrucción del metal producto de microcortes o debido a la deformación plástica está estrechamente relacionada con las condiciones de trabajo de la pieza y de la naturaleza de las partículas abrasivas ha establecido experimentalmente (John, 1980) (Tenembuam.M.M., 1966) que el mecanismo de desgaste abrasivo queda determinado fundamentalmente por la relación entre los valores de dureza del material (Hm.) y la dureza de las partículas abrasivas (Ha).

**3. Desgaste por Impacto:** se define a este tipo de desgaste como la pérdida de material de una superficie sólida producto del choque o contacto dinámico repetitivo de otro cuerpo sobre dicha superficie.

**4. Desgaste adhesivo:** adhesión o desgaste adhesivo se denomina en muchas ocasiones como desgaste severo y constituye el punto de partida para desarrollar el proceso de deterioro entre las superficies de los metales al producirse un rozamiento sobre ellos.

Si se analiza el mecanismo físico del desgaste adhesivo es necesario considerar los procesos y parámetros de adhesión y de ruptura de las capas superficiales, así como la influencia del medio. Sobre este último aspecto se han realizado trabajos investigativos (Hurrieks, 1972) en los que se ha demostrado la influencia de la temperatura en el comportamiento de los materiales respecto a la resistencia del desgaste adhesivo en una situación dada.

**b) Factores que afectan el desgaste:**

1. **Dureza:** con el fin de aumentar la resistencia al desgaste se debe buscar incrementar la dureza de materiales sometidos a condiciones severas de desgaste, mediante el uso de tratamientos térmicos o elementos aleantes que promueven la generación de microestructuras duras. En la figura 26 se puede observar como al incrementar el contenido de grafito se incrementa la dureza y la formación de microestructuras con carburos finos y duros en la matriz, disminuyéndose el volumen desgastado.

Dependiendo de la dureza de los materiales que intervienen en un proceso de desgaste se puede observar tres regímenes:

- a. **Régimen débil:** cuando la dureza del abrasivo es menor que la del metal.
- b. **Régimen de transición:** cuando la dureza del abrasivo es aproximadamente la dureza del metal.



c. **Régimen severo:** cuando la dureza del abrasivo es mucho mayor que la del metal.

2. **Partículas Abrasivas:** el tamaño y la forma de las partículas como se muestra en la figura anterior, junto con la - magnitud de carga que se aplica tiene influencia en el mecanismo o tipo de desgaste que predomina, está demostrado que mientras mayor sea la dureza de las partículas abrasivas, se incrementa la tasa de desgaste de un componente en contacto con estas partículas.

Con relación a la microestructura partículas duras pueden extraer fases pequeñas o cortar y romper grandes fases en una microestructura, mientras que las partículas suaves son capaces de cavar la superficie o crear grietas.

### 2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. **Bolas de acero:** son bolas de acero forjadas y/o roladas en caliente, libres de porosidad (superficial e interna).

2.3.2. **Densidad de la pulpa:** La densidad de la pulpa es el peso en kilogramos de un litro de pulpa. La medida más útil es sólidos porcentuales.

2.3.3. **Flujo de adición de agua:** es una variable importante para producir variaciones en la carga interna del molino y maximizar la capacidad de procesamiento de mineral.

2.3.4. **Índice de trabajo:** es el parámetro de la reducción de tamaño que expresa la resistencia del material a la trituración y molienda, se expresa en Kw-h/TC.

2.3.5. **Lifter:** levantador, alzador de los revestimientos.

- 2.3.6. Mediciones por ultrasonido:** es una técnica de ensayo no destructivo para la cual no es necesario cortar ni seccionar el material. Se trata de un método rápido, fiable y versátil para determinar el espesor de materiales como: tubos, válvulas, tanques, calderas, cascos navales o de cualquier material sujeto a corrosión y desgaste.
- 2.3.7. Micrón:** 1000 micrones ( $\mu\text{m}$ ) equivalen a 1 milímetro – usado para rangos de tamaño fino.
- 2.2.2. Mineral:** roca que contiene el mineral valioso.
- 2.2.3. Tonelaje de alimentación:** es el porcentaje o cantidad de mineral de alimentación ingresado al molino.
- 2.3.8. Parámetro:** es un número que resume la gran cantidad de datos que pueden derivarse del estudio de una variable estadística.
- 2.3.9. Ph de la pulpa:** Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa, que produce corrosión en los metales.
- 2.3.10. PI data link:** Es un Add-in (módulo externo) para excel, que se utiliza para el análisis de datos tabulares. Proporciona un usuario final la posibilidad de importar datos desde el servidor de producción para la manipulación, comparación o de generación de informes.
- 2.3.11. Plate:** es la zona plana del revestimiento del molino SAG.
- 2.3.12. Potencia del motor:** es la relación de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir la cantidad entregada absorbida por un elemento en un tiempo determinado, sus unidades son watt.

- 2.3.13. Porcentaje de llenado de bolas:** es el nivel óptimo de llenado de bolas, es dependiente de las características estructurales del molino y del sistema de lubricación.
- 2.3.14. Pulpa:** es un fluido que contiene sólidos finos suspendidos en un líquido (generalmente agua).
- 2.3.15. Revestido:** acción de realizar el manteamiento de revestimientos de un molino SAG.
- 2.3.16. Revestimiento:** son forros de sacrificio que sirven para proteger los cilindros o casco del molino y para mejorar el movimiento del mineral con el fin de aliviar la máxima cantidad de mineral posible del yacimiento.
- 2.3.17. Tamaño de partículas (F80):** es la reducción que sufre el mineral, necesaria para reducir el material desde el tamaño teórico de alimentación infinito hasta que un 80 % pase por la abertura lo que en este caso es de 106 micrómetros.
- 2.3.18. Trituración:** reducción de rocas pequeñas a una partícula de tamaño fino.
- 2.3.19. Velocidad del motor:** es el número de giros que el rotor realiza en un minuto de tiempo, se expresa en r.p.m. (revoluciones por minuto).
- 2.3.20. Velocidad crítica:** está definida como la velocidad a la cual los elementos que constituyen la carga comienzan a centrifugarse y, por lo tanto, a alojarse sobre las paredes internas del molino.

## **CAPITULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **3.1. Validez y confiabilidad de los instrumentos**

#### **3.1.1. Confiabilidad del instrumento de medición**

El detector de defectos por ultrasonidos Epoch xt, es compacto, está dotado de herramientas eficaces de detección y medición de defectos, cuenta con una pantalla brillante LCD en colores, funciona con diferentes tipos de baterías y posee una gran capacidad de tratamiento de datos y numerosas herramientas software, puede estar sometido a ensayos de resistencia contra choques, vibraciones y ambientes explosivos, y ha sido usado por el equipo de Ingeniería de Mantenimiento procesos desde el funcionamiento de la Planta Gold Mill.

#### **3.1.2. Validación del instrumento de medición de espesores**

##### **a) Validez del contenido**

El detector de defectos por ultrasonidos Epoch xt: realiza mediciones de los tipos: espesor, trayectoria acústica, proyección, profundidad, amplitud, tiempo de vuelo para la puertas 1 y puerta 2. (Ver anexo 15)

- b) **Validez de criterio:** para contrarrestar la validez de la mayoría de los datos de los parámetros estudiados se procedió a validar con los registros de realizados por el área de operaciones (ver anexo 07)
  
- c) **Evidencia sobre la validez de constructo:** el detector de defectos por ultrasonidos Epoch xt pertenece la marca de equipos de mediciones Olympus y sus especificaciones son de acuerdo a la norma europea EN12668-1, así como la certificación de la empresa misma. (Ver anexo 14)

### 3.2. Análisis de tablas y gráficos

#### 3.2.1. Parámetros de desgaste

Los parámetros de desgaste seleccionados según la bibliografía estudiada para el modelamiento de la ecuación del revestimiento del molino SAG – Planta Gold Mill son:

- Mineral en toneladas (Tn)
- Ph de la pulpa del molino
- Índice de trabajo
- Potencia del motor
- Adición de agua al molino
- Velocidad del motor
- Bolas de acero (Tn)
- Tamaño de partículas (F80)
- Densidad de la pulpa del molino
- Mineral en kilo toneladas (KTn)

A continuación se muestra el consolidado de datos de parámetros y mediciones de la zona plate y lifter, procesados desde 06 de junio del 2012 al 31 de agosto del 2015, y que son la base para todo el procesamiento del modelamiento de las ecuaciones para la zona plate y lifter de revestimientos del molino SAG – Planta Gold Mill – Área Procesos – Minera Yanacocha S.R.L.

**Tabla 3. Consolidado de parámetros y desgastes 2012 - 2015**

FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Adición de agua al molino	Ph de la pulpa	Densidad de pulpa	Energía del motor	Velocidad del molino	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en Kilo toneladas (KTn)	Zona plate	Zona lifter
06/06/2012	20547.62	41.90	209.07	11.51	1.83	14738.19	9.80	48.00	16.96	492.06	126.36	323.23
25/07/2012	19945.82	29.29	153.37	11.22	1.83	13092.11	9.13	10.00	15.06	1268.91	120.86	278.26
12/08/2012	17993.92	48.71	130.77	11.03	1.84	13679.46	9.29	14.00	18.87	1623.26	119.85	277.70
19/09/2012	17388.89	40.63	96.35	11.07	1.70	12886.06	9.36	6.00	18.21	2315.50	104.23	230.72
17/10/2012	18020.54	58.07	224.47	11.39	1.95	13625.04	9.49	0.00	17.47	2800.53	82.72	210.15
15/11/2012	15480.03	43.61	100.77	11.43	1.79	12013.35	9.61	56.00	19.78	3281.01	59.67	184.00
03/12/2012	14743.62	88.96	90.00	11.38	1.64	14507.86	9.53	10.00	23.64	3584.30	51.35	171.32
27/12/2012	20886.60	45.00	26.48	11.55	1.89	13214.98	8.86	18.00	15.60	351.74	123.40	322.14
19/02/2013	18796.57	38.97	99.93	11.16	1.72	12330.79	9.29	16.00	15.60	1370.06	115.79	293.72
07/03/2013	18827.01	24.62	84.52	11.24	2.21	11861.84	9.16	14.00	7.02	1645.94	112.07	280.59
21/05/2013	15620.36	43.51	42.66	11.00	1.90	13306.99	9.49	20.00	17.76	2952.06	98.92	237.68
10/07/2013	18940.46	70.06	46.42	10.06	2.21	13966.00	9.50	20.00	7.90	3830.79	78.56	195.36
21/08/2013	16704.25	93.59	102.22	10.55	1.77	15109.33	9.80	36.00	22.01	4577.60	51.12	156.03
30/10/2013	14137.62	24.14	47.26	10.86	2.00	12567.97	8.49	12.00	18.87	1152.51	117.33	297.75
24/01/2014	20864.52	26.49	86.15	11.28	2.21	13596.48	8.67	38.00	15.62	2706.07	103.03	244.58
18/03/2014	5645.41	0.00	0.00	9.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3685.18	90.58	214.32
23/04/2014	18842.22	36.69	15.96	11.43	2.20	14883.74	9.52	18.00	18.57	4311.44	80.98	191.45
03/06/2014	19948.53	42.48	71.79	11.07	1.93	14090.55	9.81	40.00	16.60	5061.20	38.00	156.03
18/09/2014	7621.28	0.00	0.00	10.01	2.22	0.00	0.00	0.00	0.00	1843.06	128.86	288.63
15/10/2014	18659.33	63.46	158.86	11.53	2.22	12748.26	8.74	14.00	15.41	2329.91	108.91	274.07
03/12/2014	20817.30	75.01	204.85	11.81	2.22	13423.37	8.69	20.00	15.74	3250.67	98.81	231.00
19/02/2015	15824.23	26.50	125.73	11.55	2.22	11704.33	8.13	0.00	17.35	4640.01	59.60	178.58
10/03/2015	18721.74	74.98	122.31	11.87	2.22	15280.87	9.21	10.00	19.89	4948.57	35.25	162.00
27/03/2015	14888.34	8.28	37.43	10.68	2.22	12892.57	8.35	10.00	23.59	147.49	142.33	330.23
22/04/2015	16018.37	0.00	95.16	11.22	2.22	13126.70	8.70	30.00	16.43	609.01	132.00	324.93
31/08/2015	16915.91	21.51	33.35	9.85	2.22	14659.06	9.51	32.00	19.99	2950.79	80.74	193.32

Fuente: Elaboración propia - 2016

**Tabla 4. Matriz de correlaciones**

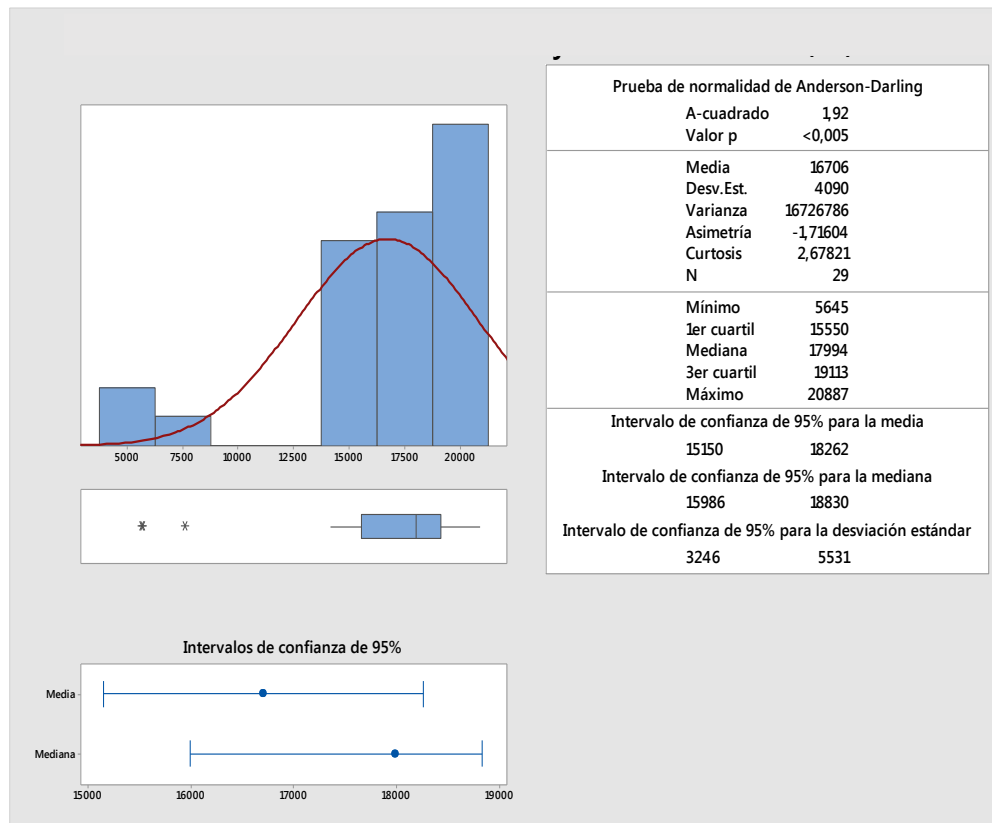
	Mineral (Tn)	Tamaño de partículas	Adición de agua	Ph de la pulpa	Energía del motor molino	Velocidad del molino	Consumo de bolas de acero	Índice de trabajo	Mineral en KTn	zona plate	zona lifter
Mineral (Tn)	1										
Tamaño de partículas (F80)	0,381	1									
Adición de agua	0,594	0,444	1								
Ph de la pulpa	0,62	0,582	0,729	1							
Energía del motor molino	0,893	0,485	0,41	0,579	1						
Velocidad del molino	0,887	0,518	0,491	0,658	0,974	1					
Consumo de bolas de acero	0,316	-0,026	0,114	0,263	0,329	0,387	1				
Índice de trabajo	0,62	0,492	0,208	0,485	0,878	0,881	0,264	1			
Mineral en KTn	0,066	0,605	-0,181	0,04	0,198	0,211	0,029	0,192	1		
zona plate	-0,14	-0,632	0,144	-0,16	-0,295	-0,297	-0,171	-0,287	-0,97	1	
zona lifter	-0,007	-0,575	0,216	0,026	-0,142	-0,16	-0,007	-0,162	0,956	-0,993	1

**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

**Interpretación:**

- Kilo toneladas está en el cruce de las zonas plate y lifter, por lo tanto entra al modelamiento de desgaste en ambas zonas.
- En la zona plate entra el tamaño de partículas (F80) y consumo de bolas; no entra energía o velocidad del molino porque tienen buena correlación con kilo toneladas o tamaño de partículas y no son consideradas.
- En la zona lifter entra índice de trabajo y Ph de la pulpa, no entran otros factores por que se correlacionan con kilo toneladas.
- En ambos casos se verificó la participación de los parámetros antes mencionados, teniendo en cuenta que el factor de estudio es el desgaste de revestimientos.

**Gráfico 1. Informe de resumen del mineral en toneladas (Tn)**



**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

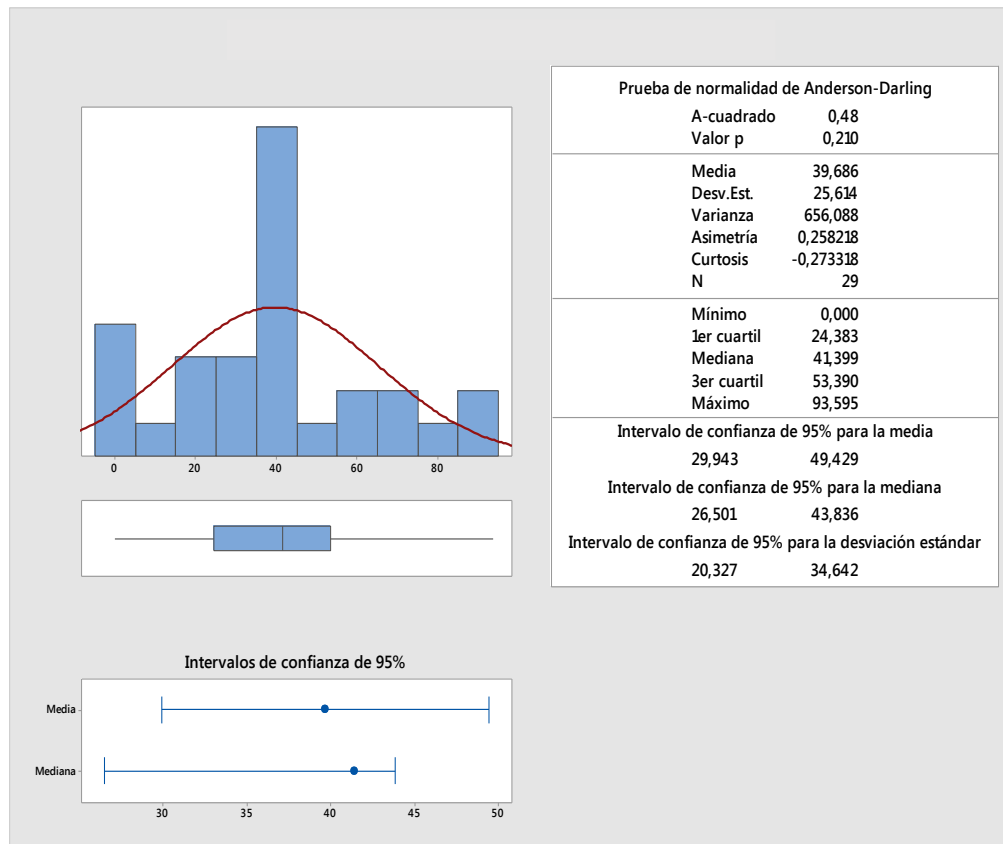
**Descripción:**

El Gráfico 1 describe el resumen del mineral en toneladas (Tn) que representa:

- Promedio o media de 16706
- Desviación estándar de 4090
- Coeficiente de variación de 24.5%
- Mínimo de 5645
- Mediana de 17994
- Máximo de 20887
- La media se encuentra entre 15150 y 18262 toneladas
- Intervalo de confianza es igual a 95%



