



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISION DE INGENIERIA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
Y METALURGIA**

“OPTIMIZACIÓN DE CELDAS WEMCO”

REPORTE DE PRÁCTICAS PROFESIONALES

Que para obtener el título de:

INGENIERO METALÚRGICO

Presenta

GONZALO ROSAS CORONADO

Hermosillo, Sonora

Junio 2017

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

INDICE

INDICE DE TABLAS	ii
INDICE DE FIGURAS.....	iii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
3. HIPOTESIS	4
4. ANTECEDENTES.....	5
4.1. Metalurgia Extractiva	5
4.2. Flotación	8
4.3. Reactivos de Flotación.....	12
4.4. Celdas OUTOKUMPU.....	13
4.5. Celdas DENVER.....	14
4.6. Celdas WEMCO.....	15
4.7. Ventajas y Desventajas	18
5. METODOLOGÍA.....	19
5.1. Consumo de Energía	23
6. RESULTADOS	25
6.1. Reparación Mecánica en el Banco 1	27
6.2. Capacitación del personal	34
6.3. Banco 5	36
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	41
8. BIBLIOGRAFIA	44

INDICE DE TABLAS

Tabla		Página
I	Diferentes tipos de celdas en el mercado.....	17
II	Ventajas y desventajas de las celdas WEMCO.....	18
III	Formulas para el consumo de energía.....	24
IV	Porcentaje de recuperación de las colas finales de las celdas OUTOKUMPU antes de hacer cambios de corrientes.....	26
V	Muestra los valores generados con el control de corrientes, mediante el monitoreo continuo de las entradas y salidas del sistema del Banco 1.....	26
VI	Problemas detectados y sugerencias para resolverlo.....	28
VII	Bajo consumo de energía en el Banco 1 por las celdas WEMCO.....	32
VIII	Tamaños de los broqueles en los faldones y dispersores.....	32
IX	Resultados de recuperación en el Banco 1 y 5.....	40

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Diagrama de procesos de una planta metalúrgica de cobre.....	6
2	Esquema de planta de flotación.....	7
3	Celda de flotación para la separación de minerales.....	8
4	Celda de flotación para la separación de minerales.....	10
5	Molino de bolas.....	10
6	Hidrociclón.....	11
7	Adhesión del colector a la superficie del mineral.....	12
8	Celda OUTOKUMPU.....	14
9	Celdas DENVER.....	15
10	Partes mecánicas de la celda WEMCO.....	16
11	Diagrama de planeación para un muestro.....	19
12	Partes de mayor cuidado de la celda.....	22
13	Posicionador de control automático para las celdas WEMCO.....	22
14	Funcionamiento del posicionador, en este caso indica la apertura de un 88.9% de salida.....	23
15	Ejemplo de consumo de energía	24
16	Plantilla de mecánicos haciendo los cambios requeridos para las celdas WEMCO.....	27
17	Comparación del antes y después de una pieza mecánica para las celdas WEMCO.....	29
18	Guía superior adaptada para el buen embone del dardo....	30
19	Limpieza del Banco 1.....	31
20	Bola de nivel limpia con ácidos para el despojo de sólidos incrustados.....	33
21	Posicionadores y abrazaderas, nuevas en el Banco 1.....	33
22	Mangueras transparentes endurecidas por el sol y destrozadas.....	34
23	Mangueras sin usar en las celdas.....	37
24	Entradas de aire.....	37
25	Maxisaco con incrustaciones desprendidas y pasillos limpios de objetos inútiles.....	38
26	Cambio de anillo de sumergencia, draft-tube y piso falso...	38
27	El antes y después de la sobre alimentación en la celda 13.....	39

1. INTRODUCCIÓN

Nacozari de García es un Municipio situado en la zona noreste del estado de Sonora, colinda al norte con el Municipio Agua Prieta, al este con Bavispe, al sureste con Bacerac, al sur con Villa Hidalgo y Cumpas, al oeste con Arizpe y al noroeste con Bacohachi y Fronteras. Fue fundado en el año de 1660 al descubrirse las minas que rodean a la ciudad. La riqueza de las minas atrajo a numerosa población, sobre todo durante el siglo XIX, las cuales a partir de 1867 fueron adquiridas por compañías extranjeras que se establecieron en el lugar.

En 1968 fue descubierta la Mina "La Caridad" a 20 millas al sureste de Nacozari, con ello, la compañía estatal mexicana de minería, Mexicana de Cobre, S.A. de C.V. inició el desarrollo de esta y de algunas más en los alrededores de la población, lo cual detonó de nueva cuenta la actividad económica y con ello la densidad poblacional. De esta forma se llegó a considerar dicha mina como la tercera en cuanto a la producción de cobre a nivel mundial. La planta concentradora inició operaciones en 1979 con una capacidad de 72,000 toneladas diarias de mineral. Para 1986 la planta de concentración se incrementó a 90,000 toneladas diarias. A la fecha esta maneja 97,000 toneladas por día. Actualmente y debido a los precios de los metales esta planta a cargo de Grupo México, permite operar mineral de una ley de cobre igual o superior al 0.32%.

La planta concentradora utiliza el método de flotación de minerales, que consiste en la separación de especies mediante la adherencia selectiva de partículas hidrofóbicas a una burbuja de aire para de esta manera separar las partículas deseadas, utilizando una celda de flotación. Su funcionamiento por medio de aire e impulsores formadores de la burbuja. De igual manera la adición de reactivos dentro del sistema, como lo son colectores, espumantes y modificadores, son de suma importancia para el funcionamiento de estas celdas.

La importancia del trabajo realizado en las prácticas profesionales radicó en una nueva elaboración en el mantenimiento y con ello mejora del funcionamiento de

las celdas de flotación, tipo WEMCO (las cuales están instaladas en la parte final del área de la flotación primaria); con el objetivo de obtener el incremento del porcentaje de recuperación de cobre utilizando este Banco de celdas adicional.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo del trabajo desarrollado durante la estancia de prácticas profesionales es evaluar el funcionamiento de un banco de celdas colocadas en el final del circuito de flotación de cobre, y la optimización de sus parámetros de operación como muestreo, flujos, niveles de la pulpa manejada y niveles de espuma.

Los objetivos particulares son:

- El monitoreo continuo de las corrientes de las celdas de flotación Wemco.
- Muestreo continuo de las corrientes del proceso.
- Verificación del funcionamiento mecánico.
- Revisión de los instrumentos de control automático, para la altura de la espuma.
- Capacitación al personal, para el mantenimiento y cuidado de las celdas.

3. HIPOTESIS

La planta de concentración de cobre utiliza una serie de bancos primarios para la obtención del concentrado, se manda a unos molinos para la remolienda, nuevamente se flota el concentrado, pasa a unas celdas de limpieza y finalmente a los espesadores. Lo que no se flota en las celdas primarias se manda a presa de jales.

Con el objetivo de aumentar la recuperación de cobre en el circuito de flotación, se adiciono una serie de celdas en la flotación primaria y con esto tener una mayor eficiencia en la recuperación de las especies valiosas, generando una aportación al porcentaje de recuperación total de la planta y aumentando la productividad.

4. ANTECEDENTES

4.1. Metalurgia Extractiva

Los minerales extraídos en una operación minera están compuestos por diversas especies, algunas de ellas de valor comercial, y que son las de interés comercial a recuperar. La metalurgia extractiva corresponde al conjunto de procesos que se llevan a cabo para separar selectivamente las especies de interés de aquellas sin valor. En términos generales se puede subdividir en cuatro grandes áreas: procesamiento de minerales, procesos hidrometalúrgicos, procesos electrometalúrgicos y procesos pirometalúrgicos. Cada una de estas áreas enfrenta desafíos de complejidad creciente como consecuencia de la disminución sostenida de las leyes en los yacimientos, aparición de elementos penalizados y regulaciones medioambientales cada vez más exigentes. Resulta entonces indispensable contar con capital humano altamente calificado e instalaciones apropiadas para el desarrollo de esta actividad [1].

En las plantas de recuperación de cobre normalmente utilizan dos procesos dependiendo como se encuentre la especie de interés económico; en el caso de óxidos de cobre se lixivia con ácido sulfúrico después se le da una purificación y extracción por solventes, para pasar posteriormente a una electrodeposición para obtener cobre catódico. En este proceso puede utilizarse la cementación del cobre y mandarse a fundición, en el caso de sulfuros se hace una reducción de tamaños con el fin de liberar los valores, esto se hace utilizando una serie de quebradoras y molinos, posteriormente por flotación agregando ciertos reactivos y espumantes para la obtención de un concentrado, y lo que no se recuperó se manda a presa de jales. El concentrado se manda a fundición para obtener un cobre anódico, o blíster. Este último pasa a una refinación para obtener cobre catódico de acuerdo a la Figura 1.

