



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“INCREMENTO DE LA RECUPERACIÓN DE COBRE Y
MOLIBDENO EN FUNCIÓN DEL CONTROL DE LA
GRANULOMETRÍA MEDIANTE ANALIZADOR PSI, EN EL
CÍRCULO DE MOLIENDA-CLASIFICACIÓN, EN UNA PLANTA
DE BENEFICIO.”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA METALÚRGICA**

PRESENTA

ALINE MARIANA ALCUDIA MANCILLA



CIUDAD DE MÉXICO.

AÑO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: ANTONIO HUERTA CERDÁN**

VOCAL: **Profesor: FAUSTINO JUÁREZ SÁNCHEZ**

SECRETARIO: **Profesor: JUAN MANUEL DE LA ROSA CANALES**

1er. SUPLENTE: **Profesor: LUIS DARIO ESCOBAR MEJÍA**

2° SUPLENTE: **Profesor: BLANCA PAZ DÍAZ**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

OPERADORA DE MINAS NACUZARI S.A DE C.V, KM. 19 CARRETERA A NACUZARI-VILLA HIDALGO C.P. 84340 NACUZARI DE GARCÍA, SONORA, MÉXICO.

ASESOR DEL TEMA:

M en C. Antonio Huerta Cerdán

SUSTENTANTE:

Aline Mariana Alcudia Mancilla

ÍNDICE	Página.
I. Resumen.....	1
II. Introducción.....	2
III. Hipótesis.....	4
IV. Objetivos.....	4
Capítulo 1. Antecedentes.....	5
1.1. Proceso para obtener Cu y Mo	6
1.2. Molienda	9
1.3. Muestreo.....	11
1.3.1 Muestras representativas.....	11
1.3.2 Tamaño de muestra	14
1.4. Tipos de control.....	15
1.4.1 Sistema de control.....	17
1.5. D ₅₀	18
1.6. Sistema experto	20
1.7. Indicador de tamaño de partícula (PSI)	21
1.7.1 Características del equipo	27
Capítulo 2. Metodología trabajo.....	29
2.1. Toma de muestras en el derrame del hidrociclón	32
2.2. Desmontaje y limpieza del densímetro	37
2.3. Limpieza y calibración de densímetro.....	40
2.4. Medición del porcentaje de sólidos	42
2.5. Ajuste del micrómetro con lanas calibradas	44
2.6. Toma de muestra en el PSI	48
2.7. Sistema Experto.....	50
Capítulo 3. Resultado y Discusión de Resultados.....	51
3.1. Método estadístico de Pearson.....	55
3.2. %Sólidos en peso y %Ac (+) (150µm).....	59
3.3. %Recuperación de Cu y Mo	64
3.4. %Ley de Cu y Mo.....	67
3.5. Monitoreo del Sistema Experto	72
Capítulo 4. Conclusiones.....	75

Capítulo 5. Recomendaciones.....	77
Capítulo 6. Bibliografía.....	78
Apéndice A. Tabla de resultados del %Sólidos en peso y %Ac (+) para los 12 molinos de los meses de septiembre y octubre del 2015	81

Resumen

El control y operación de los métodos metalúrgicos continua siendo de suma importancia en los procesos de beneficio de minerales, en ellos aún se presentan aun ciertas problemáticas que han dado pie al estudio de esta tesis. Dicha investigación está basada en la necesidad de la industria minera al tratar de mejorar la eficiencia en la recuperación y grados de ley en un concentrado, a través del control y estabilización de un proceso de molienda respecto a su granulometría.

La investigación se realizó en una planta de beneficio de minerales de cobre, en donde se llevó a cabo un análisis del tamaño de partícula para lograr operar los equipos en la modalidad de sistema experto en un circuito de molienda-clasificación a través del equipo PSI.

Los estudios realizados comprenden la determinación del %sólidos en peso y el %acumulado positivo (malla +100) que se obtenía a través del determinador de tamaño de partícula (PSI) así como el determinado por la planta. Dichos datos se comparaban con los análisis granulométricos que se realizaban en el laboratorio.

El control y monitoreo favoreció la estabilización del porcentaje de sólidos en peso que requería la planta.

Con la adecuada operación del PSI se logró aumentar el grado de concentración por flotación de Ley de Cobre en por lo menos un 2%.

II. Introducción

El proceso de molienda es un factor determinante en los incrementos de recuperación y grado en la concentración por flotación. Si el proceso de liberación no es eficiente, la recuperación de valores en el proceso de flotación se verá comprometida de inmediato; por lo que el punto más importante en este sentido tiene que ver con un estricto control de la granulometría obtenida en los molinos. Sin embargo, la determinación de tamaño de partícula de forma manual requiere de tiempos largos y se convierte en un método puntual y por lo tanto una limitante para el control del proceso. En la actualidad este método es poco práctico si consideramos la cantidad de molinos que posee una planta concentradora. Por lo anterior, se han desarrollado equipos que pueden realizar la determinación de tamaños de partícula en línea en un periodo de tiempo más corto y además es posible conectarlo al sistema de control instrumentado de la planta, de tal manera que pueda efectuarse una operación de manera automática en función de los cambios que requiera el proceso a partir de la granulometría requerida. En la planta concentradora de una mina de cobre, se procesan aproximadamente 90,000 toneladas/día, con leyes de 0.35 % de Cu y 0.04 % de Mo, se cuenta con 12 equipos de determinación de tamaño de partícula para cada uno de los molinos instalados, los cuales para operar adecuadamente requieren un proceso de calibración previo, con el fin de que los resultados que arrojen sean confiables y puedan tomarse decisiones acertadas. Actualmente, se han tenido problemas en la operación de los molinos, repercutiendo en un incremento de variabilidad de tamaño de partícula en la descarga de este, es decir una eficiencia de control no adecuada. Por tal motivo en el presente estudio se propone efectuar una evaluación de los sistemas de toma de muestra **de los PSI's (analizadores de tamaño de partícula en línea) seguido de la**

calibración de los mismos, y finalmente comparar los muestreos manuales con los automáticos a fin de determinar una menor variabilidad entre ellos de tal forma que permita incrementar la confiabilidad de los equipos en cuestión. Durante el proceso se deberá realizar un seguimiento a los resultados de los indicadores metalúrgicos de cobre y molibdeno y al final del proyecto determinar un beneficio del producto realizado en molienda.

III. Hipótesis

- Al garantizar una toma de muestra adecuada y una calibración correcta de los equipos medidores de tamaño de partícula, se obtendrá un beneficio en la recuperación de cobre y molibdeno en la planta concentradora.

IV. Objetivos

- Determinar las condiciones de menor variabilidad entre los procesos de determinación de tamaño de partícula automático y manual y del sistema de toma de muestra, para los procesos de molienda de la planta concentradora, **a través de la evaluación y calibración de los sistemas PSI's.**
- Evaluar el beneficio en recuperación mediante un análisis de datos de las acciones realizadas en molienda.
- Evaluar los %Ley de Cobre y Molibdeno mediante un análisis de datos realizadas en la molienda.

Capítulo I.

Antecedentes

Capítulo 1. Antecedentes

1.1 Proceso para obtener Cu y Mo.

La mina para extraer Cobre metálico es a tajo abierto, de la cual se obtiene: cobre catódico, molibdeno, cal, ácido sulfúrico, alambroón de cobre, oro y plata. Está da inicio en el año de 1974; y en el año de 1982 se empieza a separar el cobre del molibdeno para obtener mayor pureza y mayor calidad en ambos.

Para extraer el mineral se necesita realizar voladuras hechas con una combinación de nitrato de amonio y aceite combustible (llamado ANFO), lo cual permite que la roca puede recogerse y examinarse.

Se obtiene el material y se lleva a las trituradoras primarias, las cuales reciben el mineral proveniente de la mina por acarreo y descarga de camiones con capacidades de más de 320 ton c/u y con un tamaño de mineral menor a 60 pulgadas.

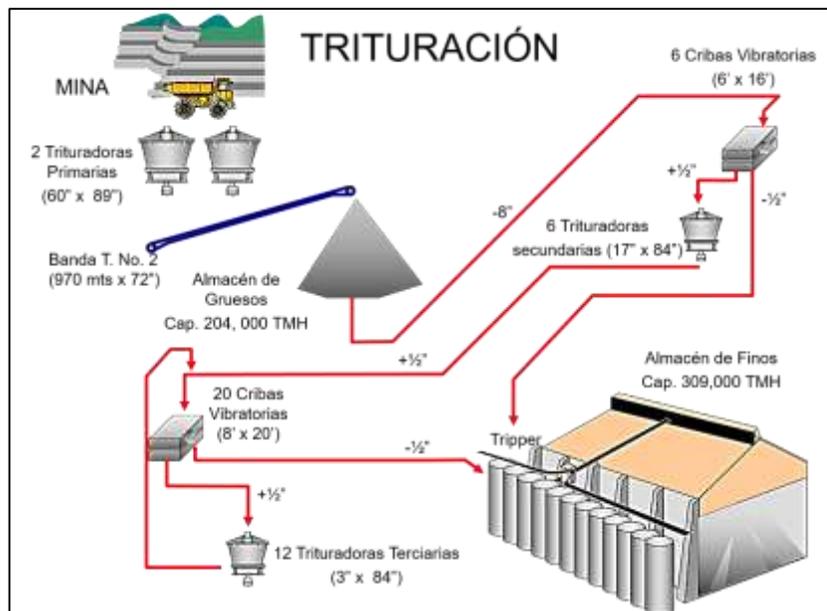


Figura 1.1.1 Diagrama de flujo de la trituración de un mineral. [1]

El producto de la trituración primaria se descarga en el almacén de mineral grueso. El almacén de gruesos tiene una capacidad de 204,000 TMH de mineral menor a 8 pulgadas.

Del almacén de gruesos se alimenta a la trituración secundaria con capacidad para 90,000 TMS por día. El producto de la trituración secundaria se deposita en el almacén de mineral fino, cuya capacidad es de 309,000 TMH, con un tamaño menor a 2% de ½ pulgada. El material grueso que no alcanza el tamaño de ½ pulgada es enviada a una trituración terciaria donde esta pasa a un circuito cerrado de trituración obteniéndose un producto de tamaño menor a ½ pulgada que se comunica nuevamente al almacén de finos.

El mineral fino se transporta a la concentradora, ahí se cuentan con doce molinos primarios de 16.5x24 pies, los cuales efectúan la molienda, en dichos molinos utilizan bolas de molino forjada de acero de 3 pulgadas del mineral ya molido (74% de sólidos). A cada molino se le agrega: Cal para deprimir Fierro y un colector para Cobre y Molibdeno. En cada molino primario se encuentran 2 ciclones, los cuales envían el mineral grueso de regreso al molino y el mineral fino se envía a la flotación primaria.

En la flotación primaria se obtiene un concentrado entre 10 y 12% de Cobre y 0.8 a 1.0% de Molibdeno.

De la flotación primaria el concentrado de cobre y molibdeno pasa a 4 remoladores de 12 x 24 pies para continuar efectuando su liberación. Luego el producto de la remolienda se envía a los bancos limpiadores para obtener un concentrado o producto final con 26% de Cobre y 1.5 % de Molibdeno. De aquí se envía al espesador de Cu-Mo.

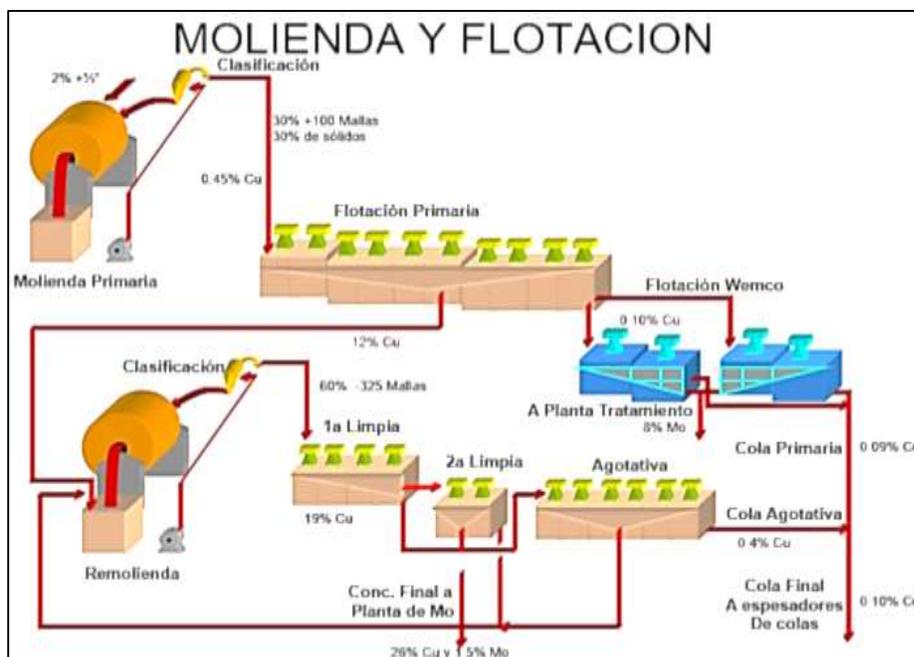


Figura 1.1.2. Diagrama de flujo de la molienda y flotación para un mineral de Cu y Mo. [1]

El concentrado de cobre y molibdeno se recibe por gravedad en uno de dos espesadores de Cu-Mo, antes de pasar a la planta de separación de Molibdeno.

Posteriormente la pulpa de concentrado de Cu-Mo se envía a tanques homogeneizadores, para airear la pulpa e inhibir los efectos de los reactivos usados en la concentradora.

El concentrado final producto de la 8^{va} etapa de flotación se envía y deposita en un espesador para prepararlo para sus pasos posteriores. Después, si es necesario se lixivia el cobre para dejarlo dentro de las especificaciones de venta (menor a 0.80% de Cu)

El concentrado de molibdeno filtrado se envía a su correspondiente secador donde el concentrado final, baja su humedad de 11% a un promedio de 6.5%.

Se **efectúan un total de 8 pasos de "limpias"** para obtener el concentrado final de molibdeno, después este se lleva a cabo el envasado en tambores.

Continuando con las colas de la planta de Molibdeno o sea el concentrado final de cobre se envía al espesador de Cobre, de ahí se manda a la planta de filtros donde a través de filtros rotatorios se obtiene un concentrado de cobre con una humedad de 9.8%. El Concentrado final de cobre se carga en camiones y se envía en su totalidad al complejo metalúrgico (Fundición). ^[1]

1.2 Molienda

La molienda se define como el proceso de reducción de tamaño de partícula de un mineral proveniente del área de trituración, desde un tamaño aproximado de ½ pulgada (12,700 µm), hasta un tamaño previamente establecido (tamaño determinado por la liberación de valores de interés económico, que después se deberán de concentrar por métodos o procesos tales como, concentración gravimétrica, concentración por flotación, etc.) ^[2]

La función principal de un molino es moler, lavar y en algunos casos acondicionar ciertos minerales con reactivos. La trituración y la molienda están íntimamente ligadas en la preparación para el enriquecimiento de la mena.

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

Por lo general, la molienda está precedida de una sección de trituración y por lo tanto, la granulometría de los minerales que entran a la sección de molienda es casi uniforme. Los tamaños pueden variar de

un F_{80} de 20 mm. (20,000 μm) a unos 5 mm. (5000 μm), hasta obtener un producto de P_{80} , variando normalmente entre tamaño de 75 μm hasta 150 μm .

El tamaño de partícula juega un papel importante en los parámetros de la cinética de flotación, para lo cual se requiere al menos tener un 70% menor de una malla 200 (denominación dada por la escala Tyler) para favorecer la conversión de mineral no flotable a flotable. ^[3]

Posterior a las operaciones de reducción de tamaño se realiza el **proceso de concentración. La flotación es el proceso de** concentración de minerales en el cual se procura separar las partículas de menas útiles de estériles o gangas, a partir un tratamiento físico-químico que **modifica** su tensión **superficial para** lograr que **burbujas de aire finamente** divididas se adhieran a las primeras y las enriquezca en una espuma. En la concentración por flotación del componente valioso, se sabe que **partículas muy finas, por ejemplo menores que 5 μm , flotan muy** pobremente y que con partículas grandes, por ejemplo mayores a 300 **μm , también sucede lo mismo.** Esto debido a que el producto debe ser en su mayor parte menor que un tamaño especificado. ^[4]

Por tal motivo es importante conocer los componentes de un sistema de muestreo y los sistemas analizadores de tamaño de partícula que son motivo de estudio en este trabajo.

1.3 Muestreo

Se ha definido como muestreo la selección de partes proporcionales de un componente mineralógico de una mena, lográndose obtener una distribución de una muestra representativa con propiedades y características físico-químicas por analizarse iguales en la muestra como en el producto total del proceso metalúrgico.

El muestreo se considera imprescindible en todo proceso de beneficio de minerales, ya que está involucrado directamente al aspecto técnico-administrativo para su control y/o rectificación de cualquier variable de operación en plantas de beneficio. Un buen muestreo, puede llevar a un buen control de la operación, que se refleja en un proceso más productivo y eficiente.

Es necesario estar conscientes que el material depositado de mina a planta de beneficio posee una distribución heterogénea tanto en tamaño como en leyes. [5]

1.3.1 Muestras representativas

Una *muestra* puede definirse como una parte representativa de un medio que se está investigando. Sin embargo, *representatividad* es un término relativo que debe considerarse con cuidado, junto con otros criterios, antes de la obtención de muestras. Entre los criterios más importantes se incluyen:

- Representatividad. Una muestra posee las mismas características o propiedades que el material en estudio. El grado de semejanza entre las muestras y el material en estudio se determinan por las características a estudiar y por las técnicas analíticas usadas.

- Tamaño de muestra. Se debe seleccionar cuidadosamente, con base a las propiedades físicas de la matriz y los requerimientos y/o limitaciones del muestreo y las técnicas de análisis.
- Números y/o frecuencias de muestreo. Estas consideraciones deben basarse en el tipo de información estadística que se desea y en la naturaleza del material a coleccionar.
- Mantenimiento de la integridad de las muestras. La muestra debe conservar las propiedades de las condiciones originales en el sitio (al tiempo del muestreo), durante la colección, transporte y entrega al analista.

La importancia de obtener muestras representativas en campo, a través de las metodologías mencionadas anteriormente, así como conservar su integridad durante los procedimientos analíticos, es fundamental para la generación de datos significativos.

La inherente heterogeneidad de los suelos representa un reto particular para el personal responsable de un muestreo; es un factor que debe considerarse durante la planeación de un muestreo, ya que incide en diversos aspectos (i) en la manera en la que el analista debe tomar sub-muestras en el laboratorio; (ii) en la interpretación de datos y (iii) en la decisión acerca de las acciones a seguir para la remediación de un sitio. Desafortunadamente, la completa homogeneidad de un material particulado, como el suelo, no es posible debido a diversos factores. Sin embargo, el grado de heterogeneidad de un suelo y su efecto en el muestreo ambiental puede minimizarse, como se ejemplifica en la figura 1.3.1, las causas y las formas de minimizar ciertos errores. La industria minera desarrolló métodos que han servido como guías para el muestreo y sub-muestreo de un suelo contaminado.

<i>Tipos de error</i>	<i>Causa</i>	<i>Forma de minimización</i>
<i>Fundamental</i>	<i>Pérdida de precisión en la muestra, debido a su composición física y química (por ejemplo, distribución de tamaño de partícula).</i>	<i>Disminución del diámetro de las partículas más grandes o aumento de la masa de la muestra.</i>
<i>Segregación y agrupación</i>	<i>Se debe a la distribución no al azar de partículas, usualmente por defecto de la gravedad.</i>	<i>Preparación al azar de muestras compuestas u homogeneización y fraccionamiento de la muestra.</i>
<i>Heterogeneidad de largo alcance</i>	<i>Error espacial fluctuante y no al azar.</i>	<i>Toma de muchos incrementos para formar una muestra. *</i>
<i>Heterogeneidad periódica</i>	<i>Error defluctuación temporal o espacial.</i>	<i>Generación correcta de muestras completas.</i>
<i>Delimitación de incrementos</i>	<i>Diseño de muestreo inapropiado y/o mala selección del equipo.</i>	<i>Diseño de muestreo y selección apropiado del equipo.</i>
<i>Extracción de incrementos</i>	<i>El procedimiento de muestreo falla en cuanto a la extracción.</i>	<i>Indispensable contar con protocolos adecuados y equipo de muestreo bien diseñado.</i>
<i>Preparación</i>	<i>Se debe a pérdidas, contaminación y/o alteración de una muestra.</i>	<i>Existen técnicas de campo y laboratorio para evitar el problemas.</i>

*Un incremento es un grupo de partículas o material físicamente extraído de una muestra, mediante una operación simple, con el uso de un instrumento de muestreo. La muestra (o submuestra) está constituida por la unión de muchos incrementos tomados al azar de la muestra completa.

Figura 1.3.1. Tipos de errores de muestreo y técnicas para su minimización. [5]

La incertidumbre asociada al muestreo es producto de la muestra (característica física y química) y del proceso de muestreo (asociada a problemas estadísticos y a las técnicas de muestreo). La teoría de

Pierre Gy incluye siete tipos de error de muestreo y proporciona técnicas demostradas para su minimización.

