

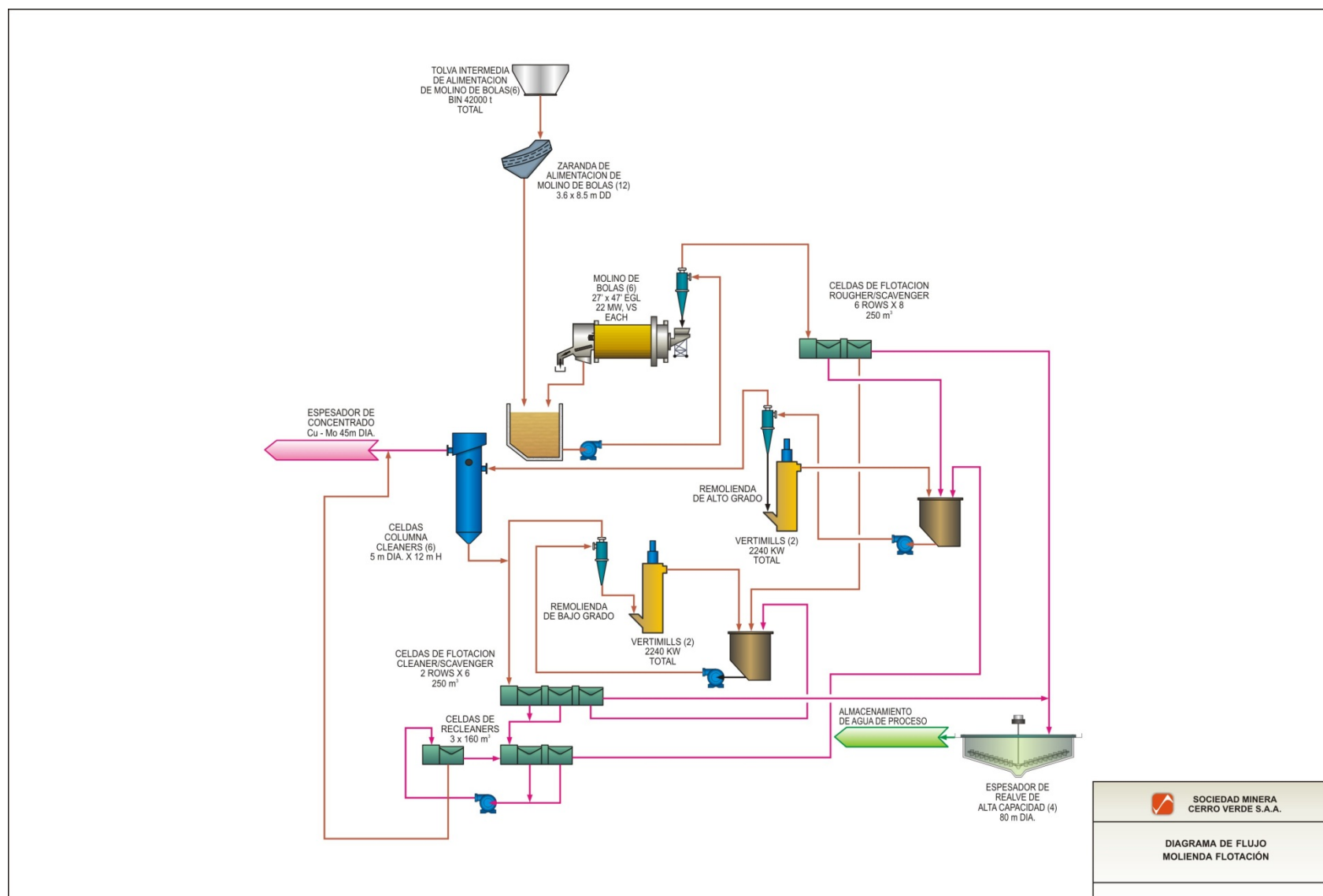


Figura N° 5. 1. Diagrama de flujo molienda- flotación

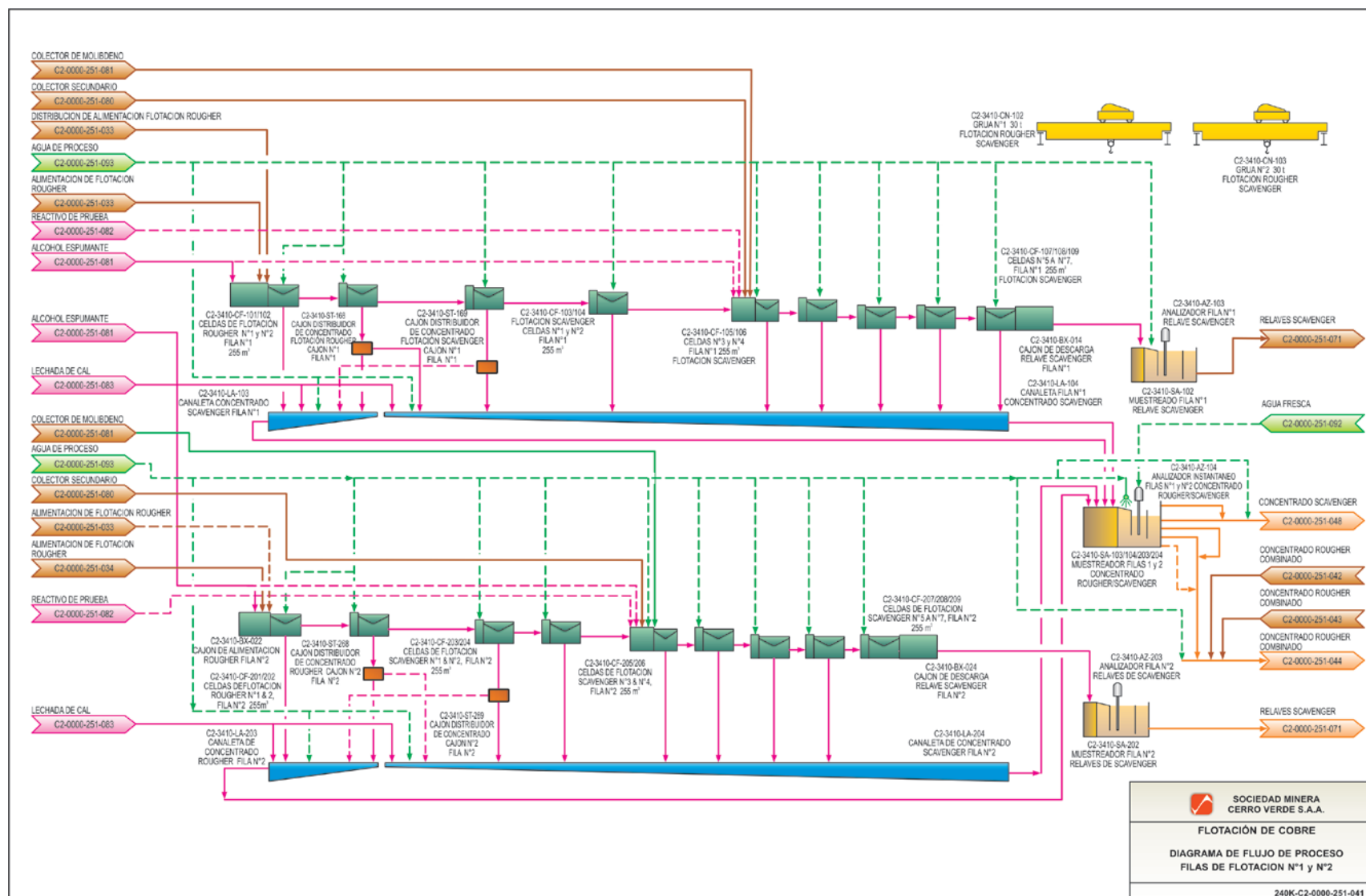


Figura N° 5.2. Diagrama de flujo flotación rougher - scavenger

5.- PLANTA DE FLOTACIÓN COBRE

5.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FLOTACIÓN

La flotación es un proceso físico-químico de separación de minerales, un mineral finamente molido que contiene sulfuros de cobre y molibdeno se mezcla con agua formándose una pulpa, al que se le añaden pequeñas cantidades de reactivos de flotación. Cuando se insufla aire en esta pulpa, se forma una espuma en la superficie que se mezcla con los sulfuros pero no con la ganga. Esta última se va al fondo, y los sulfuros se recogen de la espuma. El proceso de flotación ha permitido explotar muchos depósitos minerales de baja concentración. En algunos casos, la llamada flotación diferencial permite concentrar mediante un único proceso diversos compuestos metálicos a partir de un mineral complejo.

El método de concentración por flotación de espumas, es indiscutiblemente, la técnica de separación de minerales con contenidos metálicos de la ganga más importante y representa una de las aplicaciones más desafiantes de la química de superficies.

A la pulpa se agrega una serie de reactivos químicos especiales que causan una condición de hidrofobicidad sobre las partículas con contenido metálico, de tal manera que, al introducir aire al sistema, se produce un conjunto de burbujas sobre las cuales se adhieren estas partículas. Las burbujas, a medida que van ascendiendo, se van enriqueciendo de estas partículas hasta que alcanza la superficie y en donde son posteriormente retiradas. Mientras tanto, las partículas de material estéril no han sido afectadas por los reactivos químicos y permanecerán suspendidas dentro de la pulpa.

El proceso de flotación está controlado por la termodinámica, la cinética y la hidrodinámica del sistema. En consecuencia, incluye aspectos fundamentales, tales como:

- La creación de una superficie hidrofóbica en una especie mineral en particular (condición termodinámica).
- Previsión de tiempo suficiente para la adhesión de la partícula hidrofóbica con la burbuja de aire (condición cinética).
- La estabilización de los agregados partícula-burbuja bajo el flujo de pulpa prevaleciente (condición hidrodinámica).