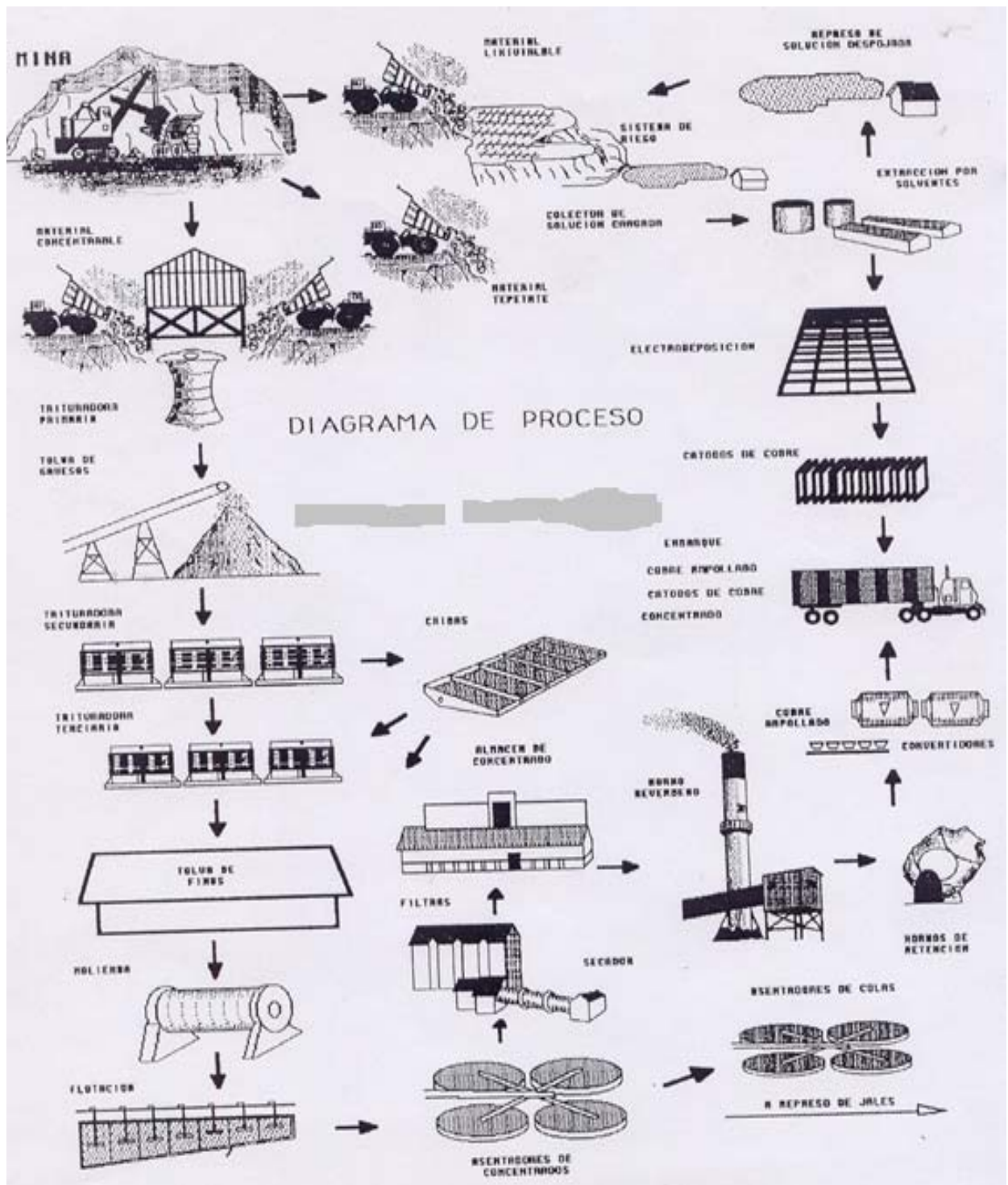


Figura 1. Diagrama de proceso de una planta metalúrgica de cobre.

En la Figura 2, se presenta un esquema más detallado del área de flotación de una planta metalúrgica de cobre, donde se utilizan una serie de molinos, ciclones, distribuidores y celdas de flotación para la obtención del concentrado de cobre.

Esta técnica de concentración de los minerales busca obtener la liberación entre las partículas del mineral, utilizando equipos de separación física o fisicoquímica en húmedo, de las diversas especies valiosas liberadas como celdas de flotación y cribas. Al tratarse de una industria altamente generadora de desechos, emplea así mismo equipos de recuperación y acondicionamiento de efluentes como espesadores, filtros, procesos ecológicos, entre otros, que permite, además, reciclar el agua del proceso y hacer una depositación adecuada con los residuos sólidos, gaseosos y líquidos.

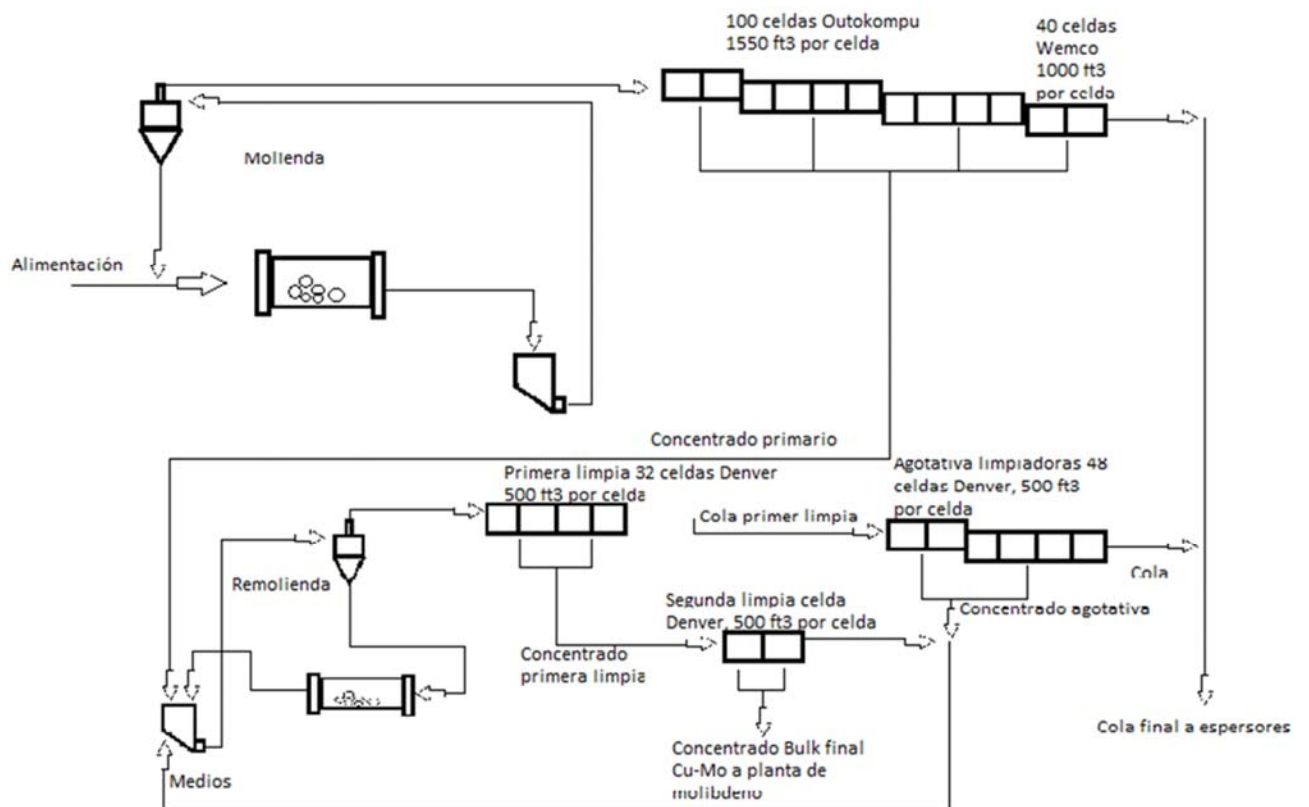


Figura 2. Esquema de planta de flotación.

4.2. Flotación

La flotación es un proceso físico-químico, cuyo objeto es la separación de especies minerales valiosas (concentrado) de las no valiosas (colas), a través del uso de la adhesión selectiva de partículas del mineral a las burbujas de aire [2] como se muestra en la Figura 3. Este proceso tiene como fin la separación de materias de distinto origen efectuado desde pulpas acuosas por medio de burbujas de gas (aire) a base de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas, donde podemos observar algunas partes de la flotación como lo son: la alimentación, el concentrado y las colas.



Figura 3. Celda de flotación para la separación de minerales.

Para realizar el proceso de la flotación es necesario antes darle una previa preparación al mineral para su mayor eficiencia, que consiste en la liberación de partícula por medio de quebradores y molinos llamados también proceso de conminución. Los objetivos de los procesos de conminución (trituración y molienda) son tres: a) Liberación del mineral valioso de la ganga antes de las operaciones de concentración. b) Incrementar la superficie específica de las partículas, por ejemplo, para acelerar la velocidad de reacción en los procesos de lixiviación, flotación, etc. c) Producir partículas de mineral o cualquier otro material de tamaño y forma definidos [3].