La teoría de muestreo de *Pierre Gy*, aplicadas con gran eficiencia en la industria minera desde 1953, se basa en parte en el trabajo de especialista en muestreo. *Gy* demostró que existe una relación entre el tamaño de una partícula y el peso de una muestra, que puede usarse como una estimación confiable de la concentración de metales preciosos en un mineral. [5]

1.3.2 Tamaño de una muestra

La teoría de *Gy* relaciona directamente el tamaño de partícula de un material con el tamaño de la muestra a tomar para una unidad a evaluar, de tal manera que la cantidad de material necesario para el análisis de parámetros específicos puede determinarse a través de conceptos desarrollados en las mismas. En la figura 1.3.2 se muestran las cantidades de muestra requerida para cada tipo de análisis.

<i>Análisis</i>	<i>Muestra (g)</i>
<i>Caracterización química: carbono orgánico, pH, CIC, Eh, Ca, Mg, N, P y K.</i>	<i>500g</i>
<i>Caracterización Física: textura, densidad.</i>	<i>500-2000g</i>
<i>Contaminantes inorgánicos: principalmente metales.</i>	<i>150g</i>
<i>Microbiológicos (bacterias y hongos).</i>	<i>100</i>

Figura 1.3.2. Cantidad de muestra requerida en función del análisis a realizar. [5]

Un muestreo correcto implica la minimización de los efectos de todos los errores de muestreo que pueden controlarse a través de diferentes técnicas. [5]

1.4 Tipos de control

En la operación de molienda de la concentradora de una mina de cobre, se tiene una serie de instrumentos de medición en campo, similar para cada uno de los 12 circuitos de molienda primaria cuyas señales se envían a un tablero de control donde son monitoreados por dos diferentes sistemas de control, Analógico y Digital (este último a su vez **tiene tres sistemas de control; Manual, de "Cascada" y Experto**), tabla 1.4.1.

Tabla 1.4.1. Señales de medición de los circuitos de molienda que reciben cada uno de los sistemas de control.

Medición en campo	Tipo de control
Tonelaje (alimentación)	
Agua alimentación al molino	
Agua de dilución	A) Analógico
Nivel de cajón	B) Digital
Flujo a ciclones	--Manual
Densidad a ciclones	--Cascada
Tamaño de partícula	--Digital
% de sólidos en derrame de ciclones	
Potencia del molino	

Cada uno de estos sistemas de control realiza diferentes cálculos, siendo el Sistema Experto el más completo. Dependiendo del sistema que se opere se obtendrán diferentes resultados que pueden reflejarse en: un mayor o menor estabilidad de la operación de molienda, en la cantidad de mineral manejado, o en el tamaño de partícula del producto.

Con las señales de medición y los cálculos que realiza cada sistema, se tienen diferentes acciones de control reflejados en los **cambios de "puntos de ajuste"**, ver tabla 1.4.2.

Tabla 1.4.2. El sistema de Control Experto con el cálculo de la dureza del mineral y del número de flujo, adquiere un conocimiento de la operación tan amplio que le permite **realizar cambios en los "puntos de ajuste"** para optimizar el proceso por sí mismo.

Cálculos	Sistema		
	Analógico	Digital	Experto
Agua total	x	x	x
Pulpa a Ciclonos (TPH)	x	x	x
%Sólidos en el Molino		x	x
Carga circulante		x	x
Estadísticas de operación		x	x
Dureza del mineral			x
Número de flujo			x

Si el sistema seleccionado es Analógico o el Control Digital-Manual, los ajustes los realiza el personal con base a su experiencia, debiendo prestar una atención continua a los cambios que presente cada variable a fin de que los ajustes sean oportunos.

Con el uso de estos dos tipos de control no se logra procesar altos tonelajes con un tamaño de partícula estable.

Al seleccionar el sistema Digital-Cascada para la operación de los **circuitos de molienda se fijan "puntos de ajuste" en aquellas variables** con las que se desee controlar el proceso. Normalmente se controla: El tonelaje con el nivel de cajón o flujo másico a ciclones, el % de sólidos en peso en el molino con el agua alimentada al molino y el tamaño de **partícula con el agua de dilución. Los valores de "punto de ajuste" en este caso son también proporcionados al sistema por el operario dependiendo también de su experiencia.**

Finalmente, si el sistema seleccionado para la operación es el Sistema Experto, entonces es el mismo sistema quien realiza los

cambios de "punto de ajuste" según encuentre que se requieren para optimizar, o bien restringir la operación del molino.

La denominación de Experto proviene de su configuración, ya que este sistema avanzado de control opera con instrucciones que le proporciona una persona experta en este caso en molienda. [6]

1.4.1 Sistemas de control

En todo sistema de control aparecen claramente diferenciados una serie de elementos característicos al mismo que es necesario clarificar:

- Variable de control. Generalmente se le conoce como señal de salida. Dentro del bucle de control es la variable que se capta a través del transmisor y que origina una señal de realimentación.
- Planta o sistema. Son los componentes del sistema que hay que controlar. En la planta se produce la transformación de la energía suministrada que se desea controlar.
- Sensor. El sensor es el elemento que permite captar el valor de la variable a controlar en determinados instantes de tiempo.
- Señal de referencia. Señal de salida por un instrumento que es función de la variable medida.
- Actuador. Es el elemento final de control, la parte de proceso que provoca físicamente la dinámica de todo el sistema.
- Controlador. Instrumento que compara la variable controlada con un valor deseado y ejercer automáticamente una acción de corrección de acuerdo a la desviación.

- Transductor. Recibe una señal de entrada función de una o más cantidades físicas y la convierte modificada o no, a una señal de salida.
- Control lógico programable (PLC): Es un dispositivo operado digitalmente que usa una memoria para el almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos.^[7]

En la planta concentradora se utiliza tanto para el Sistema Experto como el PSI, un controlador llamado PID, el cual estabiliza las señales que se mandan al cuarto de control.

El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es un circuito simplificado que consiste en un módulo proporcional + integral (donde se fija la ganancia o banda proporcional, se amplifica la desviación entre la variable y el punto de consigna, se fija el valor del punto de consigna y se selecciona la acción directa o la inversa del controlador) y un módulo de acción derivada modificada donde se encuentra el potenciómetro de acción derivada ^[8]

1.5 D₅₀

El d₅₀ es el valor del tamaño de partículas que tiene la misma posibilidad de ir a la fracción gruesa (underflow) o a la fracción fina (overflow), en otras palabras es el tamaño de corte del clasificador.

El d₅₀ sirve para

- Diseñar hidrociclones.
- Optimizar su funcionamiento.
- Simular las operaciones de clasificación.

- Corregir el corto circuito en los clasificadores, entre otras. [9]

La separación del ciclón puede ser alcanzada usando la ecuación 1.5.1.

$$D_{50c}(\text{actual}) = D_{50c}(\text{base}) \times C1 \times C2 \times C3 \quad (\text{Ec. 1.5.1})$$

El $d_{50}(\text{base})$ para un ciclón de diámetro dado se multiplica por tres factores de corrección designados como C1, C2, C3.

Este $d_{50}(\text{base})$ es el tamaño de micrometros que un ciclón estándar puede alcanzar operando bajo las condiciones base y se estima de la siguiente manera:

$$D_{50c}(\text{base}) = 2.84 D^{0.66} \quad (\text{Ec. 1.5.2})$$

Dónde: D = diámetro del ciclón (cm.)

C1 se debe a la influencia de concentración de sólidos contenidos en la pulpa alimentada y puede estimarse por la siguiente relación:

$$C1 = \exp(-0.301 + 0.0945V - 0.00356V^2 + 0.0000648V^3) \quad (\text{Ec. 1.5.3})$$

Dónde V: % de sólidos en volumen en la alimentación al clasificador.

C2 está relacionada a la caída de presión, medida entre la presión de alimentación menos la presión del rebose. La caída de presión es una medida de la energía que se utilizará en el ciclón para alcanzar la separación, en lo posible se recomienda que esta caída de presión sea del orden de 40 a 70 Kpa (5 a 10 PSI). Se puede estimar de la siguiente relación:

$$C2 = 2\Delta P^{-0.3} \quad (\text{Ec. 1.5.4})$$

C3 es el efecto de la gravedad específica del sólido.

$$C3 = \sqrt{\frac{1.65}{(SG-1)}} \quad (\text{Ec. 1.4.5})$$

Dónde SG es la gravedad específica del sólido. [10]

1.6 Sistema experto

Un Sistema Experto (SE) es un programa que puede aprender de alguien con experiencia en un campo determinado, actuando posteriormente como un asistente Inteligente tanto del Experto como de alguna otra persona que no tiene suficiente experiencia en el campo determinado.

Un Sistema Experto también se conoce como sistema de base de **conocimientos ya que la "Inteligencia" que se le proporciona al sistema** forma esta base de conocimientos, misma que contendrá la información en forma de reglas y acciones.

A diferencia de un programa de computadora como puede ser *basic*, *assembler*, etc., que son altamente descriptivos en donde el programador necesita pensar en términos de pasos desde un principio hasta un final, para la mina de cobre se generaron los Sistemas Expertos por medio de un programa en el cual se pueden agregar reglas y acciones en cualquier parte del programa; es decir, sin importar que sea al principio, al final o la mitad del mismo y a su vez tampoco es necesario que el usuario conozca la totalidad del programa. ^[6]

1.7 Indicador de Tamaño de Partículas (PSI)

El PSI (particle size instrument) 200 tipo 1641 es un equipo de medición automático usado para la medición del tamaño de partícula de la pulpa. La pulpa seleccionada desde los muestreadores primarios es controlada en el Estanque de Estabilización de Flujo (PFSA) para fluir a través del cabezal del Transmisor de Tamaño de Partícula (PSTS) (Figura 1.7.1). El PSTS hace mediciones del tamaño de partículas en línea de la pulpa con un Cabezal del tipo-micrómetro y el PLC calcula los valores de las fracciones desde estas mediciones. Las fórmulas usadas para el cálculo de las fracciones resultan del procedimiento de calibración. Esta información puede ser usada para controlar el circuito de molienda de minerales y mantener esta operación en estado óptimo.

- 1.- **PCCS**
Gabinete de control (PLC)
- 2.- **PFSA**
Cajón estabilizador de flujo.
- 3.- **PSTS**
Transmisor de tamaño de partícula.
- 4.- **VBS**
Caja de válvulas solenoides neumáticas.
- 5.- **PAFS**
Conjunto filtro-lubricador de aire.
- 6.- **PCAA**
Cajón tomador de muestras de calibración.
- 7.- **OIU**
Unidad de interfase con el operador (pantalla)

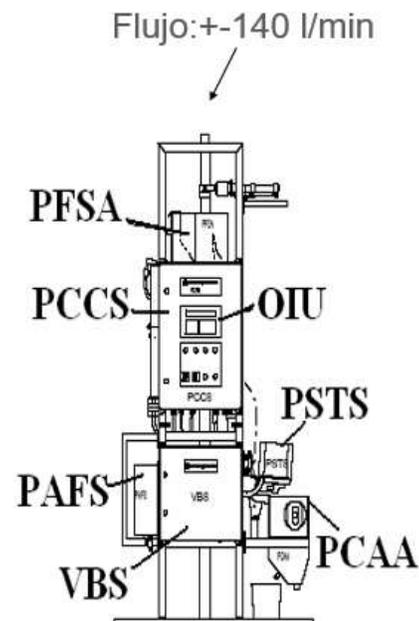


Figura 1.7.1. Partes generales que componen el PSI 200. [11]

Dónde:

- PFSA: Flow stabilization tank assembly (Montaje del Estanque de Estabilización de Flujo)

- PCCS: Electronic control cabinet set (Panel de control)
- PSTS: Particle size transmitter set (Equipo transmisor de tamaño de partícula)
- PCAA: Calibration sampler assembly (Toma de Muestra para la Calibración)
- PAFS: Air filtering cabinet (Panel de filtro de aire)
- VBS: Valve box set (Panel de Válvula)
- OIU: Operator Interface unit (Unidad de interfase del operador)^[11]

El equipo mide el tamaño de partícula de una línea de pulpa. El PSI (Particle Size Instrument) calcula dos fracciones (en porcentajes) de tamaño de partículas definidas por el usuario para la pulpa seleccionada. El porcentaje calculado se refiere a una cantidad promedio menor a una malla 74 o sobre una malla 210. El valor numérico puede ser definido como μm o un valor de malla (Escala Tyler). El PSI también puede calcular el tamaño de partícula para un porcentaje pasante deseado (Ej. Pasando el d_{80}).

El indicador proporciona una información fundamental sobre los procesos de molienda y flotación. El control de estos procesos se basa en el tamaño de partículas y análisis de elementos.

El PSI está diseñado para la medición granulométrica en línea en las plantas de procesamiento de mineral. Al monitorear y controlar el tamaño de partícula mejora la molienda y el rendimiento del circuito de molienda, así también mejorando la siguiente etapa al reducir el consumo de reactivos y la eficiencia del espesamiento.

El fundamento de este equipo es medir una gran cantidad de partículas representativas, la medición utiliza un sensor de alta

precisión. El indicador de partículas debe utilizar fases sólida y líquida para un correcto análisis de granularidad en línea. El analizador por lo general sigue la norma estadística, reuniendo suficiente datos de medición, reduciendo el error estadístico, mejorando la exactitud y la precisión de la medición. A través del modelo matemático, se transmite los resultados la medición de granulometría en tiempo real. [12]



Figura 1.7.2. Imagen del PSI. [11]

El sistema experto se utilizó para estabilizar la señal de los PSI, es importante entender cómo es que el PSI obtiene valores para indicar el tamaño de partícula.

El PSI acumula en memoria 120 lecturas de tamaño de partícula expresado en milésimas de centímetro. Al tomar un nuevo dato, lo anexa a los 120 datos anteriores, desecha el primer valor y vuelve a **calcular un promedio. A ese proceso se le conoce como "lectura continua" y da como resultado** un nuevo valor de tamaño de partícula cada medio segundo aproximadamente.

Estas lecturas tan cambiantes no van acorde al proceso, donde el tiempo estimado de residencia de la carga dentro del molino es de 5 minutos. Para efectos de control del sistema experto, es preferible tener una señal más estable. Por esta razón, se cambió la programación de los PSI para que entreguen lecturas cada dos minutos (está modificación se realizó por equipo de instrumentación de la mina y sólo se puede controlar por ellos).

El PSI obtiene el tamaño de partícula de la siguiente manera, primero el micrómetro digital mide 300 veces el flujo del cajón de finos, un PLC (controlador lógico programable) calcula el promedio de las 300 mediciones y la desviación estándar.

Se tomaron muestras de laboratorio para encontrar una ecuación que describa la cantidad de malla +100 en función de un tamaño promedio de partícula. El PLC hace los cálculos con la ecuación y el tamaño promedio de partícula, el promedio se mostrara en la pantalla del PSI. Todo esto está basado en que hay una uniformidad en el tamaño de partículas.

En los PSI ocurre lo mismo, cuando el molino no está "moliendo" y está sobrecargado, las partículas finas salen inmediatamente y las grandes permanecen ahí, dando lugar a una combinación de material fino y muy grueso. El PSI solo puede determinar partículas de hasta 3 milímetros, de tal forma que sólo reporta el material fino, entregando tamaños de partícula por debajo de lo real.



Figura 1.7.1. PCAA, Conjunto muestreador para calibración. [11]

El proceso de toma de muestra con el pistón se lleva a cabo tomando muestras dos veces por segundo, la distribución del tamaño está basado en las últimas 120 mediciones y el rango de tamaño que toma en cuenta el equipo son de 30 a 600 μm , es decir de una malla 28 a una malla 500.

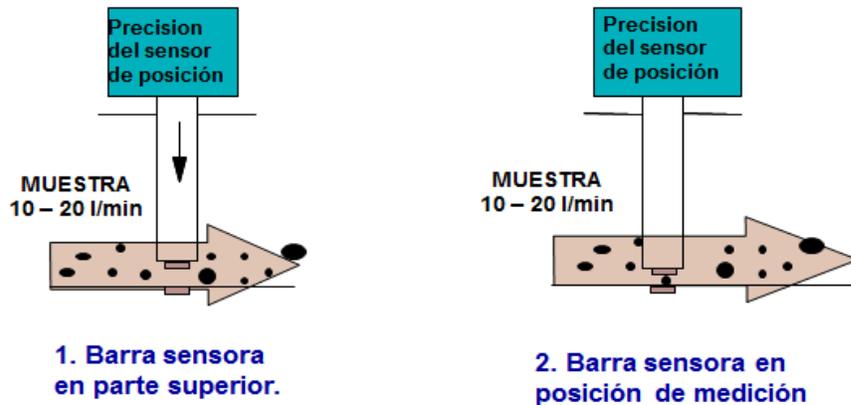


Figura 1.7.2. Figura representativa del como toma muestra el micrómetro del PSI. [11]

Existen dos modos de medición en el PSI: Medición continua y en grupo. En modo continuo desde que las 120 primeras medidas han sido hechas y las fracciones de salidas son actualizadas, las salidas son

actualizadas después de cada medición. Por otra parte, en el modo en grupo las fracciones de salidas son actualizadas solamente después de 120 mediciones.

La verificación de cero (Zero check) es una función usada para mantener en el largo plazo la precisión de la medición del PSI. Durante la verificación de cero, el equipo de muestreo secundario y el cabezal de medición es lavado con agua presurizada. Al final de un ciclo, es ejecutada una medición de verificación de cero con el cabezal de medición limpio.

La verificación de cero puede ser realizado automáticamente con un intervalo definido en la pantalla o manualmente pulsando el botón de verificación de cero.

El *zero check* mantiene al equipo con la precisión requerida para su trabajo normal. Puede ser accionado manualmente o en forma automática programada. El *zero check* proporciona al equipo un lavado del equipo, el cual comprende el cajón donde se recolecta la muestra, la manguera donde baja la pulpa y el serpentín. ^[11]

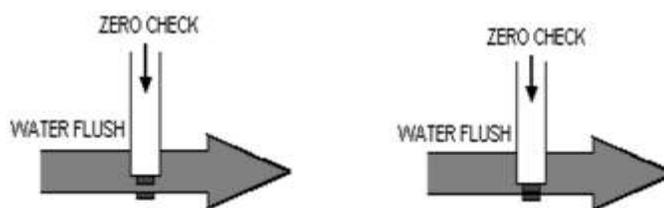


Figura 1.7.3. Imagen representativa del flujo de agua en PSI. ^[11]

1.7.1 Características del equipo

- ✓ Detección de partícula en tiempo real: el equipo cuenta con microprocesadores de alto rendimiento, a través de los cuales se puede efectuar la detección continua y rápida en línea, en tiempo real para los flujos de granulometría medidos.
- ✓ El analizador de granulometría en línea: puede lograr la medición de tamaño de partículas que tengan un tamaño comprendido entre una malla 28 y una malla 500, (600 y 30 μm).
- ✓ Detección de granulometría de varios niveles: para cada canal de flujo de detección, se puede detectar el porcentaje de granulometría de 2 o más niveles de granulometría (se puede personalizar).
- ✓ Visualización de granulometría en tiempo real: equipado con pantalla de cristal líquido en color de alta resolución, se puede mostrar los resultados de detección de granulometría en la pantalla.
- ✓ Salida de granulometría en tiempo real: se puede transmitir el porcentaje de valor detectado de granulometría de manera analógica, o mediante un protocolo de comunicación como Ethernet. El PSI 200 que se maneja en mina de cobre, cuenta con una salida eléctrica que llega al cuarto de control de manera digital.
- ✓ Almacenamiento de granulometría en tiempo real: equipado con dispositivos de almacenamiento permanente de gran capacidad, se puede almacenar los datos de granulometría

detectada para la búsqueda, por lo menos se puede almacenar 90 días de registro historial.

- ✓ Demarcación automática: equipado con motor de software de análisis de regresión matemática, se puede demarcar, calibrar automáticamente los parámetros del sistema.
- ✓ Alta adaptabilidad ambiental: ambiente de alta temperatura ($\leq 90^{\circ}\text{C}$) y **alta corrosión, baja afección de partícula grande** y sin interferencia magnética.
- ✓ Sencilla instalación y mantenimiento: analizador de granularidad en línea de calibración puede utilizar los estilos de instalación de prueba directa de tubería, sin drenaje de pulpa mineral y tubería de vuelta de mineral y sin el trabajo de mantenimiento de tubería. ^[13]

Capítulo 2.

Metodología de

trabajo

Capítulo 2. Metodología de trabajo

En la figura 2.1 se describen la metodología que se realizó para la toma de muestra en el derrame del hidrociclón en los meses de septiembre y octubre del 2015 en la planta de procesamiento de minerales y en la figura 2.2 se muestran las etapas de experimentación realizadas en los mismos meses.



Figura 2.1. Diagrama de conocimiento previo a la experimentación.