**Gráfico 2. Informe de resumen del tamaño de partículas (F80)**



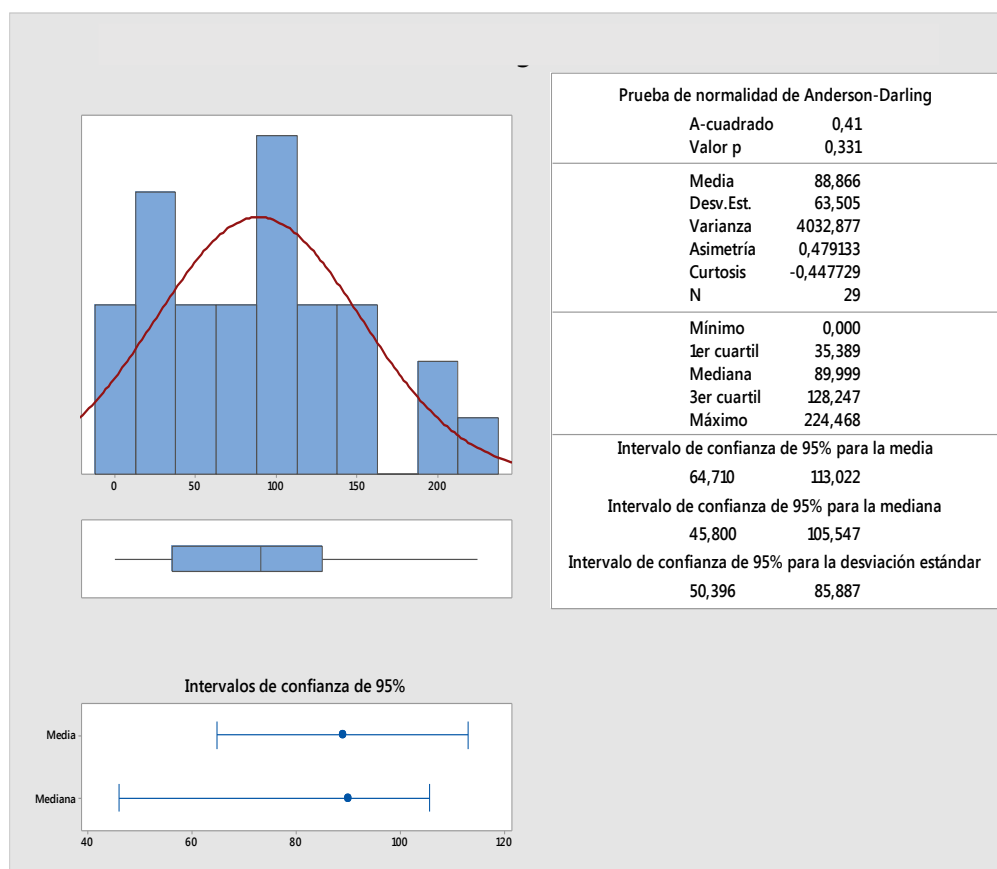
**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

## Descripción

El gráfico 2 describe el tamaño de partículas (F80) que representa:

- Promedio o media de 39, 686
- Desviación estándar de 25614
- Coeficiente de variación de 64.5%
- Mínimo de 0.00
- Mediana de 41399
- Máximo de 93,595.
- La media se encuentra entre 29943 y 49429
- Intervalo de confianza del 95%

**Gráfico 3. Informe de resumen de adición de agua al molino**



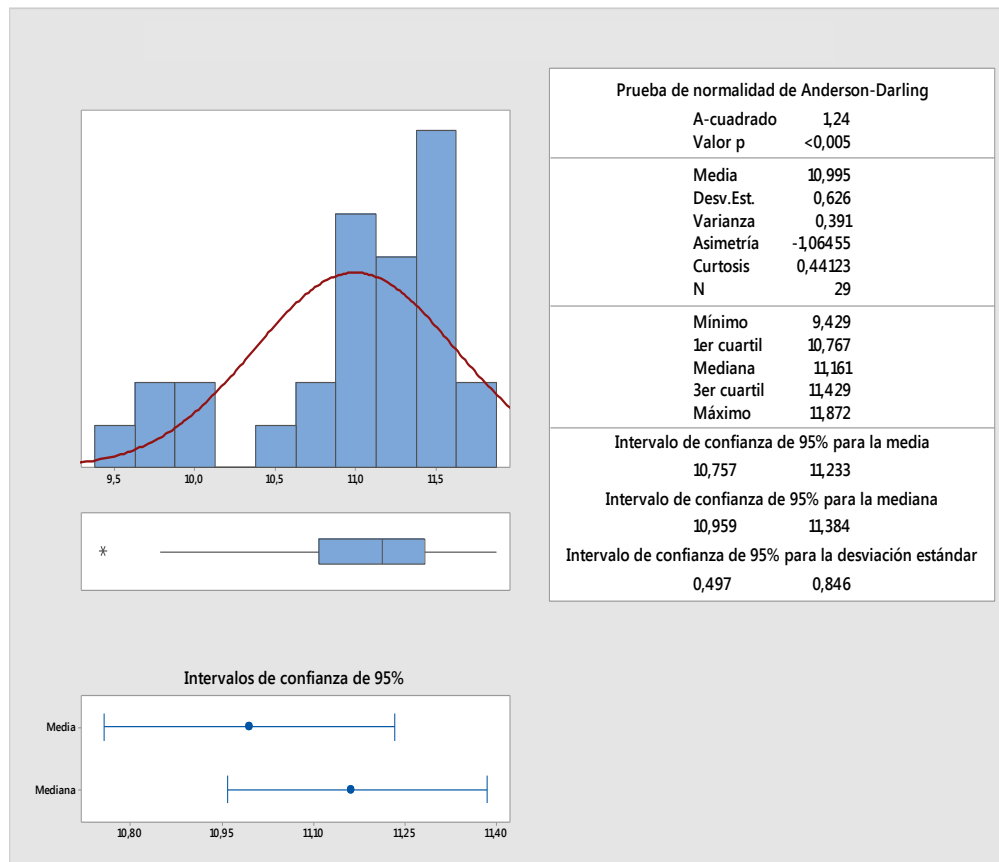
**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

### Descripción:

El gráfico 3 describe la adición del agua al molino al molino que representa:

- Promedio o media de 88,866;
- Desviación estándar de 63,505;
- Coeficiente de variación de 71,5%;
- Mínimo de 0.00,
- Mediana de 89,999 y
- Máximo de 224,468.
- La media se encuentra entre 64,710 y 113,022
- Intervalo de confianza del 95%.

**Gráfico 4. Informe de resumen del Ph de la pulpa del molino**



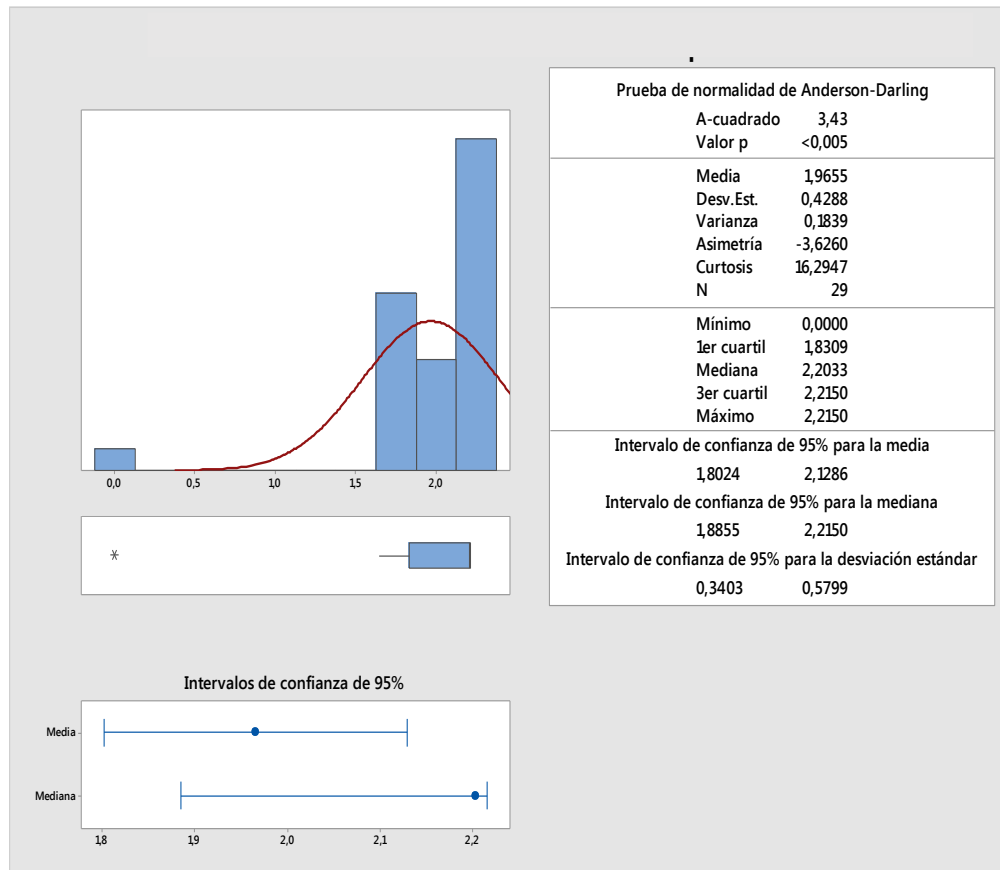
**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 - 2015

**Descripción:**

El gráfico 4 describe el Ph de la pulpa del molino que representa:

- Promedio o media de 10,995
- Desviación estándar de 0,626
- Coeficiente de variación de 0,0057%
- Mínimo de 9,429, mediana de 10,757
- Máximo de 11,872
- Media se encuentra entre 10,757 y 11, 233
- Intervalo de confianza del 95%

**Gráfico 5. Informe de resumen de la densidad de la pulpa del molino**



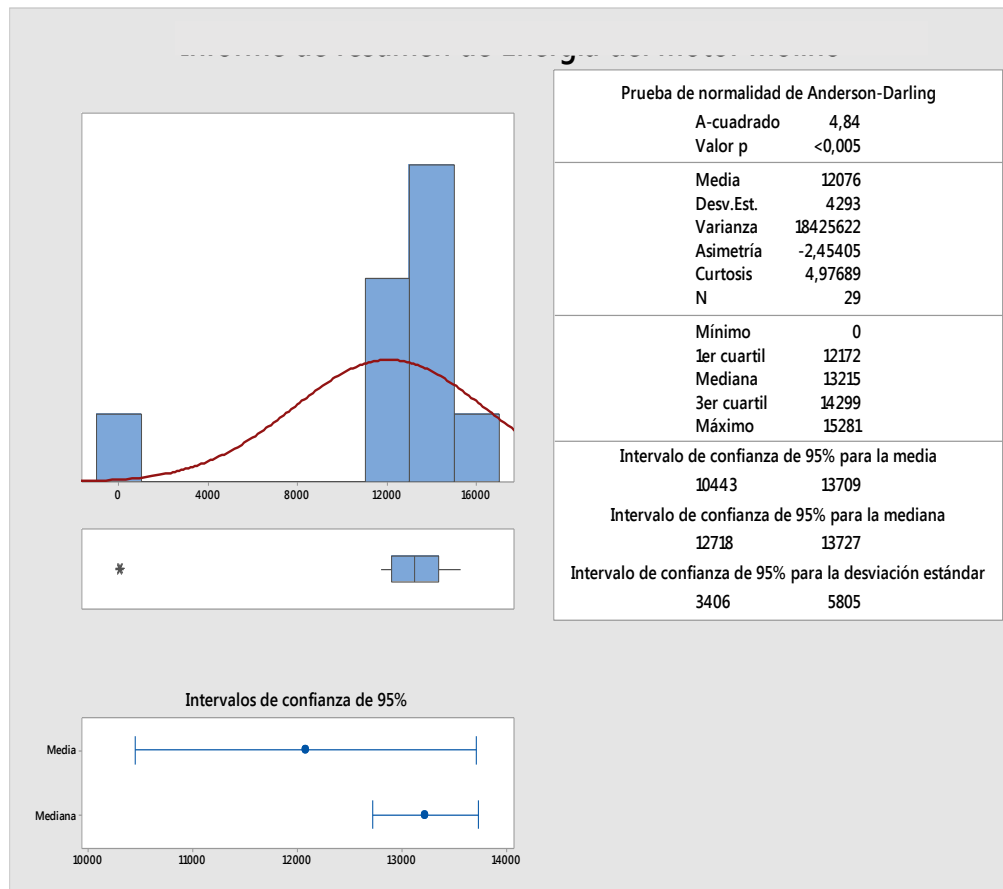
**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

**Descripción:**

El gráfico 5 describe la densidad de la pulpa del molino que representa:

- Promedio o media 1,9655;
- Desviación estándar de 0,4288;
- Coeficiente de variación de 21,82%;
- Mínimo de 0.00,
- Mediana de 2,2033
- Máximo de 2,2150.
- La media se encuentra entre 1,8024 y 2,1286
- Intervalo de confianza del 95%

**Gráfico 6.** Informe de resumen de la potencia del motor del molino



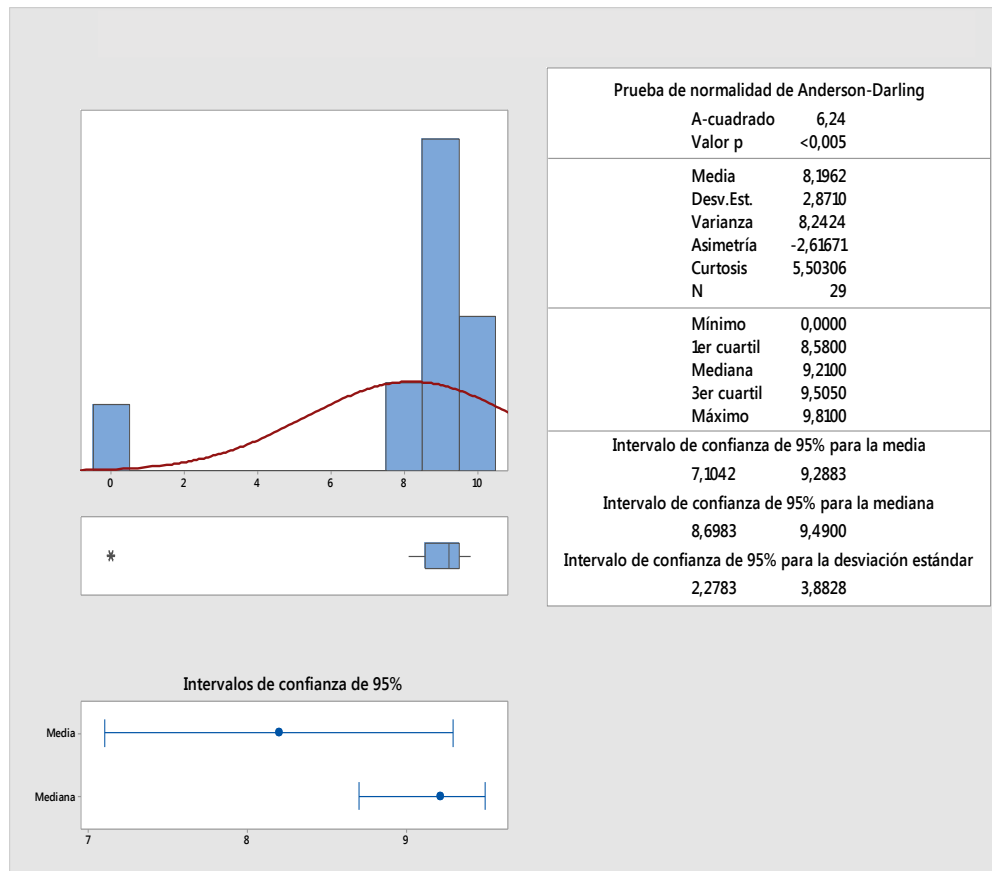
**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

**Descripción:**

El gráfico 6 describe la potencia del motor del molino que representa:

- Promedio o media 12076
- Desviación estándar de 4293
- Coeficiente de variación de 35,55%
- Mínimo de 0.00
- Mediana de 13215
- Máximo de 15281
- La media se encuentra entre 10443 y 13709
- Intervalo de confianza del 95%

**Gráfico 7. Informe de resumen de la velocidad del motor del molino**



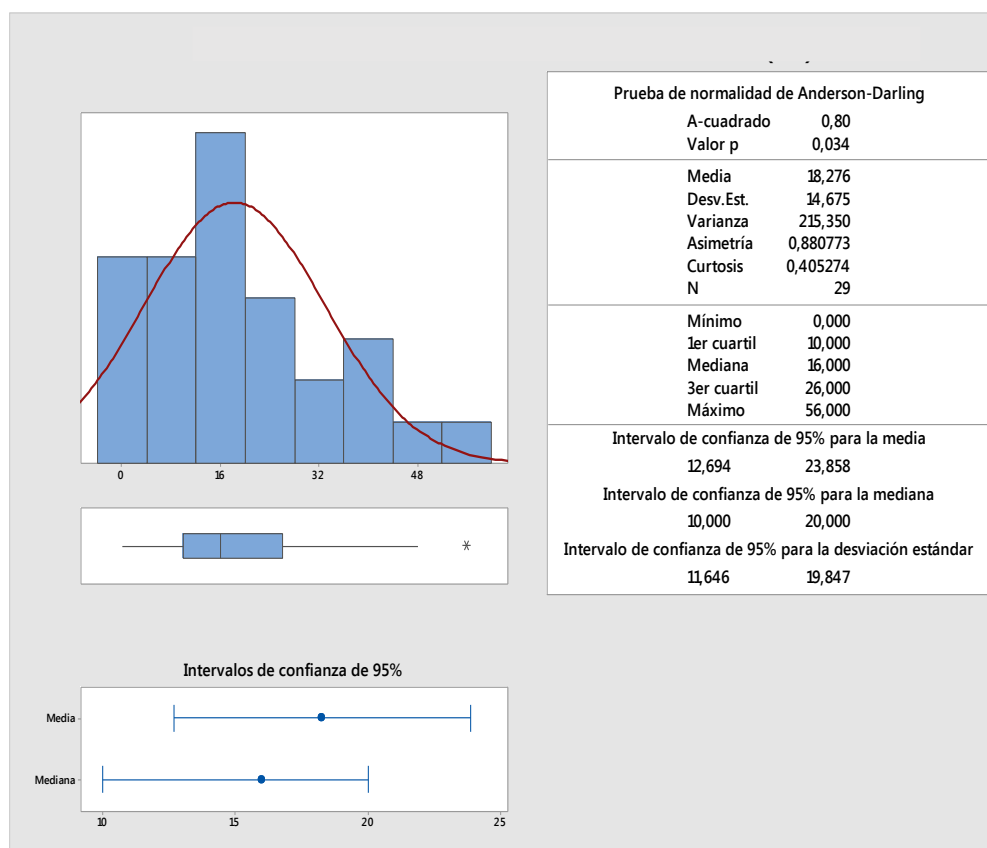
**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

### Descripción:

El gráfico 7 describe el resumen de la velocidad del motor del molino que representa:

- Promedio o media 8,1962
- Desviación estándar de 2,8710
- Coeficiente de variación de 35,02%
- Mínimo de 0.00
- Mediana de 9,2100
- Máximo de 9,8100
- La media se encuentra entre 7,1042 y 9,2883
- Intervalo de confianza del 95%

**Gráfico 8. Informe de resumen del consumo de bolas de acero (Tn)**



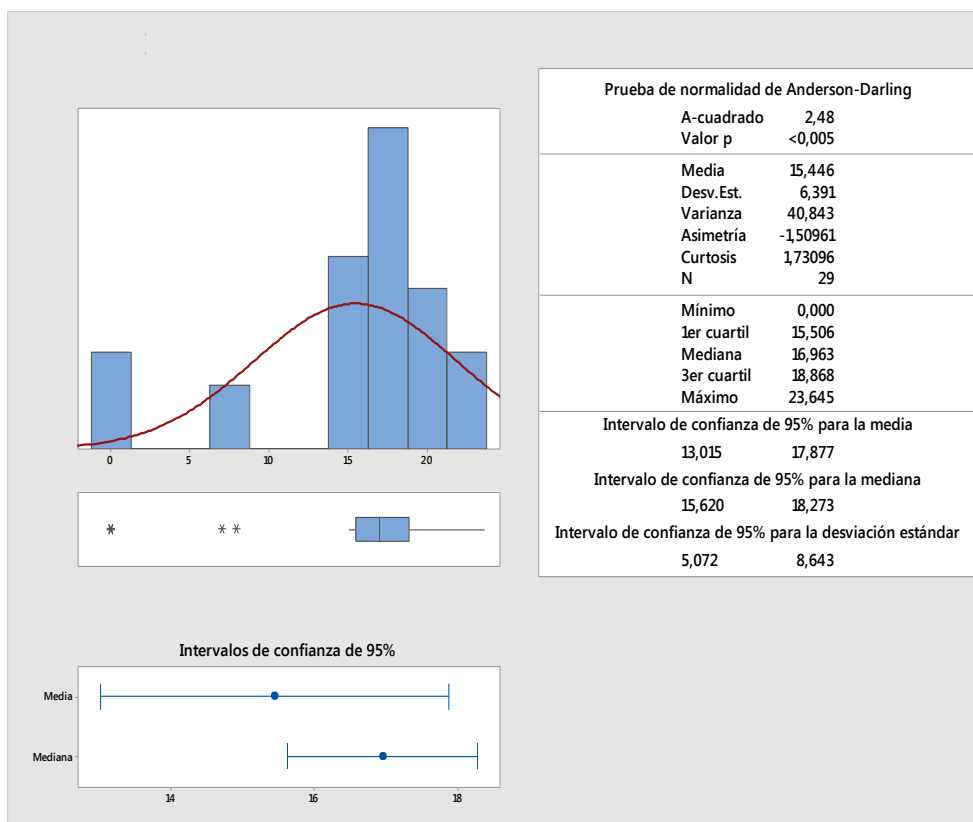
**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

**Descripción:**

El gráfico 8 describe el resumen del consumo de bolas de acero que representa:

- Promedio o media igual a 18,276
- La desviación estándar es 14,675
- Coeficiente de variación es 80,30%
- Un mínimo de 0.00 (Tn)
- Mediana de 16,000
- Máximo de 56,000 (Tn)
- La media se encuentra entre 12,694 y 23,858
- Intervalo de confianza es igual a 95%.