Existen diferentes tipos de molinos los mayormente utilizados son los molinos de bolas como el que se muestra en la Figura 4, se han usado por muchos años en las plantas de procesamiento de minerales metálicos. La alimentación que se envía a un molino de bolas es el producto final obtenido en un circuito de trituración, siendo el tamaño variable ya que depende del tamaño del producto final de la molienda, y de los requerimientos de energía del molino de bolas. Esto quiere decir que la alimentación no puede ser de un tamaño muy grueso, ni de uno muy fino por que la calidad del producto final afecta la eficiencia del proceso siguiente. La molienda suele efectuarse con adición de agua, y la adición de reactivos químicos tales como la cal para regular el pH, depresores como sulfato de zinc y cianuro, y de algún reactivo de características especiales según el mineral que se está procesando. Dentro de él tiene una carga de bolas de acero que suele ocupar entre 30% a 40 % del volumen interior del molino [4]. También en esta etapa son de suma importancia la utilización de hidrociclones como el que se muestra en la Figura 5, ya que forman una clase importante de equipos destinados principalmente a la separación de suspensiones sólido – líquido. La industria minera es el principal usuario de los hidrociclones, siendo aplicado en clasificación de líquidos, espesamiento, ordenamiento de partículas por densidad ó tamaño y lavado de sólidos [5].

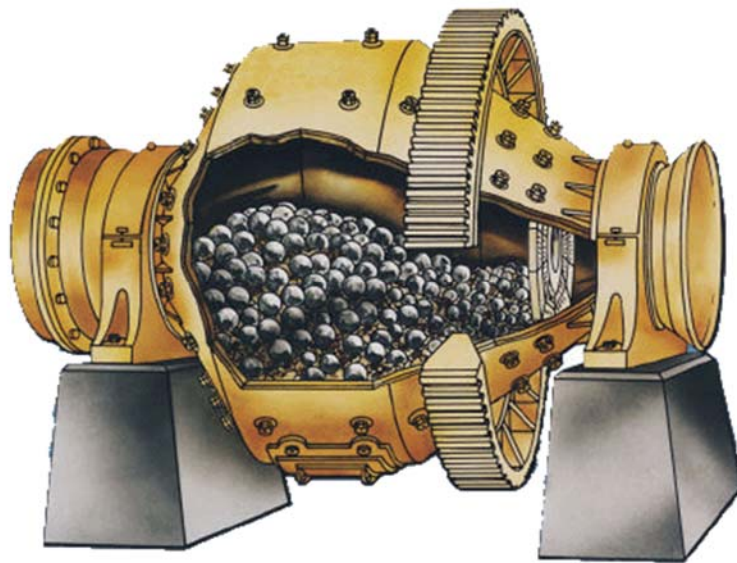


Figura 4. Molino de bolas.

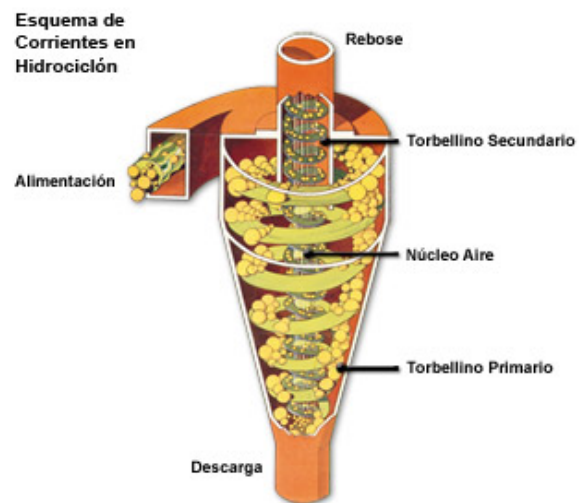


Figura 5. Hidrociclón.

Estos equipos separan el mineral de la partícula más fina de la gruesa haciendo que los finos sean enviados a la flotación y los gruesos reenviados a una remolienda provocando un circuito cerrado. La flotación primaria o rougher tiene como objetivo metalúrgico la recuperación y no la ley de concentrado, de tal modo, que la liberación adecuada se obtiene en una etapa posterior de remolienda, precedida por una operación de espesamiento o clasificación del concentrado rougher, el cual se somete posteriormente a una operación de flotación de limpieza, cuyos objetivos son elevar la ley de concentrado [6], la Figura 6 muestra una celda de flotación en funcionamiento.

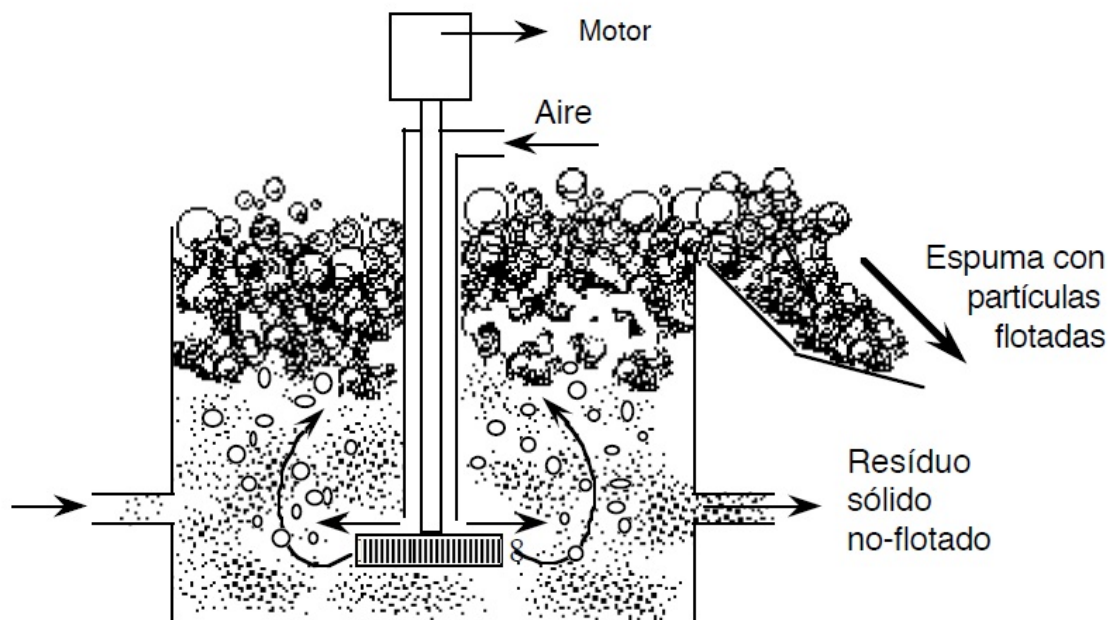


Figura 6. Partes de una flotación.

4.3. Reactivos de flotación

Existen muchos tipos de reactivos utilizados en la flotación y que tienen diversas funciones. Los colectores, son sustancias orgánicas cuyo anión o catión tiene una estructura integrada por una parte polar y otra apolar. La parte polar de ion se adsorbe en la superficie del mineral. Por otra parte, la parte apolar, constituida por una cadena de hidrocarburos, queda orientada hacia la fase acuosa dando el carácter hidrofóbica al mineral como se muestra en la Figura 7 [7].

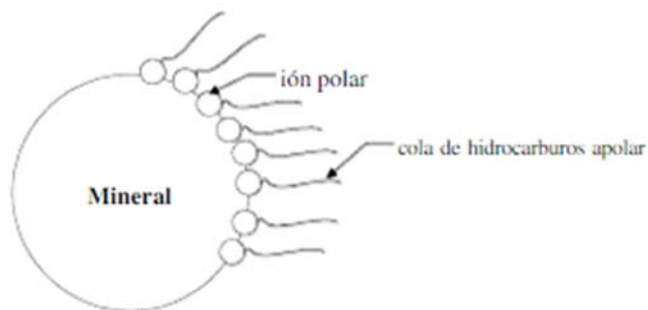


Figura 7. Adhesión del colector a la superficie del mineral

Los espumantes, tienen como propósito la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta su extracción de las celdas de flotación.

Son sustancias tenso-activas heteropolares que pueden adsorberse en la superficie de separación agua-aire. A los espumantes corresponde la creación de una espuma y que por este hecho, permite la separación de las partículas hidrofóbicas e hidrofílicas. Su objetivo principal es dar consistencia, rodeando de una capa adsorbida a las pequeñas burbujas de aire que se forman en la pulpa, por agitación o inyección de aire, evitando que se unan entre si y que cuando

salgan a la superficie no revienten, constituyendo las espumas; además, dar elasticidad, ayudando a las burbujas ascendentes a irrumpir a través de la capa superior del agua, emergiendo intactas en la interface agua-aire [8].

Los activadores o modificadores son reactivos+ que pueden ser de tres tipos: modificadores de pH, activadores y depresores. Donde los modificadores de pH son ácidos y bases (Ej.: HCl, NaOH, etc), los activadores: son reactivos químicos orgánicos o inorgánicos que ayudan al colector a adsorberse en la superficie del mineral a flotar. Los depresores: son reactivos químicos orgánicos o inorgánicos que impiden la acción del colector en la superficie del mineral [9].

4.4. Celdas OUTOKUMPU

Este tipo de celdas cuentan con un innovativo impulsor diseñado sobre la base de principios hidrodinámicos. Así las celdas OUTOKUMPU tienen excelentes características, pueden mantener aún sólidos gruesos en suspensión a través del tanque. La clave del mecanismo impulsor es promover la dispersión de aire a partir de la superficie completa de las ranuras del rotor. La fuerza centrífuga creada por el anillo de la pulpa que rota en la separación rotor-estator, compensa el aumento de la presión hidrostática en las partes inferiores al rotor. El rotor como una poderosa bomba más que un agitador, puede a pesar de su pequeño tamaño mantener el material grueso en suspensión.