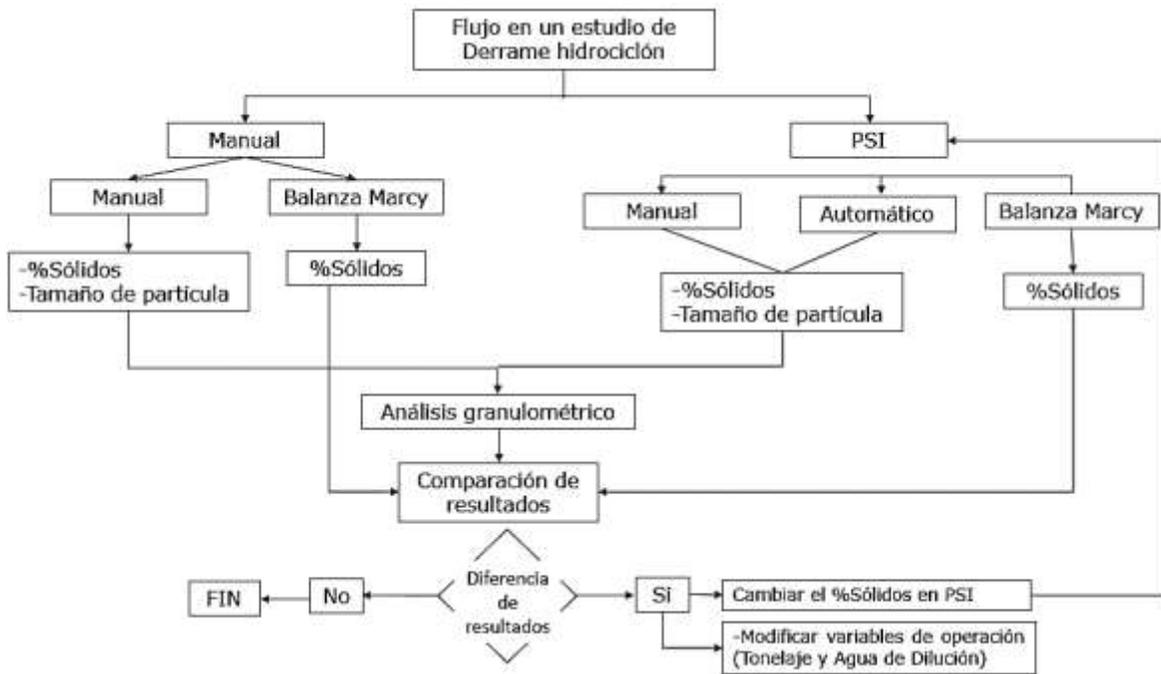


Figura 2.2. Diagrama de las etapas de experimentación.

Para realizar la experimentación descrita anteriormente se llevó a cabo un reconocimiento del equipo llamado PSI, de las partes que lo componen y su ubicación, con el objeto de conocer sus funciones, para después llevar a cabo un mantenimiento correctivo.

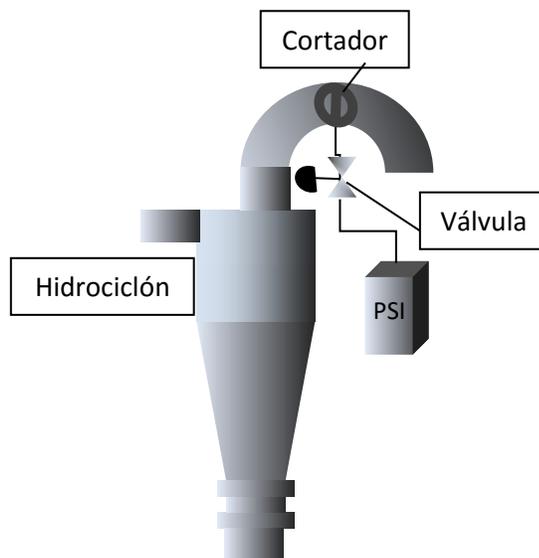


Figura 2.3. Esquema del sitio de toma la muestra Hidrociclón-PSI.

En la figura 2.3 se representa el sitio de toma de muestra de la pulpa que entra al PSI. El flujo de mineral fino sale por el derrame del hidrociclón, fluye por una tubería que finaliza en el área de flotación, este conducto lleva en su interior un cortador de mineral a base de acero, el cual se diseñó en el taller de mantenimiento de la planta concentradora, éste tiene una abertura de $\frac{1}{2}$ pulgada (medida previamente determinada por el laboratorio de Control Metalúrgico), con el objeto de que se pueda tomar una muestra representativa de la pulpa. La muestra tomada por el cortador, baja por una manguera que está conectada al PSI, el cual va a determinar el tamaño de partícula. La pulpa que no pasó hacia el cortador, sigue su curso hasta converger en un cajón (Figura 2.1.1, A) donde la pulpa irá directamente a los bancos de flotación. En dicho cajón se realizará la toma de muestra manual, es decir, con el cortador mostrado en la figura 2.1.2.

El mantenimiento que se realice consistió en efectuar un lavado con agua de las partes del equipo, como el cajón, el cual conserva la pulpa, la manguera que conecta el cajón del densímetro, el micrómetro y el cajón donde sale la pulpa para tomar las muestras. Todo esto se explica detalladamente a continuación.

2.1 Toma de muestra en derrame del hidrociclón

Para la toma de muestra (manual) representativa en el derrame del hidrociclón, se elaboró un cortador de metal, el cual toma un litro de muestra. Este cortador (Fig.2.1.2) se introdujo en el cajón donde convergen la pulpa y forma un remolino (Fig.2.1.1, A), la muestra la tomé de manera rápida con el fin de que la muestra sea representativa de la pulpa, ya que si se toma lenta y se deja mucho tiempo en el remolino, se puede recoger una considerable cantidad de material grueso, provocando un dato erróneo en el muestreo.

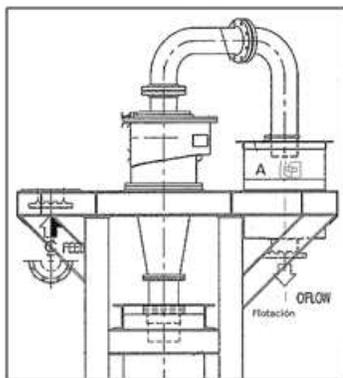


Figura 2.1.1. Dibujo del derrame del hidrociclón. [14]

Las condiciones para el buen funcionamiento de la toma de muestra dependerán de:

- Un cortador con una abertura tres veces más grande que el tamaño de la partícula.
- La velocidad al cortar la muestra.
- La limpieza del cortador
- El tiempo de corte constante
- Colocación correcta del recipiente del recibo de muestra.



Figura 2.1.2. Dibujo del cortador para tomar muestra en el derrame.

Al tener la muestra del derrame en el bote de un litro, lo etiqueté con nombre y número de muestra, después lo lleve al laboratorio para limpiar, pesar y secar.

Posteriormente en el laboratorio realicé un análisis granulométrico de la muestra. El procedimiento que realicé fue: deslamar el litro de pulpa en la malla +100 (denominación que se le da al tamaño de abertura que tiene la malla, Tyler), lo que quedó arriba de la malla (acumulado positivo) lo sequé y pese; lo que pasó a través de la malla (el peso acumulado negativo) se filtró, se secó y se pesó. Con estos datos se obtienen el porcentaje de sólidos y el porcentaje de la malla +100. Al obtener estos datos se comparan con los que arroja el equipo PSI. Cabe mencionar que puede tener un grado de dispersión de hasta 2%.

A continuación explicó los cálculos que realicé en el laboratorio para determinar el %Sólidos en peso y el %Malla +100 o %Ac(+):

$$\text{Peso total (g)} = \text{Peso bote} + \text{Peso pulpa} \quad (\text{Ec.2.1.1})$$

$$\text{Peso pulpa (g)} = \text{Peso total} - \text{Peso bote} \quad (\text{Ec. 2.1.2})$$

$$\text{Peso seco (g)} = (\text{Ac (+)}) + (\text{Ac (-)}) \quad (\text{Ec. 2.1.3})$$

$$\% \text{Sólidos en peso} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso pulpa}} \times 100 \quad (\text{Ec. 2.1.4})$$

$$\% \text{Malla + 100} = \frac{\text{Peso Ac(+)}}{\text{Peso seco}} \times 100 \quad (\text{Ec. 2.1.5})$$

A partir de las ecuaciones arriba mencionadas determiné el tamaño de partícula (malla +100), el %Sólidos en peso en la pulpa, en el derrame del hidrociclón y en las muestras que se tomaban en la salida del PSI. Seis muestras eran recolectadas diariamente para cada molino, al obtener las muestras se calibraba automáticamente el PSI y

dichas muestras se llevan al laboratorio para su análisis granulométrico y posterior verificación.

El equipo PSI cuando arrojaba cada muestra, proporciona una serie de variables ID, V1, V2, %Sólidos en peso de la pulpa, %Malla+100, las cuales van acorde a un modelo matemático de calibración.

Dónde:

ID: Es el número de muestra.

V1: Es el promedio de 300 mediciones.

V2: Es la desviación estándar del V1.

%Sólidos en peso: Sólidos en peso en la pulpa.

%Malla +100: Tamaño de partícula del mineral.

La ecuación del modelo matemático en cualquier molino debe incluir un componente lineal, otro curvo y un incremento directamente proporcional a la desviación estándar. Con los datos de %Sólidos en peso de la pulpa y %Malla+100 que se obtuvieron en el PSI y los datos obtenidos en el laboratorio (Tabla 3, Apéndice A) llevé a cabo una comparación, en caso de diferir en más de 2%, se modificaba el número de una variable del componente lineal en el modelo matemático del equipo PSI (ecuación que sólo se podía modificar por el superintendente de la planta).

Dado el gran número de datos, sólo se muestran algunas tablas representativas en el apéndice A (Tabla 1, 2 y 3) de reporte de mallas que se presentaba al superintendente a cargo.

También llevé a cabo una comparación del %Sólidos en peso de la pulpa que marcó la balanza Marcy en el PSI y el %Sólidos en peso que tomé manualmente en el derrame del hidrociclón.

El procedimiento que realicé para la toma de muestra manualmente en el derrame del hidrociclón es el siguiente: tomé una muestra de un litro con el cortador de metal (Fig.2.1.2), luego la pulpa la coloqué en el vaso de la balanza Marcy (Fig.2.1.3) y la pesé, tomando la lectura en la escala de 2.8 gravedad específica (SG). Esta escala dio el porcentaje de sólidos que se encontró en la pulpa. El mismo método lo realicé para tomar la muestra del %Sólidos en peso de la pulpa en el equipo PSI, tomando la muestra en la canal de derrame de la pulpa. Estos datos los comparé y sí había un grado de dispersión de más del 2%, se modificaba en el porcentaje de sólidos en el equipo PSI, tratando de igualarlo con el derrame del hidrociclón.

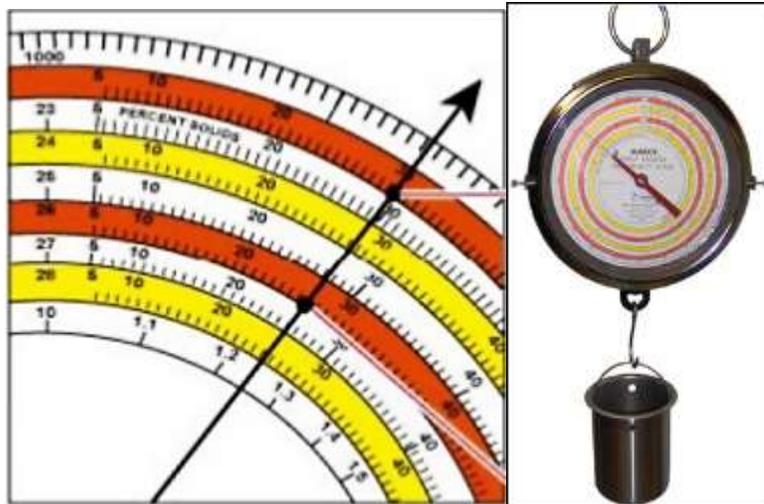


Figura 2.1.3. Imagen de la balanza Marcy y su escala.

2.2 Desmontaje y limpieza del densímetro

El procedimiento que realicé fue colocar el PSI en modo mantenimiento, girando el botón a ON (Fig. 2.2.1 círculo en rojo), abrí la caja del densímetro (PFSA) para observar las partes internas (densímetro) y se quitaron los 6 tornillos #10 (Fig. 2.2.2) así como la tapa.



Figura 2.2.1. Imagen frontal de la pantalla del PSI.

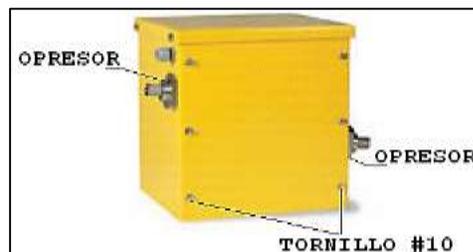


Figura 2.2.2. Imagen del densímetro.

Después aflojé las mangueras de entrada y de salida del densímetro (Fig. 2.2.3 (d)), si se encuentra obstruidas, se retiran del densímetro y se lavan con agua hasta que éstas se destapen.

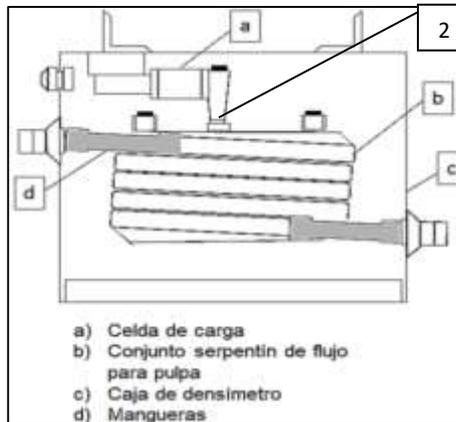


Figura 2.2.3. Serpentín representando sus componentes.

Aflojé el tornillo (2) que sostiene al densímetro a la celda de carga, hasta que se liberó el densímetro y se sacó. Luego se desmontó el motor y todos los componentes del medidor (PSTS) y del canal que transporta la pulpa del densímetro hacia el medidor de tamaño de partícula. Se desmontó el canal de la pulpa de los dos tornillos (Fig. 2.2.4).

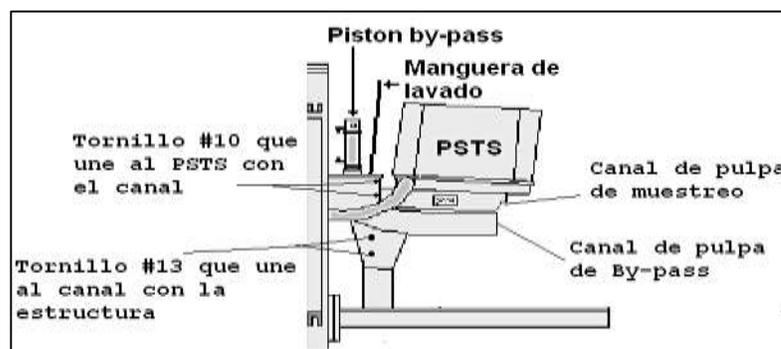


Figura 2.2.4. Figura representativa del motor del PSI.

En el área de mantenimiento separé el densímetro (acero inoxidable) de los dos soportes (aluminio), también quité la pieza que se acopla a la celda de carga (aluminio), quité con cuidado las dos mangueras (silicón) y también se quitaron los dos taconcitos de hule que van en los extremos del densímetro.

NOTA: El densímetro cuando está completamente limpio debe pesar 1.5 Kg. sin los tubos y sin mangueras; con los soportes de aluminio sin tubos ni mangueras 2.5 Kg.; el densímetro completo con soportes, tubos y mangueras 2.60 Kg. El peso de densímetro debe estar controlado debido a que su peso afecta en la calibración en el equipo.

Coloqué el densímetro y los tubos (sin las piezas de aluminio ni las mangueras), en una cubeta con HCl al 30% Vol. de concentración y lo dejé reposar durante media hora. Después los retiré el densímetro, lo enjuagué y pesé, debiendo dar un peso de 1.5 Kg. Luego armé el densímetro (con los soportes de aluminio), mangueras y tubos. Posteriormente desarmé el canal de la pulpa, quitándole el pistón neumático que esta sobre él y los empaques, también dejé reposar con HCl al 30% por media hora.

NOTA: Para estas actividades se debe utilizar guantes de hule, visor cubre cara y respirador para gases.

En campo también llevé a cabo la limpieza del martillo y yunque del PSTS hasta quitar la incrustación, ya sea con agua o con HCl. Después de la limpieza procedí a montar los componentes del densímetro en su lugar, ajusté los opresores y observé que el densímetro quedará nivelado, procedí a armar el canal de pulpa y unir al canal del martillo y finalmente ejecuté el procedimiento de calibración del densímetro.

2.3 Limpieza y calibración densímetro.

Para la calibración del densímetro, coloqué el PSI en modo mantenimiento (Fig.2.2.1), procedí a lavar el PSI, apretando el botón de *Flush* (Fig.2.3.1), el cual arrojó agua por la parte de cajón (PFSA) y el agua circuló de manera descendente hasta llegar al canal de la pulpa.

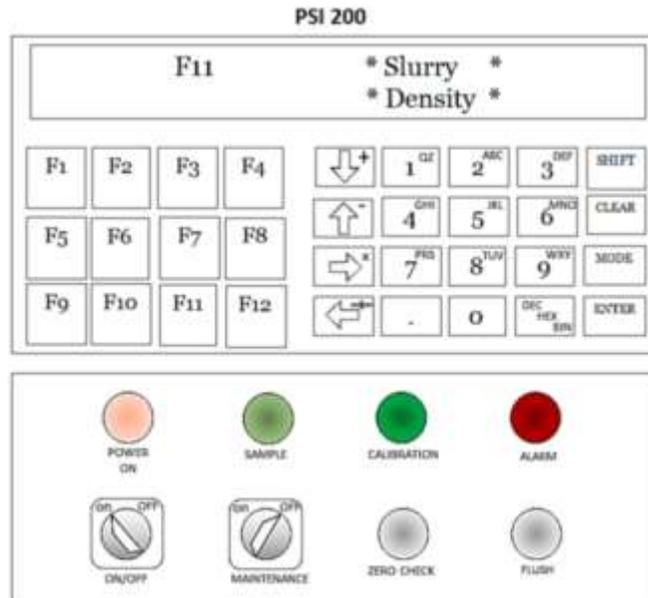


Figura 2.3.1. Pantalla del PSI 200

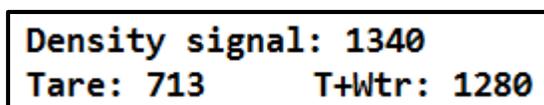
En seguida procedí a desconectar las mangueras de entrada y salida del densímetro (PSDM) (Fig. 2.2.3, d), quité la tapa del densímetro y verifiqué que el serpentín se encuentre nivelado y sin obstrucciones en su interior. En caso de que no esté nivelado, procedí a aflojar los opresores que están colocados en la entrada y salida del densímetro, ajusté el densímetro y volví a ajustar los opresores. En caso de que este obstruido la entrada o salida del densímetro o el cajón de flujo, se retiran y se lleva a cabo un lavado de las mangueras y del densímetro con agua hasta dejarlos destapados y después se secan con aire a presión.

Apreté el botón F11 y se despliega la pantalla de *Slurry/Density*, se cambia de pantalla con el botón de la flecha hacia arriba hasta llegar a la pantalla de *Density signal (densidad de flujo)* (Fig. 2.3.2), que dió el peso del densímetro con pulpa, el *Tare* dió el peso del densímetro seco y el *T+Wtr* el peso del densímetro con agua.

El valor de *Tare* fue el peso del densímetro seco, este valor también va variar sus números, saqué un promedio y lo coloqué en el campo de *Density signal*, el equipo automáticamente va cambiar el valor y lo dejé.

Luego conecté las mangueras de entrada y salida del densímetro. El ajuste que realicé es llenar el cajón de la pulpa (PFSA) con agua hasta que el indicador de nivel este en rojo, tapando al mismo tiempo la manguera que conecta el flujo del PFSA al densímetro, luego lo conecté al densímetro, leí el valor que este en el campo de *Density signal* (densidad de flujo) y sustituí el valor en el campo de *tare* más agua (*T+Wtr*), el valor va cambiar 10 números por segundo e hice un promedio para colocarlo en dicho campo.

Nota: Para realizar los ajusten en cualquier campo requerido en la pantalla, se procederá a oprimir la tecla con la flecha hacia arriba o hacia abajo para cambiar de pantalla, las teclas de izquierda o derecha para cambiar los datos, según sea el caso y dar Enter para vaciar los datos.



Density signal: 1340
Tare: 713 T+Wtr: 1280

Figura 2.3.2. Ejemplo parámetros en pantalla PSI F11.

Después coloqué el PSI en modo automático, girando el botón de mantenimiento a *OFF*. El PSI automáticamente volvió a arrojar agua

durante un minuto y luego procedí a pasar la pulpa de derrame del hidrociclón.

2.4 Medición del porcentaje de sólidos

A continuación leí el valor de %Sólidos en la pantalla (Fig. 2.4.1).

