



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA

FACULTAD INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

Optimización de circuito de Remolienda.

Memoria de prácticas profesionales

para obtener el título de:

INGENIERO METALURGICO

Presenta

PEDRO IVAN ARANGURE LOUSTAUNAU

Hermosillo, Sonora

23 de Junio de 2023

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

Optimización de circuito de Remolienda

Memoria de prácticas profesionales

para obtener el título de:

INGENIERO METALURGICO

Presenta

PEDRO IVAN ARANGURE LOUSTAUNAU

Hermosillo, Sonora

23 de Junio de 2023.

UNIVERSIDAD DE SONORA

VOTOS APROBATORIOS

Hermosillo, Sonora, a 23 de Junio de 2023.

DR. PAUL ZAVALA RIVERA

JEFE DEL DEPARTAMENTO

INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA.

Por medio de la presente, nos permitimos informarle que los miembros del Jurado designado para revisar memoria de prácticas profesionales “OPTIMIZACIÓN DE CIRCUITO REMOLIENDA”, presentada por:

PEDRO IVAN ARANGURE LOUSTAUNAU

La han revisado y cada uno de los integrantes da su **VOTO APROBATORIO** ya que cumple con los requisitos parciales para la obtención del Título de:

INGENIERO METALURGICO

23 de junio de 2023

DR. ALEJANDRO VALENZUELA SOTO

23 de junio de 2023

DRA. MARÍA MERCEDES SALAZAR CAMPOY

23 de junio de 2023

MC. JESÚS LEONEL SERVÍN RODRÍGUEZ

23 de junio de 2023

DR. VÍCTOR MANUEL VÁZQUEZ VÁZQUEZ.

DEDICATORIA

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia. Principalmente, a mis padres y hermano que me apoyaron y contuvieron los momentos malos y en los menos malos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

Me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio. Debo pedirles perdón porque han sufrido el impacto directo de las consecuencias del trabajo realizado y de mi empeño por ser alguien en la vida. Realmente, ellos me ayudan a alcanzar el equilibrio que me permite dar todo mi potencial. Nunca dejaré de estar agradecido por esto.

¡Gracias Familia!

También quiero dedicarle este trabajo a mi persona. Por tu paciencia, por tu comprensión, por tu empeño, por tu fuerza, por tu amor y sobre todo por nunca dejar las ganas de lograrlo, por un lado.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad de Sonora por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo de investigación y completar mi formación académica.

Durante mi tiempo en la universidad, he recibido una educación de calidad y he tenido la oportunidad de conocer a profesionales excelentes que me han ayudado en mi desarrollo personal y académico. Me gustaría expresar mi agradecimiento en particular al Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, por su apoyo constante y por proporcionarme las herramientas necesarias para llevar a cabo este trabajo.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis asesores de tesis, Dr. Alejandro Valenzuela, M.C. Jesús Servín, Dra. María Salazar y Dr. Víctor Vázquez por su guía experta, paciencia y apoyo constante durante todo el proceso de investigación y redacción de esta tesis. Gracias a su compromiso y dedicación, he podido profundizar en mi investigación y llevarla a cabo con éxito.

Quiero dedicar esta tesis a la empresa Grupo México, donde tuve la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales y aprender de un equipo de profesionales excepcionales; Quiero agradecer en particular a mi supervisor/a de prácticas, Ing. Raul Ríos y Ing. Jesus Gonzalez, por su orientación, paciencia y apoyo durante todo el período de prácticas. Su experiencia y conocimientos fueron fundamentales para mi aprendizaje y crecimiento profesional, donde se me permitió observar de primera mano cómo se aplica la teoría en el mundo laboral.

Espero que este trabajo refleje en parte todo lo que aprendí en la empresa y sea una muestra de mi agradecimiento por haber sido parte de ella.

¡Gracias, por haber sido una parte importante de mi formación académica y profesional!

INDICE DE CONTENIDO

Pagina

Índice de figuras	VI
Resumen	VIII
I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos	4
1.2 Justificación	4
II. ANTECEDENTES	5
II.1 Antecedentes mineros en Nacozari de García.....	5
II.2 Descripción del área y Localización	6
II.3 Procesamiento del Cobre.....	7
II.4 Usos y Reservas Globales.....	8
II.5 Diagrama de flujo de la unidad.....	9
III. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	13
III.1 Generalidades.....	13
III.2 Molino de Bolas.....	14
III.3 Hidrociclones	15
III.4 Experimentación	19
III.5 Muestreo	20
III.6 Preparación de muestra para granulometría	23
III.7 Instrumentación Instalada	27
III.7.1 Válvulas automáticas para control de dilución y agua molino	28
III.7.2 Lectura de P_{80} en remolienda en PSI 300.....	29
III.7.3 Lectura de valores en concentrado primario para Fe, Cu, Ins y Mo.....	30
IV. RESULTADOS	31
IV.1 Rango operativo óptimo para P_{80} en overflow	31
IV.2 Histograma de frecuencias para P_{80} , y concentrado primario.....	33
IV.3 Rango operativo para %Cu en concentrado primario	34
IV.4 Comportamiento TMH/h de concentrado primario con respecto a P_{80}	36

IV.5 Layout para automatización de válvulas de control de agua molino y dilución	37
V. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	38
VI. REFERENCIAS	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1	Celda de Flotación.	2
Figura. 2	Planta Concentradora Unidad “La Caridad” (Remoladores).....	3
Figura. 3	Localidad de Pilares, Sonora, México.	5
Figura. 4	Complejo Minero “La Caridad”	6
Figura. 5	Ubicación Mina “La Caridad”	6
Figura. 6	Producción de cátodos de cobre	7
Figura. 7	Diagrama de flujo proceso de producción	9
Figura. 8	Diagrama de flujo planta trituración	10
Figura. 9	Diagrama de flujo planta concentradora.....	11
Figura. 10	Diagrama de flujo planta separación Cu-Mo	12
Figura. 11	Exterior e Interior de Molino de bolas	14
Figura. 12	Esquema de Hidrociclón	15
Figura. 13	Esquema de Flujos en Hidrociclón	16
Figura. 14	Esquema de partes en Hidrociclón.....	17
Figura. 15	Circuito Abierto.....	18
Figura. 16	Circuito Cerrado	18
Figura. 17	Layout de circuito remolienda	20
Figura. 18	Cortador de muestra	22
Figura. 19	Bascula Granataria Digital.....	23
Figura. 20	Equipo de Filtración.....	24
Figura. 21	Horno secador para muestras blancas.....	25
Figura. 22	Torre de Mallas en RoTap.....	26
Figura. 22	Sistema de control de lazo cerrado con controlador PID	27
Figura. 24	Válvula tipo “PID” para Agua Dilución	28
Figura. 25	Válvula tipo “PID” para Agua Molino	28
Figura. 26	Equipo PSI 300	29
Figura. 27	P ₈₀ VS % Cu Concentrado Final	31
Figura. 28	P ₈₀ VS % Cu Concentrado Final (1/01/22 – 09/10/2022)	32

Figura. 29	Histograma de frecuencia para P_{80} (1/01/22 – 09/10/2022)	33
Figura. 30	% Concentrado Primario VS % Cu Concentrado Final (1/01/22 – 09/10/2022)	34
Figura. 31	Histograma de frecuencia para % Cu Concentrado Primario (1/01/22 – 09/10/2022)	35
Figura. 32	% Concentrado Primario VS Concentrado Primario (TMH) (1/01/22 – 09/10/2022)	36
Figura. 33	Diagrama de flujo para control de P_{80} por medio de alimentación de agua molino y agua dilución a remolador	37
Figura. 34	Histograma de frecuencia para concentrado primario (TMH)	39
Figura. 35	Tabla con Parámetros Optimizados.	39

RESUMEN

El presente trabajo se realizó durante el periodo de estancia profesional en la unidad minera "La Caridad" de Grupo México. En dicho lugar, se tuvo presencia en el área de concentradora, donde se lleva a cabo el procesamiento y concentración de sulfuros de cobre y molibdeno. Durante el proceso metalúrgico, se trabaja con 12 molinos primarios, 4 remoladores, 20 bancos primarios con 10 celdas de 1350 ft³ cada uno y por último 96 celdas tipo Denver de 500 ft³ entre la etapa de limpiadoras y agotativas.

Es importante comentar que se cuenta con un circuito cerrado donde todo el mineral que entra a planta concentradora es procesado en su totalidad; todo el concentrado obtenido hasta la etapa final de concentradora es enviado a planta de molibdeno, donde hasta este punto el grado % Cu en promedio es de 21.64% de ley y como subproducto tenemos molibdeno con leyes de 2.8%.

El concentrado final es enviado a planta de molibdeno donde se trabaja con flotación selectiva, flotando molibdeno y deprimiendo el cobre; Todo el molibdeno obtenido es secado y almacenado en súper sacos para su venta. El cobre es enviado a la etapa filtrado; durante la última etapa del proceso se obtiene concentrado de cobre con una ley promedio de 22.70%.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, la mayoría de los minerales están dispersos y fuertemente ligados a materiales sin interés económico conocido como ganga, el metal de interés primero debe liberarse y luego concentrarse. Esto se logra mediante la reducción de tamaño o conminución, donde el mineral se reduce de tamaño gradualmente mediante los procesos de trituración y/o molienda hasta que las partículas de mineral se liberan de la ganga.

El principio de conminución o reducción de tamaño es la trituración, este es el primer paso mecánico. Por regla general, esta se realiza en seco y en las etapas posteriores la trituración se realiza principalmente en cuatro modos de desintegración (impacto, compresión, abrasión y cizallamiento) según el mecanismo y el peso de la roca. Posterior al proceso de trituración; una de las operaciones más importantes en el procesamiento de minerales es la reducción de tamaño de materias primas es la molienda. Este proceso se suele realizar en un circuito cerrado, formado por un molino de bolas y un clasificador tipo hidrociclón. La molienda es un proceso complejo de controlar debido al alto grado de interacción entre las variables del proceso y sus características dinámicas complejas: la presencia de retrasos, variables operativas no establecidas a operar generando un descontrol entre los lazos de control, pueden causar efectos no deseados en la productividad, anexando que esta reducción debe hacerse al tamaño óptimo para el proceso de concentración.

El proceso de flotación o concentración es un paso del tratamiento del mineral, que se desarrolla en tres fases (líquido, sólido y gas). Un mineral valioso se separa de un mineral de ganga sin valor en función de sus propiedades físicas y/o químicas mediante, por ejemplo, en la flotación, mediante la adición de reactivos; esto favorece la formación de espuma y su posterior colección o derrame por canaletas principales, auxiliares o mediante dispositivos mecánicos y/o neumáticos. El

proceso de flotación, de la concentradora, es la etapa básica de la separación de los valores de la ganga, por diferencia en propiedades superficiales, lo que se refleja en los indicadores metalúrgicos del proceso; incluyendo la restauración del material y la calidad del producto; Todo lo cual tiene un impacto directo en los ingresos de la compañía.



Figura. 1 Celda de flotación

Un proceso de flotación deficiente, con lleva a enviar a la etapa siguiente (espesadores y posterior presa de jales) material que prácticamente nunca más podrá ser procesado, a pesar de haberse incurrido en gastos económicos importantes en las etapas de extracción de mina, transporte de material. En las etapas de una planta de flotación (figura 1), es factible observar condiciones de operación no estándar de los diferentes componentes de una celda, y que afectan su operación, la homogenización de la pulpa con el aire de la celda de flotación, todo lo cual conduce a una operación deficiente del equipo, y alcanzar un nivel de eficiencia inferior al requerido.