El diseño del impulsor en forma ovalada y constituido por una serie de hojas verticales radiales, permite que la pulpa sea bombeada hacia arriba desde el fondo y lanzada enseguida hacia afuera para mezclarse íntimamente con el flujo de aire disperso. Las celdas OUTOKUMPU garantizan una buena suspensión de la pulpa con bajo consumo de potencia [11] como se observa en la Figura 8.

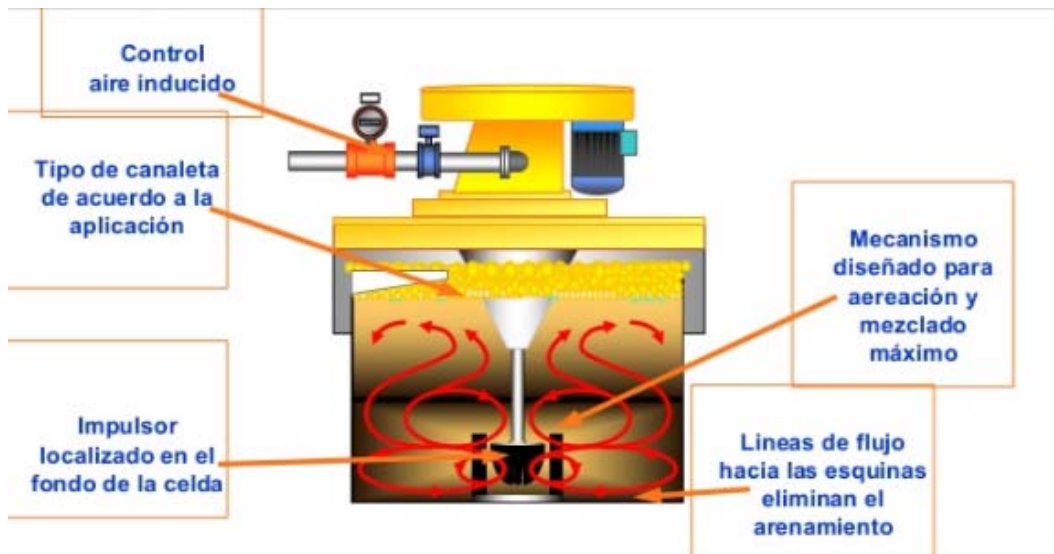


Figura 8. Celda OUTOKUMPU

4.5. Celdas DENVER

Las celdas DENVER pueden ser bancos de flujo abierto o dividido por celdas individuales. De estas últimas las sub A son ampliamente usadas principalmente por su versatilidad para modificar circuitos, debido a las características de su impulsor que al actuar como succionador no solo produce una auto-aireación sino que evita el uso de bombas para el manipuleo de concentrados y relaves. Es por ello que estas celdas se utilizan en las etapas de limpieza o separaciones diferenciales [12] la Figura 9 muestra un Banco de celdas DENVER.



Figura 9. Celdas Denver

4.6. Celdas WEMCO

En 1930 las celdas WEMCO fueron conocidas como las celdas Fagergen y se usaban en la fabricación de fosfatos, cobre, plomo, zinc y oro. Las celdas de última generación WEMCO se denominan Smartcell, en tamaños hasta 142 m³ [10]. Las últimas dos celdas que se encuentran en el circuito de flotación primario son celdas WEMCO. El aire ingresa a la celda por auto aspiración pudiendo regular el flujo de aire modificando la sumergencia y la velocidad de rotación del rotor. Este procedimiento se lleva a cabo usualmente en la puesta en marcha del equipo, pero una vez que se encuentra en operación normal este parámetro no es modificado y el flujo de aire no tiene regulación [13].

Estas celdas poseen un sistema 1+1 rotor-dispersor que reemplaza al impulsor de las Denver, y que permite lograr una mejor distribución interna de la pulpa. La

alimentación entra por debajo de la primera partición y las colas pasan sobre las particiones desde una sección a otra. Esto significa que hay una mayor energía para producir aireación y dispersión y por ende es posible obtener grandes cantidades de espuma con este tipo de celdas, lo cual aumenta la capacidad y velocidad de la flotación [14], Figura 10 muestra las partes mecánicas principales de esta celda.

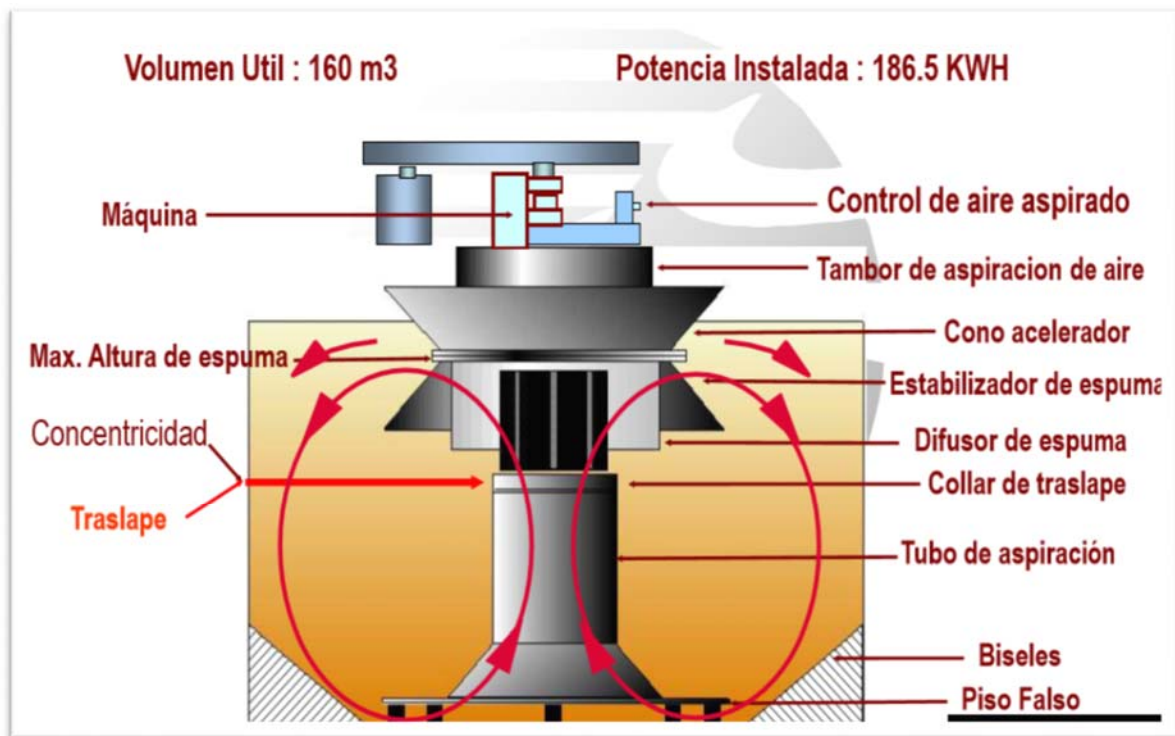


Figura 10. Partes mecánicas de la celda WEMCO.

A continuación se muestran en la Tabla I, los modelos y las dimensiones de cada celda Wemco:

Tabla I. Diferentes tipos de celdas en el mercado.

Modelo	Volumen de celda en pies³	Dimensiones en pulgada. WxLxD	Diámetro del rotor y altura en pulgada.	Potencia medida en HP/celda
66D	100	66x60x47	16x16	15
84	150	84x63x53	16x16	15
120	300	120x90x53	22x23	25-30
144	500	144x108x63	26x26	30-40
164	1000	164x119x93	30x30	60-75
190	1500	190x140x105	35x38	100-125

Donde:

- WxLxD : es el ancho, largo y diametro de la celda
- HP/celda: caballos de fuerza consumidos por celda

t

4.7. Ventajas y desventajas

La celda WEMCO tiene una característica especial que le permite la circulación de la pulpa en todo el sistema, ya que hace que toda la pulpa este en movimiento; y la durabilidad de sus piezas, por su resistencia al desgaste, por lo que contribuye a una recuperación. Por otra parte sus desventajas son la formación de una superficie rocosa en la base de la celda, la vibración del mecanismo al operar, la limitada zona de flotación que posee y los consumos de energía [15].

La Tabla II muestra de manera resumida las ventajas y desventajas de las celdas al operar en circunstancias ideales que los son: una alimentación y descarga continúa a la celda.

Tabla II. Ventajas y desventajas de las celdas WEMCO [15].

Ventaja	Desventajas
Circulación de pulpa	Estancamientos de mineral al interior de la celda
Menor desgaste de partes	Vibración del mecanismo
Recuperación de partículas gruesas	Consumo de potencia

5. METODOLOGÍA

Es de suma importancia mencionar los métodos utilizados en el procesamiento de la muestra para así poder lograr los objetivos propuestos y presentar resultados factibles para el buen funcionamiento de las celdas de WEMCO y con ello brindar una opción de control ,así como de mantenimiento, al personal de la planta.