Solids:	30 %
P/C/N : 11	Times: 24 s

Figura 2.4.1. Ejemplo parámetro del %Sólidos en peso, pantalla del PSI.

Si el valor es bajo se procede a aumentar el valor de PSDM (Fig. 2.4.2). Para bajar el valor de sólidos en peso se incrementa el valor de PSDM y viceversa, para aumentar el porcentaje de sólidos se disminuye el valor de PSDM.

Lin. correction : I1
PSDM : 1400 P: 1500

Figura 2.4.2. Ejemplo parámetro del PSDM en pantalla del PSI.

La línea de corrección siempre debe ser la 1 (Lin. Correction I1) ya que es por esta línea donde pasa el flujo de la pulpa y el valor del PSDM (Medidor de densidad de pulpa) se puede modificar en un rango de 1350 hasta 1500.

Con este procedimiento calibré el PSI y pude leer el valor del porcentaje de sólido con mayor precisión. Este procedimiento lo pude llevar a cabo cada que el PSI se encontraba tapado o cuando la alarma se encontraba en rojo (Fig. 2.3.1).

Al quedar ajustados los parámetros, pude comparar el porcentaje de sólidos en peso de la pulpa con el que da la balanza Marcy. Si el valor difería en más de 2 unidades entre ellos se procede a modificar el valor del %Sólidos en peso del PSI o aumentar o disminuir el tonelaje y agua

de dilución en el cuarto de control para obtener el tamaño de partícula deseado.

Cuando apareció la alarma: *Gradient error in density water measurement*, se debe realizar la rutina de limpieza o verificar que no esté vibrando mucho donde se encuentre el equipo PSI.

NOTA: Cuando un molino sale a mantenimiento se debe cerrar la válvula que alimenta la pulpa desde el cortador. Esto es para evitar que se ensucie de nuevo el PSI o que se taponee con carga gruesa al arrancar el molino. Cuando se estabilizó la operación del molino se abrió la válvula y el equipo PSI se puso fuera de mantenimiento.

2.5 Ajuste del micrómetro con laines calibradas.

Coloqué el PSI en modo mantenimiento, girando el botón hacia ON y se ejecutó la rutina de limpieza del PSI.

Paré el motor del PSTS (equipo transmisor de tamaño de partícula) abriendo el fusible correspondiente en el gabinete principal PCCS (panel de control). Me aseguré que el canal de medición se encontrará limpio y removí la tapa del PSTS. El martillito se colocó en su posición más baja, esto lo logré girando manualmente la flecha del motor para que no tocará la barra del martillo (Fig. 2.5.1).

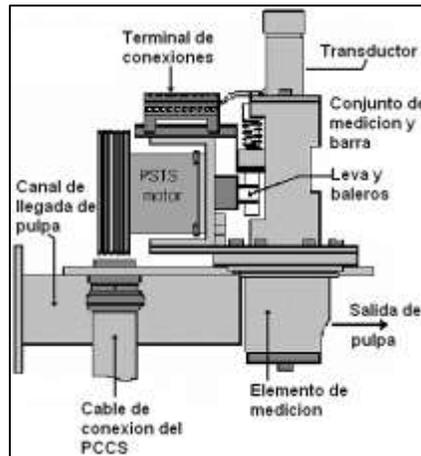


Figura 2.5.1. Imagen representativa del alrededor del PSTS.

```
Meas.frec.: 144/min
Measure input: 8000
```

Figura 2.5.2. Imagen que representa la pantalla del PSI en el apartado #17

Seleccioné la pantalla de la figura 2.5.2. El ajuste lo realicé en los potenciómetros *Zero* y *Span* de la tarjeta PDTU localizada dentro del gabinete principal PCCS.

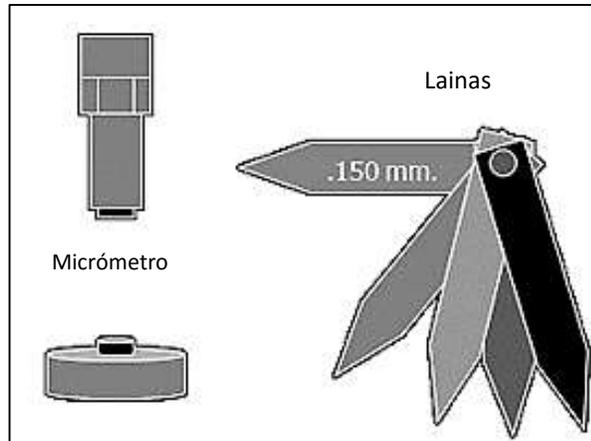


Figura 2.5.3. Lainas y micrómetro del PSI

Utilizando linternas calibradas (Fig. 2.5.3) (en mm) los ajustes en *Measure Input* serán:

- Sin linterna debe indicar 8000 (*Measure input*)
- Linterna de 1mm = (Con pot Zero 16000)
- Linterna de 2mm = (Med. Indic. 24000)
- Linterna de 3mm = (Con potSpan 32000)

Se ajusta el **potenciómetro "Zero"** para que dé un valor de medición de entrada de 8000 en *Measure Input*. Se colocó una linterna de 1mm entre el micrómetro (Fig.31) con el *Pot. Zero* se ajusta a 16000 en *Measure Input*.

Coloqué la linterna de 3mm entre el micrómetro con el *Pot. Span* y se ajustó a 32000 en *Measure Input*. Cerré el fusible del motor y ejecute manualmente el **"Zero Check"**,

En el despliegue F6 (Fig. 2.5.4) y **después del "Zero level"**, el campo *Tot*: debe mostrar 1000.

PS: 0.0 Tot: 1000
AVE: 0.0 SD: 0.0

Figura 2.5.4. Imagen representativa de la pantalla en el apartado F6.

Dónde:

- PS: Es el tamaño de partícula que está midiendo en ese momento el PSI.
- Tot: Es el resultado de la suma de *PS* y el *Zero level* que de fábrica es 1000.
- AVE: Es el promedio de 120 mediciones de tamaño de partícula (*PS*).
- SD: Es la desviación estándar, calculado de las 120 mediciones de *PS*.

El tamaño medido de la partícula se mostró en micrómetros en el campo de *PS* (particle size), de tal manera que si se usó una lana de calibración de 3 mm, son 300 micrones indicados en el campo *PS* y *AVE*. Entre la parte fija y la parte móvil del micrómetro coloqué una lana de calibración de 2.50 mm, que quede en forma plana sobre la parte fija del micrómetro.

PS: 156.0	Tot: 1156.0
AVE: 250.0	SD: 16.7

Figura 2.5.5. Ejemplo parámetros en pantalla F6.

Observé que en el despliegue F6 se lee un AVE: 250 con una variación de más o menos 5% de lo esperado (Fig. 2.5.5).

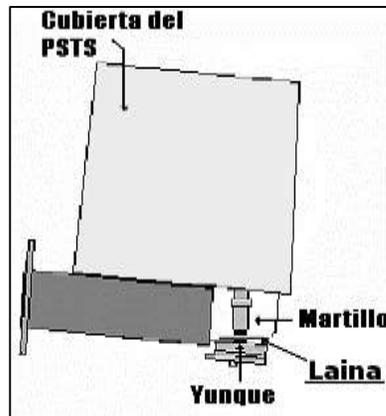


Figura 2.5.6. Figura representativa del motor (PSTS).

Lo mismo se representó si se colocan laines de 0.300, 0.350 y 0.400 mm.

En caso de que no se den los resultados esperados, se procede a lavar con HCl la parte del micrómetro del PSI y dar un *Zero Check* (lavado automático del PSI).

Finalicé colocando el PSI en operación, girando el botón de mantenimiento hacia *OFF*.

2.6 Toma de muestra en el PSI

Primero llevé a cabo la limpieza del muestreador para la toma de muestra (frente al PSTS) esto es, realicé la limpieza del densímetro como se mencionó anteriormente.



Figura 6.2.1. Imagen de la toma de muestra del cortador.

En el apartado F9 de la pantalla del PSI (Fig. 2.6.2), es donde está programado el PSI para tomar muestras representativas de la pulpa.

**F9 *CALIBR. SAMPLE *
*CTRL AND DATA ***

Figura 2.6.2. Figura representativa de la pantalla del PSI, F9.

Verifiqué que el número de veces que saldrá el pistón para cortar la muestra, debe ser entre 30 y 40, pero puede depender de la intensidad con la que venga el flujo de pulpa. Para verificarlo, tomé la muestra en un bote de 1 litro (Fig. 2.6.4). Después apreté el botón de *Calibration* y el equipo empezó a cortar la muestra, ésta debió llegar al menisco que se forma en el bote, sino es así, se aumentó o se disminuyó el número de cortes, según sea el caso.

En el apartado F9, se buscó la pantalla que dice *Numbers of cuts* (número de cortes) y se programó el deseado.

**Number of cuts in
cal. sample. seq.: 40**

Figura 2.6.3. Figura representativa del número de cortes.

Solicité la toma de muestra colocando F9, luego oprimí la flecha hacia arriba hasta donde aparece la $11 = 0$ y se colocó un número 1, ya que esta es la línea por donde pasa la pulpa.

Coloqué el recipiente de un litro en la manguera de la salida del muestreador (Fig.6.2.1) y esperé a que iniciará la toma de muestra, al terminó la pulpa debió llegar a la marca del bote, luego tapé el recipiente y lo identifiqué con el número de la muestra (ID, AVE y SD, Fig. 2.6.4), así como los datos de fecha y hora.



Figura 2.6.4. Bote de 1 litro para toma de muestra.

También anoté el valor de Fr1 +100 (tamaño de partícula), Fr2 (%Sólidos en peso) y Densidad de la pulpa.

Se repiten todo este procedimiento para obtener las muestras que sean necesarias, limpiando con agua la manguera de salida de la pulpa, entre cada toma de muestra.

2.7 Sistema experto

El sistema experto se utilizó para estabilizar las señales de los **PSI's**.

Para esto, llevé a cabo la limpieza del PSI y la toma de muestras, para poder tener un dato confiable de las variables a controlar. Cuando el PSI se estabilizó y el dato del %Sólidos en peso se mantenía casi constante por una hora, se procedió a ir al cuarto de control en donde se observó por una hora como iba variando el %Sólidos en peso, el agua de dilución, el tonelaje, nivel de cajón, entre otras variables. Cuando estas variables estuvieron dentro de lo normal, es decir, sin variaciones frecuentes, se procedió a meter el PSI a experto y se volvió a llevar a cabo una observación de por lo menos una hora, para ver si el Experto no movía las variables de control, tales como el disminuir la potencia para aumentar el tonelaje, aumentar el agua de dilución para bajar el tamaño de partícula, etc.

Hubo casos en que el sistema experto bajaba la potencia para aumentar la producción, en este caso se sacó el PSI de experto, ya que esto produjo que el molino se sobrecargara de mineral al aumentar el tonelaje y disminuyó el agua de dilución.

Procuré meter los 12 molinos a experto, pero como el personal de la concentradora **no confiaba en los PSI's, estos lo sacaban de experto**, al ver que producía diversificaciones en las variables de control. Sin embargo, los molinos que permanecieron en experto, algunos se mantenían un día, 5 horas o 3 horas, esto dependió del comportamiento de las variables.

El procedimiento de observación, lo realicé todos los días del mes de septiembre y octubre del 2015, después de llevar a cabo la limpieza y evaluación del equipo PSI.

Capítulo 3.
Resultados y
Discusión de
resultados

Capítulo 3. Resultados y Discusión de Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la estabilización de los flujos de pulpa se refiere, estos se visualizaron a través de las lecturas de valores de porcentaje de sólidos en peso en la pulpa del sistema PSI, así como su porcentaje de malla +100 (150 μm). Para ello describo a continuación la conformación de los circuitos de molienda.

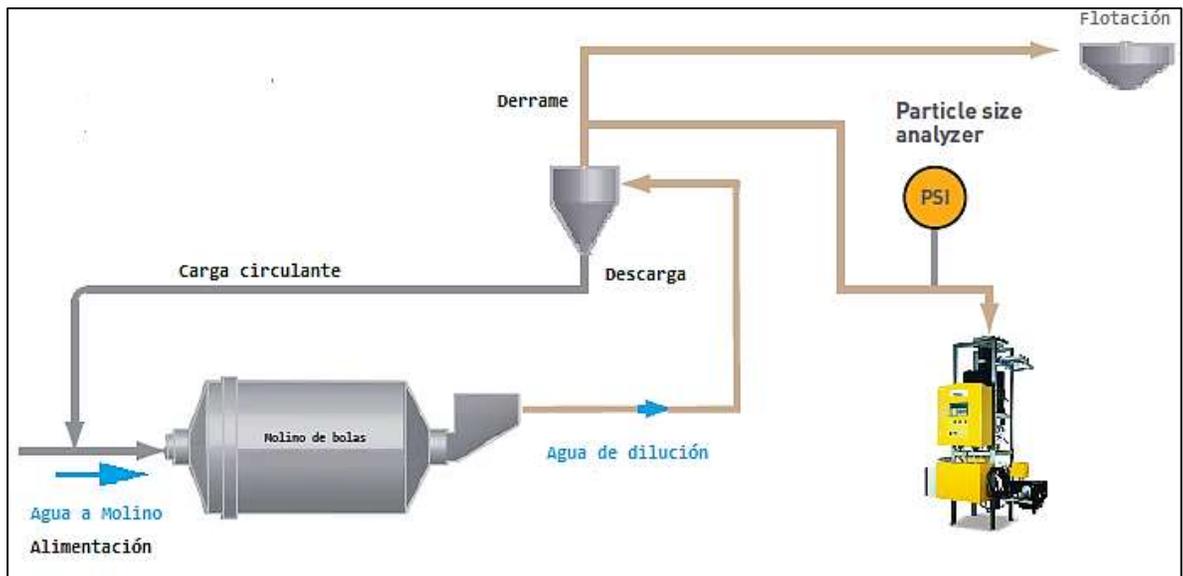


Figura 3.1. Circuito de molienda.

La primera sección abarca del molino 1 al 6, y la segunda sección, del molino 7 al 12.

En la figura 3.1 se representa como está conformado el circuito de clasificación en la molienda y dónde toma la muestra el PSI. Uno de los puntos más importantes para el control es lograr la estabilización del equipo, para este trabajo fue necesario estabilizar el porcentaje de sólidos en peso del PSI, para lograr una comparación con los sólidos calculados. Los sólidos calculados comprenden el tonelaje que entra al molino, el agua de dilución y el agua de alimentación al molino.

En las tablas que se encuentran en el Apéndice A, se muestran los datos obtenidos del porcentaje de sólidos del PSI, los sólidos calculados con base al tonelaje y el agua de alimentación al molino, así como el porcentaje de la malla +100 (tamaño de partícula), cifras comprendidas del mes de septiembre y octubre de cada día, de los 12 molinos respectivamente.

Dichos datos se obtuvieron después de realizar la limpieza y calibración del equipo PSI.

Los valores (tablas de la 4 a la 15) del Apéndice A que se encuentran en cero significan que el molino estaba parado, los valores en negativo significan que el PSI estaba en mantenimiento, es decir, estaba en el taller. Los valores fuera de rango, mayores a 50 o menores a 28, significan que el PSI se encontraba descalibrado.

Uno de los problemas que se encontraron en la planta fue el personal que trabaja en la concentradora no confiaba en los datos del PSI debido a que el equipo se encontraba en alarma y se salía de funcionamiento y los valores del % de sólidos en peso de la pulpa y el %sólidos calculados no coincidían.

Observé que al utilizar los molinos con un tonelaje arriba del límite de su capacidad, ocurría el siguiente efecto, la báscula contabiliza todo el material que pasa por ella, (fino y grueso), mientras que el densímetro y el PSI no detectan las piedras, pero si el material fino. Como la mayoría del material es fino, pasa a flotación directamente sin ser molido pero también las piedras gruesas. Esto ocasionaba que el molino se empezara a sobrecargar paulatinamente aunque el tonelaje y las aguas permanecieran constantes. Llegó el punto en que la potencia era tan baja que se tenía que cortar la carga al molino y esperar a que

las piedras que hay en el circuito se pulverizarán, luego el molino se cargó de nuevo.

Lo anteriormente descrito explica por qué el operador empezaba a desconfiar de los instrumentos. Los cálculos por balance tampoco van a cuadrar porque como ya se mencionó, la báscula contabiliza todo mientras que los gruesos excesivamente fuera de dimensión son invisibles al densímetro y al PSI.

Por esto, llevé a cabo una recolección de datos del % de sólidos en peso del PSI y %sólidos en peso calculados, con el fin de llevar a cabo una comparación de dichos resultados, los cuales los presenté en el Apéndice A, al igual que compáralos con el tamaño de partícula (malla +100).

Si bien, el rango que establece la planta, es un porcentaje de sólidos y porcentaje de malla óptimo de 32% a 36%, se puede observar en las tablas de la 4 a la 15 (mostradas en el apéndice A), que muchos de los valores se encuentran fuera del rango, ya que en cada uno de los equipos entraba cantidad diferente de mineral y con diferentes tamaños de partícula (muestra no representativa). A veces, esta diferencia de carga y tamaño, provocaba que el equipo se tapara y que el equipo no lograra estabilizar los datos. A pesar de que el hidrociclón lleva a cabo una separación de partículas, el hidrociclón puede llevarse material grueso en los finos, provocando taponamientos. También estos valores se pueden deber a que al llevarse a cabo el paro de un molino, al arrancarlo puede traer más carga o más agua y producen que estos valores cambien, entonces se debe de esperar a que se estabilicen las cifras en los molinos y en el equipo.

Algunos valores altos, que van del rango de 38 a 50%, se debieron a que está entrando mucho sólido con poca agua, esto es la

diversificación en las variables de operación de tonelaje, agua molino y agua de dilución. Los valores altos de % de sólidos en peso en la pulpa fueron provocados por un agua de dilución bajo y tonelaje alto. Y viceversa, al tener una cantidad alta de agua de dilución, provoca que el porcentaje de sólidos y/o de malla, sea bajo. Algo similar sucedió con la potencia del molino, si esta subía provoca que el tonelaje bajará, induciendo que subiera el nivel de agua y se obtuvieran sólidos y tamaño de partícula bajo.

3.1 Resultados del método estadístico de Pearson

En las tablas 3.1.1 a 3.1.4, se muestran los resultados de un análisis comparativo del coeficiente de relación de Pearson, entre las variables de porcentaje de sólidos del PSI y el porcentaje de sólidos calculado.

Tabla 3.1.1. Resultados prueba estadística Pearson, para molinos sección 1, septiembre.

Molino No.	Pearson
1	0.2365
2	0.1593
3	0.0890
4	0.6597
5	0.5886
6	0.2821

En la tabla 3.1.1 se muestran los valores del coeficiente de relación de Pearson para la primera sección de molinos del mes de septiembre. En esta tabla se puede observar que el molino 4, arroja la

cifra de 0.6597, este valor indica que la relación entre los dos parámetros no es tan aproximada a 1, pero es el molino que mejor se comportó en ese mes. Sin embargo en el molino 3, da un número de Pearson 0.0890, el valor indica que la relación entre los dos parámetros es dispersa, debido a que existía un taponamiento continuo del PSI, esto ocurre por carga gruesa, alguna obstrucción en el equipo y que las mangueras estaban mal colocadas, es decir, se encontraban dobladas lo cual impedía el flujo de la pulpa al PSI.

Tabla 3.1.2 Resultados prueba estadística Pearson, para molinos sección 2, septiembre.

Molino No.	Pearson
7	0.4624
8	0
9	0.34469
10	0.8737
11	-0.0844
12	0.5023

En la tabla 3.1.2, observó que en el molino 10 obtuvo el valor de 0.8737, esto indica la buena correlación que existente entre los sólidos calculados y los sólidos del PSI, en cambio en los valores del molino 11, da un valor negativo de -0.0844, esto significa que mientras un valor porcentual aumenta el otro disminuye y con muy baja correlación, debido a que en el mes de septiembre, este molino tuvo muchos paros y los valores registrados fueron de 0, se confirmar en la tabla 9 del Apéndice A. El molino 8, tiene una correlación de cero, pero en ese

molino cabe mencionar que no se encontraba con densímetro, por tanto todos los valores que arrojó este molino van a ser cero.

Los valores tan dispersos del mes de septiembre se debieron a que apenas se comenzó a efectuar un control y evaluación de los equipos PSI, en este mes se trató de estabilizar dichos valores, con pruebas diarias con el fin de introducirlos al sistema experto.

Tabla 3.1.3. Resultados prueba estadística Pearson, para molinos sección 1, octubre.

Molino No.	Pearson
1	0.2029
2	0.3478
3	0.3839
4	0.9830
5	0.0536
6	0.4819

En la tabla 3.1.3 se muestran los resultados para el coeficiente de relación de Pearson para los molinos de la primera sección del mes de octubre, en el caso del molino 4 se observó un valor de 0.9830, este valor indica que la relación entre los dos parámetros es elevada ya que el valor es casi uno. Por lo que se puede mencionar que el control de los sólidos del PSI con respecto a los sólidos calculados fue más cercano entre sí. Esto se confirma en la tabla 11 del Apéndice A y se observa que solo hubo un paro de la operación del molino el primer día del mes y que los valores de sólidos del PSI, calculados y tamaños de partícula son más cercanos entre sí.