Todas las mencionadas son de suma importancia, el mantener una estabilidad en sus parámetros operativos, debido si existe una variación considerable de estas, se

verá reflejado en pérdidas de los valores en el proceso de concentración (figura 1) , y por consiguiente, en baja recuperación.

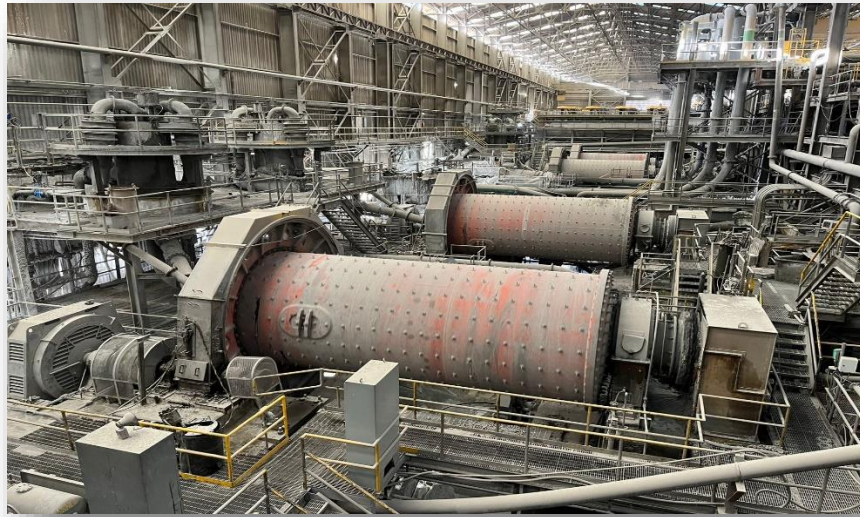


Figura. 2 Planta Concentradora Unidad “La Caridad” (Remoedores).

En la figura 2 podemos observar el área de remoedores, siendo esta ubicada dentro de la parte oeste de la nave industrial (Concentradora) dentro de la unidad “La Caridad”.

Como parte de una falta de optimización en el circuito de remoedores, se busco reutilizar equipos útiles para ello, por el cual, se propone utilizar los equipos ya instalados anteriormente con 6 años de no utilizarse.

Se empezó primeramente con el equipo “PSI 300” (Figura 26) el cual es un analizador de partículas marca “metso-outotec” con el fin de mostrar una tendencia de P_{80} con el cual se esta operando al momento. Posteriormente, se busco tambien el utilizar equipo “COURIER” (Analizador en linea para la medición directa de concentración) con el fin de marca una tendencia en la lectura de concentrado primario y concentrado bulk.

1.1 Objetivo General

Establecer parámetros de operación para el circuito de remolienda, con el fin de lograr mantener un valor deseado en recuperación y producción de Cobre.

1.2 Objetivos específicos

Establecer rango de operación para parámetros operativos para P_{80} , porcentaje de sólidos, presión en hidrociclón y ley de Cu que influyen en nuestro proceso.

Mejorar molienda en molino remolador, instalándose válvulas de control para agua dilución y agua molino.

Garantizar el tamaño óptimo de liberación del mineral procesado (55 - 60 μ m) para lograr una recuperación eficiente en el área de bancos limpiadores.

Garantizar una ley de 23.5% Cu o mayor en nuestro concentrado final para comercialización.

Justificación

Se pretende lograr una correcta optimización del circuito de remolienda, garantizando una operación eficiente. Para lograrlo, es necesario establecer los puntos deficientes de nuestro circuito, donde se logró observar que no existían rango de operación para nuestras variables operativas como P_{80} , tonelaje de alimentación a remolienda, grado de bancos primarios (etapa previa), presión de hidrociclones, % Sólidos, etc; los cuales principalmente derivan a problemas en producción (perdida en toneladas de concentrado Cu, perdida por finos en espesadores, carga circulante no controlada en remoladores).

CAPITULO II. ANTECEDENTES

Las actividades mineras en el sector se remontan por el año 1886, cuando la empresa de origen americano “Moctezuma Copper Co.” Inicia la explotación de mineral de Cu de manera subterránea, la cual se denominaba por nombre “Los pilares” (Figura 3), la operación funciono hasta el año 1949, cuando los precios del Cu cayeron en su precio de compra, generando una operación incosteable, la cual llevo al cierre del proyecto minero.



Figura. 3 Localidad de Pilares, Sonora, México.

En 1964, el consejo de recursos naturales no renovables utilizando recursos de Organización de las Naciones Unidas, inicio una exploración del yacimiento denominado “La Caridad” (Figura 5). Lo anterior, dio origen a un convenio en 1968, entre el gobierno mexicano y la empresa Asarco Mexicana, en el cual esta última, se compromete a un programa de exploración intenso y detallado, comenzando una serie de eventos, fundamentales para dar pie a lo que es hoy la unidad minera “La Caridad” (Figura 4); iniciando operaciones en 1979.

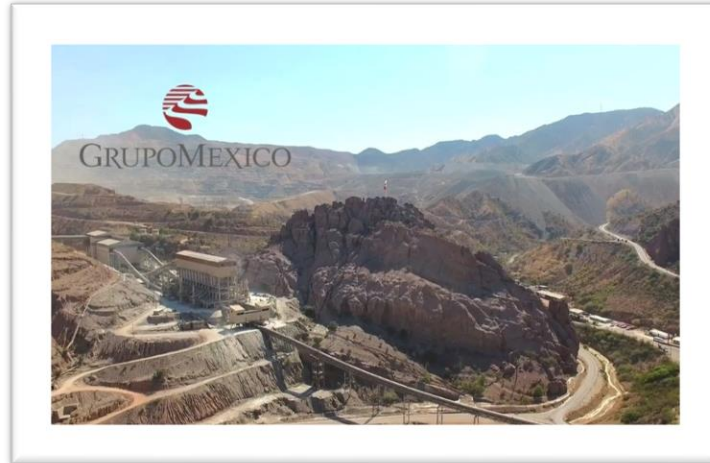


Figura. 4 Complejo Minero “La Caridad”

Mexicana de Cobre, S.A. de C.V. Unidad “La Caridad”, es un complejo minero localizado en el estado de Sonora a 22 km al suroeste de Nacoziari de García.

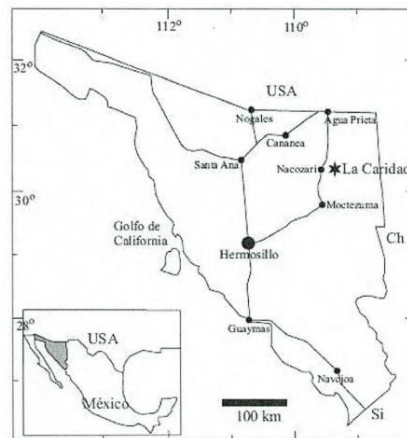


Figura. 5 Ubicación Mina “La Caridad”

Beneficio de Cobre

En el beneficio de minerales, el mineral extraído de mina en bruto, se concentra por el método de flotación por espuma, obteniéndose de esta manera un concentrado valioso de cobre y molibdeno, posteriormente se aplica a este concentrado una flotación selectiva, de donde se obtienen dos productos, un concentrado de cobre y otro concentrado de molibdeno. A continuación, concentrado de cobre, se funde y se transforma en "mata" de cobre con una pureza de aproximadamente el 60%. La "mata" líquida se refina en un proceso de conversión, con el que se obtiene cobre "blister" con un contenido de cobre superior al 98%. Después, el cobre blister se cuela en moldes, obteniendo ánodos que se buscan refinar aún más para producir cátodos de cobre (cobre puro al 99.99%), mediante un proceso de electrorrefinación (Figura 6). Los cátodos se vuelven a fusionar y procesar en los productos definitivos para el usuario final. El cobre blister se puede sustituir de forma parcial o completa por chatarra secundaria para reciclar el cobre de productos al final de su vida útil.



Figura.6 Producción de cátodos de cobre

Usos y Reservas Globales.

El cobre es un metal de transición, brillante y de coloración rojiza, caracterizado por ser uno de los mejores conductores conocidos de la electricidad (después de la plata). Si a ello, sumamos su ligereza, alta maleabilidad, ductilidad y precio económico, tendremos uno de los elementos más idóneos para la fabricación de herramientas, piezas eléctricas y electrónicas, y muchos otros dispositivos de usos industriales. Su aplicación más común es:

- Producción de alambrón.
- Tubería domestica e industrial.
- Fabricación de monedas.
- Cable eléctrico y de comunicación.
- Aleaciones de metales.

A pesar de la creciente demanda de cobre, hoy en día, hay más cantidad de este metal que en cualquier otro momento de la historia. Esto, junto con la capacidad de reciclar infinitamente el cobre, significa que es muy poco probable que la sociedad agote el suministro de cobre, y el cobre seguirá contribuyendo a las iniciativas mundiales, como la energía limpia y renovables.

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) ha sugerido que la demanda mundial de cobre podría duplicarse en los próximos 20 años a medida que aumente el ritmo de la electrificación, y que las aplicaciones de energía limpia podrían representar el 45% de la demanda total.

En la actualidad hay unas 250 minas de cobre en funcionamiento en casi 40 países, y la producción mundial estimada por el "US Geological Survey" en 20 millones de toneladas en 2020 es un 30% superior a la de hace sólo 10 años.

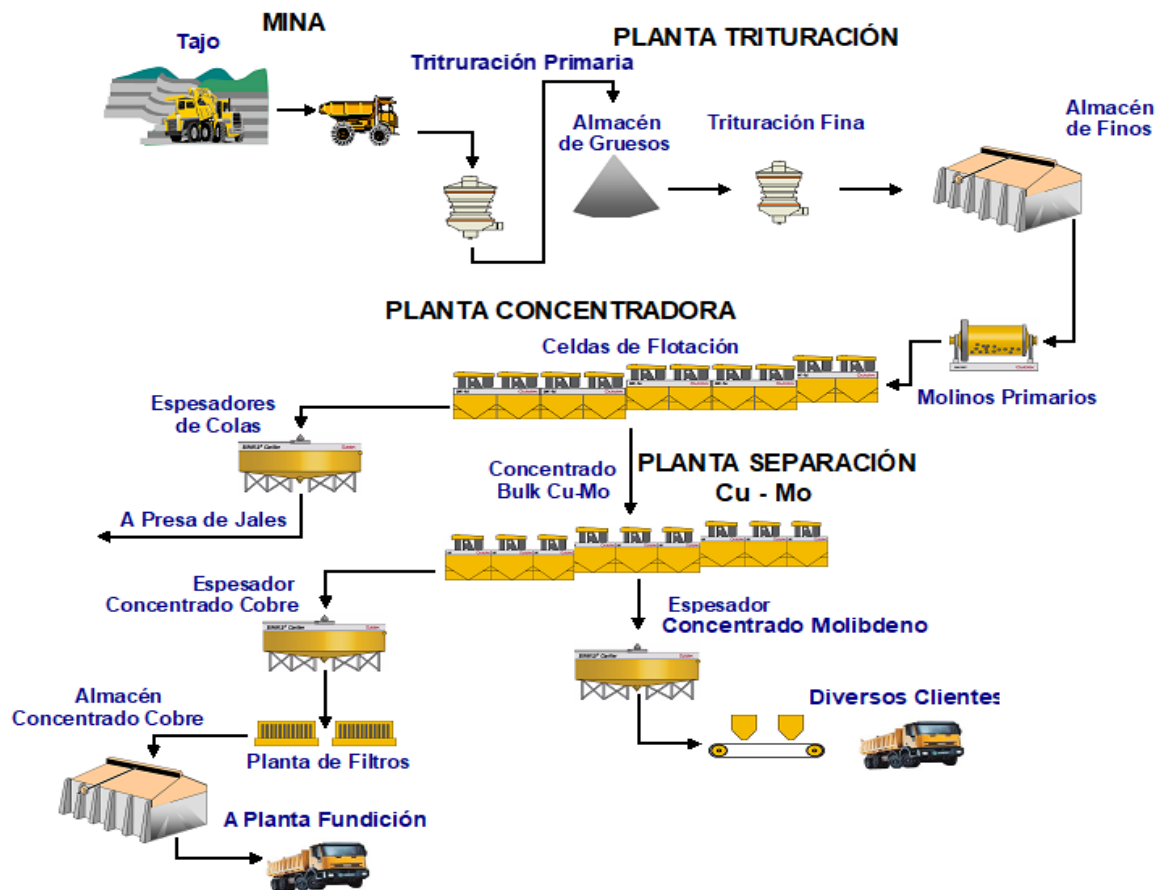


Figura. 7 Diagrama de flujo proceso de producción

La unidad se compone de:

- Proceso seco:
 - Planta de trituración
- Proceso Húmedo:
 - Planta concentradora
 - Planta separación Cu-Mo
 - Planta de filtros
 - Almacén concentrado Cu.