**Gráfico 9. Informe de resumen del índice de trabajo**



**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

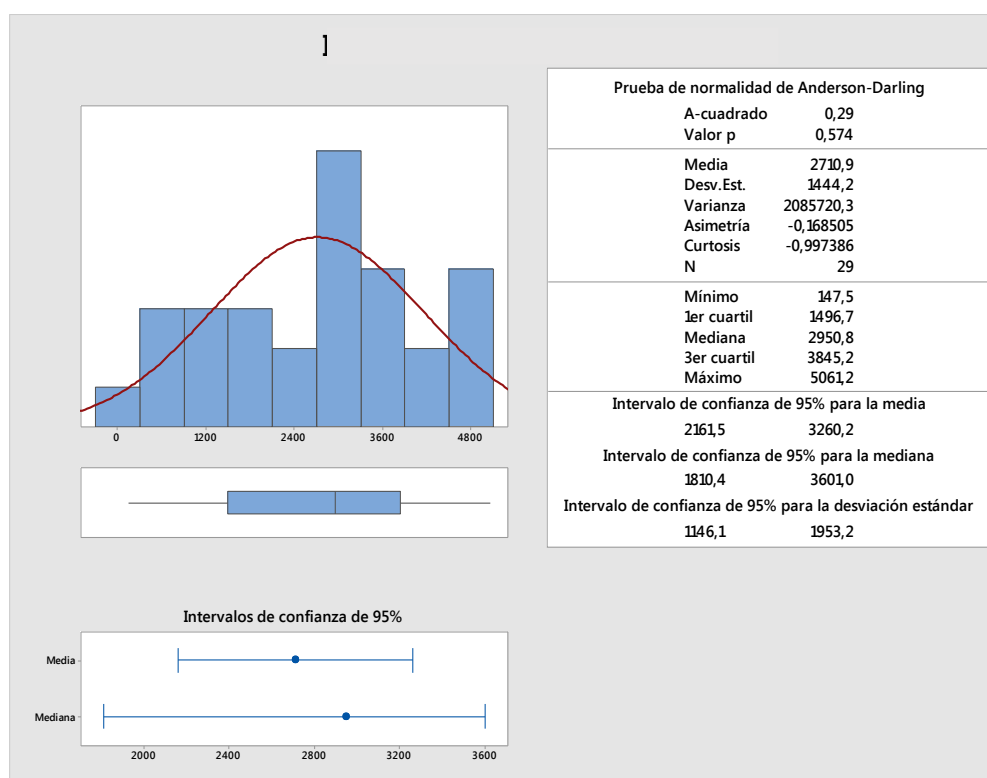
### Descripción:

El gráfico 9 describe el índice de trabajo que representa:

- Promedio o media 15,446;
- Desviación estándar de 6,391;
- Coeficiente de variación de 41,38%
- Mínimo de 0.00;
- Mediana de 16,963
- Máximo de 23,645.
- La media se encuentra entre 13,015 y 17,877 del índice de trabajo (Kwh/Tn)
- Intervalo de confianza del 95%



**Gráfico 10. Informe de resumen del mineral en kilo toneladas (KTn)**



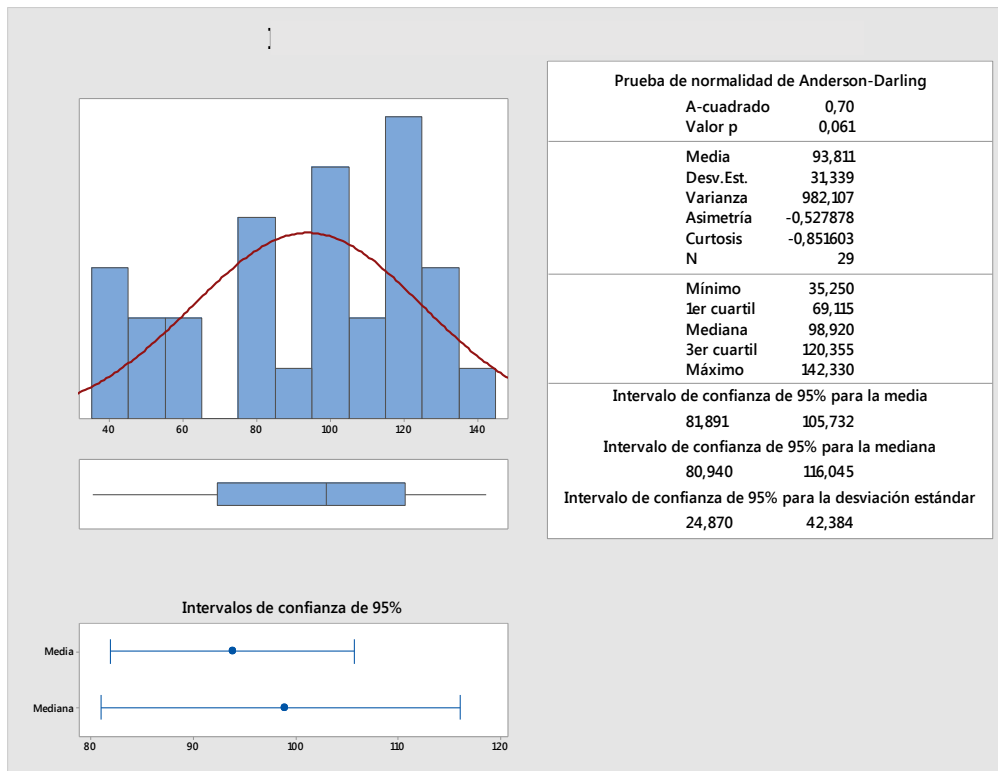
**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

### Interpretación:

La figura 10 describe el mineral en kilo toneladas que representa:

- Promedio o media 2710,9
- Desviación estándar de 1444,2
- Coeficiente de variación de 53,27%
- Mínimo de 147.5
- Mediana de 2950.8
- Máximo de 5061.2
- La media se encuentra entre 2161,5 y 3260,2 KTn
- Intervalo de confianza del 95%

**Gráfico 11. Informe de resumen de la zona plate**



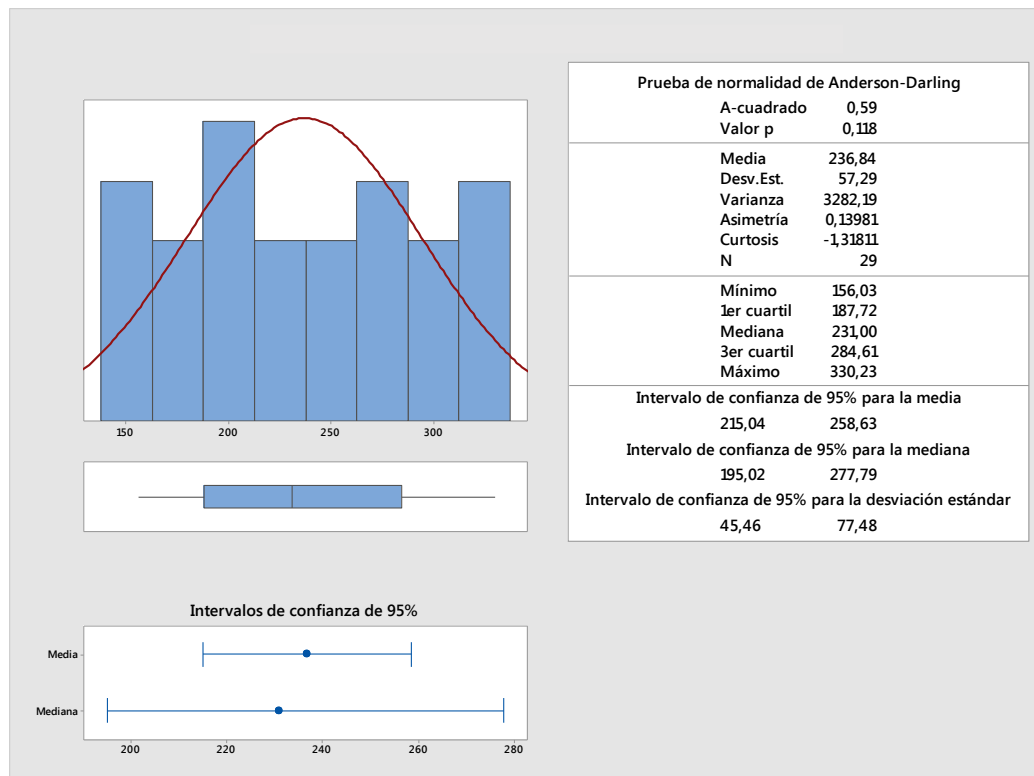
**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 - 2015

**Interpretación:**

El gráfico 11 describe el resumen de la zona plate que representa:

- Promedio o media 93,811
- Desviación estándar de 31,339
- Coeficiente de variación de 33,41%
- Mínimo de 35,250,
- Mediana de 98,920
- Máximo de 142,330
- La media se encuentra entre 81,891 y 105,732
- Intervalo de confianza del 95%

**Gráfico 12. Informe de resumen en la zona lifter**



**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

### Descripción:

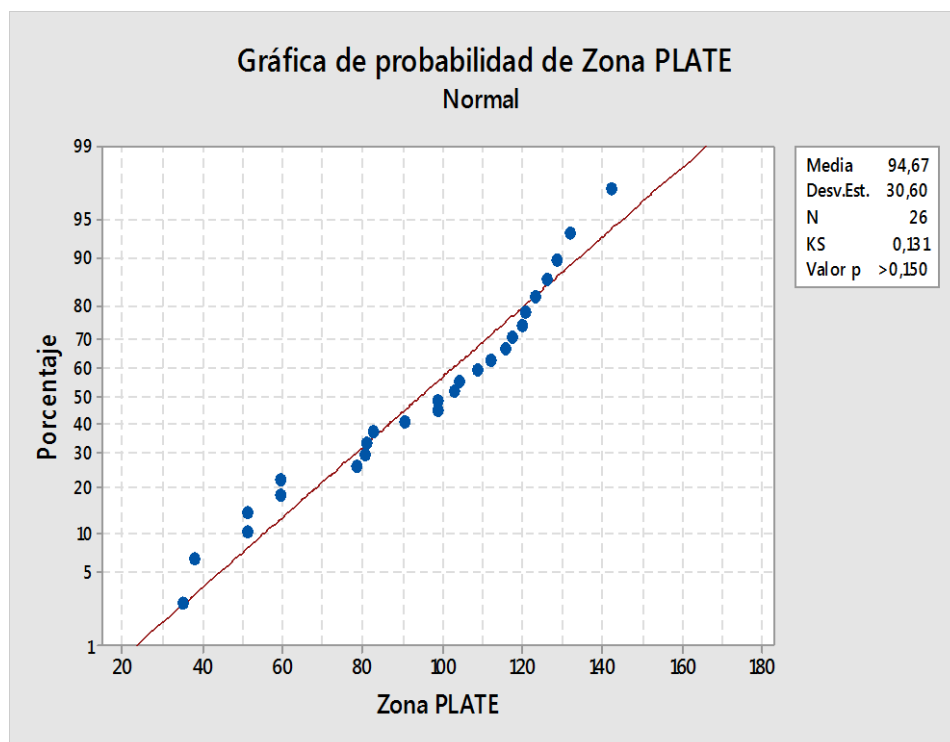
El gráfico 12 describe el resumen de zona lifter que presenta un promedio o media 236,84; una desviación estándar de 57,29; un coeficiente de variación de 24,19% un mínimo de 156,03; mediana de 231,00 y máximo de 330,23. La media se encuentra entre 215,04 y 258,63 con un intervalo de confianza del 95%.

### 3.2.2. Pruebas de normalidad en los residuales

#### a) En la zona plate

- $H_0$ : El desgaste en la zona plate sigue una distribución normal con media 94,67 y una desviación estándar de 30,60.
- $H_1$ : El desgaste en la zona plate no sigue una distribución normal con media 94,67 y una desviación estándar de 30,60.

**Gráfico 13.** Gráfica de probabilidad de la zona plate



**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

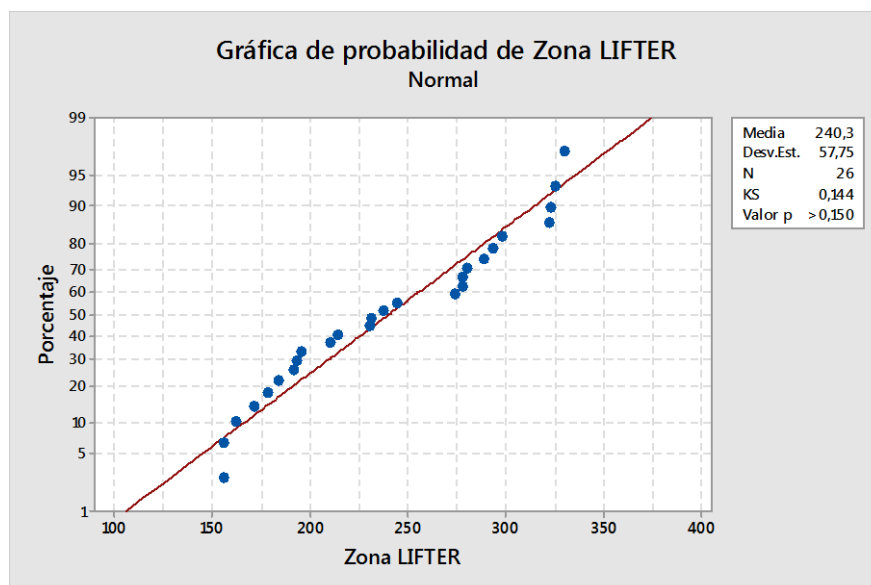
### Interpretación:

- El P-valor es mayor a 0,05; por lo tanto se acepta a la hipótesis nula.
- El desgaste en la zona plate sigue una distribución normal con media 94,67 y desviación estándar 30,60

### b) En la zona lifter

- $H_0$ : El desgaste en la zona lifter sigue una distribución normal con una media de 240,3 y una desviación estándar de 57,75
- $H_1$ : El desgaste en la zona lifter no sigue una distribución normal con una media de 240,3 y una desviación estándar de 57,75

**Gráfico 14.** Gráfica de probabilidad en la zona lifter



**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

**Interpretación:**

- P-valor es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta a la hipótesis nula.
- El desgaste en la zona lifter sigue una distribución normal con una media de 240,3 y una desviación estándar de 57,75.

**3.3. Prueba de hipótesis**

**3.3.1. Prueba de hipótesis general**

H<sub>0</sub>: el modelo para el desgaste de los revestimientos del molino SAG no es lineal

H<sub>1</sub>: el modelo para el desgaste de los revestimientos del molino SAG es lineal

**a) Ecuación de regresión en la zona plate**

$$\text{Zona plate} = 152,34 - 0,01743 (\text{mineral en kilo toneladas (KTn)}) - 0,243(\text{bolas de acero(Tn)}) - 0,1870 (\text{Tamaño de partículas})$$

## 1. Análisis de varianza

H<sub>0</sub>: El modelo no es lineal

H<sub>1</sub>: El modelo es lineal

Alpha = 0,05 o 5%

**Tabla 5.** Análisis de varianza en la zona plate

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Regresión	3	20731,5	6910,5	56,62	0,000
Mineral en kilo toneladas (KTn)	1	13220,3	13220,3	108,32	0,000
Bolas de acero	1	326,9	326,9	2,68	0,116
Tamaño de partículas	1	455,4	455,4	3,73	0,066
Error	22	2685,0	122,0		
Total	25	23416,4			

**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

### Interpretación:

- Valor p = 0.000, es menor a alpha, en consecuencia, se rechaza H<sub>0</sub>
- El modelo es lineal tiene una significación o error menor a 5%

## 2. Validez del modelo

**Tabla 6.** Resumen del modelo en la zona plate

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
11, 0473	88,53%	86,97%	83,79%

**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

### Interpretación:

- S = la desviación estándar de los residuos es 11,05
- $R^2$  = el coeficiente de determinación 87,00%; significa que el 87,00% de la zona plate es explicado por el mineral en kilo toneladas (KTn), bolas de acero (Tn), tamaño de partículas (F80) dejando un 13,00% para otros factores y el azar.

### b) Ecuación de regresión en la zona lifter

$$\text{Zona lifter} = 245,7 - 0,03695(\text{mineral en Kilo Toneladas(KTn)}) - 1,830 (\text{índice de trabajo}) + 10,87(\text{ph de la pulpa}).$$

### 1. Análisis de varianza

H<sub>0</sub>: El modelo no es lineal

H<sub>1</sub>: El modelo es lineal

Alpha = 0,05 o 5%

**Tabla 7.** Análisis de varianza en la zona lifter

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	78949,7	26316,6	130,38	0,000
Mineral en kilo toneladas (KTn)	1	74514,4	74514,4	369,18	0,000
Índice de trabajo	1	2218,1	2218,1	10,99	0,003
Ph de la pulpa del molino	1	824,5	824,5	4,08	0,056
Error	22	4440,5	201,8		
Total	25	83390,2			

**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

### Interpretación:

- Valor  $p= 0.000$  es menor a  $\alpha$  en consecuencia se rechaza  $H_0$
- El modelo es lineal con una significación o error menor a 5%

## 2. Validez del modelo

**Tabla 8.** Resumen del modelo de la zona lifter

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
14, 2070	94,68%	93,95%	92,95%

Fuente: Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

### Interpretación:

- S = la desviación estándar de los residuos es 14,20
- $R^2$  = el coeficiente de determinación es 94,00%, significa que el 94,00% de la zona lifter es explicado por el mineral en kilo toneladas, índice de trabajo y Ph de la pulpa; dejando un 6,00% para otros factores y el azar.

### 3.3.2. Prueba de hipótesis específicas

#### a) Confiabilidad del modelo zona plate

**Tabla 9.** Coeficientes de la zona plate

Término	Coef.	EE del Coef.	Valor T	Valor P	VIF
Constante	152,34	5,41	28,15	0,000	
Mineral en kilo toneladas (KTn)	-0,01743	0,00167	-10,41	0,000	1,26
Bolas de acero	-0,243	0,148	-1,64	0,116	1,02
Tamaño de partículas	-0,1870	0,0968	-1,93	0,066	1,28

Fuente: Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015



### **1. Prueba de la constante**

H<sub>0</sub>: la constante no participa en el modelo

H<sub>1</sub>: la constante participa en el modelo

Alpha = 0,05 o 5%

#### **Interpretación**

- El valor  $p = 0.000$  que es menor a alpha, en consecuencia se rechaza H<sub>0</sub>
- La constante participa en el modelo con una significación o error menor a 5%.

### **2. Prueba de la constante: mineral en kilo toneladas (KTn)**

H<sub>0</sub>: kilo toneladas (KTn) no participa en el modelo

H<sub>1</sub>: kilo toneladas (KTn) participa en el modelo

Alpha = 0,05 o 5%

#### **Interpretación:**

- El valor  $p = 0,000$  y es menor a alpha en consecuencia se rechaza H<sub>0</sub>
- La constante mineral en kilo toneladas (KTn) participa en el modelo con una significación o error menor a 5%.

### **3. Prueba de la constante: bolas de acero (Tn)**

H<sub>0</sub>: bolas de acero (Tn) no participa en el modelo

H<sub>1</sub>: bolas de acero (Tn) participa en el modelo

Alpha = 0,05 o 5%

### **Interpretación:**

- El valor  $p= 0,116$  y no es menor a  $\alpha$ , en consecuencia, no se rechaza  $H_0$
- La constante: bolas de acero no participa en el modelo con una significación o error menor a 5%. Sin embargo, considerando el criterio  $T > 1,00$  recomendado por heurística y no existiendo un riesgo alto (0,116) se puede considerar su inclusión en el modelo.

#### **4. Prueba de la constante: tamaño de partículas (F80)**

- $H_0$ : tamaño de partículas (F80) no participa en el modelo
- $H_1$ : tamaño de partículas (F80) participa en el modelo
- $\alpha = 0,05$  o 5%

### **Interpretación:**

- El valor  $p= 0,066$  no es menor a  $\alpha$  en consecuencia no se rechaza  $H_0$
- La constante: tamaño de partículas (F80) no participa en el modelo con una significación o error menor a 5%. Sin embargo, considerando el criterio  $T > 1,00$  recomendado por heurística y no existiendo un riesgo alto (0,066) se puede considerar su inclusión en el modelo.

## b) Confiabilidad del modelo en la zona lifter

**Tabla 10.** *Coefficientes de la zona lifter*

Término	Coef.	EE del Coef.	Valor T	Valor P	VIF
Constante	245,7	56,0	4,39	0,000	
Mineral en kilo toneladas (KTn)	-0,03695	0,00192	-1921	0,000	1,01
Índice de trabajo	-1,830	0,552	-3,32	0,003	1,35
Ph de la pulpa	10,87	5,38	2,02	0,056	1,35

**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

### 1. Prueba de la constante

H<sub>0</sub>: La constante no participa en el modelo

H<sub>1</sub>: La constante participa en el modelo

Alpha = 0,05 o 5%

#### Interpretación:

- El Valor p= 0.000 es menor a alpha en consecuencia se rechaza H<sub>0</sub>
- La constante participa en el modelo con una significación o error menor a 5%.