Tabla 3.1.4. Resultados prueba estadística Pearson, para molinos sección 2, octubre.

Molino	Pearson
No.	
7	0.9237
8	0
9	0.9438
10	0.6180
11	0.0927
12	0.4695

En la tabla 3.1.4, se observan los resultados del coeficiente de correlación de Pearson para los molinos de la segunda sección del mes de octubre. En el molinos 7 el coeficiente Pearson fue 0.9237 y en el molino 9 con un coeficiente de Pearson de 0.9438, se observó que su relación es próxima a uno, lo que nos indica que su control y monitoreo en este mes también fue mejorando, esto se confirma en las tablas 13 y 15 del Apéndice A.

3.2 Resultados del % Sólidos en peso y % Ac (+) (150 μ m)

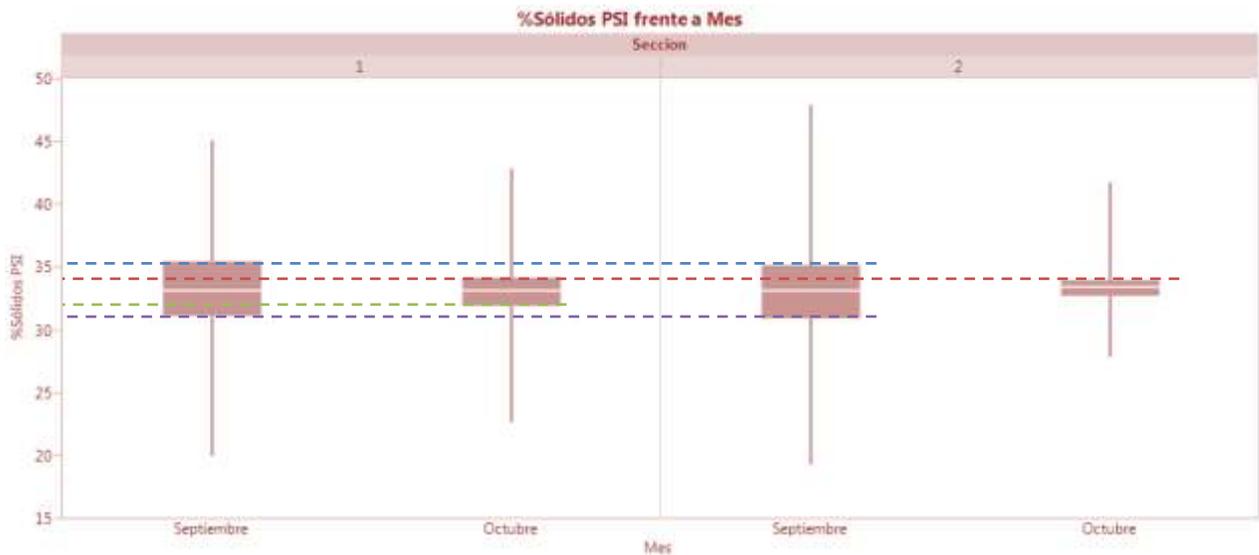


Figura 3.2.1. Resultados comparativos del %Sólidos en peso del PSI del mes de septiembre y octubre de la sección 1 y 2.

Otros de los resultados importantes a evaluar fue el % de Sólidos en peso del PSI, los cuales se muestran en la figura 3.2.1, aquí se representan los valores promedio de la sección 1 y 2 para los meses septiembre y octubre. Para la sección 1, los resultados de septiembre se encontraban en el intervalo de 32-36 %Sólidos, con valores muy dispersos entre sí, en cambio en el mes de octubre el rango disminuyó en un intervalo 31-34 %Sólidos.

Lo mismo pasa en la sección 2, ya que se logró la disminución en la dispersión de valores, para septiembre en un intervalo de 32-35% y para el mes de octubre se tuvo una variación de una unidad porcentual.

Esto nos indica que se mejoró notablemente el control de los sólidos para las dos secciones, ya que se bajó el grado de dispersión de las dos secciones y se concentraron los valores en el rango óptimo para el equipo PSI.

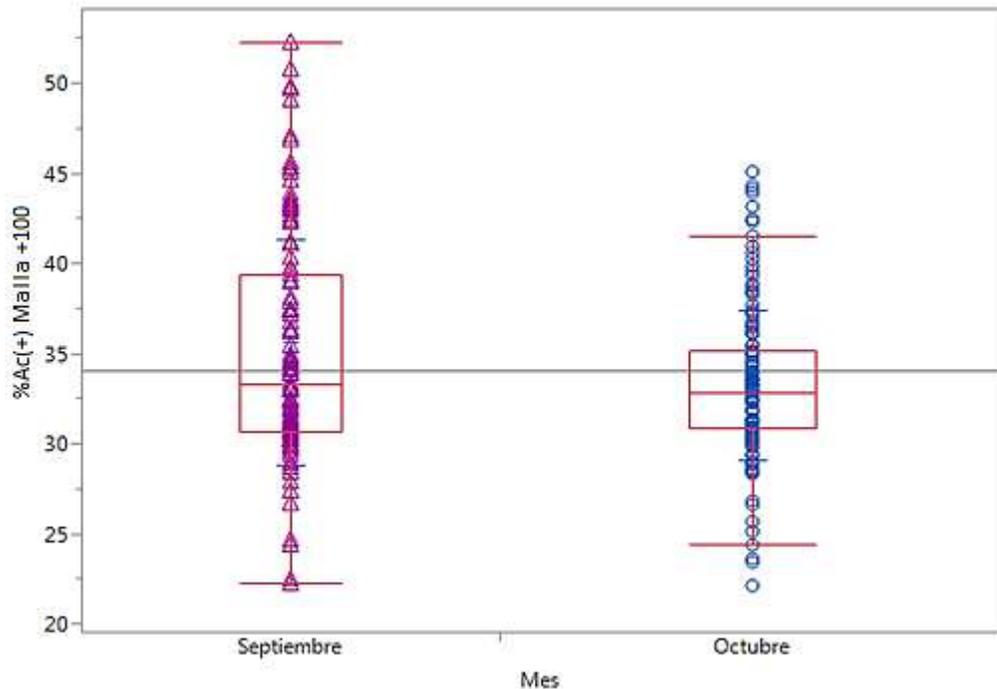


Figura 3.2.2. Resultados comparativos de la %Ac (+) Malla 100 del mes de septiembre y octubre de la sección 1.

Tabla 3.2.1. Resultados de las medias y desviación estándar para los meses de septiembre y octubre, sección 1.

Cuantiles			
Nivel	Mínimo	Mediana	Máximo
Septiembre	22.25	33.32	52.3
Octubre	22.1	32.78	45.07

Medias y desviaciones estándar			
Nivel	Número	Media	Desviación estándar
Septiembre	140	35.0689	6.27566
Octubre	169	33.2502	4.16180

En la figura 3.2.2 se presentan los datos de porcentaje acumulado positivo de malla +100 del mes de septiembre comparada con octubre para la primera sección, en la cual se observa que los valores se agruparon un intervalo de 31-34% para el mes de octubre. En la tabla 3.2.1, se observa que la dispersión de estar en un rango de 22% a 52 %, bajó 7 unidades para el mes de octubre, de tener una media de 33% se redujo una unidad porcentual en los sólidos, lo cual es un resultado

favorable para el PSI, ya que hubo un buen control en el tamaño de partícula.

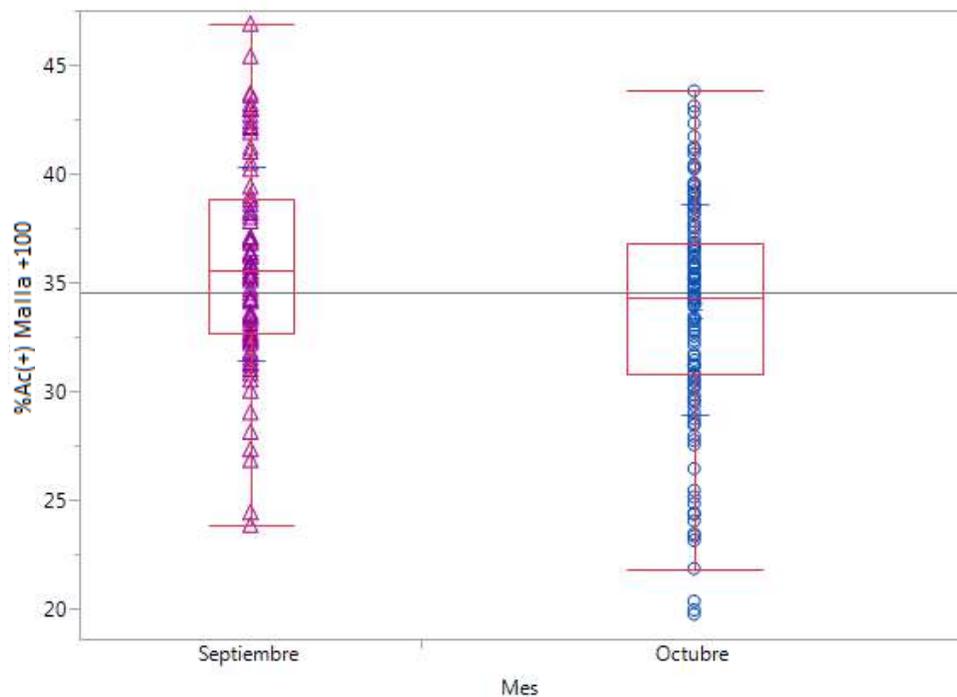


Figura 3.2.3. Resultados comparativos del %Ac (+) Malla +100 del mes de septiembre y octubre de la sección 2.

Tabla 3.2.2. Resultados de la Malla +100, medias y desviación estándar para los meses de septiembre y octubre, sección 1.

Cuantiles			
Nivel	Mínimo	Mediana	Máximo
Septiembre	23.81	35.5	46.9
Octubre	19.7	34.25	43.8

Medias y desviaciones estándar			
Nivel	Número	Media	Desviación estándar
Septiembre	103	35.8178	4.46327
Octubre	164	33.7049	4.83879

En la figura 3.2.3, se muestra la gráfica comparativa del porcentaje acumulado positivo de malla 100 de la sección dos para el mes de septiembre y octubre, se observa que en ésta sección no se disminuyó

tanto la dispersión. En la tabla 8 se aprecia que se incrementó el grado de dispersión de la mediana en prácticamente 1%. Esto se debió a que se registraron los valores con mayor frecuencia en el porcentaje de sólidos que en la malla para la sección 1, dado la facilidad de realización de toma de muestra.

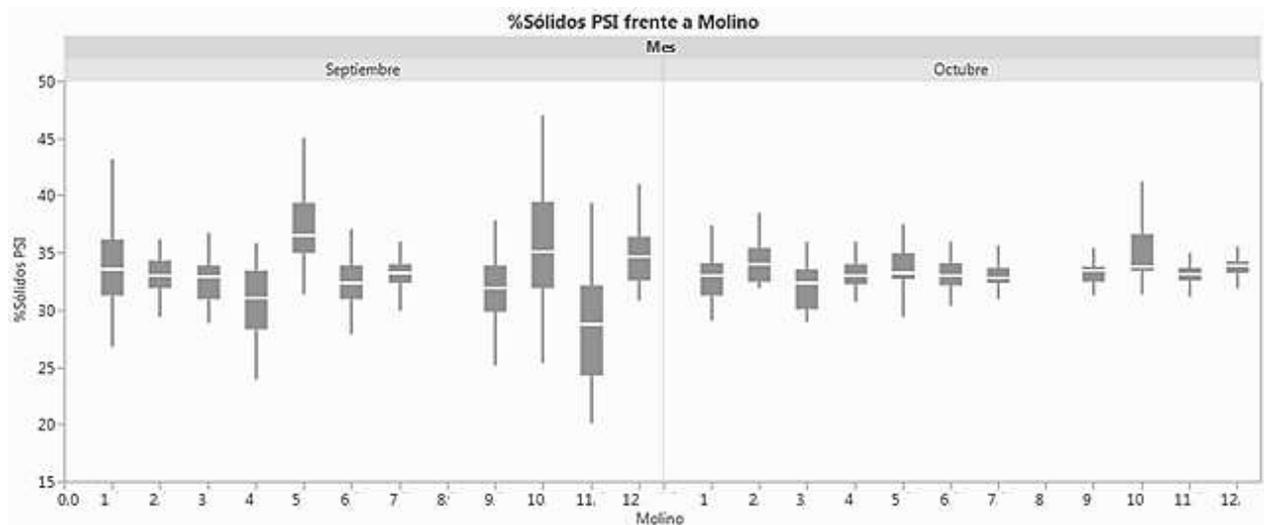


Figura 3.2.4. Resultados comparativos del %Sólidos en peso cada PSI vs molino del mes de septiembre y octubre.

En la figura 3.2.4, se presenta la gráfica comparativa del porcentaje de sólidos en peso en la pulpa registrado en el PSI para cada uno de los molinos, que comprenden el mes de septiembre y octubre. Se observó que para cada molino, se redujo por lo menos un 10% en la varianza de resultados, lo que indica que sí hubo una mejora en el control del equipo PSI, tanto en monitoreo como en la calibración del mismo. (No se graficaron los datos del molino 8 ya que todos son incorrectos debido a la falta de densímetro).

También en esta figura se observó, que los molinos 4, 7 y 11 redujeron notablemente su variación de datos. Debido a varios factores, tales como: a) el cortador del equipo no estaba tapado, b) las

mangueras que alimentan la pulpa al equipo no estaban dobladas o "chupadas", lo cual ayudó a evitar taponamientos del equipo PSI, así como la descalibración.

A través del sistema experto, sí se tiene un control del porcentaje de sólidos en los molinos, éste mantiene estable los valores de tonelaje, potencia, granulometría, nivel de cajón, etc. Ya que esta es su función, estabilizar los parámetros, para que así el operador no tenga que mover las variables manualmente, sino de manera automática.

3.3 Resultados del % de Recuperación de Cu y Mo.

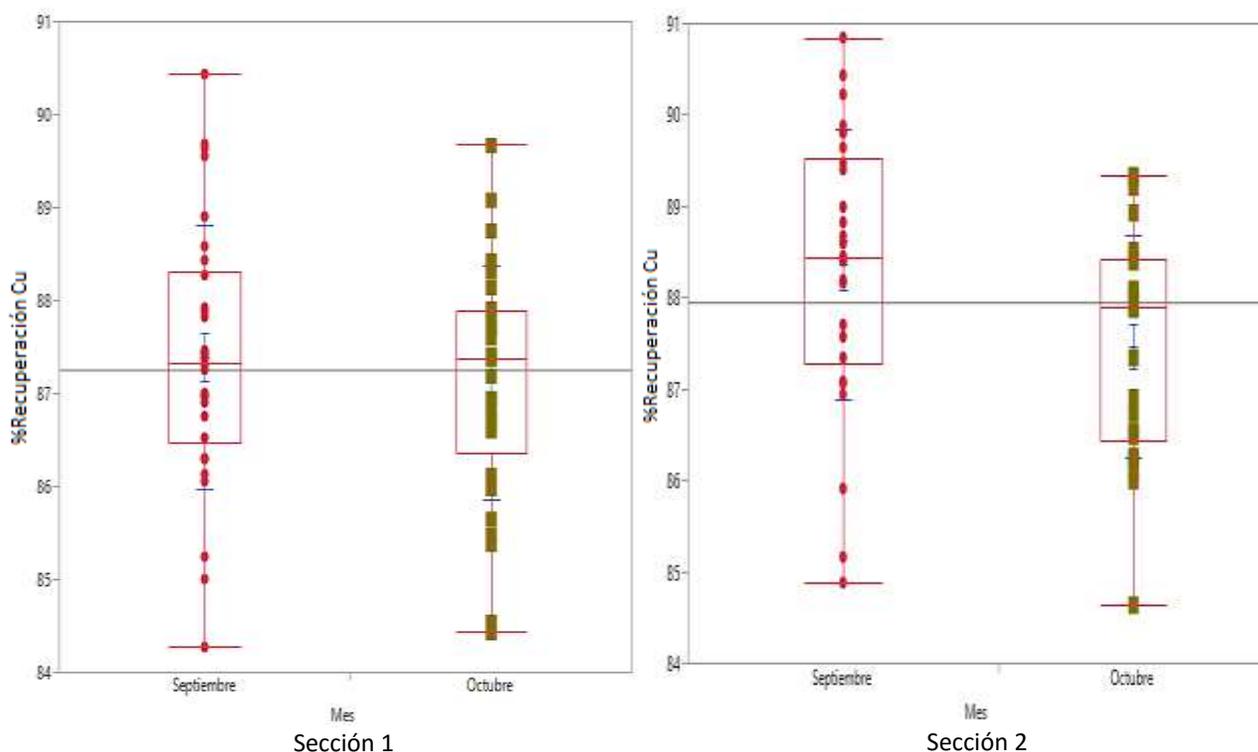


Figura 3.3.1. %Recuperaciones Cobre del mes de septiembre y octubre, sección 1 y 2.

Tabla 3.3.1. Resultados de las recuperaciones de Cobre, para septiembre y octubre, sección 1 y 2.

Cuantiles				Cuantiles			
Nivel	Mínimo	Mediana	Máximo	Nivel	Mínimo	Mediana	Máximo
Septiembre	84.27	87.33	90.43	Septiembre	84.88	88.44	90.84
Octubre	84.43	87.37	89.67	Octubre	84.64	87.89	89.34

Medias y desviaciones estándar				Medias y desviaciones estándar			
Nivel	Número	Media	Desviación estándar	Nivel	Número	Media	Desviación estándar
Septiembre	30	87.3893	1.41705	Septiembre	30	88.3597	1.48377
Octubre	30	87.1121	1.26000	Octubre	30	87.4662	1.21918

Sección 1

Sección 2

En la figura 3.3.1, se observaron las recuperaciones de Cobre en el concentrado final. En Tabla 3.3.1, se observa con mayor precisión, que en el mes de septiembre para la sección 1, hubo una mayor

recuperación de cobre, por lo menos de un 1%. También disminuyó el grado de dispersión de valores para el mes de octubre y se concentraron mayores datos en el rango 86-87% se observa en el cuartil (cuadrado) rojo. Lo mismo sucedió en la sección 2, se bajó el grado de dispersión de datos y se subió la recuperación hasta 88%, pero en esta sección hubo menor recuperación de cobre en el mes de octubre, debido a que la mena no tenía un mineral tan procesable para obtener sus leyes.

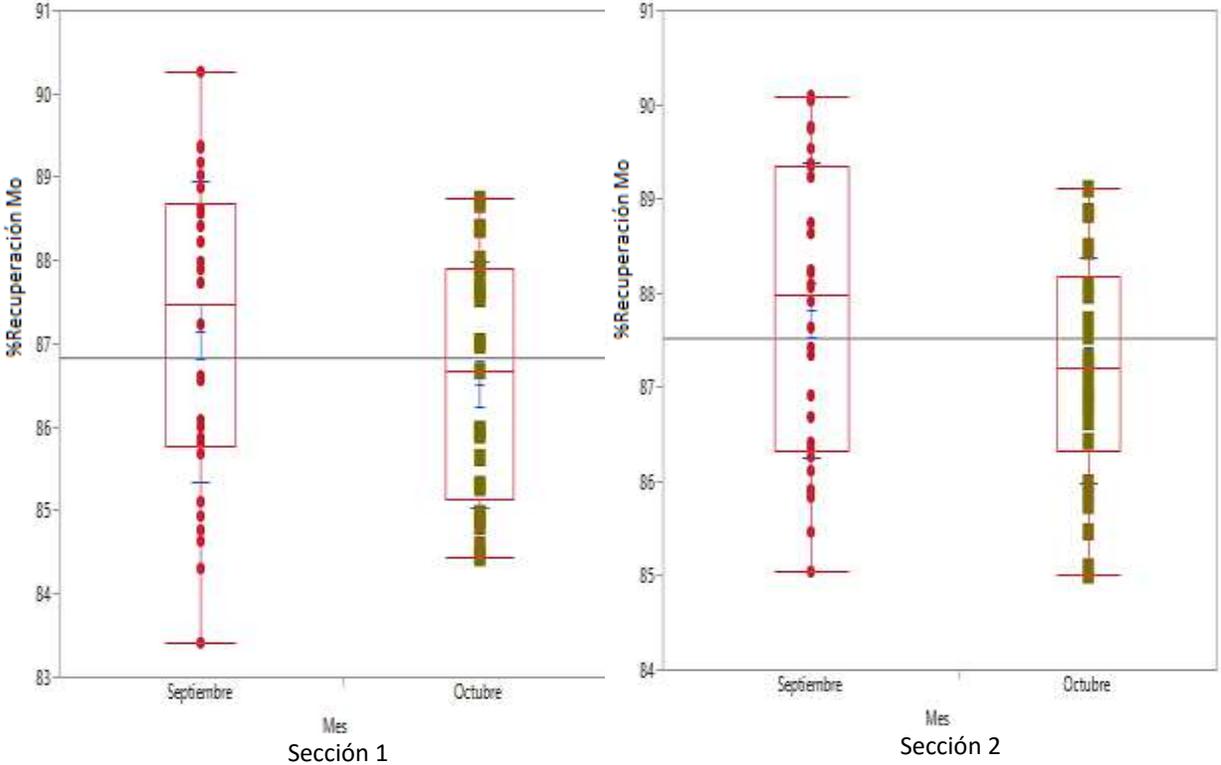


Figura 3.3.2. %Recuperaciones Molibdeno en el concentrado de Cu para el mes de septiembre y octubre, sección 1 y 2.