MEXICANA COBRE, S.A. DE C.V.
UNIDAD " LA CARIDAD "
DIAGRAMA DE FLUJO, PLANTA DE TRITURACIÓN

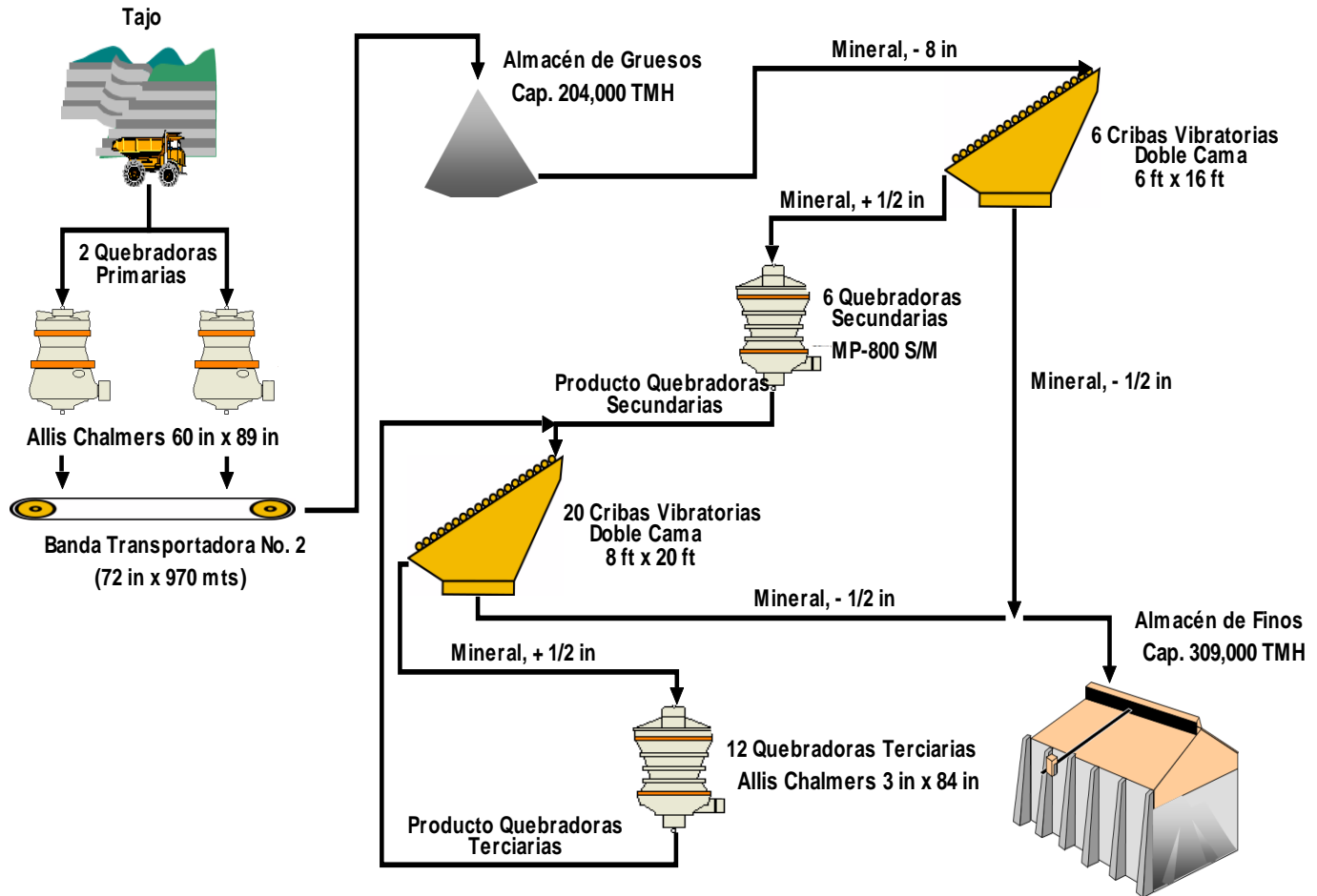


Figura. 8 Diagrama de flujo, planta de trituración.

MEXICANA COBRE, S.A. DE C.V.
UNIDAD " LA CARIDAD "
DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA CONCENTRADORA

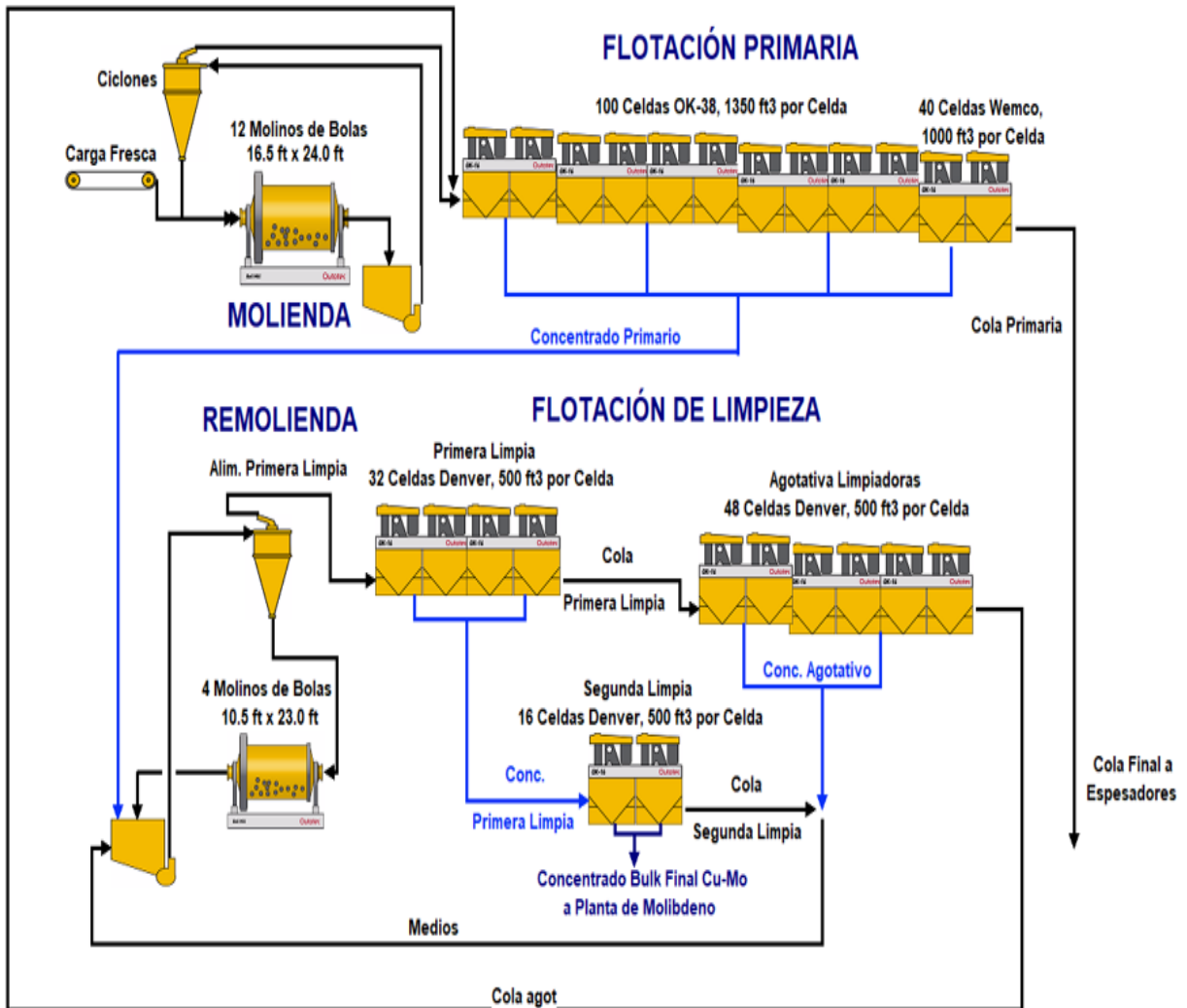


Figura. 9 Diagrama de flujo planta concentradora

MEXICANA COBRE, S.A. DE C.V.
UNIDAD " LA CARIDAD "
DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA SEPARACIÓN Cu-Mo