Se implementó de manera inicial la planeación para la realización de los muestreos proponiéndose una serie de pasos a seguir en las celdas WEMCO de la planta concentradora, los muestreos se efectuaron de acuerdo al diagrama mostrado en la Figura 11, el cual muestra los pasos a seguir para realizar un muestreo.

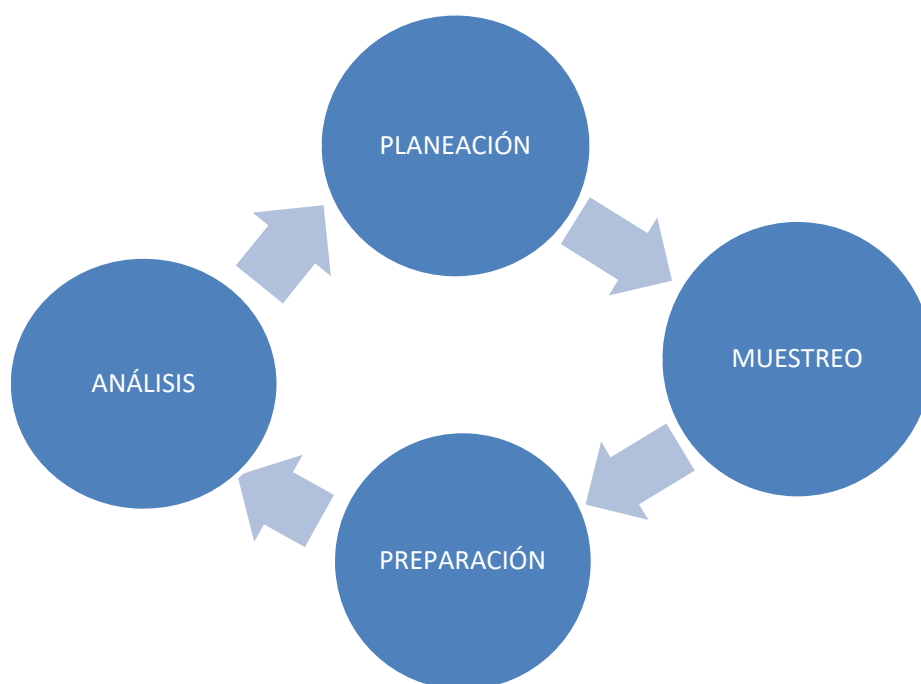


Figura 11. Diagrama de planeación para un muestreo.

Algunos ejemplos de inestabilidad son el derrame excesivo de la celda, arenamiento de la celda en la salida, mal funcionamiento de los dardos, mala alimentación de aire, mal flujo de alimentación a la celda, sobre flujo de la alimentación, entre otros.

Por su parte en cuanto al **muestreo**, se realizaron tres tipos:

1) Compositados. El cual consiste en verter las alimentaciones en un solo recipiente, concentrados en otro, y de la misma manera las colas, y son tomadas conforme al orden de los bancos esto con el fin de tener una referencia general de toda la sección.

2) Unitarios. Este muestreo es celda por celda, con sus respectivas alimentaciones y colas: se toman primero las alimentaciones por separado de las celdas, la diferencia es que se tomará celda por celda su concentrado y su cola, esto nos dirá cual es el grado de cada celda y tener una información más concisa.

3) Por pares. Se muestrea las celdas 1-2 y celdas 3-4, una sola toma de concentrado por dos celdas, y una toma de alimentación y cola por cada dos celdas: se obtiene la alimentación utilizando un cortador de tipo submarino el cual se conforma de una mango largo y de un recipiente de 1 lt en la punta. Con esto capturaremos la muestra del cajón de alimentación, este siempre debe de ir cerrado y solo abrirse cuando se haya llegado al fondo del cajón, ya que si el recipiente se encuentra abierto antes de llegar al punto óptimo de toma de muestra, habrá una contaminación por lo tanto podría haber un resultado erróneo. Posteriormente se colecta el concentrado con una bandeja, esta es puesta en el derrame a una cierta inclinación y es recolectada de los concentrados de las dos celdas juntas, aproximadamente por un tiempo de 10 a 15 min, lado a lado (derrame derecho y derrame izquierdo de la celda), por último se toman las colas de la misma manera como se tomó la alimentación procurando no abrir antes el recipiente y tratar de no introducir sólidos al recipiente, las colas se recolectan por la parte final de la celda última (ya sean la celda 12 o la 14) Siempre antes de

tomarse las colas es necesario limpiar el recipiente porque puede causar una contaminación.

Por otro lado la **preparación** es un proceso en cual la muestra obtenida en el campo es procesada: filtrada, secada y pulverizada. Para ser enviada al laboratorio de análisis, con esto poder facilitar los procesos requeridos en dicho laboratorio.

El monitoreo de las celdas consiste en la revisión exhausta de la limpieza y control de entradas y salidas de la celda con la ayuda del operador dándole un mantenimiento: diario, semanal y mensual.

Para el correcto funcionamiento de las piezas mecánicas, es necesario la medición de las piezas mismas, de las cuales es necesario drenar las celdas por completo. En el caso del interior de la celda es verificar: el Faldón, el Dispensor, el Anillo de Sumergencia, el Impulsor, el Piso Falso y el Draft-Tube, mostrados en la Figura 12. Por la parte superior: las entradas del aire, las bandas del motor, el motor, las flechas de los dardos, los cojinetes de las salidas de dardos, los dardos y los conductos de descarga de los dos productos. Por la parte de los instrumentos de control automático es de suma importancia hacer una revisión excesiva de mangueras y posicionadores.

Los posicionadores son instrumentos de control automático que muestran el nivel al que debe de estar la celda (Figura 13). Para el control de estos, es necesario tener el manual respectivo para su cuidado. Este manual de operación, muestra los valores de las variables a las que necesita estar el sistema como se muestra en la Figura 14, con estas calibraremos y adecuaremos el sistema. La operación es de mucha facilidad ya que es automática.

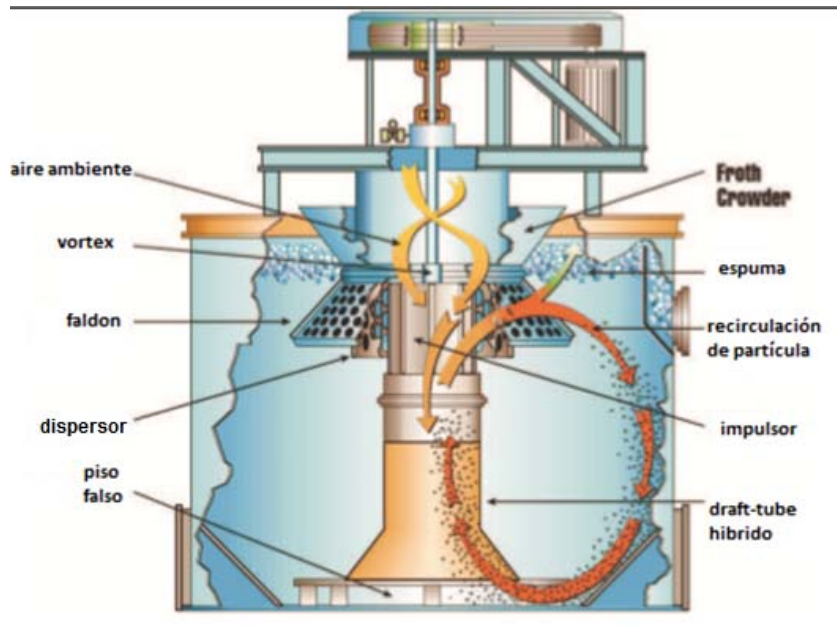


Figura 12. Partes de mayor cuidado de la celda.

Para la capacitación del personal es necesario realizar juntas semanales (al menos dos veces por semana) para mostrar el comportamiento de las celdas, aclarando cuales son las partes de mayor atención que se deben de prestar. Como se ha mencionado es necesario la limpieza de la celda, hechas con palas, barras y agua a presión, la detección de piezas en mal estado para su reporte ante mecánicos y la verificación constante de los aparatos de alta precisión para el control de niveles en la celda.



Figura 13. Posicionador de control automático para las celdas WEMCO.



Figura 14. Funcionamiento del posicionador, en este caso indica la apertura de un 88.9 % de la salida.

5.1. Consumo de Energía

La medición del consumo de energía de la celda (o el cálculo del arrastre de energía) aporta información de las condiciones de la celda. Cuando la celda está en operación y no es posible observar directamente al interior.

Según la compañía FLSMIDTH (2013): Como todos los equipos, las celdas consumen más energía cuando están en buenas condiciones y funcionamiento eficiente. Si el impulsor de la celda está desgastado, hay poco acoplamiento o la celda esta arenada, por lo tanto la energía decaerá. Por esto el consumo de energía es proporcional a la densidad de la pulpa así que varía con el cambio de densidad de la alimentación sin embargo esto afectará a las celdas de igual manera. Por lo tanto si una celda en un banco tiene significativamente poco consumo de energía, en comparación a las otras es un buen indicador de que hay un problema con esta celda y deberá ser programada para su inspección como se puede ver en el ejemplo de la Figura 15.