Procedimiento que permite concentrar el cobre de la pulpa del material mineralizado que viene del proceso de molienda. La espuma rebasa hacia canaletas que bordean las celdas y que lo llevan al proceso de decantación.

El proceso de flotación se realiza en equipos denominados celdas de flotación. Las celdas convencionales, son las celdas de flotación mecánicas, las cuales destacan por tener tres zonas, una zona de gran turbulencia que provoca la adhesión partícula-burbuja, aquí es donde debe existir un ambiente propicio entre las condiciones hidrodinámicas y fisicoquímicas que favorezcan el contacto partícula-burbuja, la turbulencia es provocada mediante agitación mecánica. La zona intermedia es donde existe una relativa calma, lo que permite que las burbujas migren a la superficie de la celda, y finalmente la última zona es, la zona superior que corresponde a la fase acuosa, formada por burbujas que lograron migrar a la superficie. La espuma descarga por rebalse natural.

Se sostiene que casi todas las partículas hidrofóbicas, se adhieren ya en el interior de estos dispositivos de aireación, y en su camino hacia las celdas de flotación, el cual tiene como función, recoger las burbujas de aire con las partículas sólidas adheridas en forma de espuma. La energía cinética requerida para la fijación partícula-burbuja, proviene de la corriente turbulenta de pulpa alimentada a la celda.

Para obtener un concentrado final bulk de cobre y molibdeno con una recuperación del 86.5 % y 75 % respectivamente. Hay varias unidades de operación incluidas en el circuito de flotación:

1. Flotación rougher
2. Flotación rougher-scavenger
3. Remolienda
4. Flotación cleaner-cleaner scavenger
5. Flotación Recleaner
6. Equipo auxiliar
7. Equipos utilitarios

En el circuito de flotación rougher, rougher-scavenger, el overflow de los ciclones proveniente de cada uno de los seis nidos de ciclones primarios de molienda (figura 1), fluye por gravedad hacia seis filas de bancos rougher,

que tienen una capacidad de tratamiento de 240 000 tmpd, diluido en una pulpa con 28 % de sólidos, el mineral a tratar son pórfidos de cobre con una ley de cobre igual a 0.40% y molibdeno con 0.016%, se trabaja con un pH de 10 - 11,5, con una granulometría de 140 micrones.