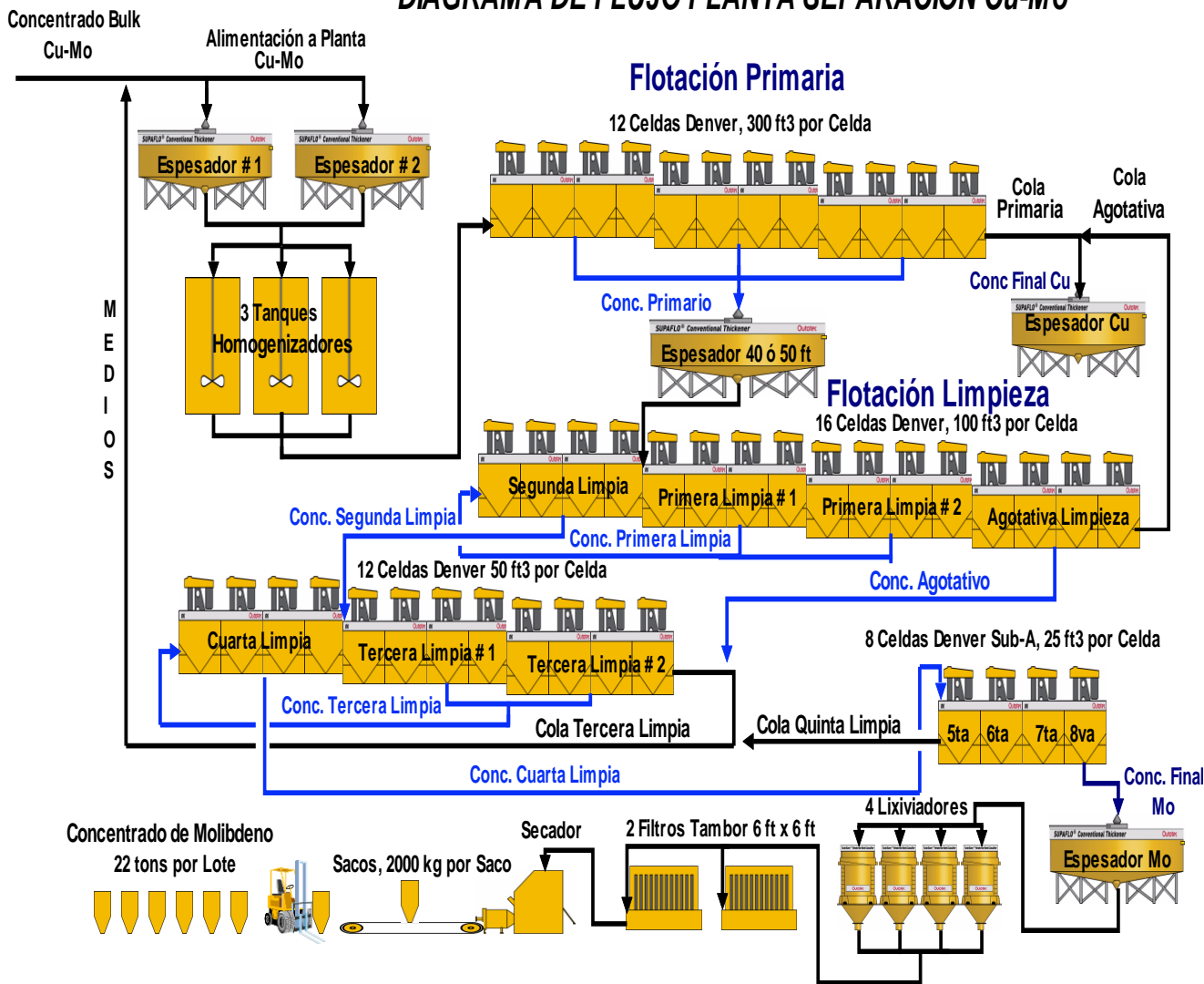


Figura. 10 Diagrama de flujo planta de separación Cu-Mo.

CAPÍTULO III. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

La remolienda es la última etapa de la fragmentación, sigue a la trituración y molienda primaria normalmente, y se caracteriza por el tamaño de salida de los productos que puede estar entre las mallas -270 y -325. Se persigue, normalmente, la liberación de unas especies mineralógicas de interés, que se encuentran ligadas o asociadas a otras especies mineralógicas, se reducen de tamaño hasta que se obtenga un tamaño que permita una eficiente recuperación en el proceso de concentración por flotación diferenciada o bien llegar al tamaño de ley exigido por el método posterior de utilización del producto obtenido.

El trabajo en húmedo que se lleva a cabo en remoladores, se caracteriza por unos rangos de humedad elevados, del 40% al 70% de agua en volumen, lo que representa para la mayoría de los minerales unos valores de Sp (relación de sólidos en peso) entre 55% y 80%.

Para una humedad entre el 5% y el 10%, se produce una pasta pegajosa y el rendimiento decae de forma importante, y para valores mayores, ya un trabajo en húmedo, se recupera un valor de rendimiento útil y que se mantiene hasta que la dilución es tan elevada (Sp inferior al 50%), que se impide o dificulta el choque de las bolas con el mineral.

Molino de bolas

Como su nombre lo indica, el medio de molienda de este molino son bolas de acero. Domina la reducción de tamaño del mineral en una gama de tamaños que puede estandarizarse como rango óptimo. En algunos casos se utiliza como equipo de molienda primarios con alimentación de hasta 20 mm, pero la principal función es para moler nuevamente el mineral y disminuir aún más su tamaño, debido a las dimensiones del molino (longitud), se tiene mayor tiempo de residencia dentro del molino logrando un mejor efecto de la molienda, ya que se tiene mayores áreas de contacto.

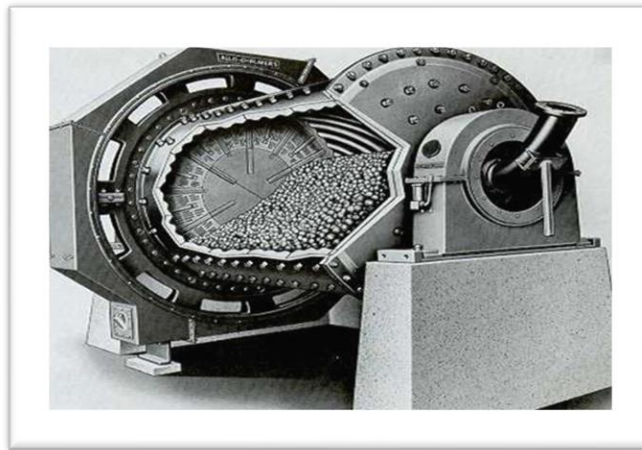


Figura. 11 Exterior e Interior de Molino de bolas.

Después de la reducción de tamaño, el mineral debe ser clasificado, para conocer si está dentro del tamaño óptimo de liberación. Para seleccionar un equipo de clasificación, se deben de tomar en cuenta las características del mineral las cuales nos van a indicar equipo necesario. En este caso vamos a hablar de los hidrociclones.

Hidrociclones

Los procesos de flotación son mucho más sensibles a la dispersión del tamaño de partícula que los procesos gravitacionales. Por lo tanto, a medida que se incursiona en este proceso de concentración se hizo imprescindible el control del tamaño de partícula, lo que dio lugar a los circuitos cerrados, con la inclusión de un clasificador que “separa” por tamaño las partículas que finalmente deben enviarse a la etapa de concentración.

El flujo de alimentación a un hidrociclón, forma un torbellino primario a lo largo de la superficie interior de la pared de las partes cilíndrica y cónica del hidrociclón, dirigiéndose al exterior a través del vértice cónico. Al ser este estrecho, solamente una parte de la corriente es evacuada como flujo inferior (Underflow), transportando de preferencia las partículas gruesas.

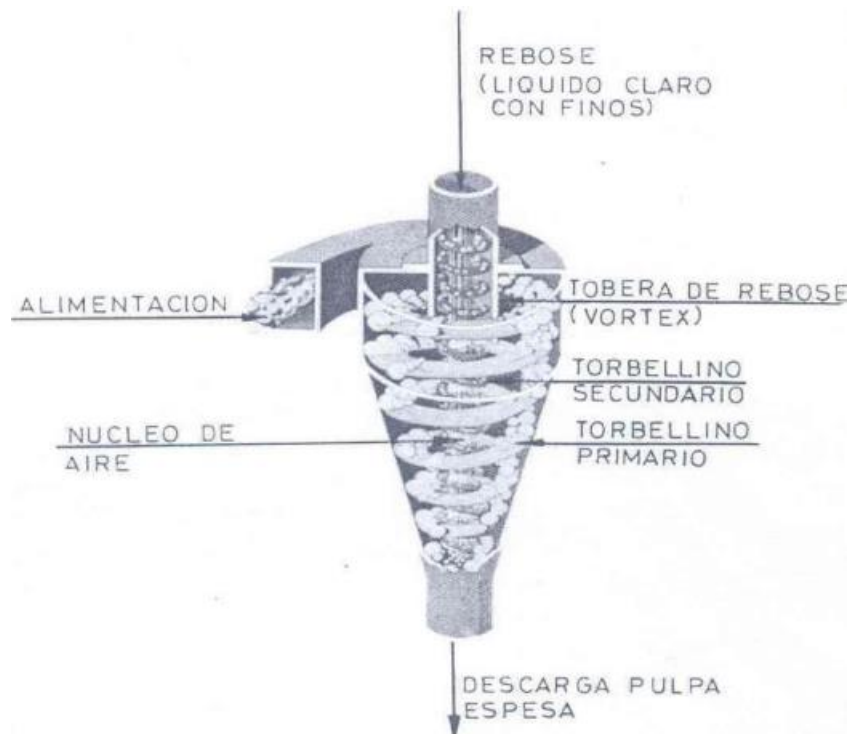


Fig. 12 Esquema de Hidrociclón.

La mayoría del líquido (que ha sido limpiado por la sedimentación de los sólidos en el torbellino primario, o bien que transporta las partículas finas sobrantes con él), es forzado a abandonar el ciclón a través de la tobera del flujo superior (Overflow) formando un torbellino secundario ascendente.

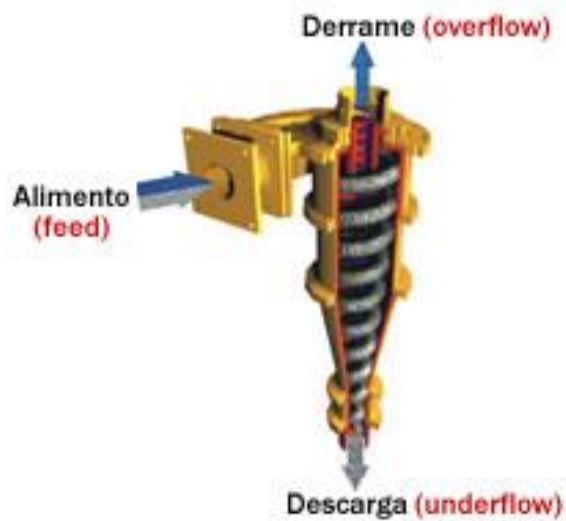


Figura. 13 Esquema de flujos en Hidrociclón.

Las variables que influyen en la operación de un hidrociclón son: variables de diseño, parámetros del material, variables de operación y perturbaciones; por último, la aplicación del hidrociclón.

- ✚ Variables de Diseño: En ellas depende el comportamiento del hidrociclón, las variables importantes son el tamaño del hidrociclón y los tamaños de la alimentación, ápex y Vortex.

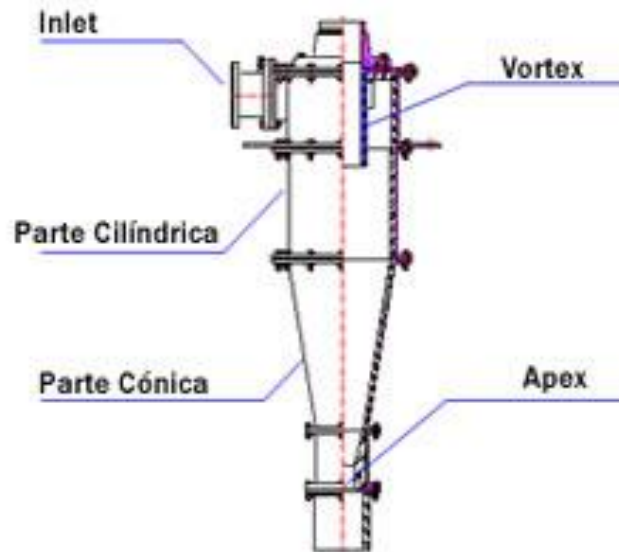


Figura. 14 Esquema de partes en Hidrociclón.

- ✚ Parámetros del material: Dos son las propiedades del material que tienen mayor relevancia, la densidad del material y la composición de este.
- ✚ Variables de Operación: Las principales son el flujo, la concentración y la presión de la alimentación.
- ✚ Aplicación del Hidrociclón: Existen dos maneras de aplicarlos en la industria catalogándolos como circuito abierto y circuito cerrado. En el primer caso, este es instalado antes del molino para deslamar la alimentación al molino.