### 2. Prueba de la constante: mineral en kilo toneladas (KTn)

H<sub>0</sub>: mineral en kilo toneladas (KTn) no participa en el modelo

H<sub>1</sub>: mineral en kilo toneladas (KTn) participa en el modelo

Alpha = 0,05 o 5%

**Interpretación:**

- El valor  $p= 0,000$  es menor a  $\alpha$ , en consecuencia se rechaza  $H_0$
- La constante mineral en kilo toneladas (KTn) participa en el modelo con una significación o error menor a 5%.

**3. Prueba de la constante: índice de trabajo (Kwh/Tn)**

$H_0$ : índice de trabajo no participa en el modelo

$H_1$ : índice de trabajo participa en el modelo

$\alpha = 0,05$  o 5%

**Interpretación:**

- El valor  $p= 0,03$  es menor a  $\alpha$  en consecuencia, no se rechaza  $H_0$
- La constante: índice de trabajo participa en el modelo con una significación o error menor a 5%.

**4. Prueba de la constante: Ph de la pulpa**

$H_0$ : la constante ph de la pulpa no participa en el modelo

$H_1$ : la constante ph de la pulpa participa en el modelo

$\alpha = 0,05$  o 5%

**Interpretación:**

- El valor  $p= 0,056$  no es menor a  $\alpha$  en consecuencia, se rechaza  $H_0$

- La constante: Ph de la pulpa no participa en el modelo con una significación o error menor a 5%. Sin embargo, considerando el criterio  $T > 1,00$  recomendado por heurística y no existiendo un riesgo alto (0,056) se puede considerar su inclusión en el modelo.

### **3.4. Discusión de resultados**

#### **3.4.1. Propuesta para realizar el modelamiento de la ecuación multiparamétrica que determine el desgaste de revestimientos del molino SAG**

Para realizar la propuesta del modelamiento de la ecuación multiparamétrica se realizó teniendo en cuenta los siguientes los procedimientos:

- a. Selección de los parámetros influyentes en el desgaste de revestimientos del molino SAG de acuerdo a bibliografía existente del molino SAG de la Planta Gold Mill.
- b. Determinar las fuentes de información para obtener los datos de los parámetros de desgaste del molino SAG de la Planta Gold Mill.
- c. Registro de datos de los parámetros de desgaste del molino SAG de la Planta Gold Mill.
- d. Selección de los tres parámetros más influyentes en el desgaste de revestimientos del molino SAG para el modelamiento de la ecuación para la zona plate y lifter mediante el uso de la metodología de diseño de experimentos – análisis de varianza.
- e. Modelamiento de la ecuación de desgaste de la zona plate y lifter de los revestimientos del molino SAG mediante el uso del software estadístico minitab.

### 3.4.2. Análisis de datos

Mediante el uso del software estadístico minitab se ha procesado los parámetros de desgaste para determinar su participación dentro del modelamiento de las ecuaciones - zona plate y lifter de revestimientos del molino SAG – Planta Gold Mill:

H<sub>0</sub>: la constante no participa en el modelo

H<sub>1</sub>: la constante participa en el modelo

Alpha = 0,05 o 5%

**Tabla 11.** *Parámetros de desgaste – zona plate*

Término	Valor P
Constante	0,000
Mineral en kilo toneladas (KTn)	0,000
Consumo de bolas de acero (Tn)	0,116
F80	0,066

**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

#### **Interpretación:**

- Mineral en kilo toneladas (KTn): el valor p es igual a 0,000 por lo tanto se acepta H<sub>1</sub>
- Bolas de acero: el valor p es 0,116 y es mayor a alpha, en consecuencia no se rechaza H<sub>0</sub>, Sin embargo se considera el criterio T > 1,00 recomendado por heurística, se le incluye en el modelo ya que no existe un alto riesgo (0,116)
- Tamaño de mineral (F80): el valor p es 0,066 en consecuencia no se rechaza H<sub>0</sub>, Sin embargo, considerando el criterio T > 1,00 recomendado por heurística, se le incluye en el modelo ya que no existe un alto riesgo (0,066).

**Tabla 12. Parámetros de desgaste – zona lifter**

Término	Valor P
Constante	0,000
Mineral en kilo toneladas (KTn)	0,000
Índice de trabajo	0,003
Ph de la pulpa	0,056

**Fuente:** Consolidado de parámetros y desgastes 2012 -2015

**Interpretación:**

- Mineral en kilo toneladas (KTn): el valor p es 0,000 y es menor a alpha, en consecuencia se rechaza  $H_0$
- Índice de trabajo: El valor  $p= 0,03$  es menor a alpha en consecuencia, se rechaza  $H_0$
- El valor  $p= 0,056$  no es menor a alpha en consecuencia, no se rechaza  $H_0$ . Sin embargo, considerando el criterio  $T > 1,00$  recomendado por heurística, se le incluye en el modelo ya que no existe un alto riesgo (0,056)

**3.4.3. Modelamiento de la ecuaciones en la zona plate y lifter de los revestimientos del molino SAG**

Con el software minitab se concluyó en las siguientes fórmulas para los revestimientos del molino SAG en:

$$\text{Zona plate} = 152,34 - 0,01743 (\text{mineral en kilo toneladas (KTn)}) - 0,243(\text{bolas de acero(Tn)}) - 0,1870 (\text{F80})$$

$$\text{Zona lifter} = 245,7 - 0,03695(\text{mineral en Kilo Toneladas(KTn)}) - 1,830 (\text{índice de trabajo}) + 10,87(\text{ph de la pulpa})$$

### 3.4.4. Demostración de la eficiencia de las ecuaciones de desgaste - zona plate y lifter de los revestimientos del molino SAG – Planta Gold Mill

Las ecuaciones encontradas de la zona plate y lifter de los revestimientos fueron validados con datos de mediciones del Molino SAG – Planta Gold Mill - Área Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. -- año 2016.

**Tabla 13.** Mediciones de desgaste del molino SAG 2016

PARÁMETRO	FECHA	
	26/01/2016	17/02/2016
Mineral en KTn	1452.00	1781.21
Bolas de acero (Tn)	36.50	40.00
Tamaño de partículas (F80)	21.05	17.45
Índice de trabajo	17.80	19.85
Ph de la pulpa	11.15	12.10

**Fuente:** Operaciones procesos – Planta Gold Mill (Minera Yanacocha S.R.L)

#### a) Ecuación en la zona plate

$$\begin{aligned} \text{Zona plate} &= 152,34 - 0,01743 (\text{mineral en kilo toneladas (KTn)}) \\ &\quad - 0,243(\text{bolas de acero(Tn)}) \\ &\quad - 0,1870 (\text{Tamaño de partículas}) \end{aligned}$$

#### 1. Primera medición: realizada el 26/01/2016

$$\begin{aligned} \text{Zona plate} &= 152,34 - 0,01743 (1452) - 0,243(36.5) \\ &\quad - 0,1870 (21.05) \end{aligned}$$

$$\text{Zona plate (desgaste)} = 114.23$$



## **2. Segunda medición: realizada el 17/02/2016**

$$\begin{aligned} \text{Zona plate} &= 152,34 - 0,01743 (1781.21) - 0,243(40) \\ &\quad - 0,1870 (17.45) \end{aligned}$$

$$\text{Zona plate (desgaste)} = 108.31$$

### **b) Ecuación en la zona lifter**

$$\begin{aligned} \text{Zona lifter} &= 245,7 - 0,03695(\text{mineral en Kilo Toneladas(KTn)}) \\ &\quad - 1,830 (\text{índice de trabajo}) + 10,87(\text{ph de la pulpa}) \end{aligned}$$

#### **1. Primera medición: realizada el 26/01/2016**

$$\begin{aligned} \text{Zona lifter} &= 245,7 - 0,03695(1452.00) - 1,830 (17.80) \\ &\quad + 10,87(11.15) \end{aligned}$$

$$\text{Zona lifter (desgaste)} = 280.68$$

#### **2. Segunda medición: realizada el 17/02/2016**

$$\begin{aligned} \text{Zona lifter} &= 245,7 - 0,03695(1781.21) - 1,830 (19.85) \\ &\quad + 10,87(12.10) \end{aligned}$$

$$\text{Zona lifter (desgaste)} = 275.09$$

### **3.4.5. Comparación de resultados**

La comparación de resultados se realizó entre los resultados obtenidos del modelamiento de las ecuaciones de la zona plate y lifter de los revestimientos y las mediciones obtenidas durante la detención de equipo (molino SAG) dentro de la Empresa Minera Yanacocha S.R.L.- Área Procesos.

**Tabla 14. Hoja de datos de desgaste (06/11/15 al 17/02/16)**

Proveedor: GROWTH STELL			
FECHA	KTn	PLATE 16-1	LIFTER 16-1
06/11/2016	0	152.00	355.00
26/01/2016	1452.00	119.15	287.00
17/02/2016	1781.21	114.83	282.24

**Fuente:** Ingeniería de mantenimiento procesos – Planta Gold Mill (Minera Yanacocha S.R.L)

**a) En la zona plate**

**Tabla 15. Comparación de resultados – zona plate**

Fecha de medición	Resultado según ecuación (mm)	Resultados según empresa (mm)	Diferencia de mediciones (mm)
26/01/2016	114.23	119.15	4.92
17/02/2016	108.31	114.83	6.52

**Fuente:** Elaboración propia

**Interpretación:**

La diferencia entre las mediciones realizadas por la Empresa Minera Yanacocha – Área Procesos y la ecuación de desgaste de la zona plate es baja, considerando que la ecuación encontrada tiene un coeficiente de determinación del 87% de validez de la ecuación, dejando el 13% para ser influenciado por otros parámetros.

**b) Zona lifter**

**Tabla 16. Comparación de resultados – zona lifter**

Fecha de medición	Resultado según ecuación (mm)	Resultados según empresa (mm)	Diferencia de mediciones (mm)
26/01/2016	280.68	287.00	6.32
17/02/2016	275.09	282.24	7.15

**Fuente:** Elaboración propia 2016

### **Interpretación:**

La diferencia entre las mediciones realizadas por la Empresa Minera Yanacocha – Área Procesos y la ecuación de desgaste de la zona plate es baja, considerando que la ecuación está sujeta por un coeficiente de determinación del 94% de validez, dejando el 06% para ser influenciado por otros parámetros.

#### **3.4.6. Razones de la ejecución del trabajo de investigación**

La realización de mejoras dentro de la planificación de trabajos preventivos en equipos estacionarios está íntimamente relacionados con costos.

Las ecuaciones de revestimientos de la zona plate y lifter del molino SAG realizará el pronóstico del desgaste de dicho material sin tener que ingresar al molino y así realizar un importante ahorro en:

- Capacitación del personal en aislamiento de energía y espacios confinados
- Detener el equipo (molino SAG)
- Limpieza del espacio confinado (Empresa contratista)
- Posicionar el molino SAG (Electricista – operador)
- Personal calificado para realizar mediciones (03)
- Acondicionamiento del espacio confinado para realizar las mediciones (oxigenación, luces, etc.)
- Contar con un equipo de ultrasonido para realizar las mediciones
- Personal calificado para realizar la medición de gases (Empresa Contratista).
- Programación de la parada de planta con el máximo ratio de desgaste

## CONCLUSIONES

De acuerdo al estudio de parámetros, obtención de datos y desgaste de revestimientos del molino SAG, se logró realizar el modelamiento de la ecuación multiparámetro de la zona plate y lifter revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill llegando a las siguientes conclusiones:

- Los parámetros que influyen en el desgaste de revestimientos en la zona plate y lifter de los revestimientos, se determinaron mediante bibliografía del molino SAG – Planta Gold Mill y son: mineral en toneladas (Tn), ph de la pulpa del molino, índice de trabajo, potencia del motor, adición de agua al molino, velocidad del motor, bolas de acero (Tn), tamaño de partículas (F80), densidad de la pulpa del molino y mineral en kilo toneladas (KTn)
- La obtención de datos se realizó mediante el uso del PI data Link, registro de operaciones y los desgastes fueron obtenidos mediante inspecciones de ultrasonido de registro existentes desde junio del 2012 a noviembre del 2015.
- Las correlaciones más influyentes en el desgaste de la zona plate y lifter de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill son: mineral en kilo toneladas, bolas de acero, tamaño de partículas, índice de trabajo y ph de la pulpa.
- El modelamiento de las ecuaciones de desgaste de revestimientos del molino SAG – Planta Gold Mill fueron procesadas con el software estadístico minitab.

Zona plate =  $152,34 - 0,01743$  (mineral en kilo toneladas (KTn)) –  
 $0,243$ (bolas de acero(Tn)) –  $0,1870$  (F80). Con un coeficiente  
de determinación 87,00%

Zona lifter =  $245,7 - 0,03695$ (mineral en Kilo Toneladas(KTn)) –  
 $1,830$  (índice de trabajo) +  $10,87$ (ph de la pulpa). Con un  
coeficiente de determinación 94,00%

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los supervisores de cada guardia del Área de Operaciones de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha realizar el registro de datos (parámetros de desgaste) de la manera más confiable y real.
- Se recomienda al equipo de mantenimiento mecánico – eléctrico de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. – Cajamarca 2016 realizar inspecciones periódicas a los equipos registro de datos (parámetros de desgaste) como visio rock que para brindar una confiabilidad en información.
- Controlar y optimizar el desgaste en la zona plate vigilando las cantidades del mineral en kilo toneladas (KTn), Consumo de bolas de acero (Tn) y el tamaño de partículas (F80)
- Controlar y optimizar el desgaste en la zona lifter vigilando las cantidades del mineral en kilo toneladas (KTn), índice de trabajo y el Ph de la pulpa del molino.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABB. (2009). ABB pone en marcha sistema GMD para minera yanacocha en Perú. Retrieved from <http://www.abb.com.pe>
- ABB. (2010). Molinos para grandes desafíos. Minería Pan - Americana, 9.
- Araneda, A. (2013). Diseño de aceros bainíticos para revestimientos de molinos SAG y bolas de molienda. Chile.
- Blanco, E. A. (2011). Introducción a mineralurgia. Capítulo 8: molienda.
- Contreras, C. B. (2011). Modelo “Cebaco” aplicado al control de procesos en el circuito de Molienda. Perú.
- EcuRed. (2016). Desgaste abrasivo. Conocimientos con todos y para todos, 2.
- Flores, C. S. (2015). Parámetros de Operación de Molienda de Minerales. Mine Crush, 11.
- Galvez, A. C. (2010). Molienda y clasificación de minerales (2015 ed.).
- Hurrieks, P. (1972). The fritting wear of mild Steel from room temperature to 200 °C. Inglaterra.
- John, S. (1980). Curso sobre recuperación de piezas.
- Metso Minerals. (2008). Proyecto de Yanacocha, Molino SAG de 32' x 32'.
- Minera Yanacocha. (2009). Entrenamiento CBT. Cajamarca 2016.
- Minera Yanacocha. (2009). Molienda en Molinos SAG EPOSSAG4. Newmont.
- Minera Yanacocha. (2015). NDT-GM-085-2013- shell. 2.
- Minerals, M. (2011). In Fabricante Molinos y proveedor repuestos. SVEDALA GRINDING, Usa: <http://www.metsominerals.com>.
- Minitab. (2016, Abril 21). Sopote de producto. Retrieved from <http://www.minitab.com>
- Proyecto de Yanacocha. (2008). Introducción al mantenimiento del molino SAG. 1, 1-10.

- PUCP. (2014). ABB entregará el sistema de accionamiento para el molino más grande del mundo. *Strategía*, 3.
- Rivera, I. E. (2012). Balance poblacional en un molino de bolas. Colombia.
- RME. (2011). Colocación de Revestimientos. Retrieved from <http://www.rmeglobal.com>
- Rojas, C. y. (2012). Implementación del Sistema Experto en Molinos para Optimizar la Molienda . Peru.
- Royston, D. (2007). Operadores de molinos.
- Royston, D. (2010). Tendencias de la práctica afectan requerimientos del revestimiento. (E. Minero, Interviewer)
- Simon Walker. (2010). Revestimientos para los Molinos. Europa.
- SME. (2006). Selección y diseño de revestimientos.
- Tenembuam.M.M. (1966). Desgaste de los materiales de construcción y los elementos de máquina. Moscú: Maschinoestronie.
- UPC. (2009). Mecanismos de desgaste. 3.
- UPC. (2009). Mecanismos de Desgaste. Principios del Analisis de Falla, p. 3.

## **ANEXOS**

<b>Anexo 1:</b> Matriz de consistencia	85
<b>Anexo 2:</b> Síntesis del diseño de experimentos (DOE)	87
<b>Anexo 3:</b> Síntesis del software estadístico minitab	88
<b>Anexo 4:</b> Síntesis de la prueba de normalidad de Anderson-Darling	89
<b>Anexo 5:</b> Puntos de mediciones de desgaste de revestimientos	90
<b>Anexo 6:</b> Parámetros de desgaste de revestimientos	91
<b>Anexo 7:</b> Daily report - control room report	93
<b>Anexo 8:</b> Hoja de medición de desgaste (19/05/2012 al 3/12/2015)	97
<b>Anexo 9:</b> Hoja de medición de desgaste (08/12/12 al 21/08/2013)	97
<b>Anexo 10:</b> Hoja de medición de desgaste (29/08/13 al 3/06/2014)	98
<b>Anexo 11:</b> Hoja de medición de desgaste (06/06/14 al 13/03/2015)	98
<b>Anexo 12:</b> Hoja de medición de desgaste (17/03/2015 al 02/11/2015)	99
<b>Anexo 13:</b> Registro de parámetros de desgaste – molino sag	100
<b>Anexo 14:</b> Certificación de la empresa Olympus	112
<b>Anexo 15:</b> Ficha técnica del Epoch XT: detector de defectos por ultrasonidos	113
<b>Anexo 16:</b> Plano de revestimiento del molino SAG	118



## ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Modelamiento de una ecuación multiparamétrica para determinar el desgaste de los revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS
<p><b>Principal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cómo realizar e modelo de la ecuación multiparamétrica que me permita determinar el desgaste de los Revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.</li> </ul>	<p><b>Principal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar el modelamiento de la ecuación multiparamétrica que el determine el desgaste de los revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.</li> </ul>	<p><b>General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Existe un modelo lineal causal explicativo para el desgaste de los revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.</li> </ul> <p>H0: El modelo para el desgaste de los revestimientos del molino SAG no es lineal. H1: El modelo para el desgaste de los revestimientos del molino SAG es lineal.</p>	<p><b>V.I</b> Ecuación multiparamétrica</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Investigación aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Investigación causal explicativa</p> <p><b>Método de investigación</b> Método inductivo</p> <p><b>Diseño de investigación</b> Investigación no experimental: correlacional causal</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mediciones de desgaste de revestimientos</li> <li>▪ Parámetros de desgaste de revestimientos</li> <li>▪ Diseño de experimentos (DOE)</li> </ul>

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS
<p><b>P.S</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Qué parámetros influyen en el desgaste de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016?</li> <li>¿Qué fuentes informativas se utilizarán para obtener los datos y mediciones de desgaste de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016?</li> <li>¿Cuáles son las correlaciones más influyentes entre parámetros que se relacionan con el desgaste de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016?</li> </ul>	<p><b>O.S</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar los parámetros que influyen en el desgaste de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.</li> <li>Realizar el registro de datos de los parámetros y mediciones de desgaste de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.</li> <li>Determinar las correlaciones de los parámetros más influyentes que se relacionan con el desgaste de revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.</li> </ul>	<p><b>H.S</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los parámetros de la ecuación multipamétrica participan con una significación o error menor a 5% en la zona lifter y plate de los revestimientos del molino SAG de la Planta Gold Mill - Área de Procesos - Empresa Minera Yanacocha S.R.L. - Cajamarca 2016.</li> </ul> <p>H0: La matriz de correlaciones no presenta indicadores válidos para formular el modelo. H1: la matriz de correlaciones presenta indicadores válidos para formular el modelo.</p> <p>H0: el modelo para estimar el desgaste del revestimiento en la zona Lifter no es lineal H1: el modelo para estimar el desgaste del revestimiento en la zona Lifter es lineal.</p> <p>H0: el modelo para estimar el desgaste del revestimiento en la zona plate no es lineal H1: el modelo para estimar el desgaste del revestimiento en la zona plate es lineal</p>	<p><b>V.D.</b></p> <p>Desgaste de revestimientos</p>	<p><b>Población y muestra</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se recogió datos desde junio del 2012 a noviembre del año 2015, contando con un total de 05 revestidos, siendo el proveedor de revestimientos, la Empresa Growth Steel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dayly report: control room report</li> <li>Hoja de medición de desgastes</li> <li>Registro de parámetros de desgaste del molino SAG</li> <li>Consolidado de parámetros y desgastes 2012 – 2015</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia 2016

## ANEXO 2: SÍNTESIS DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE)

Un diseño de experimentos es una prueba en la cual se hacen cambios a propósito en las variables de entrada de un proceso. Su objetivo es estudiar la influencia de factores en la respuesta.

Además el diseño de experimentos puede incluir:

- Determinar las variables que tienen más influencia en la respuesta  $y$
- Determinar en donde ajustar las variables de influencia  $x$ 's de tal forma que  $y$  se acerque al requerimiento nominal.