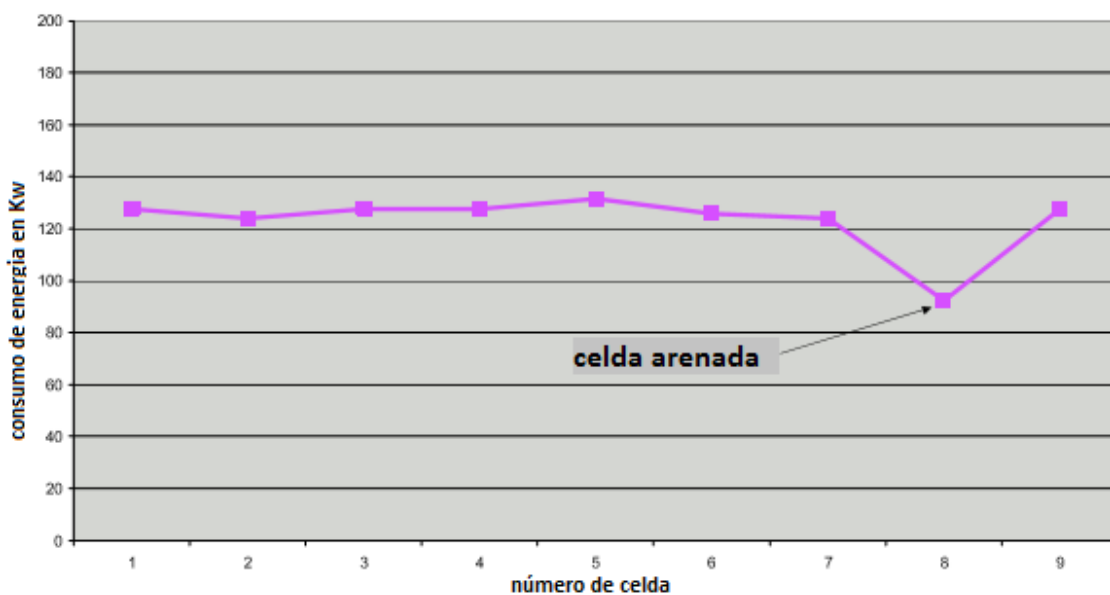


Figura 15. Ejemplo de consumo de energía.

En la Tabla III se muestra la fórmula para calcular el consumo de energía en una celda.

Al rectificar que la celda esta arenada, es vaciada para hacerse mediciones del faldón y del dispersor, y desarenar o corregir el problema. A su vez las bandas de la celda son verificadas, para comprobar que están en buen estado, en muchos de sus casos son cambiadas por bandas nuevas.

Tabla III. Formulas para el consumo de energía.

Cálculo de consumo de energía para la corriente	
Energía=V.I.cosθ	Donde V= voltaje(440volts) ; I= corriente (amps); cosθ=eficiencia (usualmente 0.8-0.85)

6. RESULTADOS

Como Banco piloto se tomó el Banco 1, ya que este era el que presentaba más problemas, así fue como se fue observando su cambio. Al obtener avances en los cambios mencionados se fue implementando los mismos a cada Banco para obtener así resultados semejantes. En las juntas semanales se proponen los Bancos que se rehabilitarán, esto se decide conforme al Banco que este con mayores problemas, de esta manera fue seleccionado el Banco 1. En este hubo cambio completo de partes mecánicas de la celda, ya que esto influye considerablemente en la flotación, el mantenimiento y limpieza de la celda.

Se contacto al proveedor y se informó que las celdas son de fácil operación, el problema fue que no se tenía un seguimiento o manutención de ellas, y al paso del tiempo las celdas presentaban problemas.

Para el monitoreo continuo de las corrientes se hicieron pruebas de control de nivel donde consistía en dirigirse al tablero de control, manipulando las entradas y salidas del sistema, para poder conseguir con esto una mejor recuperación relativa. Antes de hacer dichos cambios se tomaron muestras, observándose su recuperación como se puede apreciar en la Tabla IV. Esto con el fin de obtener el punto exacto para el derrame de la celda.

Después de dichos cambios volvimos a muestrear la celda, con esto podemos decir que se controlan las descargas de concentrados. En la Tabla V podemos ver como los valores de Molibdeno en el Banco 1 son aparentemente buenos con el solo uso de control de corrientes (este muestreo se hizo con base a la metodología del muestreo en pares).

El control de corrientes se realiza por lo menos cada dos horas, ya que en el sistema había sobre cargas, debido a las grandes toneladas que maneja la planta. La concentradora hoy en día maneja 97 mil ton/día, esto hace que haya sobre alimentaciones en las celdas WEMCO.

Tabla IV. Porcentaje de recuperación de las colas finales de las celdas OUTOKUMPU antes de hacer cambios de corrientes.

Banco	Muestra	% Recuperación	
		Cu	Mo
1	Alim 1	100	100
	Conc 1-1	13.55685	37.89557
	Conc 2-2	18.55564	45.3086
	Cola 1-1	86.44315	62.10443
	Cola 2-2	81.44436	54.6914

Tabla V. Muestra los valores generados con el control de corrientes, mediante el monitoreo continuo de las entradas y salidas del sistema del Banco 1.

Banco	Celdas	Muestra	%Recuperación	
			Cu	Mo
		Alim 1	100	100
1	11 y 12	Conc. 1-1	20.93	83.70
		Cola 1-1	79.07	16.30
	13 y 14	Conc. 2-1	5.06	74.73
		Cola 2-1	94.94	25.27

6.1. Reparación Mecánica en el Banco 1

Se les dió los reportes a todas las plantillas de mecánicos, las cuales se atendieron de inmediato haciéndose cambio de: flechas, dardos, impulsores, draft-tube, motores, entradas de aire, soldadura de cajones (con la ayuda de pailería), faldones, dispersor, anillo de ajuste o sumergencia y retenes como se muestra en la Figura 16.



Figura 16. Plantilla de mecánicos haciendo los cambios requeridos para las celdas WEMCO.

A continuación se muestra la Tabla VI con las partes de la celda a cambiar, con ella el daño en el desempeño que hace si no es atendida, y cuando tiene que ser reemplazada según el proveedor.

Tabla VI. Problemas detectados y sugerencias para resolverlo.

Componentes	¿Qué revisar?	Efectos en el desempeño	¿Cuándo reemplazar/arreglar?
Impulsor	Desgaste, especialmente en la parte baja	Suspensión deficiente, pobre dispersión de aire	Cuando la parte inferior del rotor se desgaste por más de 15mm
	Concentricidad en collarín	Desgaste prematuro del impulsor y collarín, potencial vibración de la celda	Medir brecha del borde del impulsor al collarín a 0°, 90°, 180°, 270°. La variación en la brecha no debe ser mayor a +/- 20%
Dispensor	Tamaño de hueco	Aumento de turbulencia en la superficie	Cambiar si el hueco se desgasta por >30%
	Cualquier agrietamiento	Puede fácilmente romperse si la grieta se propaga	Reemplazar si se presentan grandes grietas
Faldón	Tamaño de hueco	Aumento de turbulencia en la superficie	Cambiar si el hueco se desgasta por >30%
	Conexiones de sectores	Turbulencia excesiva si se pierde un sector	Cambiar si se desgastan las conexiones
Collarín	Acoplamiento de impulsor dentro de los límites de tolerancia	Circulación reducida; riesgo de arenamiento	Reemplace o re-asegure el collarín dentro de los límites de tolerancia
	Collarín asegurado al Draft-tube	Golpeará el impulsor causando daño en ambos	Re-asegurar si se afloja
	Superficie superior nivelada	Acoplamiento desnivelado	Reemplace si está desnivelado
Piso falso	Arenamiento en la superficie o debajo del falso fondo		Limpiar completamente y arreglar la causa raíz del arenamiento

	Pernos ajustados del falso fondo	Vibrará si se aflojan	Ajustar o reemplazar pernos flojos/sueltos
Entradas de aire	Sólidos acumulados en las entradas de aire	Acumulamiento excesivo restringe flujo de aire	Inspeccionar regularmente y limpiar las entradas de aire
Tanque	Desgaste de superficies interiores	Potenciales fugas, daños estructurales	Reparar si se expone el metal desnudo
Cajones de alimentación, conexión y descarga	Desgaste de superficies interiores	Potenciales fugas, daños estructurales	Reparar si se expone el metal desnudo
Estructura del mecanismo	Conexiones atornilladas	Vibración mecánica si se aflojan los pernos	Ajustar o reemplazar pernos flojos/sueltos

Podemos ver en la Figura 17 algunos cambios efectuados como lo son el impulsor, faldón y dispersor. Como observamos podemos ver que la pulpa es muy abrasiva ocasionando el deterioro de la pieza.



Figura 17. Comparación del antes y el después de una pieza mecánica para las celdas WEMCO.

Otra pieza adaptada para el mejor trabajo de las celdas, fueron las guías en la parte superior de la celda, para las flechas de los dardos mostrada en la Figura 18. Las celdas WEMCO solo se manejan con guías por la parte inferior de la celda, como el pistón es demasiado fuerte y la presión de la pulpa, generaba otra cierta fuerza hace que los dardos embonen mal en las salidas y hagan un mal trabajo al momento de introducir o descargar pulpa. Con esta razón las guías superiores fueron adaptadas y así el dardo tiene una doble alineación, así como no zafarse fácilmente del orificio de salida, evitando el desprendimiento del reten en las salidas del sistema.