Tabla 3.3.2. Resultados de las recuperaciones Molibdeno en el concentrado de Cu, medias y desviación estándar para septiembre y octubre, sección 1 y 2.

Cuantiles			
Nivel	Mínimo	Mediana	Máximo
Septiembre	83.41	87.48	90.26
Octubre	84.44	86.68	88.74

Medias y desviaciones estándar			
Nivel	Número	Media	Desviación estándar
Septiembre	30	87.1427	1.81212
Octubre	30	86.5172	1.47631

Cuantiles			
Nivel	Mínimo	Mediana	Máximo
Septiembre	85.04	87.985	90.09
Octubre	85.01	87.2	89.11

Medias y desviaciones estándar			
Nivel	Número	Media	Desviación estándar
Septiembre	30	87.8097	1.56334
Octubre	30	87.1842	1.19612

En la figura 3.3.2 y tabla 3.3.2, se observa que en la sección 1, la media del % de recuperación para Molibdeno, se encontraba en 87.6%, también se bajó el grado de dispersión de datos pero hubo una menor recuperación de cobre para el mes de octubre, cuando en este mes se había mejorado el control de tamaño de partícula. Lo mismo paso para la sección 2, hubo una menor recuperación de Molibdeno para el mes de octubre.

3.4 Resultados del % de Ley de Cu y Mo

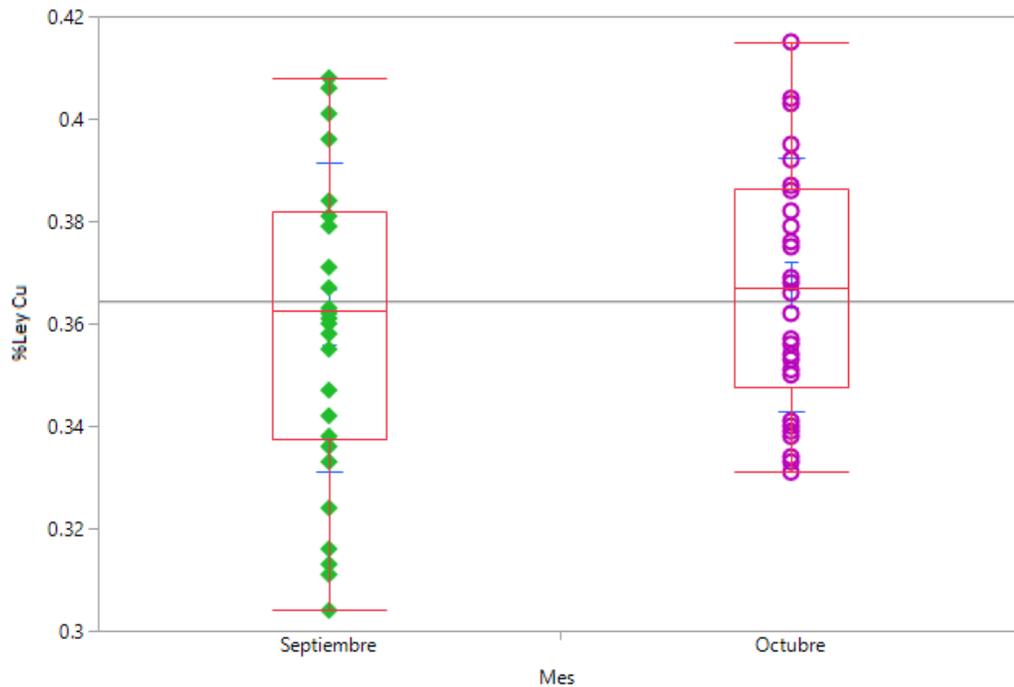


Figura 3.4.1. %Ley de Cobre para el mes de septiembre y octubre, sección 1.

Tabla 3.4.1. Resultados del %Ley de Cobre, medias y desviación estándar para los meses de septiembre y octubre, sección 1.

Cuantiles			
Nivel	Mínimo	Mediana	Máximo
Septiembre	0.304	0.3625	0.408
Octubre	0.331	0.367	0.415

Medias y desviaciones estándar			
Nivel	Número	Media	Desviación estándar
Septiembre	30	0.361233	0.030134
Octubre	30	0.367567	0.024748

En la figura 3.4.1 y en la tabla 3.4.1, se observa que para el mes de octubre hubo un mayor porcentaje de ley. Aunque fue mínimo, se obtuvieron resultados favorables al controlar el tamaño de partícula observándose una menor dispersión de datos.

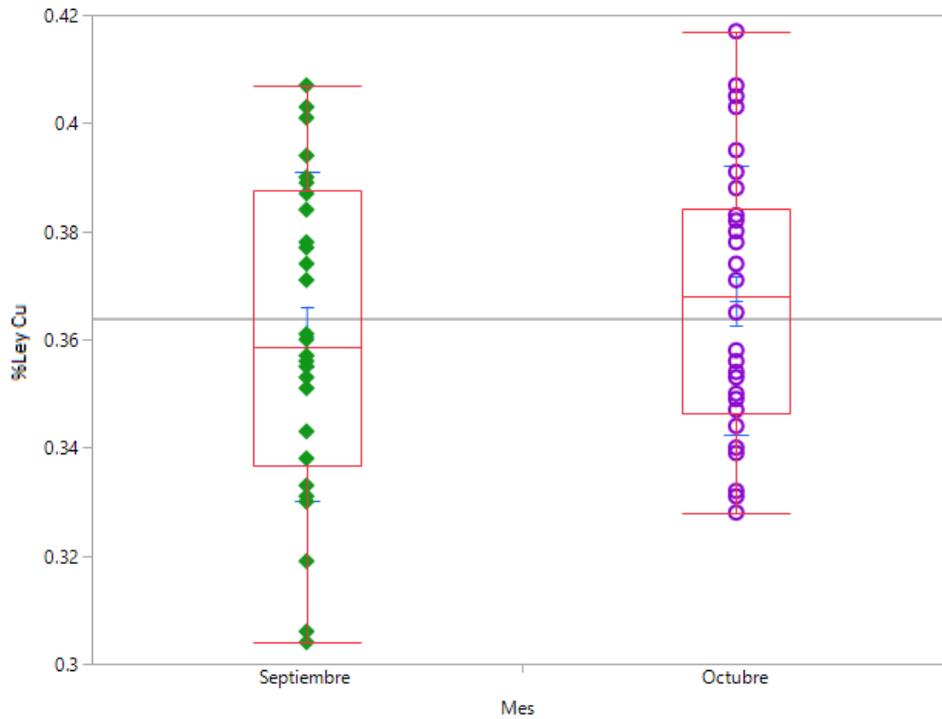


Figura 3.4.2. %Ley de Cobre para el mes de septiembre y octubre, sección 2.

Tabla 3.4.2. Resultados del %Ley de Cobre, medias y desviación estándar para los meses de septiembre y octubre, sección 2.

Cuantiles			
Nivel	Mínimo	Mediana	Máximo
Septiembre	0.304	0.3585	0.407
Octubre	0.328	0.368	0.417

Medias y desviaciones estándar			
Nivel	Número	Media	Desviación estándar
Septiembre	30	0.360533	0.030520
Octubre	30	0.367233	0.024854

En la figura 3.4.2 y tabla 3.4.2, se observa que hubo una mayor calidad del concentrado de Cu para el mes de Octubre, también hubo una menor dispersión de datos en este periodo.

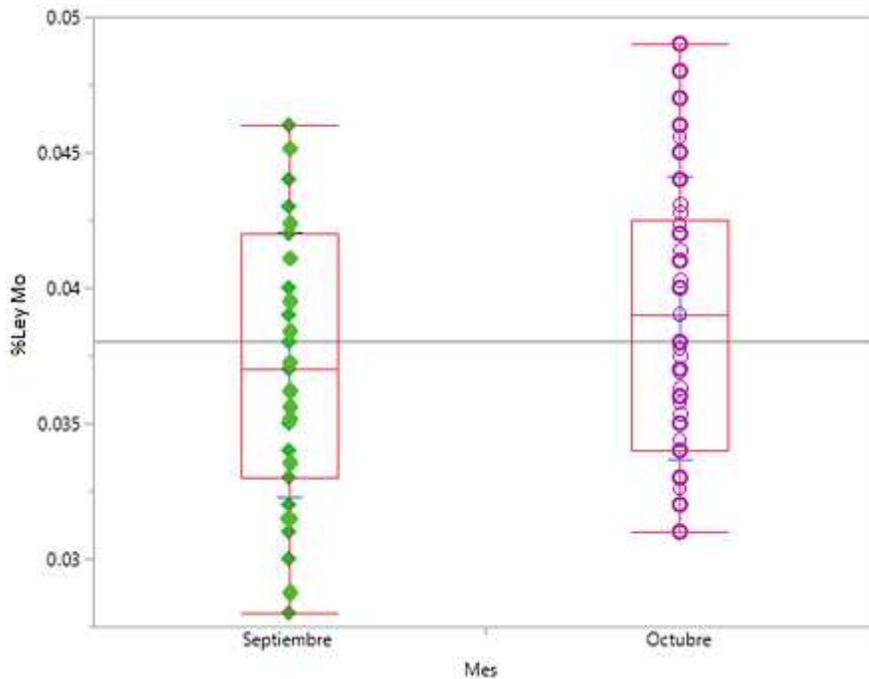


Figura 3.4.3. %Ley de Molibdeno en el concentrado de Cu, para el mes de septiembre y octubre, sección 1.

Tabla 3.4.3. Resultados del %Ley de Molibdeno en el concentrado de Cu, medias y desviación estándar para los meses de septiembre y octubre, sección 1.

Cuantiles			
Nivel	Mínimo	Mediana	Máximo
Septiembre	0.028	0.037	0.046
Octubre	0.031	0.039	0.049

Medias y desviaciones estándar			
Nivel	Número	Media	Desviación estándar
Septiembre	30	0.037167	0.004907
Octubre	30	0.038900	0.005222

En la figura 3.4.3 se observa que para la sección 1, hubo un mayor porcentaje de Ley del Molibdeno en el concentrado final de cobre para el mes de octubre, en el cuantil rojo hubo mayor concentración de datos en un rango de 0.035 a 0.043.

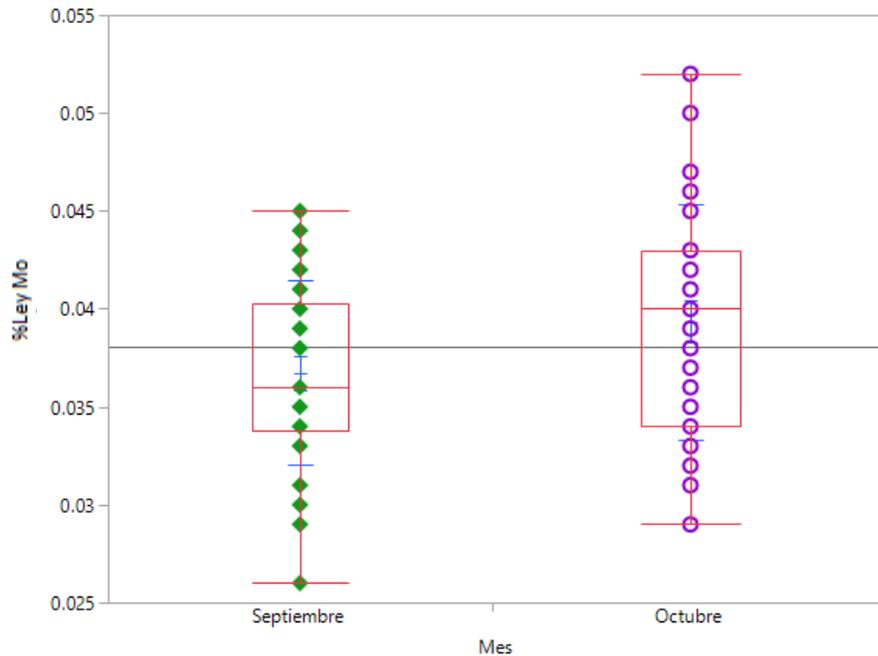


Figura 3.4.4. %Ley de Molibdeno en el concentrado de Cu para el mes de septiembre y octubre, sección 2.

Tabla 3.4.4. Resultados del %Ley de Molibdeno en el concentrado de Cu, medias y desviación estándar para los meses de septiembre y octubre, sección 2.

Cuantiles			
Nivel	Mínimo	Mediana	Máximo
Septiembre	0.026	0.036	0.045
Octubre	0.029	0.04	0.052

Medias y desviaciones estándar			
Nivel	Número	Media	Desviación estándar
Septiembre	30	0.036733	0.004719
Octubre	31	0.039355	0.006009

En el caso del Molibdeno, para la sección 2 (Fig. 3.4.4), hubo un mayor porcentaje de ley de Mo en el concentrado final de Cu para el mes de octubre, sin embargo, todos estos valores son en realidad muy bajos en un concentrado final de cobre. Al comparar los resultados de recuperación y %Ley, se observa que hubo menor recuperación de

Molibdeno, con un ligero incremento en el grado de %Ley como se rectifica en la figura 3.4.5.

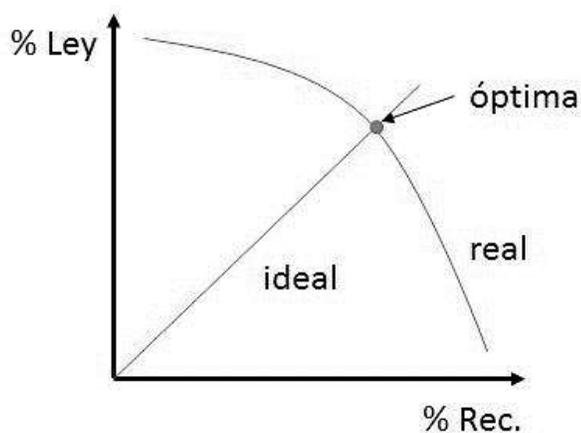


Figura 3.4.5. Grafica de la %Recuperación vs %Ley.

A pesar de que se incrementó el % de Ley de Mo en el concentrado de Cu, es importante aclarar que este resultado es pequeño comparado con el grado de %Ley de Cu y con los tonelajes que se manejan en la mina de cobre. Los datos que se obtuvieron en la tabla 3.4.4 indican las leyes bajas de Mo en el concentrado final de Cu, lo cual es favorable, ya que es lo que se pretende que haya bajos contenidos de Mo en el concentrado final de Cu puesto que el porcentaje de Ley de Mo máximo permisible en el Cu es de 0.10.

3.5 Resultados del monitoreo del Sistema Experto

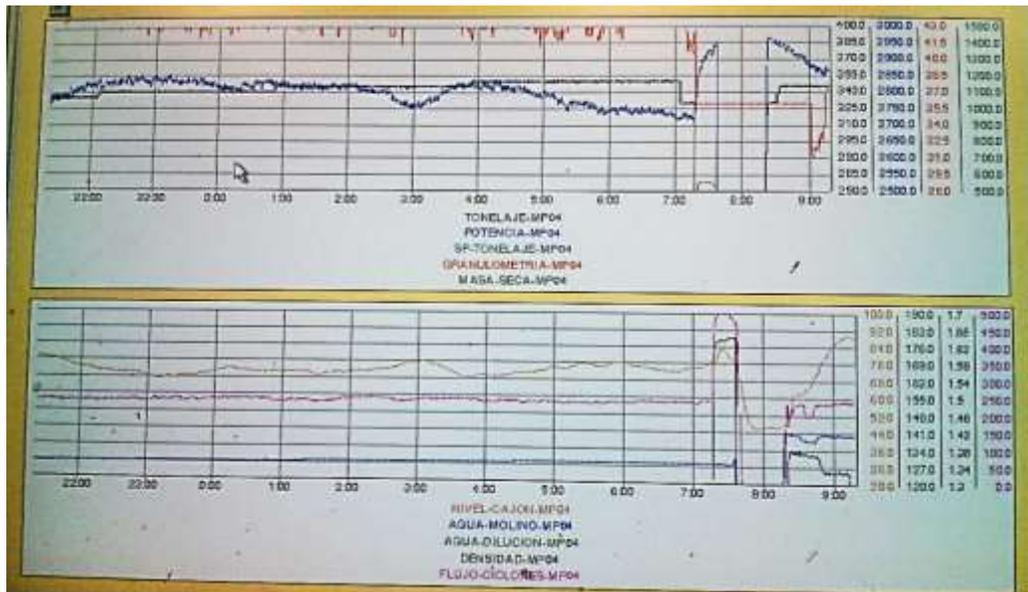


Figura 3.5.1. Grafica de las variables operativas del molino 4.

La figura 3.5.1 es una imagen que representa las variables de operación que tratan de estabilizar el sistema experto, esta imagen es del 20 de septiembre del 2015 (no se habían realizado calibraciones y mantenimientos correctivos en los equipos), donde se observa que las variables de operación se encuentran muy inestables. Estas variables se controlan durante todo el día y todos los días, para observar si es viable meter el equipo PSI a experto.

En dicha imagen también se observa un decaimiento de tonelaje a las 7:00 am debido a que la potencia (línea azul) se elevó notablemente, de 2700 Kw a 2950 Kw, posteriormente disminuyó durante media hora a un valor de cero y volvió a subir a 2950 Kw, para ir disminuyendo después de una hora. Este valor se debe a que hubo un paro en la operación el molino.

Referente al parámetro de la granulometría para el molino 4 (línea roja), se observó que el %Ac (+) en la malla +100 (150 μ m) en el

derrame del ciclón, la "granulometría" marcaba valores superiores a 40%, esto se debió a que al parar y arrancar de nuevo el molino, éste llevaba carga más gruesa provocando que el PSI se tapara.

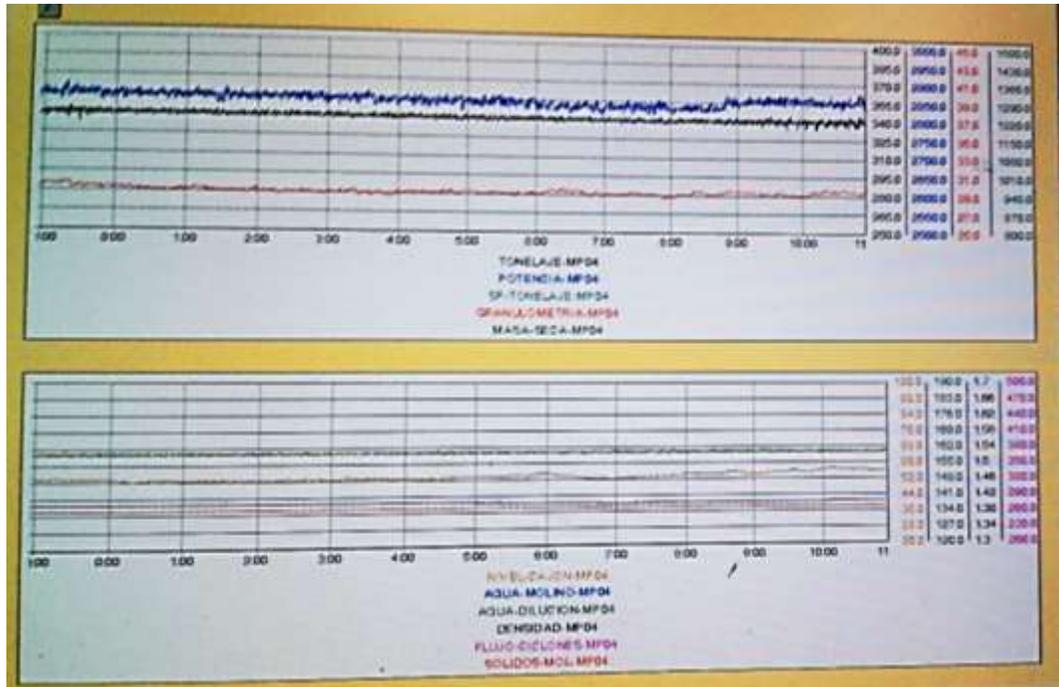


Figura 3.5.2. Grafica variables operativas del Molino 4.

La figura 3.5.2 corresponde a las variables de operación del día 3 de octubre del 2015, se observa que las variables de operación se estabilizaron, y la granulometría permanecía estable en el valor de 30%Ac (+) en el tamaño de malla +100.

Esta estabilización se pudo llevar a cabo en varios molinos por cierto número de horas, sin embargo para que el equipo PSI se pueda meter a experto, las variables no deben de cambiar por lo menos en una hora, no siempre se pudieron estabilizar los datos debido a los paros programados en el molino, el mineral que llegaba de mina o los taponamientos que había en el PSI.