### 1. Análisis de la Varianza: ANOVA (analysis of variance )

Un análisis de varianza prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones sean iguales y parte de algunos supuestos o hipótesis que han de cumplirse:

- La variable dependiente debe medirse al menos a nivel de intervalo.
- Independencia de las observaciones.
- La distribución de los residuales debe ser normal.

#### a. Tablas ANOVA

Una vez que se han calculado las sumas de cuadrados, las medias cuadráticas, los grados de libertad y la F, se proceden a elaborar la "Tabla de Análisis de varianza o ANOVA", que adopta la siguiente forma:

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Inter grupo	$SS_{Factores}$	$t - 1$	$T = \frac{SS_{Factores}}{t - 1}$	$F = \frac{T}{E}$
Intra grupo	$SS_{Error}$	$N - t$	$T = \frac{SS_{Error}}{N - t}$	
Total	$SS_{Total}$	$N - 1$		

## **ANEXO 3: SISTESIS DEL SOFTWARES ESTADISTICO MINITAB**

Minitab es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. Combina lo amigable del uso de Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos.

Minitab está organizada de acuerdo con el menú de Minitab Statistical Software. Las siguientes son las principales secciones del contenido:

**1. Entorno de Minitab:** Esta sección incluye información sobre los siguientes temas:

- a) Interfaz de usuario de Minitab, cómo abrir e importar datos, cómo guardar y exportar datos y salida, y configuración predeterminada
- b) Herramientas para manipular y dar formato a los datos para facilitar la exploración y el análisis de los datos
- c) Herramientas del menú Calc

**2. Estadísticas básicas y gráficas**

Esta sección incluye información sobre las herramientas estadísticas básicas de Minitab y todas las gráficas y capacidades de edición de gráficas de Minitab. La información de las herramientas estadísticas incluye estadísticos de resumen, pruebas de hipótesis, distribuciones de probabilidad, datos aleatorios, potencia y tamaño de la muestra y tablas.

**3. Herramientas de calidad**

Esta sección incluye información sobre las herramientas estadísticas de Minitab para la calidad, incluyendo análisis de sistemas de medición, gráficas de control, análisis de capacidad, muestreo de aceptación y otras herramientas de calidad.

**4. Estadísticos de caracterización**

Esta sección incluye información sobre las herramientas estadísticas de caracterización de Minitab, incluyendo ANOVA, regresión, DOE, fiabilidad, series de tiempo y análisis multivariados.

## ANEXO 4. SISTESIS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD DE ANDERSON - DARLIN

Esta prueba es aplicada para evaluar el ajuste a cualquier distribución de probabilidades.

Se basa en la comparación de la distribución de probabilidades acumulada empírica (resultado de los datos) con la distribución de probabilidades acumulada teórica (definida por  $H_0$ ).

### 1. Hipótesis de Anderson - Darlin:

$H_0$ : La variable sigue una distribución Normal ( $2 \mu \sigma$ )

$H_1$ : La variable no sigue una distribución Normal ( $2 \mu \sigma$ )

### 2. Estadístico de Prueba:

$$A^2 = -n - S$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_{n*1-i}))]$$

Donde  $n$  es el número de observaciones,  $F(Y)$  es la distribución de probabilidades acumulada normal con media y varianza especificadas a partir de la muestra y  $Y_i$  son los datos obtenidos en la muestra, ordenados de menor a mayor.

### 3. Regla de Decisión:

La hipótesis nula se rechaza con un nivel de significancia  $\alpha$  si  $A^2$  es mayor que el valor crítico

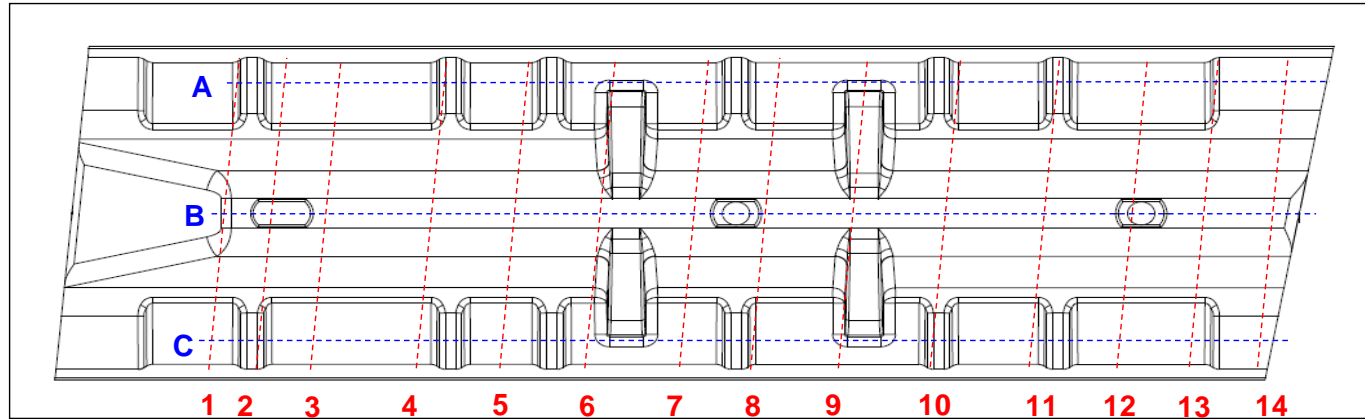
$A_T^2$ . Aunque la prueba de Anderson – Darling puede ser aplicada a cualquier distribución, no se dispone de tablas para todos los casos. A continuación se presenta una tabla para la prueba a la distribución normal.

$\alpha$	0.1	0.05	0.025	0.01
$A_T^2$	0.631	0.752	0.873	1.035

## ANEXO 5. PUNTOS DE MEDICIONES DE DESGASTE DE REVESTIMIENTOS

FEED SHELL LIFTER BAR (3 HOLES)

Ubicación de puntos de inspección:



Valores registrados:

FECHA	mm	PERNO													
		30	100	250	350	750	950	1100	1300	1550	1800	2000	2200	2400	2500
27/03/2015	PTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	A	148.31	149.11	149.38	148.36	129.99	126.60	125.82	129.22	126.50	126.13	127.89	129.63	140.00	142.22
	B		335.03	334.46	329.98	331.35	333.71	332.04	330.23	322.58	334.37	332.48	332.86		
	C	145.89	147.12	149.71	147.75	130.32	125.53	125.86	129.43	129.69	126.02	127.38	127.09	142.33	143.00
22/04/2015	PTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	A	145.83	145.21	141.58	123.60	124.45	124.99	125.16	126.20	126.43	126.11	127.85	129.62	127.25	125.45
	B		320.58	314.07	304.36	319.1	322	317.1	324.93	314.66	320.79	329.58	330.53	332.53	
	C	145.26	147.12	145.58	146.96	130.31	125.11	125.11	128.37	129.32	125.07	127.11	126.50	139.75	141.15
10/06/2015	PTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	A	128.94	127.67	126.04	123.54	123.84	123.45	125.10	123.53	126.12	123.72	126.72	123.72	126.10	125.11
	B		285.77	286.1	268.17	279.03	276.55	287.15	262.15	287.46	282.41	282.75	253.88	279.36	
	C	121.40	121.35	120.55	120.49	118.98	121.41	122.89	119.71	119.49	122.66	121.77	125.49	138.57	140.42
31/08/2015	PTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	A	116.82	113.81	113.87	106.60	89.28	85.97	85.48	80.74	84.47	80.8	86.03	90.84	84.23	112.24
	B				214.89	198.09	201.98	199.5	193.32	187.84	208.16	210.48			
	C	130.01	126.76	121.49	107.46	91.45	88.18	87.50	87.87	83.65	83.98	87.20	91.76	94.37	100.18
05/11/2015	PTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	A	55.00	49.38	43.15	31.29	32.98	32.92	34.90	37.58	43.36	56.62	61.12	67.20	98.15	98.17
	B														
	C	50.20	48.36	39.25	34.53	32.30	33.24	32.24	33.65	41.49	47.52	59.32	63.27	80.15	80.17

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento Procesos – Planta Gold Mill (Minera Yanacocha S.R.L)

## ANEXO 6: PARÁMETROS DE DESGASTE DE REVESTIMIENTOS

### PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL DESGASTE DE REVESTIMIENTOS DEL MOLINO SAG – GOLD MILL

El desgaste del revestimiento ocurre por tres mecanismos: corrosión, impacto y abrasión.

PARAMETRO	DEFINICIÓN/CONCEPTO	CAUSA/PRODUCE
<b>Mineral</b>	Es el porcentaje o cantidad de mineral de alimentación ingresado al molino.	Aumento de flujo a través en el molino
		Sobre Carga en el molino.
<b>Tamaño de partículas (F80)</b>	Existe dos tamaños de minerales: los de tamaño pequeños y mayor	Su ausencia de provoca la acumulación de tamaños medios o críticos, que tornan al proceso inestable e ineficiente.
		Disminuyen la probabilidad de daños severos en los revestimientos
<b>Adición de agua al molino</b>	Es una variable importante para producir variaciones en la carga interna del molino y maximizar la capacidad de procesamiento de mineral.	Está afectada por la potencia en el eje y el mineral, de modo que la densidad de pulpa en la descarga se mantiene constante, por razones de seguridad de la operación y evitar daños en los revestimientos.
<b>Ph de la pulpa</b>	Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.	Produce la corrosión en los metales
<b>Densidad de la pulpa</b>	La densidad de la pulpa es el peso en kilogramos de un litro de pulpa. La medida más útil es sólidos porcentuales.	Causa problemas de viscosidad, en donde los revestimientos en el molino se llenen de arcilla, esto causa una disminución de la potencia del molino.
		Aumentará el consumo de bolas a través de contacto metal con metal
		Causa desgaste de revestimiento y posible rotura a alta velocidad

<b>Potencia del motor</b>	Si el molino está siendo operado con un tonelaje inferior a su capacidad máxima.	Al aumentar el volumen de su carga consumirá más potencia, el cambio en la dureza se compensará con un aumento del consumo de energía por tonelada de mineral.
	Si el molino está siendo operado a su máxima capacidad, un aumento de la dureza.	Produce un sobrellenado que sólo podrá ser compensado con una disminución del flujo de alimentación.
<b>Velocidad del motor</b>	A bajas velocidades, se produce el efecto cascada.	Produce la pulverización abrasiva
		La rituración es más fina
	A mayores velocidades forma la caída por catarata.	Aumento de producción de pulpa mineral y
		El desgaste del revestimiento es mayor
<b>Consumo de bolas de acero (Tn)</b>	El nivel óptimo de llenado de bolas es dependiente de las características estructurales del molino y del sistema de lubricación	Tiene como resultado la pulverización por impacto
		Producto final más grueso
		Menos desgaste de revestimientos.
<b>Índice de trabajo (work index)</b>	La dureza de un mineral está determinada por la fuerza atómica estructural de los elementos y compuestos químicos	Mineral suave: Estos reducen la tasa de trituración de mineral y mantiene el lecho de mineral en el molino.
		Mineral duro: Por lo tanto, al usar la velocidad del molino, se puede variar la tasa de ruptura de mineral como proteger los revestimientos del molino.

**Fuente:** Elaboración propia 2016, la información de fue seleccionada en base a los manuales de operación del molino SAG – Planta Gold Mill



## ANEXO 7: DAYLY REPORT - CONTROL ROOM REPORT

<b>Yanacocha</b>		<b>PROCESS GOLD MILL DAILY REPORT CONTROL ROOM REPORT</b>			Código : PGM-M-P05-F03 Página 1 de 1 Versión: 0.0 Fecha de publicación: Mayo 2009						
<b>PROCESOS</b>											
<b>1- SHIFT NIGHT</b>		<b>2 - SHIFT DAY</b>			<b>TOTAL DAY RESUME</b>						
<b>SUPERVISOR :</b> JUAN CARLOS LOPEZ		<b>SUPERVISOR :</b> LINDEY SALAZAR			<b>DATE:</b> 30-abr-15						
<b>TECNICO :</b> TITO SILVA		<b>TECNICO :</b> MARCO SALAS									
<b>CRUSHING</b>		<b>Unit</b>	<b>Total</b>		<b>CRUSHING</b>		<b>Unit</b>	<b>Total</b>			
Tonnes	Tn	5156.5		Tonnes	Tn	2091.76		Tonnes	Tn	7248.26	
Average	Tn/hr	636.6		Average	Tn/hr	769.0		Average	Tn/hr	669.9	
Level Pile	%	78		Level Pile	%	49		Level Pile (avg.)	%	63.5	
Tonnes ROM (Run of mine)	Tn	0		Tonnes ROM (Run of mine)	Tn	0		Tonnes ROM (Run of mine)	Tn	0.0	
Operation Time	hr	8.1		Operation Time	hr	2.72		Operation Time	hr	10.8	
Downtime Process	hr	1.16		Downtime Process	hr	0		Downtime Process	hr	1.2	
Schedule Maintenance	hr	0		Schedule Maintenance	hr	9.28		Schedule Maintenance	hr	9.3	
Low Level Hopper (Mine)	hr	2.74		Low Level Hopper (Mine)	hr	0		Low Level Hopper (Mine)	hr	2.7	
Unschedule Maintenance	hr	0		Unschedule Maintenance	hr	0		Unschedule Maintenance	hr	0.0	
Power Failure	hr	0		Power Failure	hr	0		Power Failure	hr	0.0	
<b>ORE QUALITY</b>		<b>Unit</b>	<b>Total</b>		<b>ORE QUALITY</b>		<b>Unit</b>	<b>Total</b>			
Moisture (avg.)	%	0		Moisture (avg.)	%	0		Moisture (avg.)	%	0	
Feed size	in	0		Feed size	mm	0		Feed size (avg.)	in	0	
<b>ORE GRINDING</b>		<b>Unit</b>	<b>Total</b>		<b>ORE GRINDING</b>		<b>Unit</b>	<b>Total</b>			
Tonnes	Tn	5400		Tonnes	Tn	5584		Tonnes	Tn	10984	
Average	Tn/hr	450.0		Average	Tn/hr	465.3		Average	Tn/hr	457.7	
Operation Time (Feeders)	hr	12.00		Operation Time (Feeders)	hr	12.00		Operation Time (Feeders)	hr	24.0	
Downtime Process	hr	0.00		Downtime Process	hr	0.00		Downtime Process	hr	0.0	
Schedule Maintenance	hr	0.00		Schedule Maintenance	hr	0.00		Schedule Maintenance	hr	0.0	
Unschedule Maintenance	hr	0.00		Unschedule Maintenance	hr	0.00		Unschedule Maintenance	hr	0.0	
Power Failure	hr	0.00		Power Failure	hr	0.00		Power Failure	hr	0.0	
<b>CONSUMPTION</b>		<b>Unit</b>	<b>Total</b>		<b>CONSUMPTION</b>		<b>Unit</b>	<b>Total</b>			
Mill Dilution	m <sup>3</sup>	6768		Mill Dilution	m <sup>3</sup>	6488		Mill Dilution	m <sup>3</sup>	13256	
Water/Tn	m <sup>3</sup> /Tn	1.3		Water/Tn	m <sup>3</sup> /Tn	1.2		Water/Tn	m <sup>3</sup> /Tn	1.2	
Pebbles	Tn	107		Pebbles	Tn	76		Pebbles	Tn	183	
Average Pebbles	Tn/hr	8.9		Average Pebbles	Tn/hr	6.3		Average Pebbles	Tn/hr	7.6	
Balls (4")	Tn	12		Balls (4")	Tn	16		Balls (4")	Tn	28	
Balls (5")	Tn	0		Balls (5")	Tn	0		Balls (5")	Tn	0	
Balls (3")	Tn	0		Balls (3")	Tn	0		Balls (3")	Tn	0	
Balls (3 1/2")	Tn	0		Balls (3 1/2")	Tn	0		Balls (3 1/2")	Tn	0	

Energy (avg.)	Kwh	11820
Lime	m3	103
Work index	Kwh/Tn	26.27
Pressure (avg.)	Kpa	7960

Energy (avg.)	Kwh	11852
Lime	m3	218
Work index	Kwh/Tn	25.47
Pressure (avg.)	Kpa	7932

Energy (avg.)	Kwh	11836
Lime	m3	321
Work index	Kwh/Tn	25.86
Pressure (avg.)	Kpa	7946

CYCLONS	Unit	Total
Number in operation	----	5
Operation Time A	hr	0
Operation Time B	hr	0
Operation Time C	hr	12
Operation Time D	hr	12
Operation Time E	hr	12
Operation Time F	hr	0
Operation Time G	hr	0
Operation Time H	hr	12
Operation Time I	hr	0
Operation Time J	hr	12
Average Pressure	psi	61
O/F Solid (avg.)	%	23
U/F Solid (avg.)	%	74
Malla - 200 (avg.)	%	73

CYCLONS	Unit	Total
Number in operation	----	5
Operation Time A	hr	0
Operation Time B	hr	0
Operation Time C	hr	12
Operation Time D	hr	12
Operation Time E	hr	12
Operation Time F	hr	0
Operation Time G	hr	0
Operation Time H	hr	12
Operation Time I	hr	0
Operation Time J	hr	12
Average Pressure	psi	61
O/F Solid (avg.)	%	36
U/F Solid (avg.)	%	78
Malla - 140 (avg.)	%	70

CYCLONS	Unit	Total
Number in operation	----	5
Operation Time A	hr	0
Operation Time B	hr	0
Operation Time C	hr	24
Operation Time D	hr	24
Operation Time E	hr	24
Operation Time F	hr	0
Operation Time G	hr	0
Operation Time H	hr	24
Operation Time I	hr	0
Operation Time J	hr	24
Average Pressure	psi	61
O/F Solid (avg.)	%	29.5
U/F Solid (avg.)	%	76
Malla - 200 (avg.)	%	71.5

Pre-LEACH	Unit	Total
Cyanide	m <sup>3</sup>	0
Ph (avg.)	----	11.2
U/F Solid (avg.)	%	50
Operation Time	hr	12
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0

Pre-LEACH	Unit	Total
Cyanide	m <sup>3</sup>	0
Ph (avg.)	----	10.85
U/F Solid (avg.)	%	59
Operation Time	hr	12
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0

Pre-LEACH	Unit	Total
Cyanide	m <sup>3</sup>	0
Ph (avg.)	----	11.025
U/F Solid (avg.)	%	54.5
Operation Time	hr	24
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0

GOLD LEACH	Operation	
Working	1,2,3,4,5,6	6

GOLD LEACH	Operation	
Working	1,2,3,5,6	6

GOLD LEACH	Operation	By-pass
Working	1,2,3,5,6	6

GOLD LEACH	Unit	Total
Slurry	m <sup>3</sup>	6156
Cyanide	m <sup>3</sup>	76.16
NaCN	ppm	432
Ph (avg.)	----	11.5
Operation Time	hr	12
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0

GOLD LEACH	Unit	Total
Slurry	m <sup>3</sup>	6071
Cyanide	m <sup>3</sup>	68.788
NaCN	ppm	489
Ph (avg.)	----	10.75
Operation Time	hr	12
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0

GOLD LEACH	Unit	Total
Slurry	m <sup>3</sup>	12227
Cyanide	m <sup>3</sup>	144.948
NaCN (avg.)	ppm	460.5
Ph (avg.)	----	11.125
Operation Time	hr	24
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0

CCD <sub>s</sub>	Operation	Recycle
Working	1,2,3,4,5	5

CCD <sub>s</sub>	Operation	Recycle
Working	1,2,3,4,5,6	5

CCD <sub>s</sub>	Operation	Recycle
Working	1,2,3,4,5,6	5

CCD	Unit	Total
CCD - 01 U/F	%	60
CCD - 02 U/F	%	54
CCD - 03 U/F	%	55
CCD - 04 U/F	%	53
CCD - 05 U/F	%	51
Floculant	kg	600
Floculant	m3	75.5
Operation Time	hr	12
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0

CCD	Unit	Total
CCD - 01 U/F	%	58
CCD - 02 U/F	%	59
CCD - 03 U/F	%	59
CCD - 04 U/F	%	59
CCD - 05 U/F	%	60
Floculant	Kg	300
Floculant	m3	76.39
Operation Time	hr	12
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0

CCD	Unit	Total
CCD - 01 U/F (avg.)	%	59
CCD - 02 U/F (avg.)	%	56.5
CCD - 03 U/F (avg.)	%	57
CCD - 04 U/F (avg.)	%	56
CCD - 05 U/F (avg.)	%	55.5
Floculant Total	kg	900
Floculant Total	m3	151.89
Operation Time	hr	24
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0

Interconectado LQ-GYM	Unit	Total
Barren LQ to CCD <sub>s</sub>	m <sup>3</sup>	9312
Barren LQ to CCDs (avg.)	m <sup>3</sup> /hr	776.00
Pregnant GYM to Columns	m <sup>3</sup>	10792
NaCN (avg) Barren Solution	ppm	11
NaCN (avg) Pregnant Solution	ppm	337
Pregnant GYM to Columns (avg.)	m <sup>3</sup> /hr	899.33