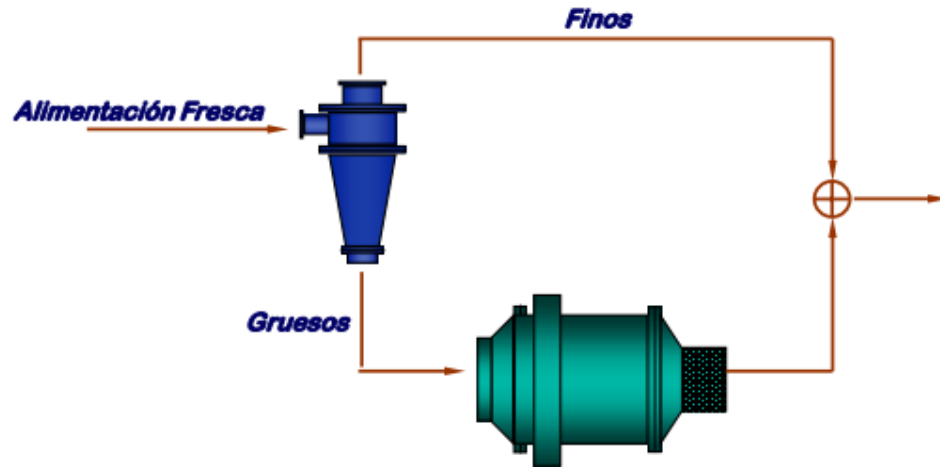


Fig. 15 Circuito Abierto.

Para el circuito cerrado la alimentación va directamente al molino, cuya descarga ingresa al ciclón para su desarenado. El flujo superior (overflow) es el producto final, mientras que el inferior regresa al molino.

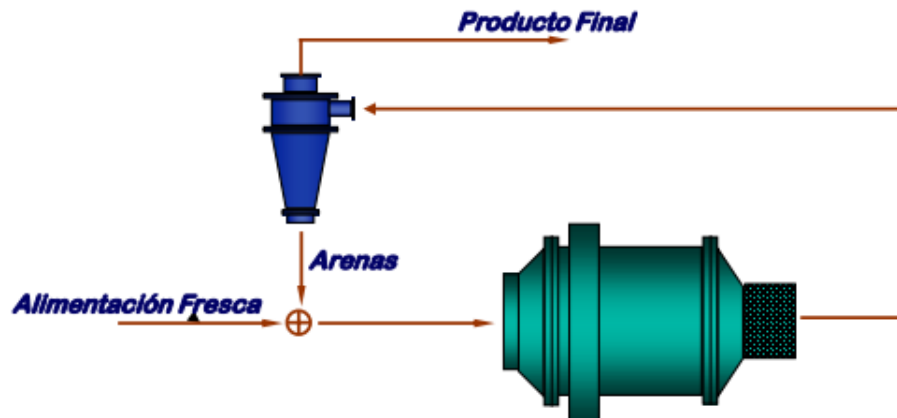


Fig. 16 Circuito Cerrado.

III.4 EXPERIMENTACIÓN

Previo al desmonte de la batería de los hidrociclones para evaluar el estado de estos, se hizo un muestreo para evaluar su comportamiento. Evaluando la granulometría, porcentaje de sólidos en overflow, underflow y fresh feed.

Con la modificación que se realizó de los hidrociclones con respecto a agua de dilución y agua a molino, es necesario hacer una evaluación de los nuevos instrumentos. Para esto, se deben hacer muestreos en los hidrociclones, evaluando como se nos ve modificada nuestra granulometría, en busca de identificar el rango operativo ideal para nuestro P_{80} , con el fin de obtener 21 – 23% de Cu en el concentrado bulk, donde se realizarán granulometrías y pruebas de flotación y ensaye de este para buscar correlación.

Muestreo

Para la realización del muestreo en molienda, se debe de seguir un método ya establecido para la toma de muestras, esto es, para evitar resultados erróneos por muestras mal tomadas. Para iniciar con el muestreo, se debe de tener un proceso estable y tratar de mantenerlo así durante el muestreo.

Realización de un muestreo en el área de remolienda:

1. Establecer e identificar en el diagrama del circuito de concentradora (específicamente en el área de remolienda), como el que se presentó anteriormente; los puntos que se van a muestrear.

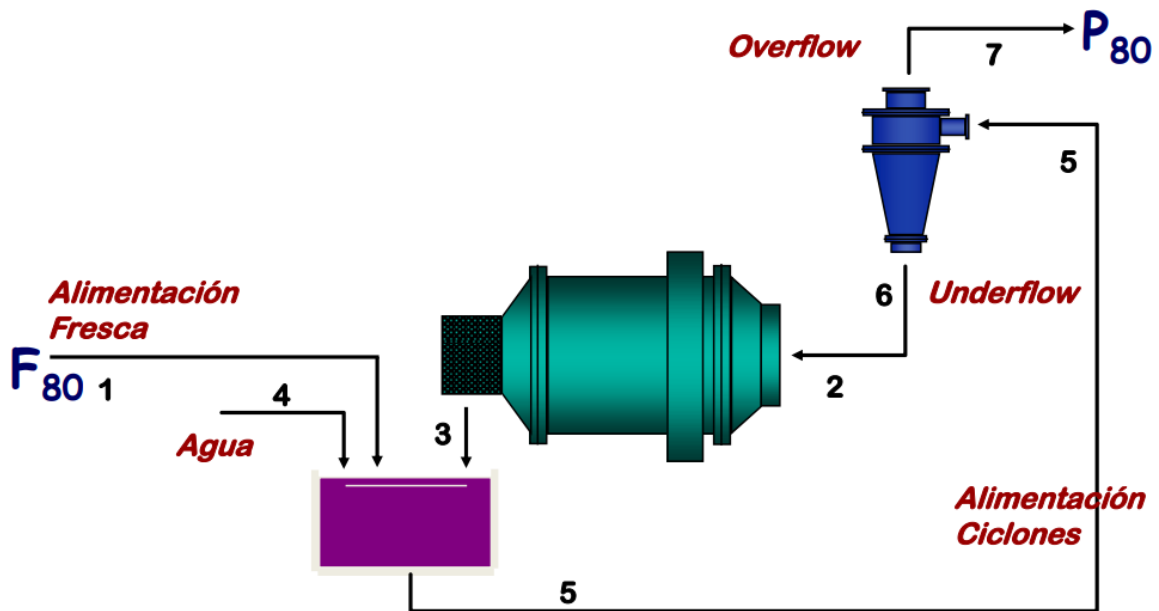


Figura. 17 Layout de circuito remolienda.

2. Tarar e identificar cubetas de 20 litros para recolectar cada una de las muestras.

3. Verificar % de sólidos en los diferentes puntos a muestrear con la balanza Marcy (escala 3.2):

- Descarga molino 60-76%
- Alimentación ciclones molino 18-22%
- Overflow ciclones molino 4-15%
- Underflow ciclones molino 60-76%



Figura. 18 Balanza Marcy.

4. Una vez comenzado el muestreo, anotar hora de inicio y coordinarse con cuarto de control, para que el registro en cada corte realizado los siguientes parámetros: % sólidos en la alimentación a ciclones, agua molino y agua de dilución, presión en hidrociclones, numero de hidrociclones operando, eficiencia en molienda.

5. El muestreo consiste en realizar 7 cortes diarios durante 6 días; 5 litros de pulpa en cada corte, con espacios de 1 hora entre sí. (Utilizar el tipo de cortador adecuado para el tipo de muestra.)



Figura. 18 Cortador de muestra.

Nota: La alimentación a la batería de ciclones siempre debe muestrearse después de tomar las muestras de sobre flujo y bajo flujo, para evitar que la caída de presión que se presenta al abrir la válvula para el muestreo altere la operación de los ciclones y modifique la granulometría.

5. Una vez concluido el muestreo, pesar las muestras recolectadas y registrar los pesos en el formato indicado.



Figura. 19 Bascula Granataria Digital.

6. Deslamar los 1000 g de cada muestra utilizando en malla 400.

7. Recolectar las fracciones negativas de cada muestra (-400), una vez deslamadas, en una cubeta para filtrarlas. Tarar previamente el papel filtro utilizado y registrar los pesos para poder calcular el peso neto de dichas fracciones, una vez que las muestras se hayan secado. Las fracciones positivas retenidas por el tamiz (+400, colocarlas en una charola y ponerlas a secar).



Figura. 20 Equipo de Filtración.

8. Colocar las muestras dentro del horno y retirar hasta que estén totalmente secas, pesar entonces las charolas con las muestras y registrarlo en el formato correspondiente.



Figura. 21 Horno secador para muestras blancas.

9. Calcular el % de sólidos considerando la siguiente ecuación y registrarlo donde corresponde:

$$\%SÓLIDOS = \frac{PESO SECO NETO}{PESO HÚMEDO NETO} * 100 \quad (1)$$

10. Utilizar la siguiente torre de tamices para clasificar la fracción +400, una vez que se hayan secado: #35, #50, #70, #100, #140, #200, #270, #325, #400.



Figura. 22 Torre de Mallas en RoTap.

11. Registrar los pesos de cada una de las fracciones retenidas por los tamices en los formatos correspondientes.

Este procedimiento se realiza con el fin de obtener la granulometría que tenemos presente y así mismo, obtener P_{80} correspondiente.

Instrumentación Instalada.

Dado que el objetivo general de este proyecto es optimizar el circuito de remolienda, se decidió instalar válvulas tipo P.I.D. (controlador proporcional, integral y derivativo), para mantener el control del agua de dilución (Figura 24), así como el agua molino (Figura 25), para garantizar una operación eficiente.

Cabe hacer mención que el proceso de remolienda no cuenta con agua de molino si no solo agua de dilución. Esto provocó un serio problema para mantener el P_{80} en su rango de operación ideal, y con el agua de dilución se ayuda a mantener un porcentaje de sólidos adecuado.

Como primer paso para optimizar, se instaló una válvula con controlador de tipo PID (controlador proporcional, integral y derivativo), en la tubería de agua de dilución, con el fin de operarse desde nuestro sistema operativo llamado "Delta V", que se puede operar desde el cuarto de control.

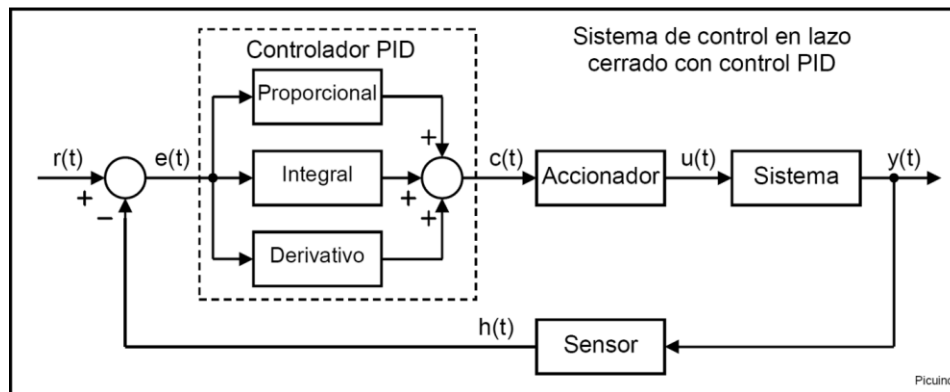


Figura 23. Sistema de control de lazo cerrado con controlador PID.

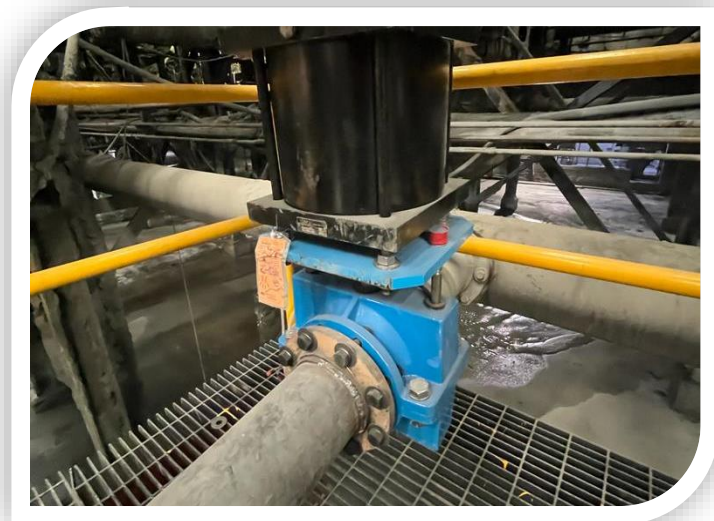


Figura. 24 Válvula tipo “PID” para Agua de Dilución.