El circuito de flotación rougher consiste en un banco de dos celdas de flotación (por línea), Las celdas de flotación rougher-scavenger son la unidad de operación principal en la recuperación de cobre y molibdeno de la concentradora. Las celdas separan físicamente los minerales con contenidos metálicos de la ganga, a través del proceso de flotación de mineral por espumas. Las burbujas de aire producidas por la agitación de los mecanismos en las celdas son usadas para flotar las partículas de mineral, mediante la adherencia, en la superficie de las celdas para su recuperación.

Reactivos químicos de flotación (colectores, espumantes, modificadores, depresores), se usan para alterar las características superficiales de las partículas del mineral con valores metálicos, para permitir que estas partículas se adhieran a las burbujas de aire para ser recuperadas en una fase por espumas para la separación de la ganga, la cual permanece en la pulpa.

Estas espumas o concentrados obtenidas en el banco rougher, son orientados hacia un cajón distribuidor de concentrados de flotación gruesa (ley de cobre alto), llevados a remolienda y las colas pasan a un banco Rougher-Scavenger constituidas por 7 celdas (ver figura 5.2), el concentrado de este banco se derivan hacia una canaleta de concentrado scavenger (baja ley de cobre) y las colas del banco scavenger son derivadas a un colector de relaves.

El concentrado de las celdas de flotación rougher (concentrados de alta ley), fluye por gravedad hacia un cajón de descarga y desde aquí es impulsado por las bombas centrifugas de transferencias hacia un nido de ciclones de remolienda de concentrados de alta ley donde es clasificado en dos productos, overflow y underflow. El overflow (finos) de ley alta es transportado por las bombas de alimentación a celdas columna.

El underflow de estos ciclones, es enviado por medio de bombas de alimentación a molinos de remolienda vertimill de concentrados de alta ley, el

material molido es dirigido gravitacionalmente hacia el cajón de colección de concentrado rougher para su clasificación en los ciclones, en circuito cerrado.

Así mismo, el concentrado de baja ley de las celdas de flotación scavenger fluye por gravedad hacia el cajón de ciclones, aquí también se recibe los flujos de recirculación de los molinos de remolienda. Todo este flujo por medio de bombas se alimenta a ciclones de remolienda de concentrados de baja ley separándose granulométricamente también en dos productos, overflow y underflow.

El flujo de overflow del ciclón de remolienda fluye a través de un muestreador para el análisis de tamaño de partícula (PSI) y luego discurre hacia el cajón de colas de las celdas columna para ser derivadas hacia la primera limpieza.

El underflow del nido de ciclones de remolienda baja ley, se transporta hacia el cajón de bombas de alimentación de molino de remolienda y se bombea hacia los molinos de remolienda vertimill baja ley, la descarga de los molinos de remolienda son enviados hacia el cajón de bombeo de concentrado scavenger, hacia ciclones para su clasificación en circuito cerrado.

El agua para la dilución es añadida a los cajones de bombas, según se requiera para controlar el porcentaje de sólidos.

El flujo del overflow de los ciclones de remolienda de ley alta, se deriva hacia el circuito de flotación en celdas columna. el mismo que es un circuito selectivo, que sirve para separar los minerales de la ganga, las partículas de mineral de interés se adhieren a burbujas de aire, El sistema de inyección de aire incrementa un mejor control y la generación de burbujas más pequeñas y más uniformes, la flotación en celda columna es comúnmente utilizada para mejorar el concentrado final.

El circuito de celdas columnas recibe el flujo proveniente de remolienda de concentrados de alta ley en dos líneas cada una de ellas compuesta por tres celdas columna. El concentrado de cada celda columna fluye por gravedad a través de un muestreador y llevado a un analizador, y luego al cajón distribuidor espesador bulk. El relave de las celdas columna fluye para luego

depositarse en una canaleta de colección rumbo a la caja de bombeo de celdas primera limpieza.

El relave de las celdas columna y el rebose de ciclones de baja ley gravitacionalmente se dirigen a dos líneas de celdas primera limpieza sus concentrados de primera limpieza se envían a las celdas segunda limpieza.

Las colas del banco primera limpieza pasan a otro banco limpiadoras scavenger compuesta por dos líneas cada una, cuyos concentrados se envían a celdas segunda limpieza y las colas a colección de relaves.

El concentrado de la primera limpieza y el concentrado de segunda limpieza son direccionados al cajón de bombeo de concentrados de celdas scavenger.

El proceso concluye con la obtención de cobre con 23.70 % y una recuperación de 86,5 %.

Los reactivos colectores primarios, secundarios y de Moly, así como la cal para el control del pH, son añadidos a la alimentación de mineral en el circuito de molienda. Los espumantes son añadidos a la primera caja de alimentación de cada fila de flotación rougher y en la quinta celda del circuito de flotación. Así mismo una lechada de cal es añadida al concentrado rougher en dos de las canaletas de flotación rougher para mejorar la cinética de la flotación aguas abajo.