Interconectado LQ-GYM	Unit	Total
Barren LQ to CCD <sub>s</sub>	m <sup>3</sup>	10981
Barren LQ to CCDs (avg.)	m <sup>3</sup> /hr	915.08
Pregnant GYM to Columns	m <sup>3</sup>	12956
NaCN (avg) Barren Solution	ppm	13
NaCN (avg) Pregnant Solution	ppm	422
Pregnant GYM to Columns (avg.)	m <sup>3</sup> /hr	1079.67

Interconectado LQ-GYM	Unit	Total
Barren LQ to CCD <sub>s</sub>	m <sup>3</sup>	20293
Barren LQ to CCDs (avg.)	m <sup>3</sup> /hr	845.5416667
Pregnant GYM to Columns	m <sup>3</sup>	23748
NaCN (avg) Barren Solution	ppm	12
NaCN (avg) Pregnant Solution	ppm	379.5
Pregnant GYM to Columns (avg.)	m <sup>3</sup> /hr	989.5

MILL SANDS	Unit	Total
Slurry to PAD	m <sup>3</sup>	7153
Slurry to PAD (avg.)	m <sup>3</sup> /hr	596.08
Pressure (avg.)	Kpa	1560
Density (avg.)	%	59
Operation Time	hr	12
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0
NaCN (avg)	ppm	12
Numero de Descarga -DUMP	#	13

MILL SANDS	Unit	Total
Slurry to PAD	m <sup>3</sup>	7067
Slurry to PAD (avg.)	m <sup>3</sup> /hr	588.92
Pressure (avg.)	Kpa	1410
Density (avg.)	%	60
Operation Time	hr	12
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0
NaCN (avg)	ppm	18
Numero de Descarga -DUMP	#	2

MILL SANDS	Unit	Total
Slurry to PAD	m <sup>3</sup>	14220
Slurry to PAD (avg.)	m <sup>3</sup> /hr	592.5
Pressure (avg.)	Kpa	1485
Density (avg.)	%	59.5
Operation Time	hr	24
Downtime Process	hr	0
Schedule Maintenance	hr	0
Unschedule Maintenance	hr	0
NaCN (avg)	ppm	15
Numero de Descarga - DUMP	#	2

SART	Unit	Total
Pregnant Solution	m <sup>3</sup>	11808
Operation Time	Hr	12
Average	m <sup>3</sup> /hr	984
Density (avg.)	%	1
Ph (avg.)	----	3.70
NAHS	m <sup>3</sup>	28.9
Sulfuric Acid	m <sup>3</sup>	6.6
To Filter Press	m <sup>3</sup>	0
Floculant	m <sup>3</sup>	19
Cake	Kg	19443
Number of Bags	----	12

SART	Unit	Total
Pregnant Solution	m <sup>3</sup>	13414
Operation Time	Hr	0
Average	m <sup>3</sup> /hr	0
Density (avg.)	%	1
Ph (avg.)	----	3.50
NAHS	m <sup>3</sup>	32.5
Sulfuric Acid	m <sup>3</sup>	7.6
To Filter Press	m <sup>3</sup>	0
Floculant	m <sup>3</sup>	19
Cake	Kg.	13240
Number of Bags	----	10

SART	Unit	Total
Pregnant Solution	m <sup>3</sup>	25222
Operation Time	Hr	12
Average	m <sup>3</sup> /hr	2101.83
Density (avg.)	%	1.15
Ph (avg.)	----	3.6
NAHS	m <sup>3</sup>	61.4
Sulfuric Acid	m <sup>3</sup>	14.2
To Filter Press	m <sup>3</sup>	0
Floculant	m <sup>3</sup>	38.4
Cake	Kg.	32683
Number of Bags	----	22

NEUTRALIZATION	Unit	Total
Mill Sands Pump	m <sup>3</sup>	0
To CCD	m <sup>3</sup>	1108
Density (avg.)	%	83.2
Floculant	m <sup>3</sup>	19.2
Ph (avg.) Tk-1	----	10.2
Ph (avg.) Tk-4	----	10.6

NEUTRALIZATION	Unit	Total
Mill Sands Pump	m <sup>3</sup>	0
To CCD	m <sup>3</sup>	1105
Density (avg.)	%	83.2
Floculant	m <sup>3</sup>	0
Ph (avg.) Tk-1	----	10
Ph (avg.) Tk-4	----	10.3

NEUTRALIZATION	Unit	Total
Mill Sands Pump	m <sup>3</sup>	0
To CCD	m <sup>3</sup>	2213
Density (avg.)	%	83.2
Floculant	m <sup>3</sup>	19.2
Ph (avg.) Tk-1	----	10.1
Ph (avg.) Tk-4	----	10.45

AVR	Unit	Total
Feed Solution	m <sup>3</sup>	0
Caustic Soda	m <sup>3</sup>	0
HCN	ppm	0
Air	m <sup>3</sup>	0
Nacn (avg.)	ppm	0
To Recovered Nacn Surge Tank	m <sup>3</sup>	0
Ph (avg.)	----	0
NaCN Enviado a la Quinua	m <sup>3</sup>	0

AVR	Unit	Total
Feed Solution	m <sup>3</sup>	0
Caustic Soda	m <sup>3</sup>	0
HCN	ppm	0
Air	m <sup>3</sup>	0
Nacn (avg.)	ppm	0
To Recovered Nacn Surge Tank	m <sup>3</sup>	0
Ph (avg.)	----	0
NaCN Enviado a la Quinua	m <sup>3</sup>	0

AVR	Unit	Total
Feed Solution	m <sup>3</sup>	0
Caustic Soda	m <sup>3</sup>	0
HCN	ppm	0
Air	m <sup>3</sup>	0
Nacn (avg.)	ppm	0
To Recovered Nacn Surge Tank	m <sup>3</sup>	0
Ph (avg.)	----	0
NaCN Enviado a la Quinua	m <sup>3</sup>	0

Parameters of control SAG	Unit	Total
Available Mechanic Shift Night	%	100.00%
Usage Shift Night	%	100.00%
Utilization Shift Night	%	100.00%

Parameters of control SAG	Unit	Total
Available Mechanic Shift Day	%	100.00%
Usage Shift Day	%	100.00%
Utilization Shift Day	%	100.00%

Parameters of control SAG	Unit	Total
Available Mechanic Total Day	%	100.00%
Usage Total Day	%	100.00%
Utilization Total Day	%	100.00%

Parameters of control Crusher	Unit	Total
Available Mechanic Shift Night	%	77.17%
Usage Shift Night	%	90.33%
Utilization Shift Night	%	69.71%

Parameters of control Crusher	Unit	Total
Available Mechanic Shift Night	%	22.67%
Usage Shift Night	%	100.00%
Utilization Shift Night	%	22.67%

Parameters of control Crusher	Unit	Total
Available Mechanic Total Day	%	49.92%
Usage Total Day	%	92.12%
Utilization Total Day	%	45.98%

Arranque de Molino	Unit	Total
Ramp Up 1	min	0.00
Ramp Up 2	min	0

Arranque de Molino	Unit	Total
Ramp Up 1	min	0.00
Ramp Up 2	min	0

Arranque de Molino	Unit	Total
Ramp Up 1	min	0
Ramp Up 2	min	0

Descarga de CN- Tk de Preparación	Unit	Total
Isotanque 1	Tn	0
Isotanque 2	Tn	0

Descarga de CN- Tk de Preparación	Unit	Total
Isotanque 1	Tn	22.7
Isotanque 2	Tn	22.7

Descarga de CN- Tk de Preparación	Unit	Total
Isotanque 1	Tn	22.7
Isotanque 2	Tn	22.7

Downtime Reasons:

Downtime Reasons:

<p>Picadura en tubería de ácido, se cambia a tubería alterna.</p> <p>Comments Shift Night: # bolson kg</p>	<p>9:21 A:M CAMBIO EN EL DAM # 13 AL # 2</p> <p>Comments Shift Day:</p>
--	---

Fuente: Los datos fueron recolectados por los colaboradores del Área de Operaciones - Planta Gold Mill del Área Procesos – Minera Yanacocha S.R.L.

## ANEXO 8: HOJA DE MEDICIÓN DE DESGASTE (19/05/2012 al 3/12/2015)

Revestimiento de alimentación – zona plate y lifter

PROVEEDOR: GROWTH STEEL			
FECHA	KTM	PLATE	LIFTER
19/05/2012	0	130.00	350.00
06/06/2012	386.929	126.36	323.23
25/07/2012	1281.229	120.86	278.26
12/08/2012	1635.829	119.85	277.70
19/09/2012	2328.069	104.23	230.72
17/10/2012	2813.016	82.72	210.15
15/11/2012	3293.496	59.67	184.00
Proyección	3933.881	40.00	154.30
Proyección	4321.166	25.97	132.60
03/12/2012	Fecha de revestido		

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento Procesos – Planta Gold Mill (Minera Yanacocha S.R.L)

## ANEXO 9: HOJA DE MEDICIÓN DE DESGASTE (08/12/12 al 21/08/2013)

Revestimiento de alimentación – zona plate y lifter

PROVEEDOR: GROWTH STEEL			
FECHA	KTM	PLATE 13	LIFTER 13
08/12/2012	0	130	350
27/12/2012	293.981	123	322
19/02/2013	1312.298	116	294
07/03/2013	1588.175	112	281
21/05/2013	2891.606	99	238
10/07/2013	3770.109	79	195
Proyección	4734.109	40	152
Proyección	5101.756	25	137
Proyección	5262.183		131
21/08/2013	Fecha de revestido		

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento Procesos – Planta Gold Mill (Minera Yanacocha S.R.L)

## ANEXO 10: HOJA DE MEDICIÓN DE DESGASTE (29/08/13 al 3/06/2014)

Revestimiento de alimentación – zona plate y lifter

PROVEEDOR: GROWTH STEEL			
FECHA	KTM	PLATE	LIFTER
29/08/2013	0	130.00	350.00
30/10/2013	1162.806	117.33	297.75
21/01/2014	2313.363	103.03	244.58
17/03/2014	3689.826	90.58	214.32
23/04/2014	4324.336	80.98	191.45
Proyección	5348.836	40.00	150.03
Proyección	5598.836	30.00	141.05
03/06/2014	Fecha de revestido		

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento Procesos – Planta Gold Mill (Minera Yanacocha S.R.L)

## ANEXO 11: HOJA DE MEDICIÓN DE DESGASTE (06/06/14 al 13/03/2015)

Revestimiento de alimentación – zona plate y lifter

PROVEEDOR: GROWTH STEEL			
FECHA	KTM	PLATE 15 - 1	LIFTER 15 -1
06/06/2014	0	152	355
18/09/2014	1843	129	289
15/10/2014	2330	109	274
03/12/2014	3420	99	231
07/01/2015	3860	98	200
19/02/2015	4640	60	179
10/03/2015	5058	32	162
10/03/2015	Fecha de revestido		

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento Procesos – Planta Gold Mill (Minera Yanacocha S.R.L)

## ANEXO 12: HOJA DE MEDICIÓN DE DESGASTE (17/03/2015 al 02/11/2015)

Revestimiento de alimentación – zona plate y lifter

PROVEEDOR: GROWTH STEEL			
FECHA	KTM	PLATE 15-2	LIFTER 15-2
17/03/2015	0.0	152.0	355.0
27/03/2015	147.2	142.0	330.2
22/04/2015	612.9	132.0	324.9
10/06/2015	1484.0	123.5	262.2
31/08/2015	2952.0	80.7	193.3
02/11/2015	3546.2	37.6	158.0
02/11/2015	Fecha de revestido		

**Fuente:** Ingeniería de Mantenimiento Procesos – Planta Gold Mill (Minera Yanacocha S.R.L)

## ANEXO 13: REGISTRO DE PARÁMETROS DE DESGASTE – MOLINO SAG



### REGISTRO DE PARÁMETROS DE DESGASTE – MOLINO SAG



Revestido : N° 01

Fecha de inicio: 19/05/12

Ubicación : Planta Gold Mill

Fecha de cambio: 03/12/12

FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m <sup>3</sup> /h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m <sup>3</sup> )	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
19/05/2012	3382.0	49.7	67.4	10.1	1.7	15241.7	9.8	16.0	17.1	3.4
20/05/2012	20147.0	54.4	146.7	10.6	1.8	14541.5	9.5	26.0	16.8	23.5
21/05/2012	19758.7	52.3	42.3	11.5	1.7	14345.2	9.9	22.0	19.2	43.3
22/05/2012	18894.1	54.4	74.8	11.8	1.7	15540.6	10.1	0.0	17.9	62.2
23/05/2012	13692.9	39.4	89.0	11.7	1.7	14907.7	9.9	22.0	17.2	75.9
24/05/2012	21000.0	47.5	117.8	11.9	1.8	14078.3	9.6	28.0	16.0	96.9
25/05/2012	21040.3	57.9	101.9	11.6	1.8	14630.0	9.8	34.0	16.8	117.9
26/05/2012	20816.1	47.7	135.4	10.3	1.8	15100.8	9.7	40.0	17.4	138.7
27/05/2012	20851.2	52.1	102.3	11.6	1.8	14440.8	9.3	40.0	16.6	159.6
28/05/2012	20781.2	52.6	152.0	11.8	1.8	14499.4	9.4	30.0	16.6	180.4
29/05/2012	20597.6	41.7	81.8	11.1	1.9	15539.9	9.9	10.0	18.0	201.0
30/05/2012	20779.3	37.2	97.0	11.6	1.8	14117.5	9.6	10.0	16.3	221.7
31/05/2012	20746.0	62.0	71.9	11.0	1.8	15604.7	10.2	10.0	18.0	242.5



FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m3/h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m3)	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
01/06/2012	20268.8	40.2	93.8	11.6	1.8	15119.3	10.2	32.0	17.2	262.8
02/06/2012	20638.0	49.7	111.4	11.1	1.8	15037.8	10.2	40.0	18.5	283.4
03/06/2012	18298.7	51.4	109.3	11.4	1.8	14776.8	10.0	54.0	17.9	301.7
04/06/2012	20593.2	35.0	113.3	11.6	1.8	14592.5	9.6	24.0	16.8	322.3
05/06/2012	20945.0	47.5	138.1	11.6	1.9	15535.9	9.9	34.0	17.7	343.2
06/06/2012	20749.3	48.8	189.6	11.5	1.9	15779.9	10.1	10.0	18.2	364.0
07/06/2012	10597.8	0.0	0.3	11.6	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	374.6
08/06/2012	13.1	0.0	0.2	11.6	2.2	80.6	0.0	0.0	145.1	374.6
09/06/2012	13.3	0.0	0.2	10.5	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	374.6
10/06/2012	3994.7	42.0	121.1	11.0	1.5	12846.1	8.5	24.0	22.3	378.6
11/06/2012	17659.0	48.6	138.7	11.7	1.8	15734.0	10.2	20.0	20.5	396.3
12/06/2012	19275.9	41.2	113.2	11.5	1.7	14902.8	9.9	20.0	18.0	415.5
13/06/2012	19254.9	31.9	107.7	11.3	1.7	15205.3	10.2	22.0	20.8	434.8
14/06/2012	16331.5	36.1	167.7	11.4	1.8	14980.1	10.0	22.0	17.4	451.1
15/06/2012	20390.6	35.6	145.3	11.7	1.7	14100.6	9.9	24.0	16.6	471.5
16/06/2012	20547.6	41.9	209.1	11.5	1.8	14738.2	9.8	48.0	17.0	492.1
17/06/2012	20862.0	46.7	217.5	11.6	1.9	14266.4	9.5	42.0	16.4	512.9
18/06/2012	20856.0	44.9	267.1	11.5	1.9	15166.3	9.5	46.0	17.4	533.8

FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m3/h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m3)	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
19/06/2012	20764.9	64.9	359.4	11.6	2.1	15951.0	9.9	40.0	18.7	554.5
20/06/2012	20395.4	55.4	290.2	11.6	1.9	15041.1	9.6	42.0	17.7	574.9
21/06/2012	20685.4	52.0	271.3	11.5	1.8	14598.0	9.4	32.0	16.7	595.6
22/06/2012	20718.7	47.6	149.7	10.9	1.8	15019.2	9.8	24.0	17.3	616.3
23/06/2012	19435.5	43.9	147.4	11.6	1.9	15924.5	10.2	22.0	19.4	635.8
24/06/2012	18886.3	31.6	146.9	11.6	1.5	13794.5	10.3	34.0	28.5	654.7
25/06/2012	18340.8	46.7	117.1	11.2	1.7	14983.0	10.2	12.0	21.3	673.0
26/06/2012	19512.2	39.2	162.4	12.0	1.9	14358.0	9.6	0.0	16.5	692.5
27/06/2012	20256.4	27.4	159.9	11.9	2.0	15249.1	10.0	0.0	17.8	712.8
28/06/2012	20370.6	39.9	163.5	11.7	1.9	14949.5	9.8	29.0	16.8	733.1
29/06/2012	20981.7	38.2	119.5	11.6	1.8	14285.4	9.6	10.0	16.4	754.1
30/06/2012	20843.9	39.0	72.3	11.6	1.7	14205.0	9.6	10.0	16.2	775.0
01/07/2012	20650.7	38.0	88.0	11.6	1.8	14908.1	10.1	10.0	18.6	795.6
02/07/2012	20314.8	34.9	93.9	11.7	1.8	13959.8	9.6	10.0	15.9	815.9
03/07/2012	19637.1	36.1	101.8	11.1	1.7	14539.8	10.0	32.0	17.0	835.6
04/07/2012	20421.7	32.4	99.8	11.3	1.7	12679.0	9.0	26.0	14.9	856.0
05/07/2012	20341.0	46.0	147.9	11.8	1.7	12610.0	8.8	24.0	14.8	876.3
06/07/2012	20104.5	60.1	186.6	11.7	1.7	12931.5	8.7	18.0	15.6	896.4

FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m3/h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m3)	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
07/07/2012	20504.3	41.6	218.6	11.5	1.9	12769.4	8.6	16.0	15.1	916.9
08/07/2012	20392.3	37.9	79.4	11.6	1.8	13452.3	9.0	10.0	15.9	937.3
09/07/2012	20044.4	41.0	101.5	11.7	1.8	15363.8	10.2	12.0	18.1	957.4
10/07/2012	20339.4	48.6	100.5	11.2	1.8	14949.8	10.0	12.0	17.6	977.7
11/07/2012	20423.4	52.1	99.1	10.9	1.8	12843.9	9.0	10.0	15.0	998.1
12/07/2012	20367.2	42.1	150.3	11.7	1.8	13132.8	8.8	22.0	15.7	1018.5
13/07/2012	20418.1	41.5	172.1	11.7	1.9	13353.5	8.9	16.0	15.5	1038.9
14/07/2012	20099.9	41.1	170.0	11.2	1.9	13673.5	9.0	12.0	15.9	1059.0
15/07/2012	20314.9	42.0	141.0	10.8	1.9	13682.9	9.2	10.0	16.1	1079.3
16/07/2012	17998.1	51.2	120.9	11.0	1.8	12528.4	8.5	6.0	14.8	1097.3
17/07/2012	20459.0	40.7	114.3	11.8	1.8	12917.6	8.8	8.0	15.2	1117.8
18/07/2012	20272.0	45.5	154.4	10.8	1.8	13997.6	9.3	16.0	16.9	1138.1
19/07/2012	17986.2	38.3	141.2	11.1	1.8	14340.6	9.5	30.0	16.7	1156.1
20/07/2012	20432.3	50.2	155.7	11.7	1.8	14807.2	9.8	20.0	17.6	1176.5
21/07/2012	16816.4	46.7	166.9	11.5	1.8	13221.6	8.8	16.0	18.1	1193.3
22/07/2012	16196.4	37.9	146.0	11.6	1.8	13111.6	8.8	20.0	17.9	1209.5
23/07/2012	19338.7	38.6	176.1	11.7	2.1	13624.0	9.1	22.0	16.7	1228.8
24/07/2012	20119.3	34.7	144.2	11.3	1.9	14029.2	9.4	18.0	16.2	1249.0

FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m3/h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m3)	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
25/07/2012	19945.8	29.3	153.4	11.2	1.8	13092.1	9.1	10.0	15.1	1268.9
26/07/2012	12986.3	35.3	116.0	11.0	1.7	13092.1	9.1	22.0	15.1	1281.9
27/07/2012	20172.6	33.9	100.9	11.5	1.7	13260.5	9.2	30.0	15.2	1302.1
28/07/2012	20833.4	36.3	133.3	11.6	1.8	12709.1	8.7	10.0	14.7	1322.9
29/07/2012	20893.6	34.9	127.3	11.5	1.7	12558.5	8.6	10.0	14.4	1343.8
30/07/2012	20722.8	32.8	108.9	11.4	1.8	13431.0	8.9	10.0	15.8	1364.5
31/07/2012	20346.4	32.2	129.1	11.3	1.7	12894.4	8.6	20.0	15.2	1384.9
01/08/2012	20383.7	38.8	95.3	11.6	1.8	13754.4	9.0	8.0	16.2	1405.2
02/08/2012	20216.1	38.6	116.6	11.7	1.8	13603.6	9.1	0.0	16.3	1425.5
03/08/2012	20160.6	33.2	106.2	11.1	1.8	12744.6	9.0	10.0	15.1	1445.6
04/08/2012	20150.9	38.3	112.7	11.7	1.8	12761.5	9.0	10.0	15.2	1465.8
05/08/2012	20196.5	45.6	192.1	11.4	1.9	12601.7	8.8	10.0	15.0	1486.0
06/08/2012	20231.0	36.4	190.2	11.4	1.8	11706.9	8.3	10.0	13.9	1506.2
07/08/2012	20213.6	31.6	178.0	11.8	1.8	12017.0	8.4	16.0	14.4	1526.4
08/08/2012	20109.6	51.5	187.4	11.6	1.9	13175.8	8.8	10.0	15.7	1546.5
09/08/2012	19025.6	44.7	146.6	11.6	1.8	12981.3	9.0	16.0	15.4	1565.5
10/08/2012	20062.2	41.3	145.5	11.5	1.8	12775.4	9.0	12.0	15.6	1585.6
11/08/2012	19655.8	39.2	179.9	11.1	1.9	13086.6	9.0	22.0	17.0	1605.3

FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m3/h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m3)	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
12/08/2012	17993.9	48.7	130.8	11.0	1.8	13679.5	9.3	14.0	18.9	1623.3
13/08/2012	5176.9	35.1	168.4	10.3	1.6	11448.7	8.0	20.0	22.9	1628.4
14/08/2012	18862.4	46.5	289.1	11.2	1.9	13832.0	9.1	30.0	17.4	1647.3
15/08/2012	19117.7	57.0	291.3	11.6	1.9	14213.8	9.2	28.0	17.9	1666.4
16/08/2012	19082.3	39.0	255.0	11.2	1.8	14239.1	9.2	8.0	18.0	1685.5
17/08/2012	17954.5	45.4	268.8	10.5	1.9	13924.8	9.3	10.0	17.4	1703.5
18/08/2012	18798.4	51.9	263.9	11.7	1.8	13828.6	9.3	30.0	16.8	1722.3
19/08/2012	19698.0	42.7	234.3	10.9	1.8	13450.9	9.4	30.0	16.5	1742.0
20/08/2012	19325.8	62.1	216.0	11.9	1.8	13784.3	9.7	18.0	17.2	1761.3
21/08/2012	18623.8	56.7	229.4	12.0	1.8	14255.9	9.8	36.0	17.9	1779.9
22/08/2012	18850.0	62.6	217.7	11.7	1.9	14409.1	10.0	30.0	17.4	1798.8
23/08/2012	19902.4	45.9	241.4	11.2	2.0	13712.9	9.8	26.0	16.3	1818.7
24/08/2012	20166.2	36.6	206.4	11.6	1.8	13577.5	9.6	28.0	16.1	1838.8
25/08/2012	19835.7	54.0	227.0	11.4	1.9	13172.1	9.6	24.0	16.0	1858.7
26/08/2012	19338.1	50.4	243.1	11.2	1.9	13272.6	9.6	48.0	16.6	1878.0
27/08/2012	19119.3	50.6	214.7	10.8	1.9	12844.9	9.5	46.0	15.6	1897.1
28/08/2012	18363.9	57.1	182.2	11.2	1.9	13641.1	9.5	50.0	17.8	1915.5
29/08/2012	17780.2	57.0	184.0	11.4	1.9	14281.0	9.7	32.0	18.1	1933.3

FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m3/h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m3)	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
30/08/2012	16749.8	51.3	194.1	11.3	1.9	14239.0	9.9	30.0	17.9	1950.0
31/08/2012	19174.9	45.3	201.8	11.1	1.8	14113.0	9.7	28.0	17.1	1969.2
01/09/2012	19033.6	49.7	238.2	11.0	1.8	14443.5	9.7	0.0	17.6	1988.2
02/09/2012	10311.4	52.6	280.3	11.0	1.9	13216.1	9.3	32.0	15.8	1998.5
03/09/2012	18117.1	74.4	338.6	11.1	1.9	13923.7	9.6	36.0	20.3	2016.6
04/09/2012	19792.5	45.8	215.6	11.3	1.9	13600.3	9.5	30.0	16.4	2036.4
05/09/2012	19545.4	52.8	204.4	11.5	2.0	14232.1	9.7	20.0	17.3	2056.0
06/09/2012	20031.9	49.1	226.0	11.2	2.0	14233.2	9.6	8.0	16.9	2076.0
07/09/2012	17041.4	34.1	143.3	11.2	1.7	13762.2	9.4	8.0	23.0	2093.1
08/09/2012	15706.6	37.6	248.7	11.3	1.9	14150.4	9.7	10.0	17.8	2108.8
09/09/2012	19252.8	59.1	209.9	11.5	1.8	14707.1	9.9	12.0	18.3	2128.0
10/09/2012	19402.1	69.8	257.3	11.4	1.8	14624.8	9.9	20.0	24.7	2147.4
11/09/2012	18524.4	41.7	252.2	11.0	1.8	13299.2	9.4	18.0	16.4	2165.9
12/09/2012	19477.2	63.4	258.5	11.2	1.8	13673.8	9.5	10.0	16.8	2185.4
13/09/2012	18723.7	44.6	253.4	11.3	1.7	13380.5	9.4	0.0	18.8	2204.1
14/09/2012	16995.5	44.0	223.8	11.6	1.9	12457.0	9.5	32.0	16.9	2221.1
15/09/2012	18782.5	44.6	220.6	11.3	2.0	13873.2	9.9	34.0	17.2	2239.9
16/09/2012	19573.0	39.8	206.1	11.3	1.8	14418.3	9.9	36.0	17.1	2259.5

FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m3/h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m3)	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
17/09/2012	19526.2	53.1	221.4	11.1	1.9	14575.0	10.0	10.0	17.5	2279.0
18/09/2012	19096.5	51.4	251.1	11.0	2.0	13467.0	9.8	10.0	16.1	2298.1
19/09/2012	17388.9	40.6	96.4	11.1	1.7	12886.1	9.4	6.0	18.2	2315.5
20/09/2012	10844.3	37.0	119.9	11.2	1.7	11839.4	8.7	6.0	19.6	2326.3
21/09/2012	14553.4	52.4	313.3	11.4	1.7	12184.9	9.0	14.0	19.8	2340.9
22/09/2012	15763.9	88.8	178.6	10.9	1.6	13107.4	9.3	32.0	21.5	2356.7
23/09/2012	17166.6	35.6	205.2	11.2	1.8	12179.3	9.3	32.0	16.1	2373.8
24/09/2012	18746.0	44.4	236.1	11.6	1.9	13556.3	10.0	40.0	16.7	2392.6
25/09/2012	19545.3	52.9	221.3	11.5	1.8	13711.1	10.2	32.0	17.4	2412.1
26/09/2012	17858.6	46.6	275.4	10.5	1.9	12586.7	9.7	22.0	16.0	2430.0
27/09/2012	18178.4	42.6	367.1	11.4	1.9	13146.5	10.2	34.0	18.5	2448.2
28/09/2012	17430.7	43.0	298.0	11.5	1.8	13295.7	10.0	24.0	16.7	2465.6
29/09/2012	18029.3	41.1	310.8	11.5	2.0	13380.2	10.0	36.0	17.7	2483.6
30/09/2012	18898.9	53.8	241.5	11.5	1.9	14530.4	10.2	32.0	18.1	2502.5
01/10/2012	19540.9	56.8	215.3	11.2	1.9	14291.6	10.1	12.0	16.8	2522.1
02/10/2012	14915.0	51.7	216.0	11.1	1.7	14507.1	9.7	50.0	20.9	2537.0
03/10/2012	18918.6	42.8	231.2	11.2	1.8	13995.0	9.4	24.0	17.5	2555.9
04/10/2012	18377.7	47.7	224.4	10.8	1.8	13478.6	9.1	38.0	17.4	2574.3

FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m <sup>3</sup> /h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m <sup>3</sup> )	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
05/10/2012	19132.9	51.4	323.1	11.1	1.9	13739.1	9.2	38.0	17.1	2593.4
06/10/2012	19180.1	51.4	336.0	11.5	1.9	13293.7	9.3	18.0	16.9	2612.6
07/10/2012	17710.1	55.7	322.5	11.3	1.9	13686.7	9.9	0.0	18.3	2630.3
08/10/2012	18841.2	39.9	224.0	11.4	2.1	14043.2	9.8	0.0	18.0	2649.1
09/10/2012	19223.3	49.7	242.2	11.7	2.0	13649.9	9.7	0.0	17.1	2668.4
10/10/2012	18329.3	51.3	237.1	11.3	2.0	13039.9	9.3	0.0	17.3	2686.7
11/10/2012	18647.1	54.6	213.0	11.1	2.1	12997.9	9.3	0.0	16.8	2705.3
12/10/2012	14348.5	56.0	310.9	10.3	2.0	13255.5	9.7	0.0	17.9	2719.7
13/10/2012	9064.2	71.2	137.1	10.2	1.7	12605.3	9.0	0.0	19.6	2728.7
14/10/2012	16801.9	45.6	264.8	11.7	1.9	12856.2	9.8	0.0	17.1	2745.5
15/10/2012	18598.3	50.2	290.7	11.6	2.1	13007.1	9.7	0.0	16.2	2764.1
16/10/2012	18362.7	58.5	209.3	11.4	1.8	12957.1	9.4	0.0	15.7	2782.5
17/10/2012	18020.5	58.1	224.5	11.4	1.9	13625.0	9.5	0.0	17.5	2800.5
18/10/2012	6165.2	0.0	0.0	8.9	2.2	26.7	0.0	0.0	48.3	2806.7
19/10/2012	13.1	0.0	0.0	6.9	2.2	0.0	0.0	20.0	0.0	2806.7
20/10/2012	12013.5	0.0	77.8	11.6	1.8	12665.0	9.1	32.0	16.7	2818.7
21/10/2012	20296.1	55.1	207.7	12.0	1.9	13525.6	9.4	34.0	15.4	2839.0
22/10/2012	20098.2	45.5	171.2	11.4	1.8	13481.4	9.5	28.0	20.6	2859.1



FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m3/h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m3)	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
23/10/2012	17684.6	46.4	113.8	11.6	1.7	14095.9	9.7	24.0	18.9	2876.8
24/10/2012	14968.8	66.8	133.2	11.7	1.8	13454.5	9.3	28.0	18.3	2891.8
25/10/2012	17296.2	48.9	143.4	11.5	1.7	13740.3	9.5	34.0	19.7	2909.1
26/10/2012	16419.7	52.7	94.2	11.3	1.7	13827.4	9.4	28.0	19.8	2925.5
27/10/2012	14326.6	35.5	81.7	11.2	1.6	11617.6	8.4	30.0	20.0	2939.8
28/10/2012	17137.5	53.5	191.0	10.8	1.9	13499.8	9.3	34.0	17.2	2957.0
29/10/2012	19208.0	71.0	176.5	11.6	1.7	13814.3	9.6	32.0	18.0	2976.2
30/10/2012	20394.7	45.1	151.9	11.9	1.7	12132.6	8.5	18.0	14.6	2996.6
31/10/2012	20387.3	53.2	156.6	11.7	1.7	11687.3	8.3	0.0	13.7	3016.9
01/11/2012	19880.6	47.7	134.0	11.4	2.0	13645.5	9.7	0.0	16.7	3036.8
02/11/2012	19282.0	45.0	140.6	11.3	1.9	13589.4	9.5	0.0	16.5	3056.1
03/11/2012	18139.3	54.2	135.3	11.5	2.0	13759.2	9.6	0.0	17.8	3074.2
04/11/2012	19099.7	71.6	191.8	11.2	1.9	13853.1	9.9	0.0	17.3	3093.3
05/11/2012	18681.0	45.1	206.3	11.5	1.9	13049.0	9.9	0.0	17.3	3112.0
06/11/2012	17440.5	59.7	132.5	11.4	1.8	12473.0	9.0	36.0	16.8	3129.5
07/11/2012	17347.6	41.6	144.1	11.5	1.8	12244.5	9.2	38.0	16.4	3146.8
08/11/2012	17868.7	46.7	125.8	11.4	1.8	12599.1	9.3	44.0	16.9	3164.7

FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m3/h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m3)	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
09/11/2012	18218.3	46.9	132.8	11.0	1.8	13506.5	9.7	40.0	17.9	3182.9
10/11/2012	17794.1	50.9	165.2	10.5	1.8	13632.6	9.7	40.0	18.1	3200.7
11/11/2012	17751.5	50.9	129.9	11.4	1.8	14112.5	9.9	40.0	19.6	3218.4
12/11/2012	15779.2	46.2	123.9	11.3	1.7	12494.1	9.1	34.0	20.1	3234.2
13/11/2012	15509.9	33.2	143.0	11.1	1.8	13107.1	9.7	48.0	19.0	3249.7
14/11/2012	15798.0	31.9	138.5	11.4	1.8	12502.4	9.7	50.0	20.1	3265.5
15/11/2012	15480.0	43.6	100.8	11.4	1.8	12013.4	9.6	56.0	19.8	3281.0
16/11/2012	12309.2	88.5	251.3	11.2	1.8	14531.7	9.8	60.0	22.3	3293.3
18/11/2012	18470.1	46.4	180.2	11.6	1.8	12831.4	9.0	42.0	16.5	3329.4
19/11/2012	18406.1	49.5	136.0	11.5	1.9	12823.9	8.8	44.0	16.5	3347.8
20/11/2012	19385.4	39.9	167.5	11.4	1.9	12589.5	8.8	46.0	15.2	3367.2
21/11/2012	20178.7	40.7	93.7	11.3	1.7	12992.2	8.8	44.0	15.0	3387.3
22/11/2012	20743.3	46.9	90.7	11.1	1.6	13446.4	9.4	20.0	16.5	3408.1
23/11/2012	14061.9	35.3	142.1	11.0	1.8	13269.6	8.9	36.0	21.7	3422.2
24/11/2012	16953.1	44.5	100.4	11.7	1.8	14128.8	9.3	40.0	18.7	3439.1
25/11/2012	16970.7	60.2	115.4	11.7	1.7	13693.8	9.0	34.0	26.9	3456.1
26/11/2012	16829.1	43.6	128.0	11.2	1.9	12987.7	8.8	40.0	17.7	3472.9
27/11/2012	17462.0	72.1	147.3	11.9	1.7	12540.0	8.6	32.0	18.8	3490.4

FECHA	Mineral en toneladas (Tn)	Tamaño de partículas (F80)	Flujo de adición de agua (m3/h)	Ph de la pulpa	Densidad de la pulpa (tn/m3)	Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor (rpm)	Bolas de acero (Tn)	Índice de trabajo (Kwh/Tn)	Mineral en kilo toneladas (KTn)
28/11/2012	14592.2	49.0	110.8	10.3	1.9	13110.6	8.8	32.0	19.0	3505.0
29/11/2012	16532.7	51.3	164.2	11.1	1.9	14125.1	9.4	40.0	20.6	3521.5
30/11/2012	15719.5	50.5	147.6	11.1	1.9	13684.9	9.4	36.0	21.4	3537.2
01/12/2012	16102.1	45.6	88.8	11.5	2.0	13460.2	9.5	38.0	19.6	3553.3
02/12/2012	16241.7	52.6	159.2	11.5	1.9	14145.2	9.5	18.0	20.5	3569.6
03/12/2012	14743.6	89.0	90.0	11.4	1.6	14507.9	9.5	10.0	23.6	3584.3

**Fuente:** Elaboración propia 2016, los datos fueron recolectados en registros similares a la tabla anterior desde el 6 de junio del 2012 al 05 de noviembre del 2015.

## ANEXO 14: CERTIFICACIÓN DE LA EMPRESA OLYMPUS

**Appendix to Certificate of Registration**

**Intertek**

This appendix identifies the locations by the management system of

**Olympus Scientific Solutions Americas Corporation**

***Olympus Scientific Solutions Americas Incorporated***  
12569 Gulf Freeway, Houston, Texas, 77034, USA  
*Distribution, service and rental of non-destructive testing systems.*

***Olympus NDT Canada Incorporated***  
505 Boulevard du Parc Technologique, Quebec City, Quebec, G1P 4S9, Canada  
*Design, manufacturing, distribution, service and repair of non-destructive testing systems.*



Certificate Number: QMS-0162j-01  
Initial Certification Date: 09 February 2012  
Certificate Issue Date: 01 May 2014  
Certificate Expiry Date: 14 July 2016

  
Calin Moldoveanu – President, Business Assurance  
Intertek Testing Services NA, Inc.  
70 Codman Hill Road - Boxborough, MA, USA



In the issuance of this certificate, Intertek assumes no liability to any party other than to the Client, and then only in accordance with the agreed upon Certification Agreement. This certificate's validity is subject to the organization maintaining their system in accordance with Intertek's requirements for systems certification. Validity may be confirmed via email at [certificate.validation@intertek.com](mailto:certificate.validation@intertek.com) or by scanning the code to the right with a smartphone.

The certificate remains the property of Intertek, to whom it must be returned upon request.



CT-ISO9001-2008-ANAB-EN-LT-L-04.jan.12

Intertek Intertek Intertek Intertek Intertek

Fuente: OLYMPUS (<http://www.olympus-ims.com/es>)

## **ANEXO 15: FICHA TÉCNICA DEL EPOCH XT: DETECTOR DE DEFECTOS POR ULTRASONIDOS**

El diseño del detector de defectos por ultrasonidos EPOCH XT ofrece una gran flexibilidad de inspección en condiciones rigurosas. Asimismo, es compacto, está dotado de herramientas eficaces de detección y medición de defectos, cuenta con una pantalla brillante LCD en colores, funciona con diferentes tipos de baterías y posee una gran capacidad de tratamiento de datos y numerosas herramientas *software*. Por si fuera poco, su caja sellada responde a las exigencias de la norma IP67.

### **CARACTERÍSTICAS**

- Conforme a la norma europea EN 12668-1.
- Sometido a ensayos de resistencia contra choques, vibraciones y ambientes explosivos.
- Diseñado para satisfacer las exigencias de la norma IP67 y sellado para soportar condiciones rigurosas.
- Curvas dinámicas DAC/TVG estándares:
  - curvas DAC dinámicas;
  - curvas de advertencia personalizadas;
  - curvas de tipo ASME y JIS; y
  - tabla TVG de avanzada que permite configuraciones TVG personalizadas.
- Uso de varios tipos de baterías: Li-ion, NiMH y alcalinas de tipo C.
- Puerto USB servidor para la impresión directa y el almacenamiento en lectores USB.
- Puerto USB cliente para la comunicación con una PC.
- Tecnología PerfectSquare™: control electrónico de los flancos de bajada y subida de los impulsos para maximizar la prestación del palpador y la resolución cercana a la superficie.
- PRF de 10 Hz a 1 kHz, en incrementos de 10 Hz. Todas las medidas se toman con un «disparo único».
- Potente registrador de datos alfanuméricos:
  - Los archivos se pueden ajustar en el medidor.
  - Archivos incrementales simples.
- Pantalla LCD color.
- Liviano (solamente 2,1 kg).

### **GENERAL**

- Conforme a la norma europea EN12668-1.
- Peso: 2,1 kg, con la batería de Li-ion.

- Dimensiones (Al x An x Pr): 277 mm x 150 mm x 51 mm (empuñadura), 71 mm (pantalla).
- Teclado: Chino, inglés, japonés y símbolos internacionales.
- Idiomas: Alemán, chino, coreano, español, francés, inglés, italiano, japonés, ruso, noruego, sueco y otros.
- Conexiones de palpador: BNC (conforme a la norma IP67) o LEMO 1.
- Batería: Li-ion, NiMH o alcalinas C.
- Autonomía de la batería: Li-ion: 9-10 h; NiMH: 5 h; Alcalina C: 1-2 h.
- Alimentación: Red CA de 100 a 120 VCA o de 200 a 240 VCA, de 50 a 60 Hz.

## **PROTECCIÓN AMBIENTAL**

- Diseñado en conformidad a la norma IP67 para satisfacer las exigencias del Environmental Ingress Protection Rating (con conectores BNC solamente)\*\*.

## **PANTALLA**

- Pantalla LCD en colores con una velocidad de actualización de 60 Hz, paleta de colores y contrastes seleccionables y modos de pantalla dividida y completa.
- Dimensiones de la pantalla (Al x An): 320 píxeles x 240 píxeles, 101 mm x 75 mm
- Corte de la línea de base: Los puntos que pasan por el cero en el A-scan RF aparecen como puntos cero en el modo de onda completa.
- Cuadrícula de la amplitud: Amplitud al 100% o 110% del tamaño de la pantalla completa.
- Cuadrícula de la base de tiempos: Estándar de 1 a 10 divisiones. En modo de trayectoria acústica, la base de tiempo es dividida, por medio de las líneas de la cuadrícula, en 5 secciones iguales. En modo de salto, los saltos en la trayectoria acústica son representados como líneas de la cuadrícula.

## **EMISOR**

- Emisor de ondas cuadradas ajustable.
- PRF: Ajustable o automático de 10 Hz a 1000 Hz.
- Tensión: 50 V a 475 V, en incrementos de 25 V.
- Ancho del impulso: 40 ns a 5 000 ns (0,1 MHz) con la tecnología PerfectSquare™.
- Amortiguamiento: 50 Ω, 63 Ω, 150 Ω, 400 Ω.