Posteriormente se instaló una tubería para adicción de agua al molino remolador, así como su respectiva válvula de control de tipo PID.



Figura. 25 Válvula tipo “PID” para Agua al Molino.

Ambas válvulas instaladas nos ayudan a controlar nuestro P_{80} , y mantenerlo en un rango operativo óptimo, el cual es monitoreado por un equipo de medición para granulometría y sólidos que se conoce como PSI 300 de “OUTOTEC”.



Figura. 26 Equipo PSI 300

En dicho equipo se toman muestras en apoyo del departamento de ingeniería de procesos, con los datos de granulometría obtenidos en el muestreo; se desarrolló un modelo informático con el cual trabaja nuestro equipo.

Lectura de valores en concentrado primario para Fe, Cu, Ins y Mo en “COURIER”

Posteriormente y por último se busca obtener una tendencia del comportamiento de nuestro % de Cu en concentrado primario, ya que este dato lo obtenemos cada 2 horas, por medio de análisis de laboratorio, más sin embargo, si se logra obtener una tendencia de este análisis, ya no cada hora al momento que deseamos visualizarlo, se lograra operar de una manera más eficiente nuestra flotación; incluso si se desea en un futuro, eficientar aún más nuestro circuito de flotación, se puede automatizar, lograr operar nuestra cama de espuma y nuestro aire alimentado a celdas con forme a la tendencia de este.

El objetivo de lograr obtener esta tendencia es lograr mantener controlado la alimentación de nuestro circuito de remolienda, el cual podemos obtener un aproximado de lo alimentado por medio de la ecuación siguiente.

$$T = M \left(\frac{C-c}{G} \right) \quad (1)$$

- M = Molienda
- C = Cabeza
- c = Colas
- G = Grado
- T = Concentrado

En virtud del análisis de los datos obtenidos, empezamos evaluando el P₈₀ obtenido en cada muestreo, buscando una correlación entre este dato y nuestro % de Cu en concentrado primario.

RESULTADOS

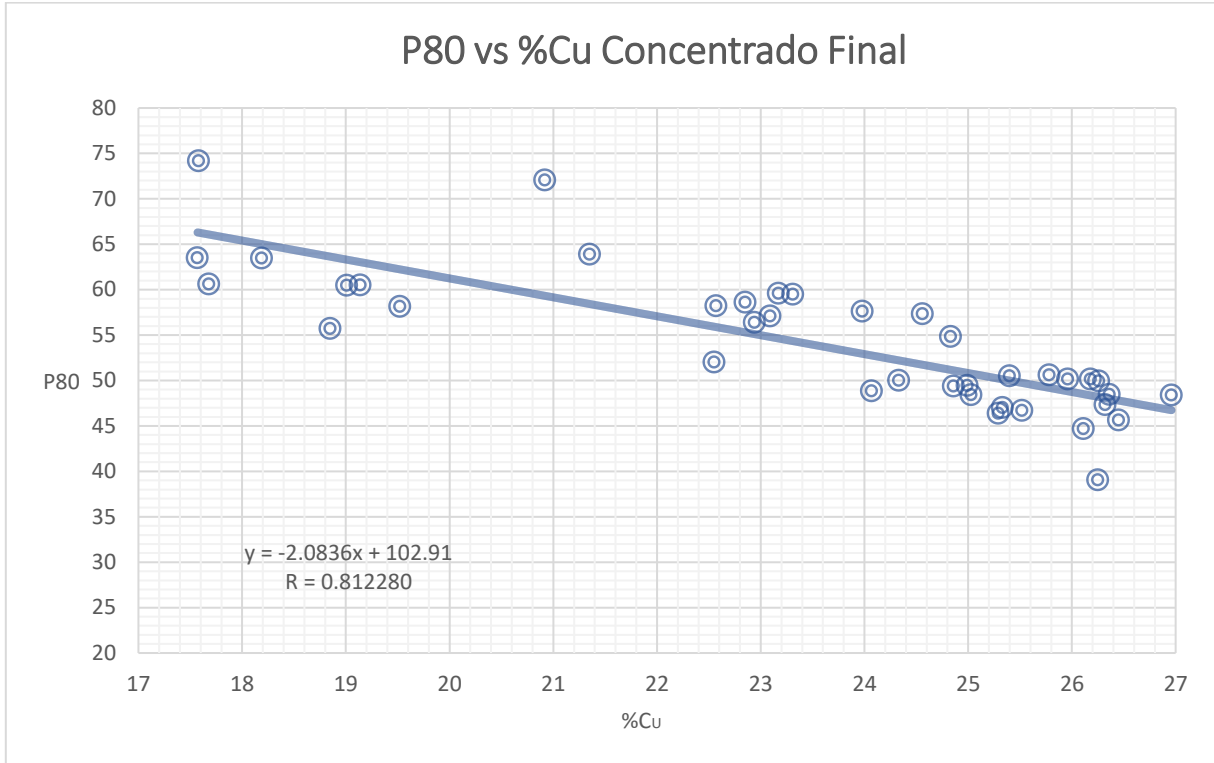


Figura. 27 Grafica P₈₀ VS % de Cu en Concentrado Final.

En el rango de 50 μ m a 60 μ m se logró obtener consecutivamente grados de Cu de 22% a 23.5%. (Datos obtenidos durante el muestreo)

Posterior a este gráfico, se buscó confirmar esta correlación, por lo cual se realizó un archivo histórico, donde se tuvieran todos los datos obtenidos día con día durante lo transcurrido del año 2022.

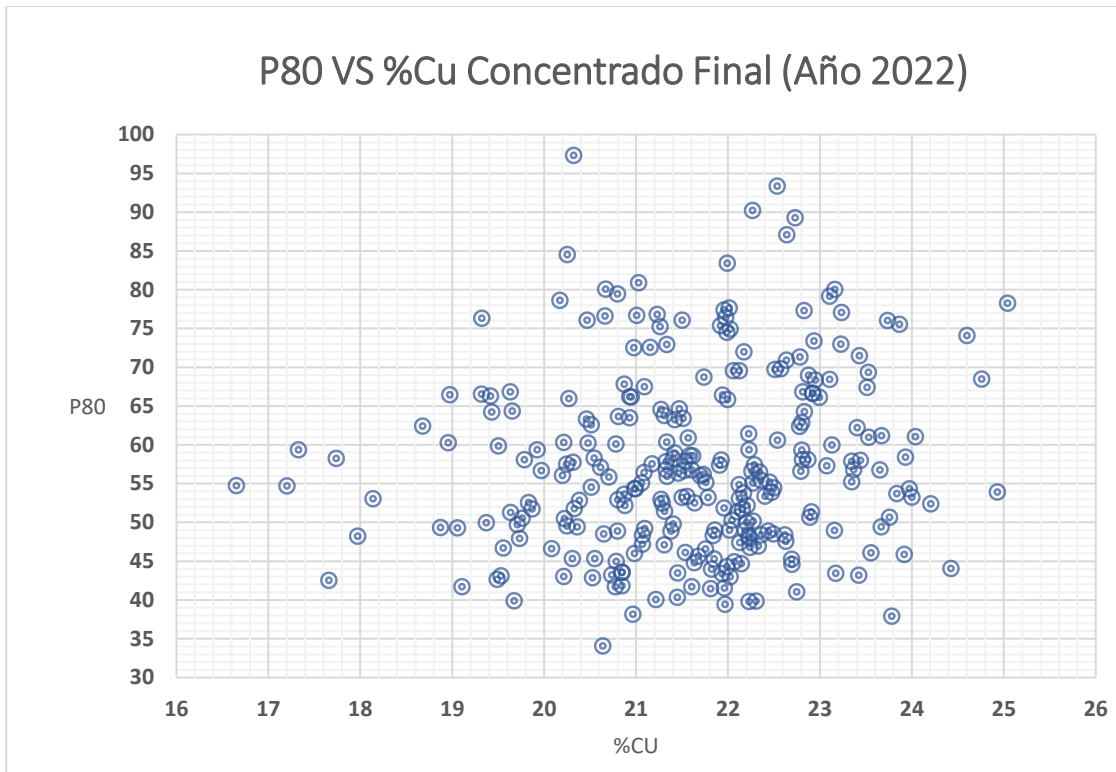


Figura. 28 Grafica P₈₀ VS % de Cu en Concentrado Final (1/01/22 – 09/10/2022).

Bien, buscando confirmar lo visto en la figura #28 podemos visualizar que tenemos un porcentaje de Cu en concentrado final de 21% a 23%, con P₈₀ entre 55 µm a 60 µm, con lo cual se establecerá como rango óptimo para P₈₀ en remoladores. Dicha grafica nos ayuda a observar que no se cuenta con un control en la variable de P₈₀, por ello se estableció un rango óptimo de operación para estabilizar estos datos.

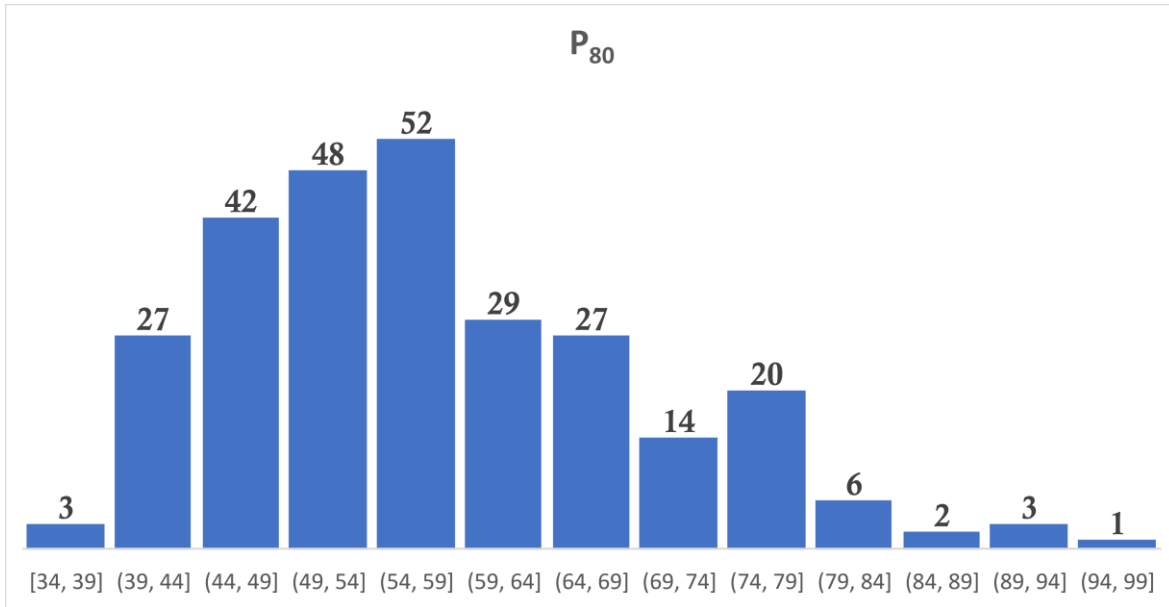


Figura. 29 Histograma de frecuencia para P_{80} (1/01/22 – 09/10/2022)

Al obtener el histograma de frecuencia de nuestro P_{80} obtenido durante el año, podemos observar el comportamiento de nuestra granulometría, entender que no hay un control de este. Sin embargo, podemos observar que, el rango deseado de 55 μm a 60 μm , se tiene con mucha frecuencia; por lo tanto, se busca con nuestro equipo PSI 300, lograr un control automático de este, apoyándonos y enlazándolo directamente a nuestras válvulas de agua de dilución y agua al molino.