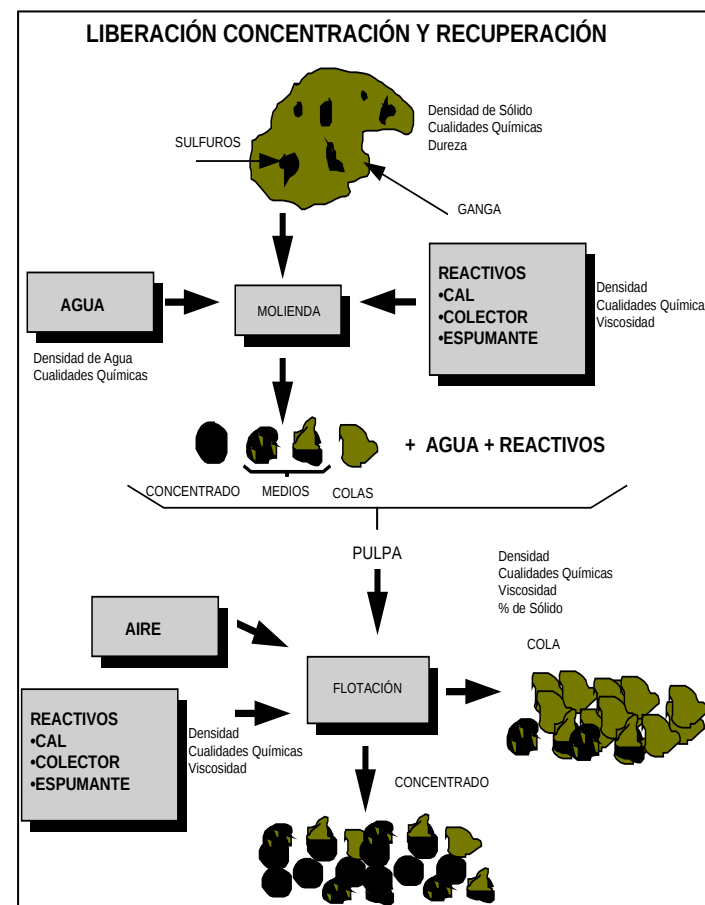


Figura N° 5. 3. Liberación, concentración y recuperación

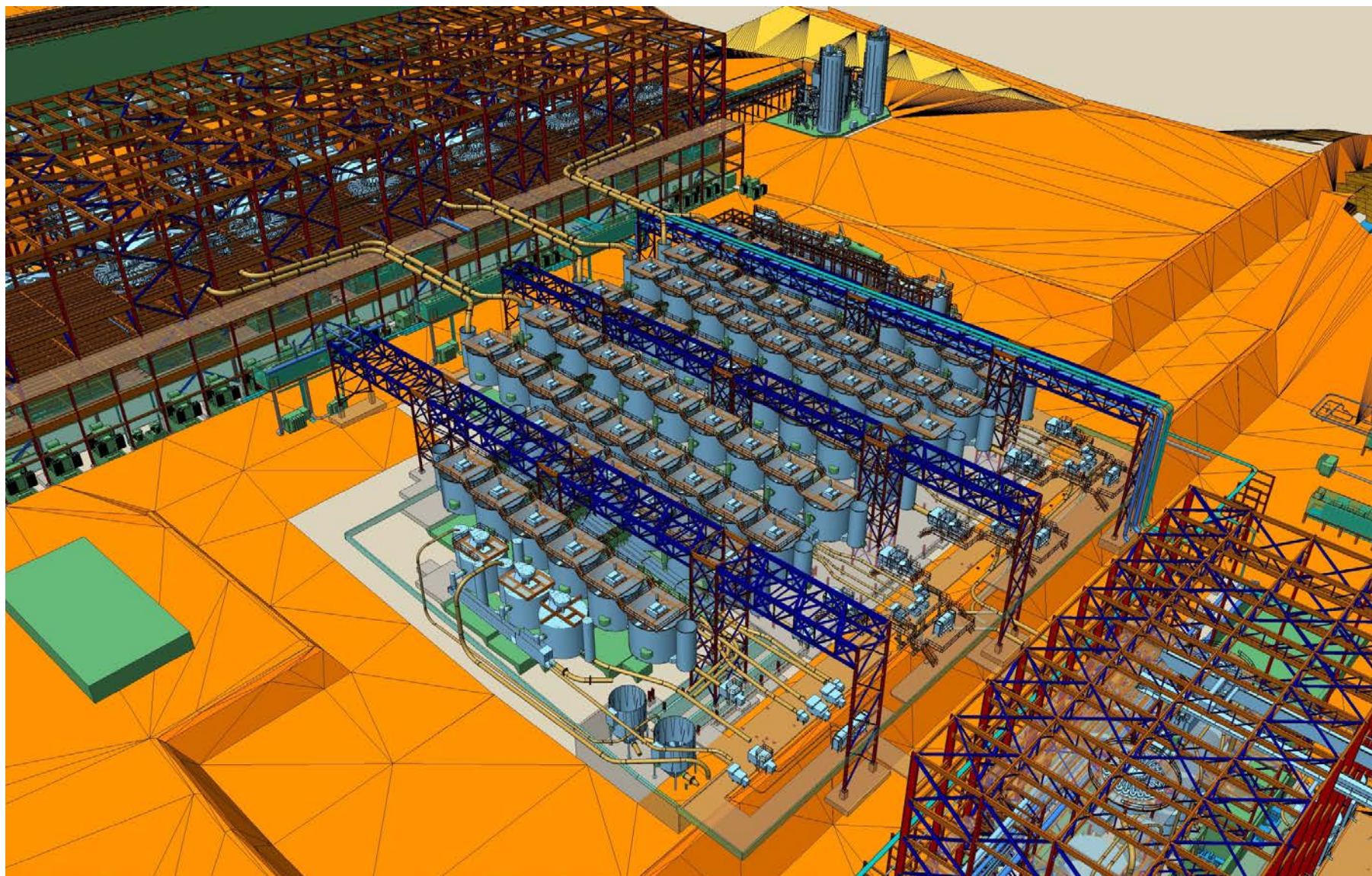


Figura N° 5. 4. Circuito de flotación rougher scavenger

5.2.- DESCRIPCION DE CADA UNIDAD DE OPERACION

Existen varias etapas de operaciones incluidas en el circuito de flotación, para lo que dividimos en tres: Flotación gruesa, remolienda de concentrados y limpiezas. Tomando como referencia una sola línea, las mismas que son similares, por lo que al describir el proceso de flotación rougher y rougher-scavenger solo nos referiremos a una línea, debiéndose aplicar para el resto las mismas características desarrolladas.

5.2.1.- FLOTACION ROUGHER SCAVENGER

Es la primera etapa de la flotación, Llamadas también de desbaste, de cabeza o Rougher, es aquella que recupera una alta proporción de las partículas valiosas, aun a costa de la selectividad, utilizando las mayores concentraciones de reactivos colectores y/o depresores del circuito, velocidades de alta agitación y baja altura de la zona de espumas.

Son celdas que reciben primero a la pulpa que proviene como producto de la molienda produciéndose la primera flotación. En el proceso de flotación, las burbujas de aire producidas por la agitación mecánica de las maquinas, son usadas para hacer flotar las partículas de mineral, a través de la adherencia, en la superficie de las celdas para su recuperación. Básicamente, la adherencia de las partículas pequeñas en las burbujas de aire reduce la gravedad específica de las partículas combinadas de mineral-aire de manera que la gravedad específica de su asociación sea menor que la gravedad específica de la pulpa, induciéndolas así a ascender dentro de la pulpa.