Finalmente se encuentran las siguientes correlaciones del proceso:

El agua de dilución es controlada por su relación con el tamaño de partícula en el derrame del hidrociclón. El agua de alimentación a molino controla proporcionalmente el tonelaje de mineral alimentado al circuito.

Si la dureza del mineral aumenta, la carga circulante se incrementará y con ello, el tonelaje de pulpa alimentado a ciclones, con lo que la acción del control será la de disminuir el tonelaje de mineral alimentado por la banda al circuito.

El tamaño de partícula en el derrame del ciclón, concretamente en el porcentaje %Ac (+) de malla +100 se detecta por medio del PSI, su valor modificará la adición de agua de dilución a efecto de obtener un tamaño de partícula constante.

En este caso, se fijó un valor de control inicial de malla +100, y la acción de control fue la de aumentar la adición de agua de dilución. Si el tamaño de partícula es menor a la malla +100 (150 μm), se disminuye la cantidad de agua de dilución.

Por lo tanto, al tener un control sobre el tonelaje de alimentación al circuito y sostener un tamaño de partícula constante en el derrame del ciclón, se controla tanto la cantidad como la calidad de la molienda.

El tamaño de partícula en el derrame del ciclón es determinante para los tonelajes que se desean procesar en la molienda y la selección del tamaño requerido en un momento dado, ya que dependerá de la liberación que presenten los minerales de cobre, al trabajar con distintas durezas.

Se observa con los resultados mostrados anteriormente que el control y monitoreo de datos se vio favorecido al tener mayor grado porcentaje de Ley para Cobre y menor recuperación para Molibdeno en el concentrado de Cu.

Capítulo 4.

Conclusiones

Capítulo 4. Conclusiones

- Al controlar el %Ac (+) y %Sólidos en peso (con intervalo óptimo de 32-34%) se puede operar el PSI a experto y así estabilizar las variables de operación.
- El problema más frecuente en el PSI fue la obstrucción del equipo.
- Un adecuado funcionamiento del PSI dio como resultado una variabilidad en la misma proporción en el porcentaje de recuperación de cobre y el molibdeno.
- Se obtuvo un menor porcentaje de recuperación para Cobre, con un incrementó en sus porcentajes de Ley.
- Se obtuvo un porcentaje de recuperación alto para el Molibdeno y un mayor grado %Ley de éste en el concentrado final de Cu, estos porcentajes son coherentes respecto al grado de ley final de cobre.
- Las condiciones para que no haya variabilidad tanto en experto como en el equipo PSI son: a)la potencia debe haber estado estable por más de 1 hora, b)el molino debe haber estado operando sin cortes de carga y c)los ciclones hayan estado trabajando en condiciones de operación deseadas.
- El monitoreo y control diario del PSI coadyuvó en alcanzar los valores de porcentajes de sólidos en peso y el acumulado (+) en los intervalos que se requieren en la planta, es decir, un intervalo de 32-34%.

Capítulo 5.

Recomendaciones

Capítulo 5. Recomendaciones

- Se estableció una rutina de inspección mientras se llevó a cabo este proyecto y es recomendable que ésta rutina prevalezca en cada uno de los equipos PSI a fin de que no ocurran taponamientos del mismo por partículas que generen obstrucciones.
- Es necesario cambiar el tipo de cortador que se encuentra en el derrame del hidrociclón, debido a que esta variable es una causa de dispersión.
- Sería prudente cambiar la forma en que llega la pulpa del derrame al PSI, ya que ésta es una de las causas de obstrucción.

Capítulo 6.

Bibliografía

Capítulo 6. Bibliografía

- [1] Datos obtenidos de Mexicana de Cobre, Sonora, Grupo México, Septiembre 2015.
- [2] *La molienda de hoy: Mecano-síntesis, Mecano-química o Mecano-activación* por Dr. Ezequiel Cruz "et al". Revista GEOMIMET, 1(250), p.p. 22-25, 2004.
- [3] Codelco, Portal Minero, "Chancado y molienda"
<Consultado en línea >
[https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/escolares_chancado_y_molienda.asp] Fecha de consulta (03/11/15)
- [4] Kelly, E. y Spottiswood, D., "Introducción al Procesamiento de Minerales", México, Ed. Limusa, 1990. Págs. 254, pág. 183-191.
- [5] VOLKE Sepúlveda, Tania, Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Ed. Instituto nacional de ecología, México, 2005, pág. 42-44, 50-53.
- [6] SALTIJERAL, Juan Héctor and ARREOLA, Humberto. *Aplicación de un sistema experto en la molienda de "La Caridad"*. Revista GEOMIMET, 1(18): 240-249, 1989.
- [7] OGATA, Katsuhiko. "Ingeniería de control moderna". 4ta Edición, Madrid, Ed. Pearson, 2003. Pp. 661-683.
- [8] CREUS, Antonio. "Instrumentación industrial." 6ta edición, México, Ed. Alfaomega, 1997. Pp. 505-515, 741-750.

- [9] Anónimo, "Hidrociclones cálculo de D50", <Consultado en línea>
[<http://www.academia.edu/7274416/Hidrociclones-Calculo-de-D50>] (fecha de consulta 10/04/216)
- [10] HUERTA, C. Antonio, "Clasificación de un hidrociclón", Apuntes Beneficio de Minerales, Universidad Nacional Autónoma de México, 24 de abril de 2013.
- [11] OUTOTEC, "Manual de operación PSI 200, Indicador de tamaño de partícula." México 2013, Rev. 1.10. Págs.60. Pág.6-7, 11-17, 18-35, 53-58.
- [12] Klimpel, R. (1997). Introduction to the principles of size reduction of particles by mechanical means. 1st ed. [ebook] University of Florida, pp.16-17. Available at: https://books.google.com.mx/books/about/Introduction_to_the_Principles_of_Size_R.html?id=ToUQAQAAMAAJ&redir_esc=y [Fecha de consulta 8 Feb. 2016].
- [13] LOYOLA, Marcos, "Analizador tamaño de partículas PSI" <Consultado en línea>
[http://sp.dfmc.cc/product/product_74.html] fecha de consulta (3/11/15).
- [14] FLSmith & Krebs. "Instalation, operation and maintenance manual. GMax Cyclones." Tucson, 2012. Págs. 44, Pág. 36

APÉNDICE

APENDICE A. Tablas de resultados del %Sólidos en peso y %Ac (+) para los 12 molinos de los meses de septiembre y octubre del 2015.

Tabla 1. Resultados de %Sólidos en peso y Malla +100 que se determinaron a través de un análisis granulométrico, sección 1.

Reporte de mallas molino 4				26-sep-15		
Muestra	1	2	3	4	5	6
Peso Total (g)	1356	1428.01	1243.39	1303.48	1207.29	1293.94
Peso Bote (g)	89.4	87.59	89.12	87.76	88.14	89.49
Peso Pulpa (g)	1266.6	1340.42	1154.27	1215.72	1119.15	1204.45
+ 100 (g)	127.68	167.16	108.34	108.56	106.5	114.08
-100 (g)	285.4	303.54	248.07	259.12	237.52	252.79
Peso Seco (g)	413.08	470.7	356.63	365.62	351.6	366.87
% Solidos	32.61	35.12	30.90	30.07	31.42	30.46
%Malla +100	30.91	35.51	30.44	29.13	32.45	31.10

Tabla 2. Resultados comparativos del %Sólidos en peso y Malla +100, laboratorio vs PSI, para el molino 4.

Muestra	1	2	3	4	5	6	
%Sólidos	Laboratorio	32.61	35.12	30.90	30.07	31.42	30.46
	PSI	32	34	29	29	29	29
% Malla+ 100	Laboratorio	30.91	35.51	30.44	29.13	32.45	31.10
	PSI	28.88	30.18	28.37	27.97	28.63	28.46

Tabla 3. Resultados del %Sólidos en peso y Malla +100 del PSI vs laboratorio y variables de la ecuación de cálculo que muestra el PSI.

		REPORTE DE MALLAS MOLINO 4					
		26-sep-15					
		PSI			Derrame		
	Muestra	Bote 1	Bote 2	Bote 3	Bote 4	Bote 5	Bote 6
Laboratorio	%Sólidos	32.61	35.12	30.90	30.07	31.42	30.46
	Malla +100	30.91	35.51	30.44	29.13	32.45	31.10
PSI	ID	1168	1169	1170	1171	1172	1173
	V1	356.7	397.1	331.1	326.8	342.7	334.6
	V2	54.6	96.4	60.8	72.7	67.2	58
	Malla +100	28.88	30.18	28.37	27.97	28.63	28.46
	%Sólidos	32	34	29	29	29	29

Tabla 4. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 1 y 2, de septiembre.

Molino 1	%Sólidos		Malla +100	Molino 2	%Sólidos		Malla +100
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/09/2015	31.0	32.66	24.68	01/09/2015	33.8	41.2	42.5
02/09/2015	43.2	32.5	22.25	02/09/2015	33.1	39.3	37.2
03/09/2015	42.5	32.5	22.5	03/09/2015	33.4	36.56	38.12
04/09/2015	28.3	32.3	32.1	04/09/2015	32.1	33.5	46.9
05/09/2015	30.9	32	29.4	05/09/2015	2.3	33.6	46.5
06/09/2015	38.8	33.41	34.1	06/09/2015	-22.33	33.36	-22.32
07/09/2015	38	33.2	31.4	07/09/2015	-22.3	33.1	-22.3
08/09/2015	0	33.8	0	08/09/2015	10.5	33.9	50.7
09/09/2015	23.3	33.6	29.9	09/09/2015	31.7	33	42.7
10/09/2015	26.8	33.31	31.4	10/09/2015	0	32.88	47.48
11/09/2015	27.6	32.4	30.7	11/09/2015	22	3.7	24.8
12/09/2015	36.6	35.39	30.3	12/09/2015	32.38	33.65	43
13/09/2015	33.1	34.2	32.45	13/09/2015	34.3	33.45	42.3
14/09/2015	32.4	32.9	34.25	14/09/2015	35.4	32.67	38.96
15/09/2015	34	34.3	34.98	15/09/2015	32.45	34.56	36.78
16/09/2015	33.2	34.1	33.87	16/09/2015	33	34.79	39.78
17/09/2015	32	33	31.1	17/09/2015	2.3	32.8	50.7
18/09/2015	34.7	34	29.9	18/09/2015	3.2	32.9	45
19/09/2015	34.2	33.1	26.7	19/09/2015	27.7	33.6	43.5
20/09/2015	34.5	33.64	30.23	20/09/2015	-22	34.1	-22
21/09/2015	34.3	34.3	27.4	21/09/2015	-22	35.1	-22
22/09/2015	37	32.9	34.8	22/09/2015	8.1	34.4	41.72
23/09/2015	0	31.6	33.1	23/09/2015	36.2	42.5	45.63
24/09/2015	32	32.4	32.5	24/09/2015	30.1	41.4	44.64
25/09/2015	0	32.4	0	25/09/2015	26.6	33.9	42.25
26/09/2015	33.2	34.22	32.45	26/09/2015	29.43	34.7	42.37
27/09/2015	34.5	33.45	32.96	27/09/2015	34.5	33.5	45.37
28/09/2015	0	33	0	28/09/2015	36	33.4	43.89
29/09/2015	0	32	0	29/09/2015	34	36.5	43.56
30/09/2015	0	34.2	0	30/09/2015	11.8	33.9	44.62

Tabla 5. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 3 y 4, de septiembre.

Molino 3	%Sólidos		Malla +100	Molino 4	%Sólidos		Malla +100
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/09/2015	30.5	31	31.1	01/09/2015	1	0	0
02/09/2015	29.6	31.5	30.9	02/09/2015	0.1	0	0
03/09/2015	30.45	31.4	31.56	03/09/2015	33.12	34.28	31.92
04/09/2015	31.6	32.8	31	04/09/2015	33.7	35.4	29.4
05/09/2015	28.9	33.1	30.2	05/09/2015	0	36.1	0
06/09/2015	31.99	32.59	31.1	06/09/2015	34.97	34.64	30.76
07/09/2015	31.4	32.6	31.5	07/09/2015	33.6	34.5	29
08/09/2015	0	33.2	0	08/09/2015	30.2	33.4	28.7
09/09/2015	33.3	32.8	30.5	09/09/2015	28.1	24.4	27.9
10/09/2015	30.98	34.54	30.2	10/09/2015	0	25.34	0
11/09/2015	33	33.2	31	11/09/2015	0	0	0
12/09/2015	32.98	37.68	31.17	12/09/2015	19.97	32.3	28.71
13/09/2015	33.45	33.58	34.12	13/09/2015	20.38	33.3	28.43
14/09/2015	34.56	33.9	33.24	14/09/2015	25.38	32.8	28.94
15/09/2015	33.24	34.45	34.67	15/09/2015	27.94	32.3	30.48
16/09/2015	32.46	33.1	32.49	16/09/2015	29.57	34.2	30.48
17/09/2015	31	32.9	30.8	17/09/2015	29.2	32.6	30.2
18/09/2015	-25	30.1	-25	18/09/2015	29.6	31.8	30.9
19/09/2015	-25	33.3	-25	19/09/2015	34.2	33.6	31.3
20/09/2015	36.45	35.46	34.24	20/09/2015	33.18	33.5	33.42
21/09/2015	39	34	37.9	21/09/2015	0	33.8	0
22/09/2015	8.1	34.4	41.7	22/09/2015	32	37.2	37.5
23/09/2015	100	32.6	37.5	23/09/2015	24	33.6	31.6
24/09/2015	31.9	32.8	30.5	24/09/2015	30.9	32.9	36.3
25/09/2015	33	33.5	30.6	25/09/2015	31.2	32.2	30.4
26/09/2015	35.46	34.25	34.18	26/09/2015	32.47	33.4	31.83
27/09/2015	33.89	34.27	33.89	27/09/2015	31.48	33.7	32.39
28/09/2015	76	33.2	37.5	28/09/2015	31	33.3	29.8
29/09/2015	36.78	35.46	34.58	29/09/2015	33.7	33.9	30.22
30/09/2015	0	33.4	0	30/09/2015	35.9	33	30

Tabla 6. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 5 y 6, de septiembre.

Molino 5	%Sólidos		Malla +100	Molino 6	%Sólidos		Malla +100
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/09/2015	38.1	35.6	50.8	01/09/2015	39	30.5	35.45
02/09/2015	35.6	33	47.1	02/09/2015	37.1	33.4	32.45
03/09/2015	35.4	33.49	43.28	03/09/2015	36.45	33.48	34.23
04/09/2015	45.1	34.8	39.7	04/09/2015	38.5	32.3	29.65
05/09/2015	35.4	34.7	31	05/09/2015	40.9	32.4	34.68
06/09/2015	37.98	35.54	49.79	06/09/2015	30.94	32.48	28.67
07/09/2015	39	35.2	41.1	07/09/2015	21	33.1	24.4
08/09/2015	40.5	36.5	52.3	08/09/2015	23.9	33.8	49.7
09/09/2015	39.8	33.4	43.6	09/09/2015	25.4	32.9	43.1
10/09/2015	35.79	35.88	53.7	10/09/2015	35.93	33.26	43.34
11/09/2015	34.6	33.5	52.3	11/09/2015	9.3	5.1	3.8
12/09/2015	41.89	44.3	50.03	12/09/2015	0.5	39.64	0.5
13/09/2015	39.45	34.56	49.83	13/09/2015	24.3	35.6	41.23
14/09/2015	39.4	38.48	49.23	14/09/2015	32.3	34.2	40.34
15/09/2015	38.3	34.5	45.3	15/09/2015	31.5	34.56	37.45
16/09/2015	36.45	34.3	37.48	16/09/2015	32.4	33.99	36.3
17/09/2015	39.6	33.8	33	17/09/2015	31.9	33.8	36.2
18/09/2015	31.4	33	34.8	18/09/2015	32	32.4	31.3
19/09/2015	35	34.6	34.1	19/09/2015	31.4	35	32
20/09/2015	37.4	35.46	36.4	20/09/2015	33.2	34.5	32.3
21/09/2015	40.2	36.2	37.4	21/09/2015	33.3	35.7	27.4
22/09/2015	0	33.8	0	22/09/2015	32.9	33.9	31.2
23/09/2015	36.7	34.7	42.7	23/09/2015	32.5	32.6	39.1
24/09/2015	34	32.9	30.6	24/09/2015	25	34.42	26.7
25/09/2015	32.5	33.6	45.1	25/09/2015	34	35.7	33.1
26/09/2015	33.23	33.48	43.21	26/09/2015	32.4	34.56	33.4
27/09/2015	33.45	34.21	45.32	27/09/2015	33.5	33.78	34.5
28/09/2015	35.1	35	49.1	28/09/2015	33.9	33.7	39.4
29/09/2015	35.2	34	39.4	29/09/2015	31.2	33.12	34.2
30/09/2015	10.1	0	0	30/09/2015	27.9	32.9	33.9

Tabla 7. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 7 y 8, de septiembre.

Molino 7	%Sólidos		Malla +100	Molino 8	%Sólidos		Malla +100
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/09/2015	36	37.9	36.3	01/09/2015	0	71.7	27.2
02/09/2015	33.3	36.8	26.8	02/09/2015	0	38.4	0
03/09/2015	33.4	35.4	34.1	03/09/2015	0	35.4	36.4
04/09/2015	0	0	0	04/09/2015	0	32	38.9
05/09/2015	2.4	25.7	0	05/09/2015	0	31.8	35.2
06/09/2015	32.99	34.26	23.81	06/09/2015	0	32.02	39.07
07/09/2015	33.8	33	24.4	07/09/2015	0	32.1	37.5
08/09/2015	30	31.7	11.8	08/09/2015	0	0.1	0
09/09/2015	34	37.8	33.5	09/09/2015	0	32.7	37.4
10/09/2015	0	35.48	0	10/09/2015	0	33.04	35.42
11/09/2015	35	35.4	33.8	11/09/2015	0	32.7	35.5
12/09/2015	0	36.1	0	12/09/2015	0	32.6	35.1
13/09/2015	34	33.4	34.2	13/09/2015	0	32.4	35.4
14/09/2015	32	33.6	34.7	14/09/2015	0	32.8	35.1
15/09/2015	33.3	32.1	35.2	15/09/2015	0	32.7	36.4
16/09/2015	34.2	33.7	33.6	16/09/2015	0	35.2	35.8
17/09/2015	31	33.2	32.2	17/09/2015	0	70.9	36.3
18/09/2015	30	33.9	31.3	18/09/2015	0	70.2	33.8
19/09/2015	32	36.7	32.5	19/09/2015	0	68.7	29.6
20/09/2015	33.4	27.8	28.1	20/09/2015	0	67.4	32.8
21/09/2015	28.6	34.1	31	21/09/2015	0	0.3	18.6
22/09/2015	35	36.8	33.5	22/09/2015	0	69.5	28.9
23/09/2015	33.1	33.2	30.8	23/09/2015	0	70.7	36.7
24/09/2015	34	34.5	30	24/09/2015	0	70.7	0
25/09/2015	33	34.8	29	25/09/2015	0	71.3	0
26/09/2015	33	34.6	32.3	26/09/2015	0	34.5	33.8
27/09/2015	32	34.3	34.7	27/09/2015	0	34.2	32.3
28/09/2015	33.8	35	32.2	28/09/2015	0	33.8	21.1
29/09/2015	34	34.8	33.4	29/09/2015	0	33.6	24.3
30/09/2015	0	34.1	0	30/09/2015	0	34.1	20.7

Nota: En el Molino 8, se tiene datos en cero ya que el equipo del PSI no contaba con serpentín.

Tabla 8. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 9 y 10, septiembre.

Molino 9	%Sólidos		Malla +100	Molino 10	%Sólidos		Malla +100
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/09/2015	31.2	32.9	36.2	01/09/2015	0	2.1	0
02/09/2015	19.1	30.9	35	02/09/2015	0	2.1	0
03/09/2015	31.5	31.4	34.2	03/09/2015	0	2.1	0
04/09/2015	27.8	34.5	35.5	04/09/2015	0	32.4	0
05/09/2015	26.1	33.8	36.9	05/09/2015	0	0.1	0
06/09/2015	36.87	37.11	37.1	06/09/2015	30.79	34.41	35.67
07/09/2015	37.7	36.6	38	07/09/2015	30.6	34.1	35.3
08/09/2015	0	34.6	0	08/09/2015	38.2	36.7	36.4
09/09/2015	28.9	33.2	36.3	09/09/2015	17.4	28.2	19.8
10/09/2015	31.47	33.32	35.85	10/09/2015	0	0	0
11/09/2015	33.3	33.2	36.7	11/09/2015	31.7	35.2	33.7
12/09/2015	0	34.47	0	12/09/2015	44.06	39.95	39.4
13/09/2015	31.2	33.4	36.4	13/09/2015	42.3	39.5	38.3
14/09/2015	31.7	34.2	35.2	14/09/2015	45.3	38.5	34.2
15/09/2015	33.4	33.7	35.4	15/09/2015	40.5	35.4	34.3
16/09/2015	33.7	33.1	36.8	16/09/2015	39.2	34.7	32.9
17/09/2015	0	32.5	0	17/09/2015	41.5	34.2	31.7
18/09/2015	47.9	33.8	37	18/09/2015	32.8	32.7	30.5
19/09/2015	37.9	36.9	36.9	19/09/2015	47	36.8	33.3
20/09/2015	0.1	34	0	20/09/2015	35.6	34.9	31.8
21/09/2015	0	34.1	0	21/09/2015	34.8	32.3	31.5
22/09/2015	25.2	34.5	38	22/09/2015	31.3	32.9	31.5
23/09/2015	0	32.8	0	23/09/2015	33	33.3	31.8
24/09/2015	0	0	0	24/09/2015	37.9	34.2	32.7
25/09/2015	31.5	33.9	35.7	25/09/2015	20.4	33.3	27.3
26/09/2015	30.2	33.4	34.5	26/09/2015	32.5	33.8	31.2
27/09/2015	32.5	32.7	35.2	27/09/2015	32.2	34.5	33.5
28/09/2015	19.3	32.5	35.9	28/09/2015	37.3	33.8	32.5
29/09/2015	32.9	33.5	35.5	29/09/2015	35.4	33.1	32.6
30/09/2015	33.3	33.9	36.4	04/02/1900	32.9	32.9	31.3

Tabla 9. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 11 y 12, septiembre.