Ahora bien, obteniendo ya un rango de operación óptimo, para P_{80} en overflow; nos queda otra variable suelta en nuestro circuito, que, si bien el P_{80} mencionado, es la parte final de nuestro circuito, ahora se busca obtener una correlación entre este y lo que se alimenta a circuito, que es nuestro concentrado primario.

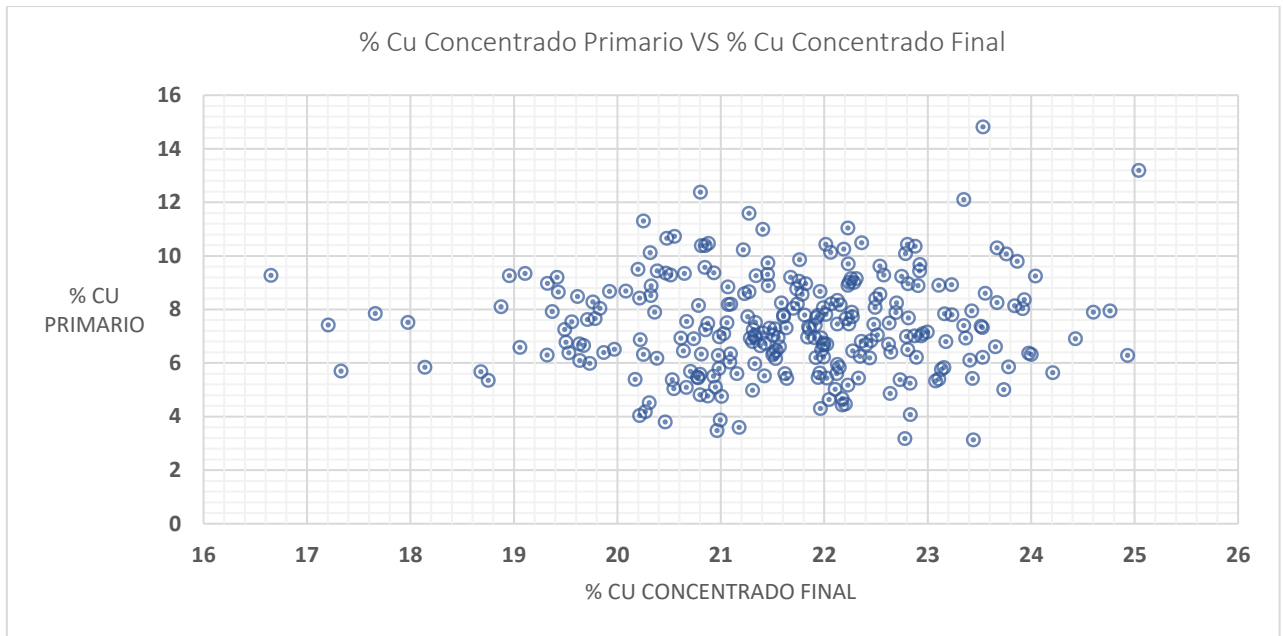


Figura. 30 Grafica % Concentrado Primario VS % de Cu en Concentrado Final (1/01/22 – 09/10/2022).

El rango que se desea para concentrado final es de 21% a 23% Cu se observa que al tener rango de 6% a 8% de Cu en los bancos primarios, nos ayuda a obtener el resultado deseado. Sin embargo, esto también nos ayuda a mantener un control, y sobre todo conocimiento cuantitativo de lo que se alimenta a remolienda, ya que no se cuenta con equipo de medición de flujo de pulpa.

Es importante recalcar que el plan de trabajo ya establecido para porcentaje de Cu final, ya en el almacén para su posterior distribución es de 23.5% de Cu, por eso es importante aclarar que, el objetivo de este proyecto es obtener 21% a 23% de Cu ya que este, posterior a su salida de la concentradora, ya como concentrado bulk, será procesado por planta de separación de Cu-Mo, siendo aquí una flotación selectiva, donde deprimimos Cu y flotamos el Mo.

Esto nos ayuda a concentrar aún más el concentrado de Cu, logrando obtener grado deseado, siendo 23.5% de Cu para la banda 17, la cual alimenta el almacén de concentrado final; en promedio de concentradora a la banda 17 aumenta un 1.05% de Cu.

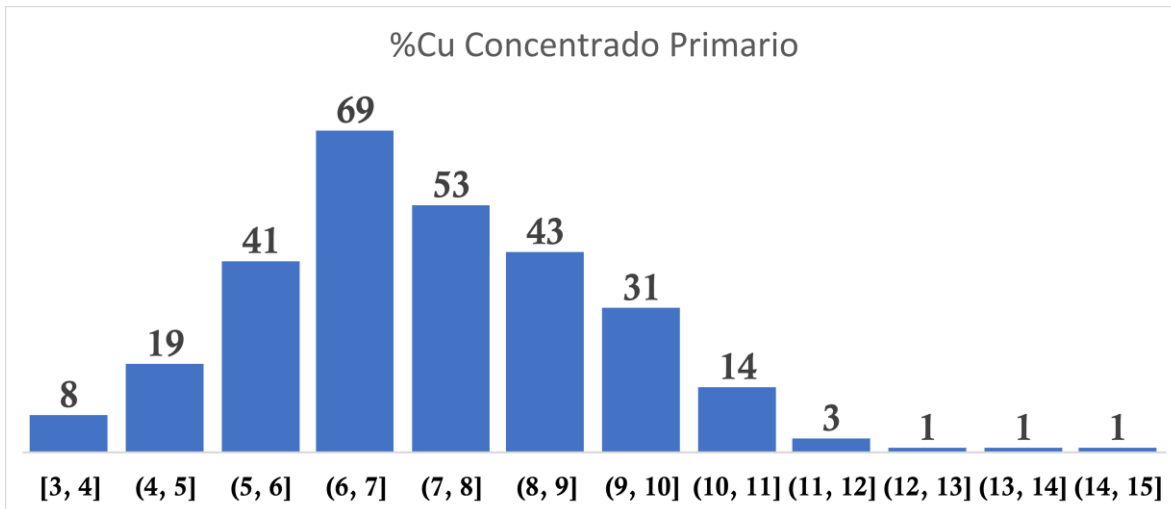


Figura. 31 Histograma de frecuencia para % de Cu en Concentrado Primario (1/01/22 – 09/10/2022).

Al observar la figura 31 no existe un control en el manejo de ley de % de Cu para el concentrado primario que este alimenta a nuestro circuito de remolienda. Por lo tanto, se decidió meter a lectura nuestro concentrado primario a nuestro equipo COURIER, obteniendo una tendencia que marcara comportamiento de nuestra ley de % de Cu y sobre todo lograremos en conjunto con el operador a cargo de bancos primarios, que se obtenga un rango deseado de ley de por ciento de Cu, beneficiando al circuito de remolienda con una alimentación constante de pulpa y optima para el proceso siguiente.

Se puede obtener las toneladas métricas húmedas de concentrado primario con la ecuación (1) mencionada anteriormente.

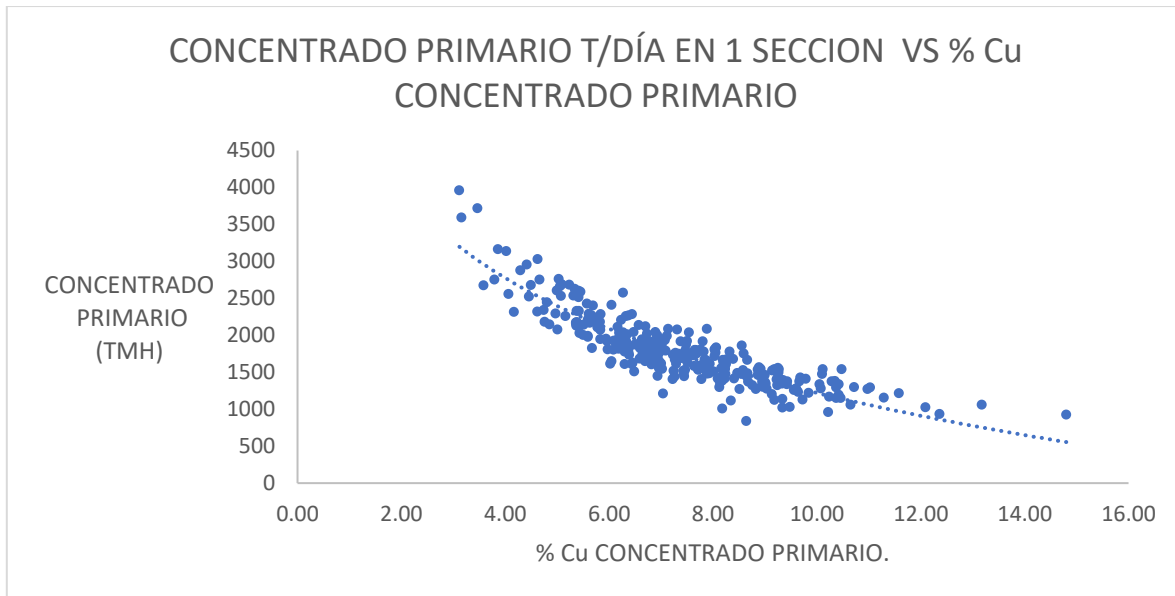


Figura. 32 Grafica % Concentrado Primario VS Concentrado Primario (TMH) (1/01/22 – 09/10/2022).

Buscando el rango óptimo para % de Cu en concentrado primario, obteniendo que, es en el rango de 1,500 TMH a 2,000 TMH las cuales nos ayudaran a mantener una estabilidad en el flujo principal de entrada al circuito.

Ejemplos del comportamiento de concentrado primario:

$$T = M \left(\frac{C - c}{G} \right) \quad (1)$$

EJEMPLO 1:

- M = 41,190 TON/DÍA
- C = 0.313 % Cu
- c = 0.034 % Cu
- G = 12.36 % Cu
- T = 931.80 TON/DÍA.

EJEMPLO 2:

- M = 46,878 TON/DÍA
- C = 0.305 % Cu
- c = 0.036 % Cu
- G = 4.02 % Cu
- T = 3,138.95 TON/DÍA.

En un proceso de conminución de partículas, como lo es remolienda, el tener una automatización con válvulas de control, es un objetivo clave, que nos permitirá la alimentación adecuada de agua de dilución y agua al molino remolador, con el fin de obtener y controlar el P₈₀, así como garantizar la liberación de partículas de

interés, como lo es Cu y Mo, independientemente de la dureza y mineralogía. Por eso mismo, se desarrolló un diagrama de flujo, que será el modelo de operación, con el cual, estas válvulas actuaran para garantizar la operación en la mayoría de su tiempo, con un rango óptimo de P_{80} , siendo que se usaran la cantidad de litros de agua de dilución y agua al molino, a alimentar como variables independientes, y como variable dependiente nuestro P_{80} , dado por nuestro equipo PSI 300 ya mencionado.