Constituida por dos bancos, las dos primeras celdas de cada fila trabajan como un banco de flotación rougher. El resto de celdas de cada fila usado como un banco de flotación scavenger, (ver figura 5.5.).

El circuito de flotación rougher consiste en un banco de dos celdas de flotación rougher (C2-3410-CF-101 y 102) son celdas mecánicas con inducción de aire, con una capacidad de 255 m³ cada una, de 8120 mm de diámetro por 6365 mm de altura, accionados por un motor de 400 HP donde sus concentrados son orientados hacia un cajón distribuidor de concentrados de flotación gruesa (C2-3410-ST-168) para pasar hacia una canaleta de concentrados rougher (C2-3410-LA-103) que captan los concentrados de

alta ley y las colas pasan a un banco Rougher-Scavenger constituidas por las celdas (C2-3410-CF-103, al 109) de dimensiones similares a las anteriores celdas, donde las espumas (concentrados) de este banco se derivan hacia una canaleta de concentrado scavenger (baja ley) (C2-3410-LA-104) recibiendo los concentrados de baja ley, y las colas del banco scavenger son derivadas a un colector de relaves.

El concentrado de las celdas rougher (concentrados de alta ley), como el concentrado de las celdas rougher-scavenger (concentrados de baja ley) de cada fila fluye por gravedad hacia los muestreadores (C2-3410-SA 103, 104 y 203, 204) respectivamente y dirigidas a un analizador instantáneo de concentrado grueso de baja ley y de alta ley (C2-3410-AZ-104) para un análisis en flujo y colección de muestras por turnos. Después del muestreo, los concentrados de cada una de las seis filas de celdas rougher alimentadas por gravedad hacia el circuito de remolienda de concentrado rougher (concentrado de alta ley) y los concentrados gruesos de las celdas rougher-scavenger, concentrados de baja ley son alimentados hacia el circuito de remolienda de concentrados de baja ley.

El relave de la flotación scavenger de cada fila de celdas pasa a través de muestreadores individuales para un análisis en flujo y colección de muestras por turnos (C2-3410-SA- 102, 202) y derivadas hasta el analizador de relaves rougher-scavenger (C2-3410-AZ-103, 203). La descarga de los muestreadores cae dentro de una canaleta de colección de relaves, luego fluye por gravedad hacia un muestreador y analizador de relave final de toda la planta antes de ser dividida en dos flujos y alimentado hacia los espesadores de relaves.

Los colectores primarios, secundarios y de Moly, así como la cal para el control del pH, son añadidos a la alimentación de mineral en el circuito de molienda. Los espumantes son añadidos a la primera caja de alimentación de cada fila de flotación rougher.

Una lechada de cal es adicionada en las canaletas de concentrado rougher de flotación rougher para mejorar la cinética de la flotación aguas abajo.

Todo el equipo de flotación rougher, rougher-scavenger está contenido dentro de un área con declive lateral para controlar el derramamiento. Todos los

derrames del proceso fluyen por gravedad tanto al espesador de relaves como a la caja de bombas para la remolienda, dependiendo de la ubicación en particular del derramamiento.

El área de flotación gruesa está provista de una grúa de (C2-3415-CN-102, 103) para los trabajos de mantenimiento.

5.2.2.- CIRCUITOS DE REMOLIENDA

El concentrado obtenido en los bancos Rougher y scavenger, son de granulometría gruesa y aun están encapsulados en la ganga, necesariamente se deben clasificar primero y remoler luego, para obtener un contenido metálico liberado de la ganga, para lograr este objetivo se necesita primero de una clasificación usándose los ciclones, que son dispositivos simples que originan la separación centrífuga de materiales en una corriente de fluido. Los ciclones utilizan la energía obtenida de la presión del fluido en la corriente de alimentación para crear un movimiento rotacional del fluido. Este movimiento rotacional origina que los materiales suspendidos en el fluido se separen uno del otro debido a la fuerza centrífuga. La rotación se produce por la introducción tangencial del fluido en el recipiente. Obteniéndose dos productos uno fino u overflow y el otro de granulometría gruesa o underflow, este producto pasa a una etapa de remolienda.

Los molinos de remolienda son molinos torre de medios por agitación, llamados Vertimills, constituida en un cilindro con un agitador que usa como medio de agitación un tornillo de velocidad relativamente lenta. Los medios consisten en bolas de acero con un tamaño de 1.5". La velocidad creciente proporcionada por las bombas conlleva a la clasificación de las partículas dentro del molino. Las partículas más pequeñas ascienden hacia la descarga mientras que las partículas más grandes son regresadas hacia los medios y son nuevamente molidos (figura 5.8.).

La molienda se hace por rozamiento/abrasión, y es intensificada por la presión relativamente alta existente entre los medios y las partículas de alimentación.

El concentrado de las celdas de flotación rougher fluye por gravedad hacia el cajón (C2-3420-BX-502), este tiene una capacidad de 43 m³, desde aquí el

concentrado es impulsado por las bombas centrífugas de transferencias de alimentación a ciclones remolienda (C2-3420-PP-502, 503) de 32" x 22" de una potencia de 1000 HP y 4040 m³/h, hacia un nido de ciclones (C2-3420-CS-505), constituida por 13 ciclones operativos y 2 en stand by, en este nido, el concentrado es separado en dos productos, overflow y underflow. Una muestra del overflow es enviado hacia el muestreador de producto molino de remolienda (C2-3420-SA-541) derivado hacia el analizador de partícula de remolienda, y de aquí pasa a los cajones de bombeo de celdas columna (C-3420-BX-403, 503) de 43 m³ de capacidad, siendo bombeadas por las bombas de alimentación de celdas columna (C2-3420-PP- 522, 523) 22" x 12" instaladas con una potencia de 250 HP y una capacidad de 990 m³/h, desde donde se alimenta al circuito de celdas columna. Se cuenta con un muestreador de la alimentación a celdas columnas (C2-3420-SA-544)

El underflow de los ciclones, es enviado por medio de una canaleta (C2-3420-LA-502) hacia el cajón de bombas de alimentación de molinos de remolienda (C2-3420-BX- 505, 506), desde donde por medio de las bombas de transferencia (C2-3420-PP-520, 521) con un motor de 400 HP de potencia, y una capacidad de 1040 m³/h es bombeado hacia el circuito de remolienda compuesta por los por dos molino de repaso de concentrado primario vertimill (C2-3420-ML-503, 504), de una capacidad de 1500 HP, el material molido es enviado gravitacionalmente hacia el cajón de colección de concentrado rougher para su clasificación en los ciclones, en circuito cerrado (figura 5.6.).