Figura 18. Guía superior adaptada para el buen embone del dardo.

La limpieza del banco se hizo al mismo tiempo que el banco con ayuda de los operadores en turno como se muestra en la Figura 19, fue necesario del desarme total de las partes de la celda y el uso de mangueras con agua a presión, palas y picos, ya que el incrustamiento de la pulpa es demasiado solida.



Figura 19. Limpieza del Banco 1.

Con el posicionamiento del impulsor se jugó un poco, para ver la recuperación que tenía el Banco. Lo que se quiso probar era que pasaría con la recuperación, y el resultado fue que entre más dentro este el impulsor, tendremos recuperaciones de todos los elementos (nos dan recuperaciones altas de todo Cu, Mo, Fe, Ins). Lo ideal era que las recuperaciones de Cu esperadas en esta etapa fueran menores (5%-20%) a las obtenidas en las etapas anteriores, para el Mo que sean recuperaciones altas (50%-80%). Con excepción del Fe y los insolubles, porque estos nos perjudican en nuestro producto final, esperando recuperaciones del 1%-10% aproximadamente.

Para el consumo de energía fue necesario contactar al proveedor obteniéndose que aproximadamente 186 rpm sean las requeridas en las celdas para el impulsor y su buen funcionamiento, para esto se tomaron muestras con carga y sin carga como podemos ver en la Tabla VII.

Se percibió un desgaste mínimo en las bandas pero, ya que son de larga durabilidad. Concluyendo que las bandas no sufren de desgaste continuo, lo que si se pudo notar fue el desgaste de las piezas mecánicas de la celda WEMCO. Con estos análisis observamos que la celda se encontraba en mal estado y por ello se tuvo que drenar para verificar sus partes como se muestra en la Tabla VIII, aun teniendo en cuenta, que las piezas del dispersor y el faldón eran nuevas observamos un ligero desgaste en las piezas.

Tabla VII. Bajo consumo de energía en el Banco 1 por las celdas WEMCO.

	Sin carga	Con carga
Celda 11	178.5 rpm	177.07 rpm
Celda 12	176.2 rpm	175.5 rpm
Celda 13	181.4 rpm	178 rpm
Celda 14	182.4 rpm	177 rpm

Tabla VIII. Tamaños de los broqueles en los faldones y dispersores.

	Faldón				Dispersor		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Celda 11	3.70 cm	3.67 cm	3.67 cm	3.85 cm	5.76 cm	5.80 cm	5.16 cm
Celda 12	3.83 cm	3.76 cm	3.855 cm	3.81 cm	5.74 cm	5.79 cm	5.59 cm
Celda 13	3.85 cm	3.7 cm	3.745 cm	3.71 cm	6.09 cm	5.91 cm	6.5 cm
Celda 14	3.72 cm	3.76 cm	3.685 cm	4 cm	7.2 cm	6.8 cm	7.1 cm

Por parte del departamento de instrumentación, se formo una plantilla de limpieza de bolas de nivel y de monitoreo continuo de posicionadores y abrazaderas como se muestra en las Figuras 20 y 21.



Figura 20. Bola de nivel limpia con ácidos para el despojo de solidos incrustados



Figura 21. Posicionadores y abrazaderas nuevas en el Banco 1.

A su vez el departamento de instrumentación ayudó con las entradas de aire al sistema para los aparatos de control automático, revisando que la mangueras del compresor que se dirigían al posicionador y al pistón se encontraran en buen estado ya que por un tiempo hubo problemas con el proveedor por mandar mangueras llamadas “tubi” transparentes, siendo que estas eran de gran problema porque con el calor se endurecían y se destrozaban fácilmente como se puede observar en la Figura 22. Estas se mantuvieron así por un tiempo determinado hasta que llegaron los tubi de color negro, que son un poco más resistentes y aislantes al sol.



Figura 22. Mangueras transparentes endurecidas por el sol y destrozadas.

6.2. Capacitación del personal

Como sugerencias operacionales se citan los siguientes puntos:

- Observar superficie de la pulpa para determinar si existen perturbaciones (por ejemplo: burbujas grandes y abruptas, remolinos, zonas muertas, etc.)
- Revisar mecanismos, paletas, motores, posicionadores, dardos y flechas para asegurar que todo trabaje correctamente.

Como sugerencias de mantenimiento se comentaron los siguientes puntos por turno, semanal, mensual.

Por turno:

- Revisar dosificaciones, nivel de pulpa y flujo de aire. Registrar los datos en una bitácora.
- Limpiar y revisar las condiciones de las bombas de reactivos, que no haya fugas.
- Inspeccionar mecanismos y motores. Registrar temperatura y establecer rangos normales de operación. Registrar ruidos y vibraciones a normales.
- Visualmente inspeccionar la superficie de la pulpa (por ejemplo: burbujas grandes abruptas, remolinos, zonas muertas, etc.), identificar y corregir los problemas detectados.
- Revisar dardos para asegurar que trabajen adecuadamente y no estén abiertos totalmente.
- Revisar la estructura del tanque por fugas. Cualquier fuga deberá ser reparada en el próximo mantenimiento programado.
- Revisar desempeño con los operadores (por ejemplo: compare comportamientos previos con otros reactivos y condiciones de alimentación). Tomar acciones correctivas como se considere necesario.

Por semana:

- Revisar dardos e instrumentación relacionada. Sólidos pueden acumularse y obstruir el flujo.
- Revisar por arenamiento de banco. Si esto ocurre, determinar si se debe a exceso de gruesos en la alimentación (pobre clasificación de partículas) o una agitación inadecuada de la celda (problemas en el mecanismo o en el motor).
- Lubricar la celda con los lubricantes especificados.
- Revisar las condiciones del collarín y corregir la tensión si es necesario. Reemplazar los collarines que están muy desgastados o rotos.

Por mes:

- Vaciar celdas e inspeccionar condiciones del mecanismo (impulsor): esto se hace con el debido cuidado y con el apoyo de los departamentos de seguridad y operacional, la celda es vaciada los días de paro de planta o de algún motivo urgente el Banco cuenta con un cortador de alimentación en los suministradores de pulpa para que la alimentación sea detenida y el Banco sea drenado en su totalidad, de igual manera el suministro de electricidad es cortado por un cierto tiempo para que el personal pueda bajar e inspeccionar.
- Asegúrese de bloquear los procedimientos antes de realizar una inspección.
- Registre observaciones para anticipar un programa de reemplazo.
- Inspeccionar entradas de aire.
- Inspeccionar fondo y paredes de la celda por desgaste.

Lo anterior mencionado lo especifica la compañía FLSMIDTH [15].

6.3. Banco 5

Ya terminado el Banco 1 y teniendo buenos resultados, se le hicieron los mismos cambios al banco 5 que fue el elegido al igual como el primer Banco por la junta semanal, siendo este el siguiente banco con mayores problemas.

De la misma manera se le hizo: limpieza, adición de partes nuevas, cambio de instrumentos de alta precisión y monitoreo del Banco.

Algunos de los problemas encontrados en el Banco 5 fueron: mangueras sin algún uso como se muestra en la Figura 23, muchas incrustaciones en las paredes y labios de las celdas, y la limpieza de las entradas de aire véase la Figura 24.



Figura 23. Mangueras sin usar en las celdas.



Figura 24. Entradas de aire.

Se quitaron las incrustaciones y las mangueras como se muestra en la Figura 25 que estorbaban en el paso a las celdas, también se hicieron cambio de piezas a las celdas como se observa en la Figura 26.

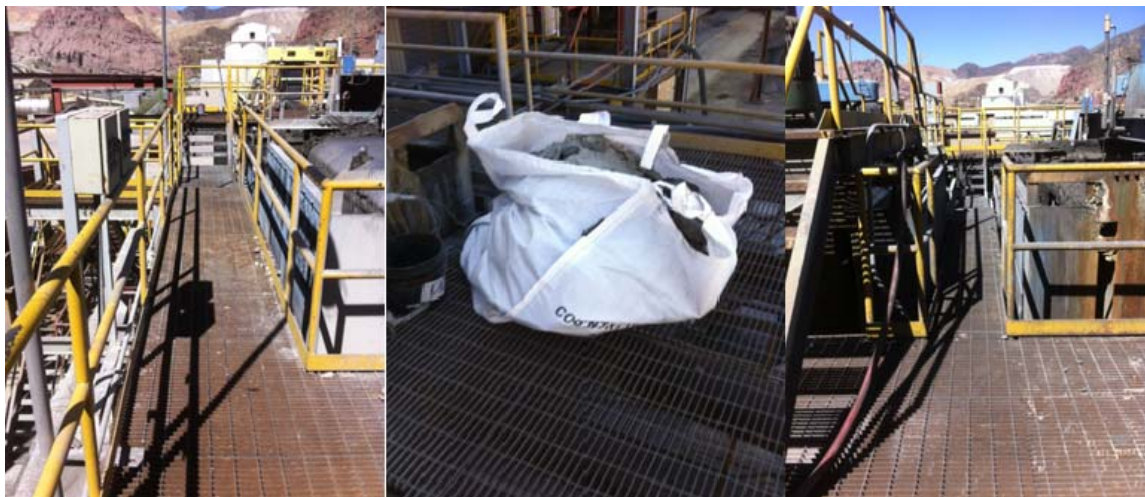


Figura 25. Maxisaco con las incrustaciones desprendidas y pasillos limpios de objetos inútiles.