Molino 11	%Sólidos		Malla +100	Molino 12	%Sólidos		Malla +100
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/09/2015	33.2	33	35.8	01/09/2015	31.2	31.3	40.5
02/09/2015	0	0.3	0	02/09/2015	72.2	32.7	37.4
03/09/2015	0	33.1	0	03/09/2015	32.5	32.5	34.5
04/09/2015	0	33.1	0	04/09/2015	45.5	32.1	42.7
05/09/2015	0	33.1	0	05/09/2015	0	32.5	2.3
06/09/2015	5.18	36.08	40.69	06/09/2015	34.8	32.8	42.96
07/09/2015	4.4	35.9	40.7	07/09/2015	45.1	35	41.9
08/09/2015	0	32.9	0	08/09/2015	10.3	33.8	38.1
09/09/2015	0	34.5	0	09/09/2015	0	31.2	0
10/09/2015	0	34.48	38.46	10/09/2015	65.2	28.82	0
00/01/1900	0	33.8	0	11/09/2015	0	30.2	0
12/09/2015	28.08	34.36	40.5	12/09/2015	35.18	33.98	42.19
13/09/2015	30.4	34.2	40.2	13/09/2015	34.6	33.6	43.2
14/09/2015	30.5	34.7	39.4	14/09/2015	32.4	33.5	40.2
15/09/2015	29.4	32.6	38.2	15/09/2015	34.7	34.6	41.2
16/09/2015	29.7	31.5	37.1	16/09/2015	35.8	33.9	40.5
17/09/2015	28.8	33.5	38.6	17/09/2015	37.7	33	42.7
18/09/2015	32.2	33.9	39	18/09/2015	30.9	35.6	38.8
19/09/2015	36.4	37.5	46.9	19/09/2015	41	35.9	43
20/09/2015	23	35.5	45.4	20/09/2015	24	34	33.1
21/09/2015	20.1	34.5	39.4	21/09/2015	33	32.3	41
22/09/2015	45.7	0.3	77	22/09/2015	36.6	33.8	43.2
23/09/2015	0	34.1	0	23/09/2015	33.3	32.9	43.7
24/09/2015	27.9	34.1	37.8	24/09/2015	0	0	0
25/09/2015	27.2	34.5	65.5	25/09/2015	34.8	33.5	42.4
26/09/2015	28.4	34.6	35.4	26/09/2015	33.7	33.8	43.6
27/09/2015	23.1	33.2	32.5	27/09/2015	33.1	32.9	42.1
28/09/2015	0	34.5	0	28/09/2015	0	33.4	0
29/09/2015	24.3	35.7	32.4	29/09/2015	0	0	0
30/09/2015	21.3	35.4	0	30/09/2015	0	0	0

Tabla 10. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 1 y 2, de octubre.

Molino 1	%Sólidos		Malla +100	Molino 2	%Sólidos		Malla +100
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/10/2015	32.6	33.4	33.1	01/10/2015	38.5	34	44.3
02/10/2015	36.9	32.8	33.8	02/10/2015	32.2	35.3	36.2
03/10/2015	36.54	33.75	36.04	03/10/2015	36	33.76	42.45
04/10/2015	33.4	33.94	34.5	04/10/2015	34	34.23	42.3
05/10/2015	34	32.5	33.5	05/10/2015	35.2	33.1	41.5
06/10/2015	32	33.7	36.5	06/10/2015	34	33.9	36.4
07/10/2015	33.4	26.4	35.4	07/10/2015	35.4	34.4	44.1
08/10/2015	29.1	31.1	39.3	08/10/2015	34.9	34.6	40.9
09/10/2015	31	31.24	32.43	09/10/2015	33.4	34.2	34.5
10/10/2015	31	31.8	31.23	10/10/2015	34	34.6	33.4
11/10/2015	32	33	31.1	11/10/2015	2.3	32.8	50.7
12/10/2015	37.4	32.4	37.4	12/10/2015	22.6	2.3	2.2
13/10/2015	31.8	33.1	28.5	13/10/2015	37.5	36.3	38.7
14/10/2015	31	33.2	28.3	14/10/2015	34	34.21	40.93
15/10/2015	30.7	34.4	28.4	15/10/2015	36.1	33	43.9
16/10/2015	33.2	34.1	28.4	16/10/2015	42.8	31.4	40.9
17/10/2015	34	33.13	31.18	17/10/2015	32	31.91	40.23
18/10/2015	33	33.54	32.45	18/10/2015	34	33.87	40.58
19/10/2015	30.2	33.7	30.9	19/10/2015	2.4	21.9	2.4
20/10/2015	32.12	33.93	30.23	20/10/2015	32.22	30.47	39.56
21/10/2015	33.24	33.28	31.24	21/10/2015	33.28	32.23	39.83
22/10/2015	33.87	34.35	32.48	22/10/2015	32.45	33.24	38.49
23/10/2015	35	35	33.67	23/10/2015	32	32.7	38.71
24/10/2015	34.23	33.12	33.03	24/10/2015	33.12	33.54	34.82
25/10/2015	32.42	33.12	33.12	25/10/2015	32.43	34.35	30.83
26/10/2015	30.28	34.09	31.88	26/10/2015	33.2	33.65	25.64
27/10/2015	0	32.4	0	27/10/2015	36	33.2	35.02
28/10/2015	0	31.65	28.87	02/01/1900	2.38	33.05	53.25
29/10/2015	31.7	31.7	31.7	29/10/2015	32.4	32.8	42.8
30/10/2015	36	34.8	31.74	30/10/2015	33	33.1	45.07
31/10/2015	35	35.7	32.48	31/10/2015	33	33.3	26.58

Tabla 11. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 3 y 4, octubre.

Molino 3	%Sólidos		Malla +100	Molino 4	%Sólidos		Malla +100
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/10/2015	22.7	34.5	31.8	01/10/2015	0	0	0
02/10/2015	32.9	33.1	32.4	02/10/2015	32.7	33.5	29.4
03/10/2015	0	0	0	03/10/2015	33.97	34.94	30.11
04/10/2015	32.4	33.7	32.9	04/10/2015	33.8	34.1	31.2
05/10/2015	32.8	34.5	32.3	05/10/2015	34.8	33	30
06/10/2015	36	33.2	34.56	06/10/2015	34	32.7	29.9
07/10/2015	29.9	34	29.3	07/10/2015	32.9	34.2	28.9
08/10/2015	0	33.4	0	08/10/2015	33.5	33.6	29.3
09/10/2015	30.5	33.5	31.34	09/10/2015	33.56	34.12	29.4
10/10/2015	33	33.2	33.67	10/10/2015	33	33.8	31.24
11/10/2015	31	32.9	30.8	11/10/2015	29.2	32.6	30.2
12/10/2015	39.8	32.9	31.3	12/10/2015	33.3	32.9	33.23
13/10/2015	40	33	34.5	13/10/2015	31.3	32.5	28.8
14/10/2015	33	32.9	31.24	14/10/2015	31	32.48	30.21
15/10/2015	0	64.2	0	15/10/2015	31	33.1	28.6
16/10/2015	29	33.2	30.3	16/10/2015	32.2	34.5	31.9
17/10/2015	34	33.69	28.82	17/10/2015	34	33.62	30.53
18/10/2015	32	33.45	29.76	18/10/2015	33	33.74	31.24
19/10/2015	30.6	33.5	30.4	19/10/2015	30.8	34.2	28.82
20/10/2015	30.23	32.43	31.23	20/10/2015	33.23	33.48	32.48
21/10/2015	31.23	32.84	32.45	21/10/2015	33.13	33.93	34.23
22/10/2015	33.94	34.52	33.54	22/10/2015	34.23	33.89	32.49
23/10/2015	0	32.4	0	23/10/2015	35	35.4	30.58
24/10/2015	33.12	32.98	33.92	24/10/2015	32.82	33.45	32.93
25/10/2015	33.23	32.87	33.76	25/10/2015	32.4	32.83	32.63
26/10/2015	30	31.72	31.26	26/10/2015	33.97	34.58	31.13
27/10/2015	30	30.9	33.52	27/10/2015	36	36.3	31.13
28/10/2015	29.98	32.38	33.01	28/10/2015	32.97	34.51	30.11
29/10/2015	35.1	34.3	34.2	29/10/2015	35	34.6	30.3
30/10/2015	0	0.1	0	30/10/2015	33	33.1	31.28
31/10/2015	0	0	0	31/10/2015	32	32.3	29.8

Tabla 12. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 5 y 6, de Octubre.

Molino 5	%Sólidos		Malla +100	Molino 6	%Sólidos		Malla +100
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/10/2015	33.9	33.9	23.6	01/10/2015	28.3	33.9	33.9
02/10/2015	32.7	33.5	29.4	02/10/2015	32.7	33.5	29.4
03/10/2015	34.98	42.64	41.48	03/10/2015	30.94	33.05	31.3
04/10/2015	33.2	34.3	33.4	04/10/2015	30.4	33.5	32.4
05/10/2015	33.5	42.2	33.8	05/10/2015	0	0	0
06/10/2015	40	41	36.56	06/10/2015	33	33.3	33.45
07/10/2015	22.7	41	32.6	07/10/2015	99.9	34.9	38.7
08/10/2015	28.6	31.4	25.1	08/10/2015	31.9	32.1	38.4
09/10/2015	29.4	31.6	28.45	09/10/2015	32.6	33.2	35.45
10/10/2015	35	35.9	32.34	10/10/2015	34	34.1	34.23
11/10/2015	39.6	33.8	33	11/10/2015	31.9	33.8	36.2
12/10/2015	23.3	35.4	36	12/10/2015	33.9	33	36.5
13/10/2015	37.5	33.8	28.5	13/10/2015	35.2	25.8	36.1
14/10/2015	35.4	34.34	30.94	14/10/2015	35.4	34.2	35.1
15/10/2015	34.2	32.9	33.5	15/10/2015	38.9	34.2	22.1
16/10/2015	28.5	31.6	29	16/10/2015	25.2	33.9	23.4
17/10/2015	33	33.23	31.24	17/10/2015	33	32.89	31.23
18/10/2015	34	33.98	32.78	18/10/2015	33	33.24	32.45
19/10/2015	36.7	33.7	26.8	19/10/2015	33.9	34.8	34.3
20/10/2015	35	34.23	33.45	20/10/2015	34	34.25	33.97
21/10/2015	35.21	34.93	34.23	21/10/2015	34.23	34.94	35.45
22/10/2015	35.42	34.58	34.92	22/10/2015	33.24	33.59	38.24
23/10/2015	34	34.7	32.25	23/10/2015	33	33.2	36.79
24/10/2015	33.31	34.82	33.4	24/10/2015	33.12	33.94	34.83
25/10/2015	32.23	33.28	33.56	25/10/2015	33.67	33.68	34.29
26/10/2015	32.99	35.48	37.68	26/10/2015	32.93	32.67	31.29
27/10/2015	32	32.6	37.25	27/10/2015	32	32.8	37.14
28/10/2015	32.98	32.64	36.58	28/10/2015	35.98	32.47	43.14
29/10/2015	32.8	36	25.7	29/10/2015	30.9	33.2	32.2
30/10/2015	33	33.9	30.73	30/10/2015	32	32	34.02
31/10/2015	33	33.7	30.23	31/10/2015	35	33.08	35.1

Tabla 13. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 7 y 8, octubre.

Molino 7	%Sólidos		Malla +100	Molino 8	%Sólidos		Malla +100
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/10/2015	28.3	32.8	31.1	01/10/2015	0	33.6	19.9
02/10/2015	27	33.8	23.1	02/10/2015	0	0.1	0
03/10/2015	28	34.5	31.6	03/10/2015	0	39.1	27.9
04/10/2015	32	34.3	32.5	04/10/2015	0	32.4	28.4
05/10/2015	38	34.8	23.3	05/10/2015	0	32.9	21.8
06/10/2015	33	33.2	29.6	06/10/2015	0	32.4	0
07/10/2015	34.2	33.9	30.2	07/10/2015	0	32.7	33.2
08/10/2015	35.8	32	19.7	08/10/2015	0	33.2	35
09/10/2015	34.5	34	20.3	09/10/2015	0	33.7	34.2
10/10/2015	33.7	33.2	25.4	10/10/2015	0	32.4	34.5
11/10/2015	34.5	33.9	29.3	11/10/2015	0	32.3	33.4
12/10/2015	35.5	34.5	31.7	12/10/2015	0	32.7	33
13/10/2015	33.3	33.5	30.8	13/10/2015	0	32.9	9
14/10/2015	33.4	33.7	31.4	14/10/2015	0	32.8	35.4
15/10/2015	33.7	35.1	30.7	15/10/2015	0	32	38.1
16/10/2015	28.9	33.4	29.8	16/10/2015	0	31.5	36.1
17/10/2015	34	34.4	30.4	17/10/2015	0	34.3	34.8
18/10/2015	33.4	33.5	30.4	18/10/2015	0	33.8	34.1
19/10/2015	30.8	33.3	28.7	19/10/2015	0	32.7	33.3
20/10/2015	31	34.7	29.5	20/10/2015	0	33.5	34.2
21/10/2015	33	32.2	30.7	21/10/2015	0	34.5	34.7
22/10/2015	33.2	33.6	31.4	22/10/2015	0	33.1	35.6
23/10/2015	34.5	33.1	30.5	23/10/2015	0	32.7	34.8
24/10/2015	33.7	34.7	30.8	24/10/2015	0	32.5	33.4
25/10/2015	32.4	33.8	31.7	25/10/2015	0	33.7	33.3
26/10/2015	0	0	0	26/10/2015	0	32.38	36.41
27/10/2015	30.2	32.6	32.7	27/10/2015	0	33.2	34.7
28/10/2015	29.9	32.58	24.36	28/10/2015	0	32.07	31.15
29/10/2015	24.8	29.4	27.7	29/10/2015	0	0.1	0
30/10/2015	32.5	34.8	32.67	30/10/2015	0	33	33.2
31/10/2015	35	35.7	32.48	31/10/2015	0	32.9	33.7

Tabla 14. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 9 y 10, octubre.

Molino 9	%Sólidos		100%	Molino 10	%Sólidos		100%
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/10/2015	21.5	34.1	35.4	01/10/2015	25.1	33.8	30.8
02/10/2015	31.7	32.7	35.7	02/10/2015	29.4	33.2	30.4
03/10/2015	30.8	33.4	34.9	03/10/2015	34.3	33.8	25.1
04/10/2015	31.2	33.4	34.2	04/10/2015	33.2	33.8	27.5
05/10/2015	27.7	36.2	36.8	05/10/2015	29.4	33.6	26.4
06/10/2015	0	0	35.1	06/10/2015	19.3	33.7	24
07/10/2015	0	0	34.5	07/10/2015	34.2	33.9	24.8
08/10/2015	0	0	0	08/10/2015	35.7	33.7	23.4
09/10/2015	30.4	33.2	34.2	09/10/2015	35.3	33.5	24.3
10/10/2015	30.6	31.7	35.7	10/10/2015	34.2	33.8	24.8
11/10/2015	31.7	32.3	35.3	11/10/2015	30.5	33.1	25.4
12/10/2015	29.3	32.7	38.2	12/10/2015	30.3	33.8	30.1
13/10/2015	31.5	32.5	36.4	13/10/2015	36.5	31.7	28.5
14/10/2015	31.4	32.7	36.2	14/10/2015	35.2	32	
15/10/2015	26.1	32.2	36.7	15/10/2015	54	32.7	29.8
16/10/2015	26	32.2	34.9	16/10/2015	0	0	0
17/10/2015	33.2	33	34.2	17/10/2015	34.2	34	30.2
18/10/2015	34.6	33.8	34	18/10/2015	32.3	33	31.2
19/10/2015	36.7	32.1	34.5	19/10/2015	3.7	32.8	0
20/10/2015	35.4	34.2	34.2	20/10/2015	35.4	32.5	30.5
21/10/2015	34.2	33.7	35.8	21/10/2015	34.2	33.6	32.5
22/10/2015	34.6	34.7	35.7	22/10/2015	34.7	33.7	34.5
23/10/2015	33.9	35.5	34.2	23/10/2015	33.2	32.9	37.3
24/10/2015	33.6	34.9	35.3	24/10/2015	33.7	33.2	35.4
25/10/2015	34.7	34.3	37.5	25/10/2015	32.8	33.9	34.7
26/10/2015	34.45	33.45	36.6	26/10/2015	30.02	31.38	39.57
27/10/2015	34.8	32.7	34.2	27/10/2015	32.4	33.3	30.4
28/10/2015	28.74	31.58	35.15	28/10/2015	40.3	36.89	28.97
29/10/2015	29.1	31.6	35.7	29/10/2015	34.4	33.8	32.3
30/10/2015	29.4	35.7	35.2	30/10/2015	33.2	33.8	34.2
31/10/2015	27.9	31.3	35.4	31/10/2015	32.9	33.6	31.7

Tabla 15. Datos de %Sólidos del PSI vs Calculados, así como la Malla +100, del molino 11 y 12, octubre.

Molino 11	%Sólidos		100%	Molino 12	%Sólidos		100%
	PSI	Calculados			PSI	Calculados	
01/10/2015	45	36.9	0	01/10/2015	58.9	33.9	43.1
02/10/2015	25.3	33.6	36.8	02/10/2015	39.6	33.9	41.2
03/10/2015	27.6	33.5	39.1	03/10/2015	44.1	33	41.7
04/10/2015	26.3	33.6	34.2	04/10/2015	33.6	33.8	40.2
05/10/2015	9.1	34.5	37	05/10/2015	31.4	32.6	43.8
06/10/2015	46	41.2	0	06/10/2015	32.9	36.2	44
07/10/2015	42.3	41.7	37.5	07/10/2015	33.2	33.5	40.2
08/10/2015	22.7	41	0	08/10/2015	34.2	35.4	41.1
09/10/2015	25.4	40.2	38.5	09/10/2015	31.7	31.2	39.4
10/10/2015	29.3	36.4	39.5	10/10/2015	31.6	33.2	38.4
11/10/2015	30.4	36.8	38.2	11/10/2015	32.5	33.7	39.2
12/10/2015	28.9	37.8	40.9	12/10/2015	0	33.1	0
13/10/2015	32.5	36.1	39.7	13/10/2015	0	0	0
14/10/2015	33.2	35.4	39.5	14/10/2015	31.5	32.4	38.4
15/10/2015	31.8	35	39	15/10/2015	31.8	35	39
16/10/2015	33.1	34.9	40.3	16/10/2015	20.9	33.1	32.1
17/10/2015	33.9	34	40.3	17/10/2015	33	33.5	32.8
18/10/2015	35.4	34.2	39.2	18/10/2015	33.2	33.6	32.8
19/10/2015	40.1	33.2	40.4	19/10/2015	0	32.8	37.6
20/10/2015	40.3	33.6	38.4	20/10/2015	32.4	33.4	35.4
21/10/2015	38.4	33.7	38.1	21/10/2015	33.8	34.2	34.2
22/10/2015	35	32.5	36.5	22/10/2015	36.7	35.6	36.4
23/10/2015	35.4	33.8	35.9	23/10/2015	32.6	34.3	35.8
24/10/2015	34.9	34.2	34.4	24/10/2015	33.8	34.2	34.9
25/10/2015	32.7	33.7	34.5	25/10/2015	34.6	33.9	36.4
26/10/2015	30.02	32.26	29.57	26/10/2015	30.83	33.57	42.83
27/10/2015	32	32.6	30.5	27/10/2015	30.5	31.2	42.3
28/10/2015	34.18	33.05	38.84	28/10/2015	0	31.79	0
29/10/2015	32	32.8	38.2	29/10/2015	46.5	32.9	38.6
30/10/2015	33	33	36.4	30/10/2015	32	32.6	34.3
31/10/2015	31.6	36.8	37.8	31/10/2015	33.3	33	33.9