El concentrado de las celdas de flotación scavenger fluye por gravedad hacia el cajón (C2-3420-BX-504), aquí también se recibe los flujos de recirculación de los molinos de remolienda y el flujo del concentrado cleaner-scavenger.

Las bombas de alimentación a ciclones remolienda baja ley (C2-3420- PP-524, 525) están adaptadas con impulsores de frecuencia variable contando con una potencia de 1000 HP y 3200 m³/h, alimentan los concentrados de baja ley del banco rougher-scavenger hacia el distribuidor del nido de ciclones (C2-3420-CS-506), de 508 mm compuesto por 11 ciclones operativos y 2 en stand by.

El flujo de overflow del ciclón de remolienda fluye a través de un muestreador (C2-3420-SA-542) que por gravedad colecta una muestra para el análisis de

tamaño de partícula (PSI) (C2-3420-AZ-500) y luego fluye hacia el cajón de colas de las celdas columna, de donde es bombeado por las bombas, hacia el circuito primera limpieza.

El underflow del nido de ciclones pasa por una canaleta de descarga de ciclones de remolienda de baja ley hacia un distribuidor de descarga (C2-3420-DI-512) derivando el flujo al cajón de bombas de alimentación de molino de remolienda (C2-3420-BX-510, 513) y por medio de una bombas de alimentación a los molinos de remolienda (C2-3420-PP-526, 527) de 14" x 12" de 300 HP de potencia y 530 m³/h se bombea los concentrados de baja ley hacia los molinos de remolienda (C2-3420-ML-505, 506), Los molinos de remolienda son molinos verticales accionados por agitación (Vertimills) cada uno con un motor de 1,120 kW (1,500 HP). El tamaño de remolienda deseado para este circuito es de 25 % malla +325 en promedio, la descarga de los molinos de remolienda son enviados hacia el cajón de bombeo de concentrado scavenger, en circuito cerrado (figura 5.7).

Agua para la dilución es añadida a los cajones de bombas según se requiera para controlar el porcentaje de sólidos.

5.2.3.- CIRCUITOS DE FLOTACION CLEANER

El circuito de limpieza, tiene como finalidad obtener concentrados de alta ley, para conseguir este objetivo se lleva a cabo un proceso de limpieza del producto proveniente de remolienda de concentrados de alta ley, el mismo que se hace en un banco de celdas columna.

En el banco de celdas columna se desarrolla esta operación que es un proceso selectivo para separar los minerales de la ganga, en el cual las partículas de mineral de interés se adhieren a burbujas de aire, y transportadas por la espuma fuera de la celda. La diferencia principal de la flotación convencional es que en la flotación con celdas columna, las burbujas no son generadas por una agitación mecánica (figura 5.9.).

La ausencia de una agitación intensa en la pulpa facilita la selectividad y permite la recuperación de partículas más finas. El sistema de inyección de aire incrementa un mejor control y la generación de burbujas más pequeñas y más uniformes que en la flotación convencional. El agua añadida a la parte

superior de la espuma genera una acción de lavado en contra corriente que tiende a forzar hacia abajo a las partículas insolubles hacia la corriente de relaves de la celda columna, la flotación en celda columna es comúnmente utilizada para mejorar el concentrado.

El concentrado de baja ley proveniente de remolienda es tratada en los bancos de limpieza, cuya finalidad es obtener concentrados de alta ley aún a costa de una baja en la recuperación; en algunos casos en estas etapas para hacer más selectivo el proceso, se requieren bajos porcentajes de sólidos en las pulpas de flotación, menores velocidades de agitación, mayor altura de la zona de espumas y principalmente menor concentración de reactivos colectores que en la etapa rougher.

El circuito de celdas columnas recibe el flujo proveniente de remolienda de concentrados de alta ley en dos líneas cada una de ellas en un distribuidor de alimentación de celdas columna (C2-3430-DI-503, 504) los flujos son conducidos hacia las celdas columna (C2-3430-CM- 501, 502, 503 y 504, 505, 506) según sea el caso. Cada celda columna mide 5 m de diámetro x 12 m de alto. El concentrado de cada celda columna fluye por gravedad a través de un muestreador (C2-3430-SA-505, 506 y 507) y llevado al analizador (C2-3430-AZ-503)), y luego al cajón distribuidor del espesador bulk, siendo el concentrado final bulk.

El relave de las celdas columna fluye por un muestreador de relaves de celdas columna (C2-3430-SA-513, 514 y 515) conduciendo el flujo al analizador en línea de relaves (C2-3430-AZ-506), para luego depositarse en una canaleta de colección de relaves de celdas columna (C2-3430-LA-521) rumbo a la caja de bombeo de relaves de celda columna.

El relave de las celdas columna y el rebose de ciclones de baja ley son captadas en un cajón de distribución de alimentación a primera limpieza (C2-3410-DI-505) y gravitacionalmente se dirigen a dos líneas de celdas primera limpieza, de cuatro celdas cada una (C2-3430-CF-521, 522, 523, 524 de una línea y 531, 532, 533, 534 de la otra) de capacidad 255 m³ pasando luego a un cajón distribuidor y luego a una canaleta de concentrado de primera limpieza (C2-3410-LA-511), los concentrados de este banco fluyen hacia un muestreador de concentrado (C2-3410-SA-534 y 533) y pasando al analizador primera limpieza/limpieza scavenger (C2-3420-AZ-509).

Las colas del banco primera limpieza pasan a otro banco limpiadoras scavenger compuesta por dos líneas cada una de dos celdas (C2-3410-CF-527, 528 una línea y 537 y 538 la otra), cuyos concentrados se conducen por una canaleta dispuesta a cada banco (C2-3410-LA-512 una, 515 la otra) luego hacia un muestreador (C2-3410-SA-532 para una línea y 535 para la otra), y pasando al analizador primera limpieza/limpieza scavenger (C2-3420-AZ-509) (figura 5.10.)