Figura 26. Cambio de anillo de sumergencia, draft-tube y piso falso.

Otros de los problemas detectados y solucionados era la alimentación a las celdas 13-14 ya que tenía una sobre alimentación haciendo que la celda 13 derramara todo excesivamente. Para esto se tuvieron que mover los cortadores de corriente en los distribuidores, porque un cortador estaba totalmente abierto enviando toda la pulpa al Banco 5 y repercutiendo en la última etapa (Figura 27)



Figura 27. El antes y el después de la sobre alimentación en la celda 13.

Como se puede observar en la tabla IX las cabezas fueron demasiado bajas por eso se obtuvieron recuperaciones bajas, a pesar de esto, ambas celdas trabajan de la misma manera. El problema fue que este día se contaba con una baja ley y los resultados obtenidos no fueron los mejores. Sin embargo las celdas se encontraban en buen funcionamiento.

Tabla IX. Resultados de recuperación en el Banco 1 y 5.

DESCRIPCION DE MUESTRA	%RECUPERACION	
	Cu	Mo
ALIM 11 Y 12 BCO 1	100	100
ALIM 13 Y 14 BCO 1	100	100
CONC 11 BCO 1	6.374958	46.75643
CONC 12 BCO 1	17.5467	48.07692
CONC 13 BCO 1	6.881989	56.43258
CONC 14 BCO 1	8.670899	57.76906
ALIM 11 Y 12 BCO 5	100	100
ALIM 13 Y 14 BCO 5	100	100
CONC 11 BCO 5	44.82236	36.98905
CONC 12 BCO 5	55.56403	48.15819
CONC 13 BCO 5	8.574423	59.08936
CONC 14 BCO 5	9.50865	59.20181

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Con los resultados obtenidos en el banco 1, se pudo observar que esta última etapa de la concentradora es de suma importancia ya que esta aporta un 2% de la producción total de la concentradora, este porcentaje aproximadamente sería una pérdida de miles de dólares semanales, donde se obtendría el mayor aprovechamiento de los metales si las celdas son atendidas con los debidos procedimientos de mantenimiento y muestreo. Con este cambio realizado se trataron de modificar todos los demás bancos, y efectuar un programado ya sea: diario, semanal, mensual y/o anual.

Los muestreos se seguirán haciendo por lo menos cada dos semanas, para llevar un mejor control de ellos y que el personal tenga más cuidado de las celdas, teniendo en cuenta que grado es el que se maneja, ya que en estas celdas no se regulan las alimentaciones, y muchas veces no se sabe que tiempo de residencia tiene la pulpa en el sistema, para hacer una buena concentración. Si se descuida la atención por medio de muestreos es posible que el grado decaiga, es por esto que se realizarán con más frecuencia.

Las piezas mecánicas tiene la ventaja de ser piezas que son de larga vida y de de esta manera se tiende a no preocuparse tanto por el desgaste que tengan ya que son de un polímero muy resistente. Sin embargo el problema radica en que esta planta sobre pasa las cargas de alimentación al sistema.

Esta planta empezó con una alimentación de 72 mil toneladas diarias de mineral hoy se producen 92 mil toneladas, la planta está sobre explotada, por lo tanto significaría que el desgaste de las piezas es más rápido, esto nos permite considerar un mantenimiento, así como revisión de piezas por lo menos cada 3 meses, y determinar el grado de desgaste que tuvieron, trayendo consigo un control sobre las piezas.

Se contacto la empresa que suministra a la mina estas celdas, se les solicitó una lista de las piezas que utilizaban dichas celdas, esto por el deterioro de las

mismas. Lo anterior se considero debido a que el problema radica, en que es una planta que procesa más de lo estimado, y la información del proveedor resulta útil para tener una estimación de que partes son las que sufrirán más daños. Para esto la planta debe de considerar un plan de revisión de piezas y estar supervisión de ellas. Aunado a lo anterior, los operadores deben de informar inmediatamente cualquier problema detectado en ellas, ya que las canaletas de descarga son tapadas con mucha frecuencia por carga solidificada, de la misma manera los carretes de descarga contienen la mayoría de las veces estas incrustaciones, causando que mecánicos desarme toda la tubería y la destapen.

Por su parte las bandas de las poleas en los motores deben de ser verificadas por lo menos cada cierto tiempo, de esta manera se arreglaría el tema de la alimentación de aire al sistema. En una ocasión el director de la mina, comento que en otra mina, estas celdas tenían un arrastre fuerte de aire al momento de hacer la succión, lo que me llevo a pensar que si estas celdas trabajaran con mayores revoluciones su eficiencia fuera mejor, ya que el tubo de alimentación de aire que tienen estas celdas se encuentra ligeramente separado de la flecha del impulsor ocasionando una succión de aire, así mismo si las celdas son alimentadas con más corriente estas mejorarían su eficiencia. Pensando en esta opción se les debe de modificar sus sistemas eléctricos para prevenir fallas eléctricas.

En cuanto al departamento de instrumentación hubo buenas respuestas y grandes mejoras implementándose cuadrillas de limpieza en bolas de nivel evitando el endurecimiento de estas mismas y monitoreo de los posicionadores cada 4 horas. A su vez se platico con el personal de operación para que trabajaran juntos en el cuidado de las celdas, instruyéndose de igual manera en la limpieza de las salidas del sistema, evitando a si, el desgaste de los pistones, abrazaderas y posicionadores.

Las abrazaderas son de acero inoxidable con punta articulada, esto para que la abrazadera tenga mejor movimiento al subir y bajar, evitando problemas como el

giro completo de ellas en las flechas. También el monitoreo constante de las abrazadera, ya que el gas que desprende la pulpa es muy corrosivo al paso del tiempo y oxida todo material haciendo que se desgaste y se rompa al paso del tiempo (esto se debe de hacer mientras llega el cambio de abrazaderas. Es importante hacer notar que se hizo un pedido de abrazaderas nuevas y posicionadores hidráulicos).

Y por último el departamento de operación se dedicara a la limpieza exhaustiva de las celdas, ya que como se ha mencionado la pulpa se incrusta muy rápido y como en ciertas partes no existen flujos de agua es necesario que el operador este atento de ellas y evitar taponamientos.

También al momento que el personal de lubricantes haga su trabajo es indispensable estar atentos de las partes de la celda que son necesarias estar aceitando, ya que muchas veces el aceite es derramado por la celda y se esparce por toda la caja, llegando hasta las entradas de aire mezclándose con la pulpa y generando una superficie dura rígida, y así tapando las entradas de aire al sistema provocando que las celdas dejen producir la burbuja.

8. BIBLIOGRAFIA

1. W. Kracht, Christia Ihle, Tupper 2007, Santiago de Chile
www.amtc.cl/?page_id=1471
2. Abarca Joaquín José. 2011 Flotación de minerales.
3. Edgar Álcala Cruz, Alfredo Flores Corrales, Arturo Beltrán Alfonso. Manual de entrenamiento en concentración de minerales 1971, pág. 1
4. David, julio 6 del 2016
<https://www.911metallurgist.com/metallurgia/molino-a-bolas/>
5. Fluid-flow Phenomena in the air-sparged Hydrocyclone J.D. Miller, K.R. Upadrashta
<http://taninos.tripod.com/hidrociclon.htm>
6. Sep. 2004 Modulo 1: Fundamentos Flotación Operación concentradora Laguna Seca
<https://www.slideshare.net/Gallas190987/3-fundamentos-teoricos-de-flotacin>
7. Juan Yianatos Flotación de minerales 2005, pág.: 22.
8. Antonio C. Bravo G. Manual de Flotación de minerales 2004
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/manual-flotacion-minerales/manual-flotacion-minerales.shtml>
9. https://www.academia.edu/4845215/02_Flotacion.-.Conceptos_Basicos
10. Ángel Azañero Ortiz, Marzo del 2008, Curso: Concentración y Flotación de Minerales; Universidad Nacional Mayor de San Marcos E.A.P. Ingeniería Metalúrgica, pág. 4
11. Sep. 2004 Modulo 1: Fundamentos Flotación Operación concentradora Laguna Seca pág. 40
<https://www.slideshare.net/Gallas190987/3-fundamentos-teoricos-de-flotacin>
12. Procesamiento de Minerales-Mineralurgia II Ing. Nataniel Linares G. pág. 4
<https://www.scribd.com/document/117596316/flotacion>
13. Tesis José Miguel Larenas, Valparaíso, Marzo 2006, Caracterización de Celdas de Flotación de Gran Tamaño, Universidad Técnica Federico Santa María, pág. 18
14. Sep. 2004 Modulo 1: Fundamentos Flotación Operación concentradora Laguna Seca pág. 40
<https://www.slideshare.net/Gallas190987/3-fundamentos-teoricos-de-flotacin>
15. FLSMIDTH. WEMCO 1+1 Flotation Machines. 17 de marzo del 2016, de FLSMIDTH Sitio pag:2 ,web: <http://www.flsmidth.com>