## **RECEPTOR**

- Ganancia: 0 a 110 dB. Las teclas virtuales, que se encuentran arriba de las teclas de función, permiten dos ajustes y preajustes personalizados del incremento de la ganancia.
- Ancho de banda total: 0,2 MHz a 26,5 MHz, a -3 dB.
- Ajustes del filtro digital:
  - 0,2 a 10,0 MHz
  - 0,2 a 1,2 MHz
  - 0,5 a 4,0 MHz
  - 1,5 a 8,5 MHz
  - 0,2 a 21,5 MHz
  - 5,0 a 15,0 MHz
  - 8,0 a 26,5 MHz
- Rectificación: Onda completa, onda media positiva, media onda negativa y RF.
- Linealidad del sistema: Horizontal:  $\pm 0,5\%$  del ancho de la pantalla completa; Vertical: 0,25% de la altura de la pantalla completa; Precisión del amplificador:  $\pm 1$  dB.
- Rechazo: 0 a 80% de la altura de la pantalla completa con advertencia visual.

## **CALIBRACIÓN**

- Calibración automatizada de la distancia para la velocidad y el desplazamiento del cero.
- Modos de inspección: Pulso-eco, emisor-receptor o transmisión directa.
- Unidades de medida: Milímetros, pulgadas o microsegundos.
- Rango: 1,86 mm a 13 400 mm (0,073 pulg. a 527 pulg.).
- Velocidad de propagación: 635 m/s a 15 240 m/s (0,025 pulg./ $\mu$ s a 0,6000 pulg./ $\mu$ s).
- Desplazamiento del cero: 0  $\mu$ s a 4950  $\mu$ s.
- Retardo de la imagen: -59 mm a +12 700 mm (-2,323 pulg. a +500 pulg.).
- Ángulo de refracción:  $10^\circ$  a  $85^\circ$ , resolución de  $0,1^\circ$ .

## **MEDICIONES**

- Tipos: Espesor, trayectoria acústica, proyección, profundidad, amplitud, tiempo de vuelo para la puertas 1 y puerta 2.
- Eco a eco: Estándar.

- Cinco campos de lectura de las medidas: Selección de hasta cinco medidas provenientes de una u otra puerta para visualizarlas en pantalla en tiempo real.
- DAC/TVG estándar: Hasta 50 puntos de captura, ASME, ASME III, JIS, 80-20%, DAC personalizada y tabla TVG. Gama dinámica de 110 dB, ajuste de 100 dB por  $\mu$ s, ajuste completo de la ganancia, de la gama y del retardo durante la configuración, visualización conmutable entre la vista DAC y TVG.
- DAC personalizada con hasta tres curvas de advertencia de +10 dB a -24 dB.
- Ajuste de la tabla TVG para aplicaciones de avanzada de la Ganancia variable en función del tiempo. También permite realizar ajustes de la TVG a partir de los diagramas DGS/AVG.
- Medición de la amplitud: 0 a 110% de la altura de la pantalla completa, con resolución de 0,25%.
- Corrección de superficies curvas para mediciones estándares del haz angular.

## **PUERTAS**

- Dos puertas completamente independientes para la altura del eco y el tiempo de vuelo.
- Inicio: Variable, dentro de la escala de la pantalla.
- Ancho: Variable, desde el inicio de la puerta hasta el final de la escala de la pantalla.
- Altura: Variable, del 2% al 95% de la altura de la pantalla completa.
- Alarmas: Umbrales positivo y negativo, profundidad mínima en la puerta 1 y puerta 2.

## **ENTRADAS Y SALIDAS**

- Puerto USB cliente: Comunicación con el programa GageView Pro.
- Puerto USB servidor: Impresión directa con toda impresora láser o de inyección de tinta compatible PCL5, y almacenamiento de datos en unidades USB.

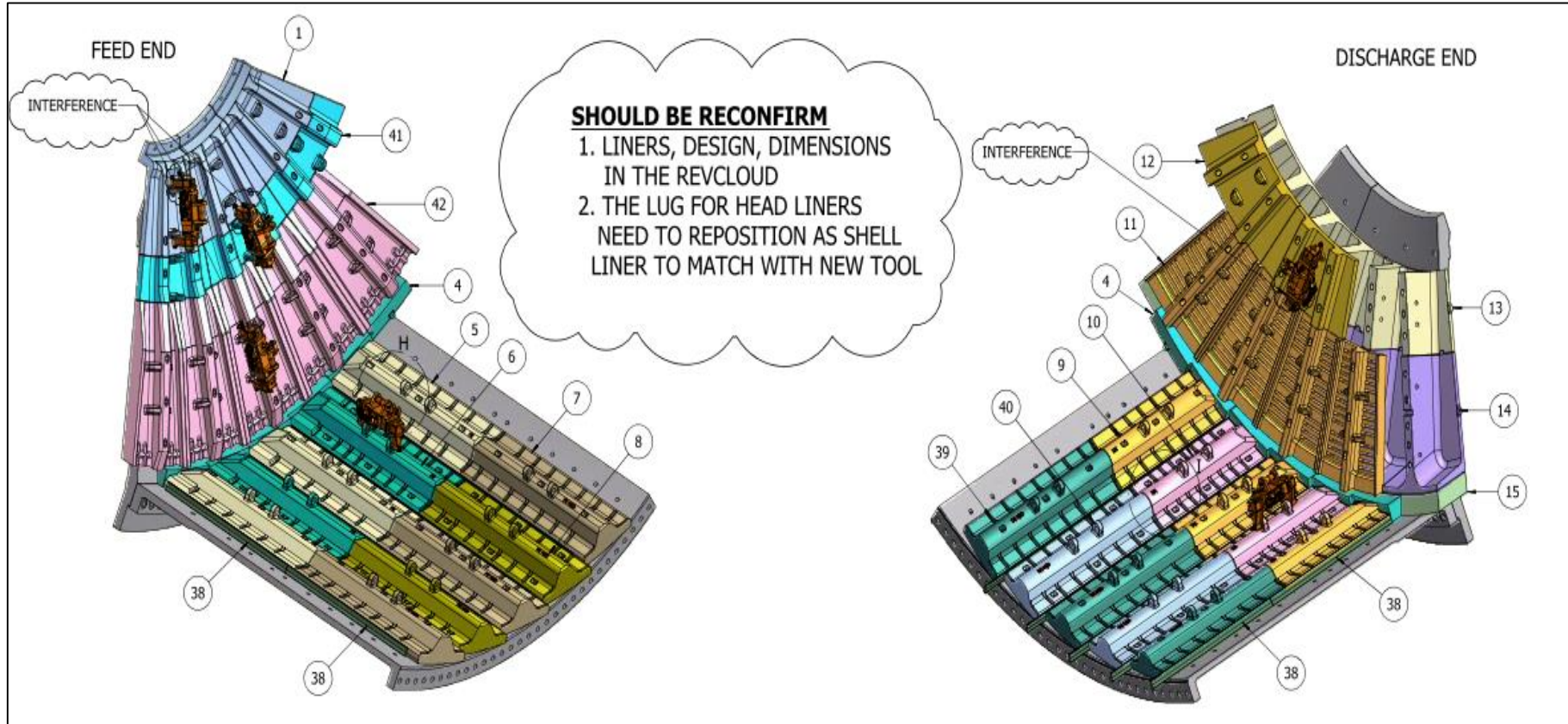
## **ALMACENAMIENTO DE DATOS**

- Hasta 10 000 códigos de identificación con parámetros del A-scan, de las mediciones y de la configuración.

**Fuente:** OLYMPUS (<http://www.olympus-ims.com/es>)



# ANEXO 16. PLANO DE REVESTIMIENTO DEL MOLINO SAG - PLANTA GOLD MILL – MINERA YANACOCHA S.R.L.



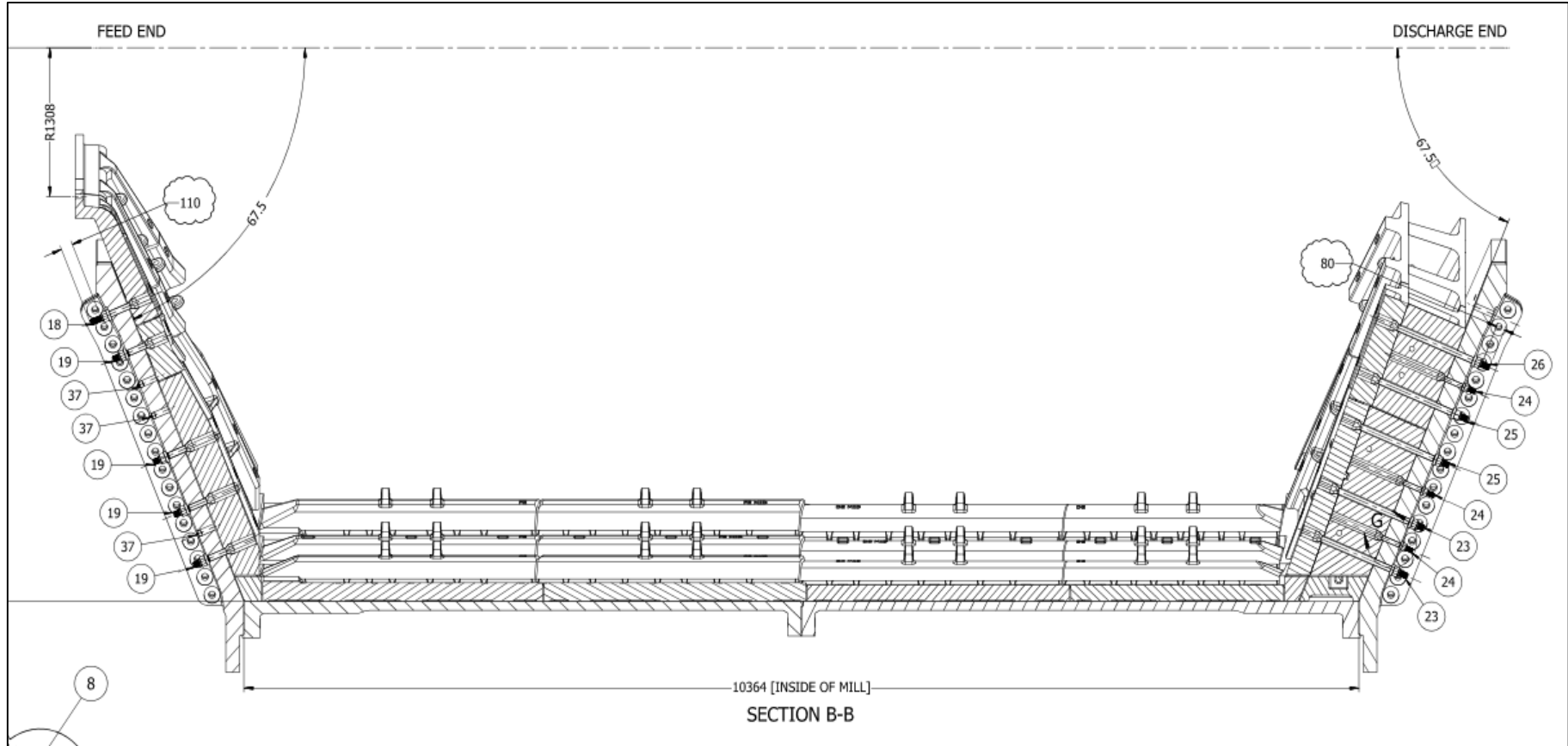
<b>LIFTING DEVICE</b> RME CHANGE TOOL : YES TYPE : CRPS 400 10 10178 PERIOD : 50 0100-101 0100-177 MANUFACTURER : 80 MACHINE CAPACITY : 4500 KG		<b>DRILLING PATTERN INFO</b> GROWTH STEEL DWG No. : QLD560016 Rev. : 1 CUSTOMER DWG No. : Rev. : -			
8H UPDATE ITEM 5,6,7,8,9,10,39,40 8G CHANGE GRAPPLE TOOL TYPE GRP08-VDD 03 WAS GRP04-VDD 03, UPDATE LIFTING LUG ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40; REV ITEM 29,32 UPDATE 8F UPDATE ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40 8E UPDATE ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40 8D UPDATE ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40 REV DESCRIPTION	J.P/PD VINNY C. DJONI S. 21/02/2013 J.F/PD VINNY C. DJONI S. 18/2/2013 J.F/PD VINNY C. DJONI S. 18/12/2012 B.W/S.H VINNY C. DJONI S. 18/12/2012 B.W/S.H VINNY C. DJONI S. 16/12/2012	BY CHECKED APPROVED DATE	<b>GROWTH STEEL</b> CLIENT DRAWN S. PINEM DATE 28/11/2006 CHKD KAMSON CHKD VINNY C. APP DJONI S.	MINERA YANACOCHA MIXING 32' DIA SAG MILL GENERAL ARRANGEMENT SHEET 1 OF 1 DRAWING NO. QLD560000 REV. 8H	STATUS

## PLANO DE REVESTIMIENTO DEL MOLINO SAG - PLANTA GOLD MILL – MINERA YANACOCHA S.R.L.

PARTS LIST									
ITEM	DRAWING NO.	REV	PRODUCT CODE	STOCK CODE	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY	MASS (kg)	WEIGHT/MILL (kg)
1	QLD560001	2		03-525392	FEED DEFLECTOR LINER	GAS-06	12	1110.5	13326.0
4	QLD560042	0			FILLER RING	GAS-06	36	523.0	18828.0
5	QLD560043	2			FE SHELL LIFTER BAR 3 HOLES	GAS-06	18	3468.0	62424.0
6	QLD560044	2			FE SHELL LIFTER BAR 6 HOLES	GAS-06	18	3479.0	62622.0
7	QLD560045	1			FE MIDDLE SHELL LIFTER BAR 3 HOLES	GAS-06	18	3302.0	59436.0
8	QLD560046	1			FE MIDDLE SHELL LIFTER BAR 6 HOLES	GAS-06	18	3313.0	59634.0
9	QLD560047	1			DE SHELL LIFTER BAR 3 HOLES	GAS-06	18	2399.0	43182.0
10	QLD560048	1			DE SHELL LIFTER BAR 6 HOLES	GAS-06	18	2407.0	43326.0
11	QLD560011	2		03-525405	DISCHARGE GRATE	GAS-06	24	1109.0	26616.0
12	QLD560012	2		03-525406	DISCHARGE HEAD LINER	GAS-06	12	1171.5	14058.0
13	QLD560013	2		03-525404	INNER PULP LIFTER	GAS-06	12	1894.5	22734.0
14	QLD560014	1		03-525403	OUTER PULP LIFTER	GAS-06	24	1955.5	46932.0
15	QLD560015	1		03-525402	DISCHARGE CORNER BLOCK	GAS-06	24	955.0	22920.0
18	PTG006995-2	7	GA-OHT-2.0"-0400M		2.0" OVAL HEAD TAPERED BOLT 400(C) - BLUE	METRIC GRADE 8.8	24	7.9	0.0
19	PTG006995-2	7	GA-OHT-2.0"-0330M		2.0" OVAL HEAD TAPERED BOLT 330(C) - BLACK	METRIC GRADE 8.8	96	6.8	0.0
20	PTG006996-2	7	GA-T2F-2.0"-0370		2.0" R-2F TAPERED BOLT 370(C) - GREEN	METRIC GRADE 8.8	54	7.6	0.0
21	PTG006996-2	7	GA-T2F-2.0"-0260		2.0" R-2F TAPERED BOLT 260(C) - BLUE	METRIC GRADE 8.8	108	5.9	0.0
22	PTG006996-2	7	GA-T2F-2.0"-0230		2.0" R-2F TAPERED BOLT 230(C) - BROWN	METRIC GRADE 8.8	486	5.4	0.0
23	PTG006995-2	7	GA-OHT-2.0"-0870M		2.0" OVAL HEAD TAPERED BOLT 870(C) - ORANGE	METRIC GRADE 8.8	48	15.4	0.0
24	PTG006995-5	7	GA-OHT-1.5"-0310M		1.5" OVAL HEAD TAPERED BOLT 310(C) - CYAN	METRIC GRADE 8.8	72	3.8	0.0
25	PTG006995-2	7	GA-OHT-2.0"-0890M		2.0" OVAL HEAD TAPERED BOLT 890(C) - PINK	METRIC GRADE 8.8	48	15.7	0.0
26	PTG006995-2	7	GA-OHT-2.0"-0920M		2.0" OVAL HEAD TAPERED BOLT 920(C) - WHITE	METRIC GRADE 8.8	24	16.2	0.0
27	PTG007009-2	4	GA-NN-2.0		2.0" NYLON LOCK NUT	METRIC GRADE 8	888	1.6	0.0
28	PTG007011-2	3	GA-WR-2.0		2.0" RECESS WASHER	METRIC GRADE 8	888	0.9	0.0
29	PTG007012-2	4	GA-SR-2.0		2.0" RUBBER SEAL	RUBBER*	888	0.0	0.0
30	PTG007009-6	4	GA-NN-1.5		1.5" NYLON LOCK NUT	METRIC GRADE 8	72	0.7	0.0
31	PTG007011-5	3	GA-WR-1.5		1.5" RECESS WASHER	METRIC GRADE 8	72	0.4	0.0
32	PTG007012-5	4	GA-SR-1.5		1.5" RUBBER SEAL	RUBBER*	72	0.0	0.0
37	PTG100089-2	1			2" PLUG RUBBER	RUBBER**	504	0.0	0.0
38	QLD560049	0			16mm RUBBER JOINT STRIP 100(A) x 2351(B)	RUBBER*	144	5.1	0.0
39	QLD560050	1			DE MIDDLE SHELL LIFTER BAR 3 HOLES	GAS-06	18	2954.0	53172.0
40	QLD560051	1			DE MIDDLE SHELL LIFTER BAR 6 HOLES	GAS-06	18	2962.0	53316.0
41	QLD560052	0B			FEED HEAD INNER LINER	GAS-06	12	701.0	8412.0
42	QLD560053	1			FEED HEAD OUTER LINER	GAS-06	24	2280.0	54720.0
RUBBER* = NATURAL RUBBER, CARBON FILLED, 60-65 DURO							11.5% TOTAL OPEN AREA	TOTAL CASTING	665658.0
RUBBER** = NATURAL RUBBER, CARBON FILLED, 40-45 DURO							FOR 38mm SLOTS (QYT=24 PCS)		

LIFTING DEVICE: RME -GRAPPLE TOOL: YES TYPE: 1 QP04-002 01/0009 PERS. ID: 50 QP04-1011 CLOS: 177 -SLANG/CHAIN: NO MACHINE CAPACITY: 4300 KG		SECTION ETC	DRILLING PATTERN INFO GROWTH STEEL DWG No.: QLD560016 Rev.: 1 CUSTOMER DWG No.: - Rev.: -
8H UPDATE ITEM 5,6,7,8,9,10,39,40 8G CHANGE GRAPPLE TOOL TYPE GRP08-VDD 03 WAS GRP04-VDD 03, UPDATE LIFTING LUG ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40; REV ITEM 29,32 UPDATE 8F UPDATE ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40 8E UPDATE ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40 8D UPDATE ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40 REV DESCRIPTION	J.F/PD VINNY C. DJONI S. 21/02/2013 J.F/PD VINNY C. DJONI S. 18/2/2013 J.F/PD VINNY C. DJONI S. 18/12/2012 B.W/S.H VINNY C. DJONI S. 18/12/2012 B.W/S.H VINNY C. DJONI S. 16/12/2012	GROWTH STEEL DRAWN S.PINEM DATE 28/11/2006 CHKD KAMSON CHKD VINNY C. APP DJONI S.	CLIENT: MINERA YANACOCHA TITLE: MINING 32' DIA SAG MILL GENERAL ARRANGEMENT SHEET 1 OF 1 DRAWING NO. QLD560000 REV. 8H

# PLANO DE REVESTIMIENTO DEL MOLINO SAG - PLANTA GOLD MILL – MINERA YANACOCHA S.R.L.



LIFTING DEVICE		RME		SECTION C-C		DRILLING PATTERN INFO	
GRAPPLE TOOL :	YES	TYPE :	GRP08-VDD 03	DATE :	28/11/2006	GROWTH STEEL	DWG No. : QLD560016
PIN/SKA :	SPIN-101	CLASS :	277	BY :	S.PINEM	CUSTOMER	MINERA YANACOCHA
ALUMINIUM :	NO	MACHINE CAPACITY :	4900 KG	DATE :	28/11/2006	STATUS	MIXING
8H	UPDATE ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40	J.P/PD	VINNY C.	DJONI S.	21/02/2013	TITLE	32' DIA SAG MILL
8G	CHANGE GRAPPLE TOOL TYPE GRP08-VDD 03 WAS GRP04-VDD 03, UPDATE LIFTING LUG ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40; REV ITEM 29,32 UPDATE	J.F/PD	VINNY C.	DJONI S.	18/2/2013	GENERAL ARRANGEMENT	REV. : 1
8F	UPDATE ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40	J.F/PD	VINNY C.	DJONI S.	18/12/2012		REV. : 2
8E	UPDATE ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40	B.W/S.H	VINNY C.	DJONI S.	18/12/2012		
8D	UPDATE ITEM 5, 6, 7, 8, 9, 10, 39 & 40	B.W/S.H	VINNY C.	DJONI S.	16/12/2012		
REV	DESCRIPTION	BY	CHECKED	APPROVED	DATE	APP	DJONI S.