El concentrado de la primera limpieza y el concentrado de segunda limpieza son conducidos al cajón de bombeo de recleaner (C2-3410-BX-514) y de aquí bombeo por acción de una bomba 20 x 14 (C2-3410-PP-517) hacia las celdas de segunda limpieza (C2-3410-CF-541) de capacidad 160 m³, el concentrado de esta celda pasa a una canaleta de concentrado de segunda limpieza (C2-3410-LA-508) y las colas de primera limpieza constituida por dos celdas (C2-3410-CF-542, 543) de capacidad 160 m³, los concentrados de esta pasan a una canaleta (C2-3410-LA-506) hacia un cajón de bombeo (C2-3410-BX-061) y con la bomba de concentrado bombea la pulpa hacia la primera limpieza con una bomba 8 x 6, las colas de la segunda limpieza previo muestreo por el muestreador (C2-3410-SA-533) es conducido hacia el relave de recleaner a molienda de alta ley y el concentrado de las mismas pasa por un muestreador (C2.3410-SA-537).

El concentrado recleaner es enviado hacia el cajón de concentrados, desde donde es impulsado por las bombas hacia el espesador de concentrado bulk.

El colector de molibdeno es añadido a la primera y séptima celda de la 5ta línea

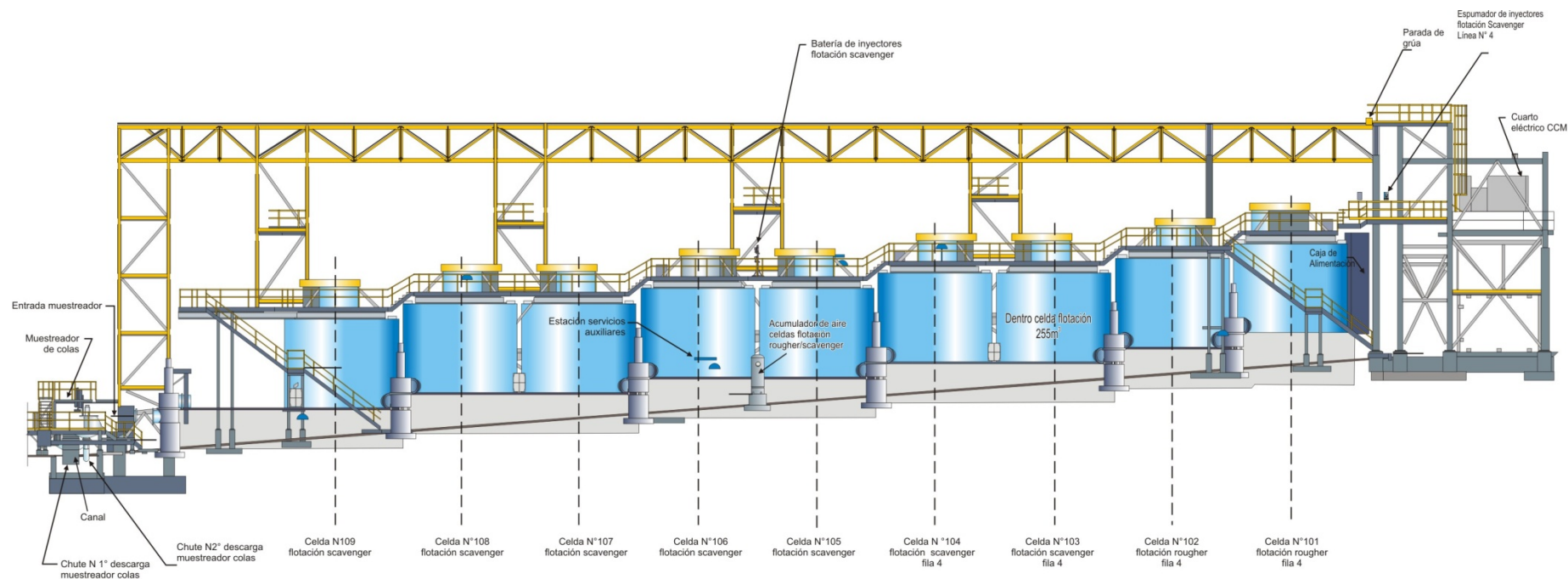


Figura N° 5.5. Celdas de flotación primer cleaner

	SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.
CONCENTRADO DE SULFUROS CV2	
FLOTACION DE COBRE	
FLOTACION PRIMARIA/LIMPIEZA	