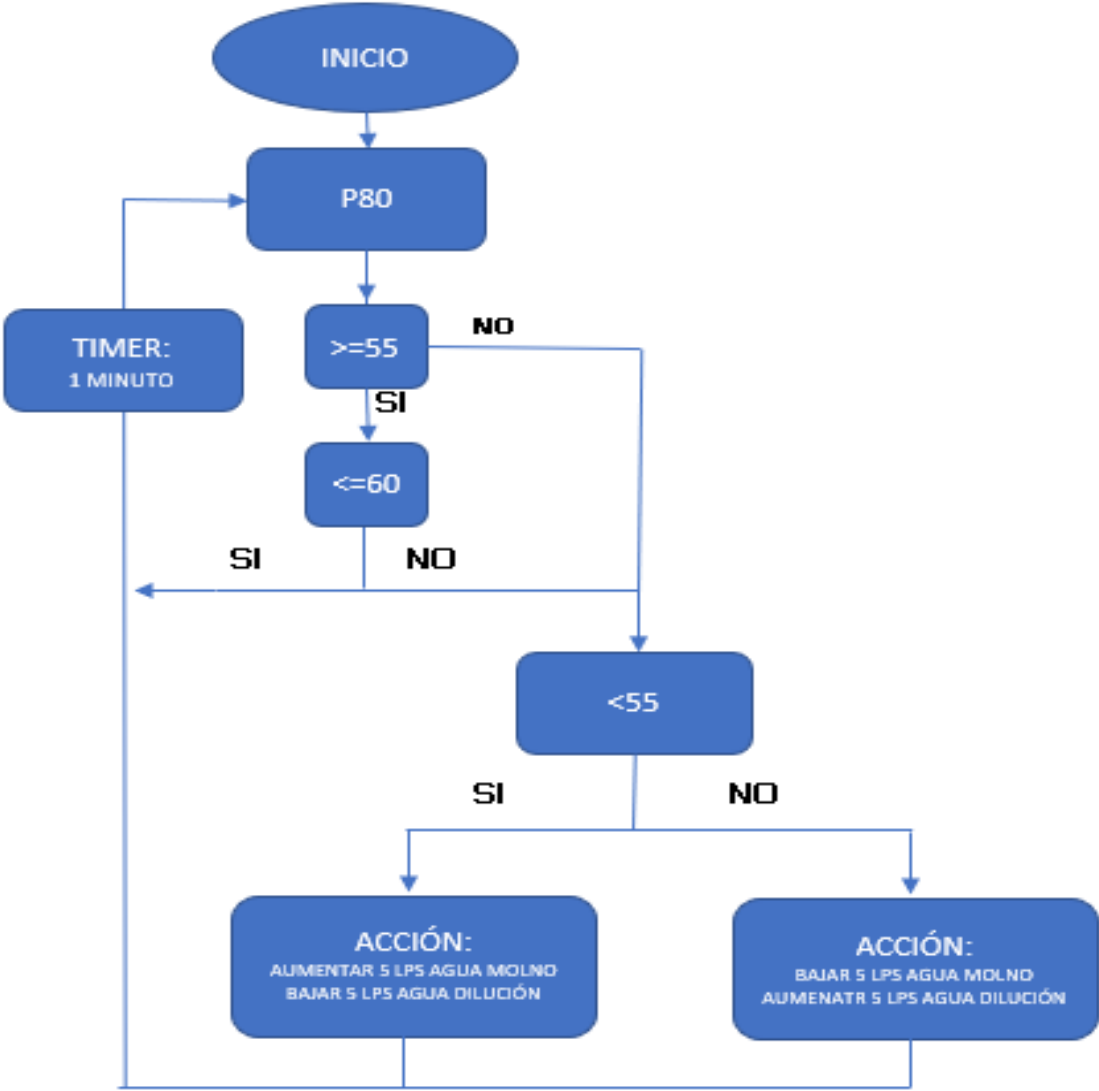


Figura. 33 Diagrama de flujo para control de P_{80} por medio de alimentación de agua al molino y agua de dilución a remolador.

CAPITULO IV. CONCLUSIÓN

El área de remolienda, previo a los cambios efectuados que hemos realizado, se encontraba sin optimización, debido a que no se contaba con elementos claves para la operación de un molino, como lo es la alimentación de agua al molino y un control de P_{80} en overflow de nuestro hidrociclón, siendo esto fundamental, para garantizar un plan de trabajo interno, como lo es, un grado superior a 23.5% de Cu, en el concentrado final.

Como bien, estableciendo los rangos óptimos de operación mencionado anteriormente, donde se analizó el comportamiento de variables que influyen en nuestro proceso, buscando encontrar parámetros óptimos de operación, con los cuales podemos dar un valor agregado, que es el facilitar la operación de dicho circuito. Se estableció un plan de trabajo y control para P_{80} , el cual es $55 \mu\text{m} - 60 \mu\text{m}$ en flujo de overflow, con un porcentaje de sólidos de 10% - 12% de sólidos en el mismo flujo.

Garantizando mantener dicho porcentaje de sólidos, necesitamos mantener una presión en nuestro hidrociclón de 6 – 8 PSI, el cual nos ayudara a mantenernos en el rango deseado, y sobre todo ayudándonos con el controlador tipo “PID” y los valores arrojados de la lectura del equipo PSI 300 y COURIER. Considerando estos factores como piezas claves, para el objetivo general de este proyecto los cuales nos ayudaran a mantener un rango deseado para la ley % de Cu, porcentaje de recuperación y un producto que beneficiara a la siguiente etapa, que es la planta de separación de Cu-Mo, ya que con granulometría de mayor a $55 \mu\text{m}$, no se presenta perdidas por finos o generación de lamas en espesadores de Cu – Mo los cuales nos ayudan a la recuperación de agua.

La alimentación al circuito de remolienda es un factor importante, ya que esta regula el buen resultado obtenido en los valores de nuestro concentrado, manteniendo un control en lo alimentado, ya que el circuito no obtendrá la misma eficiencia al alimentarlo con 1,000 TMH-DÍA de concentrado primario a 3,000 TMH-DÍA de concentrado primario. En el siguiente histograma observamos el descontrol que existe en la cantidad de toneladas métricas húmedas alimentadas al remolador, como bien, en base a los resultados ya mencionados al obtener un concentrado con grado de Cu al 6% a 8%, obtendremos un control de alimentación fresca de 1,500 a 2,000 TMH de concentrado primario.

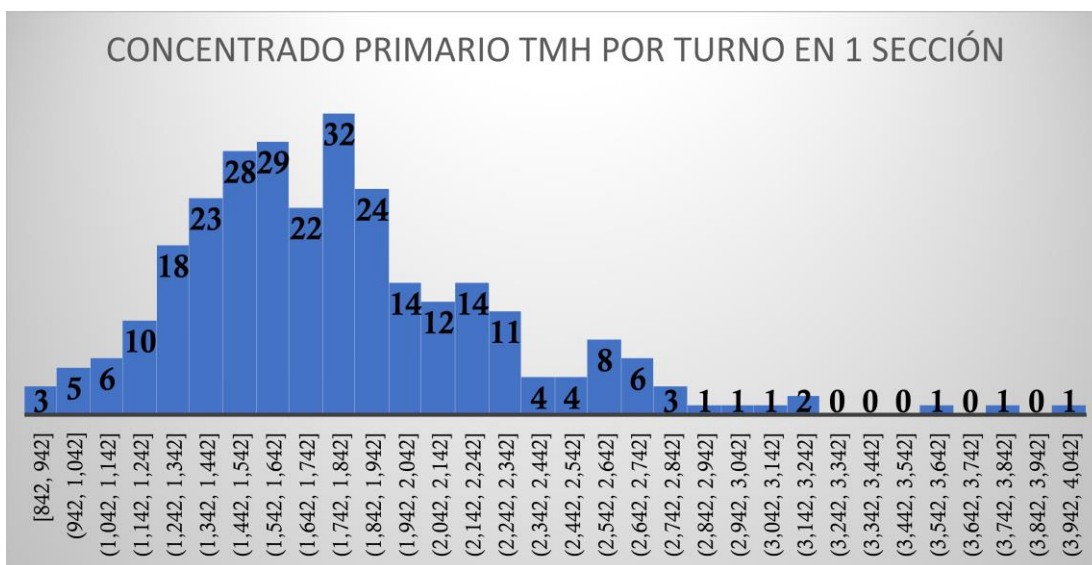


Figura. 34 Histograma de frecuencia para concentrado primario (TMH)

	ANTES	DESPUES
P₈₀ OverFlow	35 – 85 μ m	55-60 μ m
%Solidos OverFlow	6% -15%	10% -12%
Presión hidrociclón	1-12 PSI	6 - 8 PSI
%Cu Concentrado Primario	3% – 12%	6% - 8%
TMH/HORA alimentadas a Remolienda.	850 - 3,100 TMH/DIA	1,500-2,000 TMH/DÍA

Figura. 35 Tabla con Parámetros Optimizados.

Durante el desarrollo del proyecto, se presentaron diferentes limitaciones, las cuales influían en tener que recurrir a un paro en corte de muestras, ya que, estas coincidían con paros programados y no programados del remolador, para su respectivo mantenimiento, más sin embargo, siempre buscando el avance, se recurría a la instalación de ciertas mejoras en esos paros, como lo es, la instalación de válvulas de control, instalación de líneas de cortador automático a PSI 300 y/o Courier, Bomba para ingresar a lectura concentrado primario, etc.

Las prácticas profesionales proporcionan bases fundamentales, llamándolo aprendizaje controlado y formado, en los cuales el estudiante desarrolla, practica y mejoran sus habilidades profesionales, vinculándolo con varios campos a nivel individual, grupal y social el cual será la llave al extenso campo laboral que es el ámbito minero-metalúrgico.

Como practicante, el desarrollar habilidades y actitudes que aporten al logro del desempeño profesional en un perfil competente es poner en práctica los conocimientos adquiridos en el aula a través del contacto de la industria ya de una manera física, donde conocemos las diferentes estructuras y procesos de la empresa a la cual apoyamos.

Es un factor clave que el estudiante al inicio desee el adquirir conocimientos más allá de lo que se le otorgue de trabajo ya que es una etapa donde podemos conocer toda la operación de lleno

CAPITULO V. BIBLOGRAFIA

1. Ing. Adolfo Marchese García, jefe Dpto. Química-Metalurgia Artículo publicado en la Revista Minería Edición 322 - julio 2004 Instituto de Ingenieros de Minas del Perú Lima, Perú.
2. Diseño y simulación de circuitos de Molienda y clasificación Leonard G. Austin, Fernando Concha A. Programa iberoamericano de ciencias y tecnología para el desarrollo
3. Mineral Comminution Circuits. Their Operation and Optimisation T. J. Napier-Munn, S. Morrel, T. Kojovic Series Editor 1996
4. Runge k, McMaster J, Wortley M, La Rosa D, Guyot O, Nelson M.,2007, Proc. 9th Mill Operators Conference. Melbourne: Australian Institute of Mining and Metallurgy
5. Laboratorio de control metalurgico mina “La Caridad “, mexicana de cobre S.A. de C.V., 2022, Reporte interno de ensayos en planta concentradora.
6. Blanco, E. (2019). Tecnología Metalúrgica – Molienda [Archivo PDF]. URL: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/8._molienda.pdf
7. Laboratorio de control metalúrgico mina “La Caridad “, mexicana de cobre S.A. de C.V., 2022, Reporte interno de primera limpia en planta concentradora.
8. Laboratorio de control metalúrgico mina “La Caridad “, mexicana de cobre S.A. de C.V., 2022, Reporte interno de Formula Calcopirita en planta concentradora.

9. Laboratorio de control metalúrgico mina "La Caridad ", mexicana de cobre S.A. de C.V., 2022, Reporte interno de Filtrado en planta concentradora.