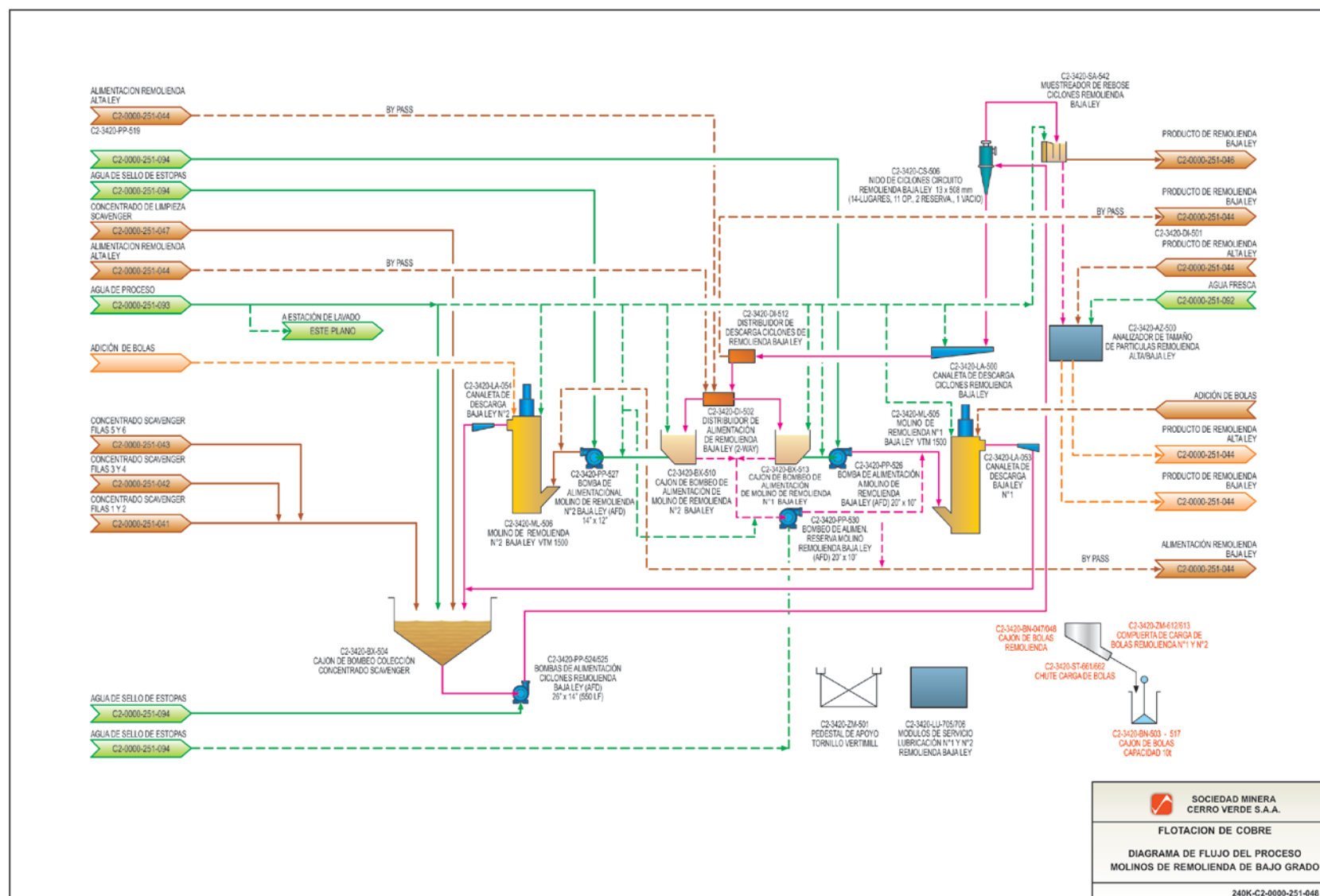


Figura N° 5.7. Diagrama de flujo remolienda concentrados scavenger baja ley

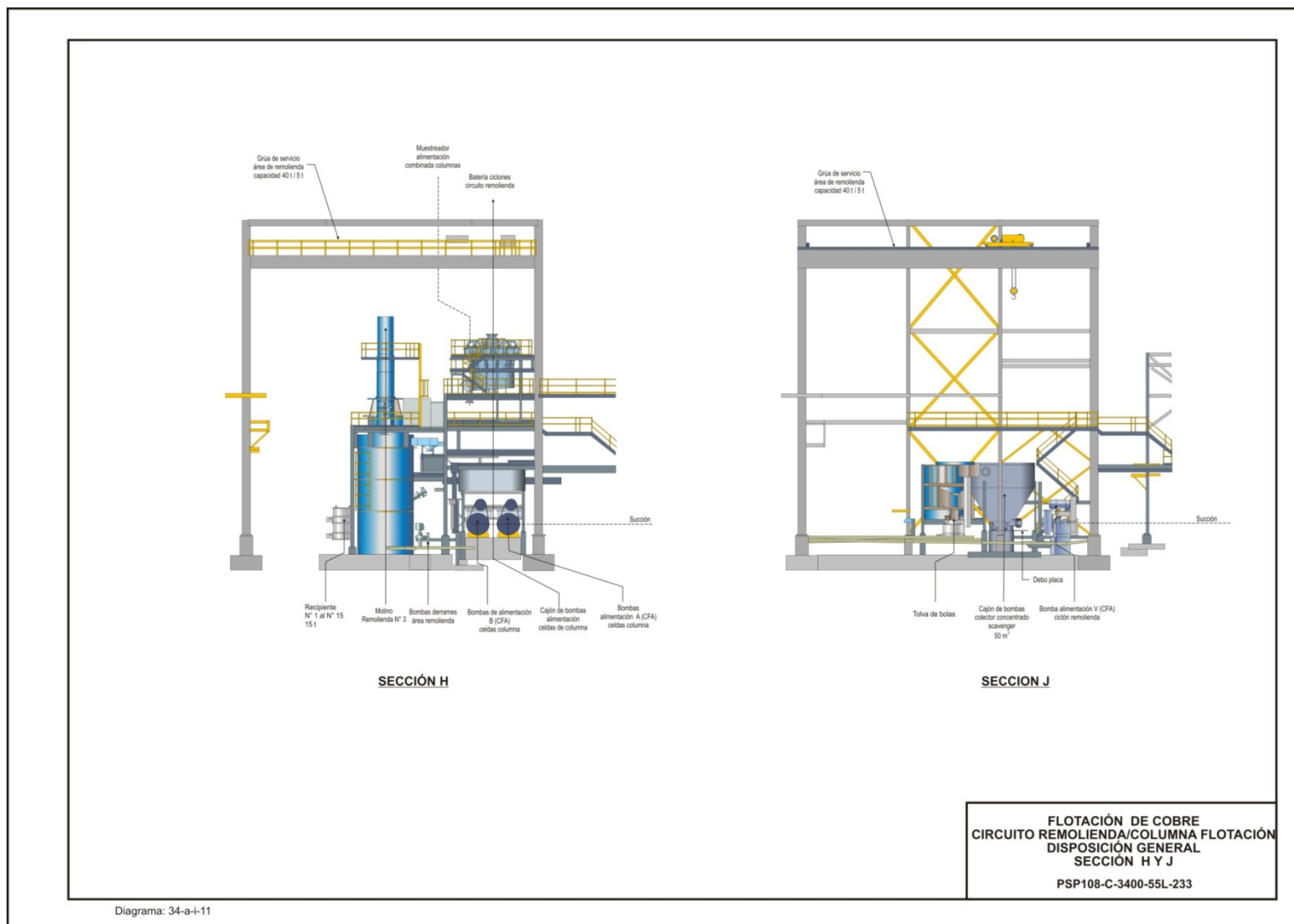


Figura N° 5. 8. Circuito de remolienda

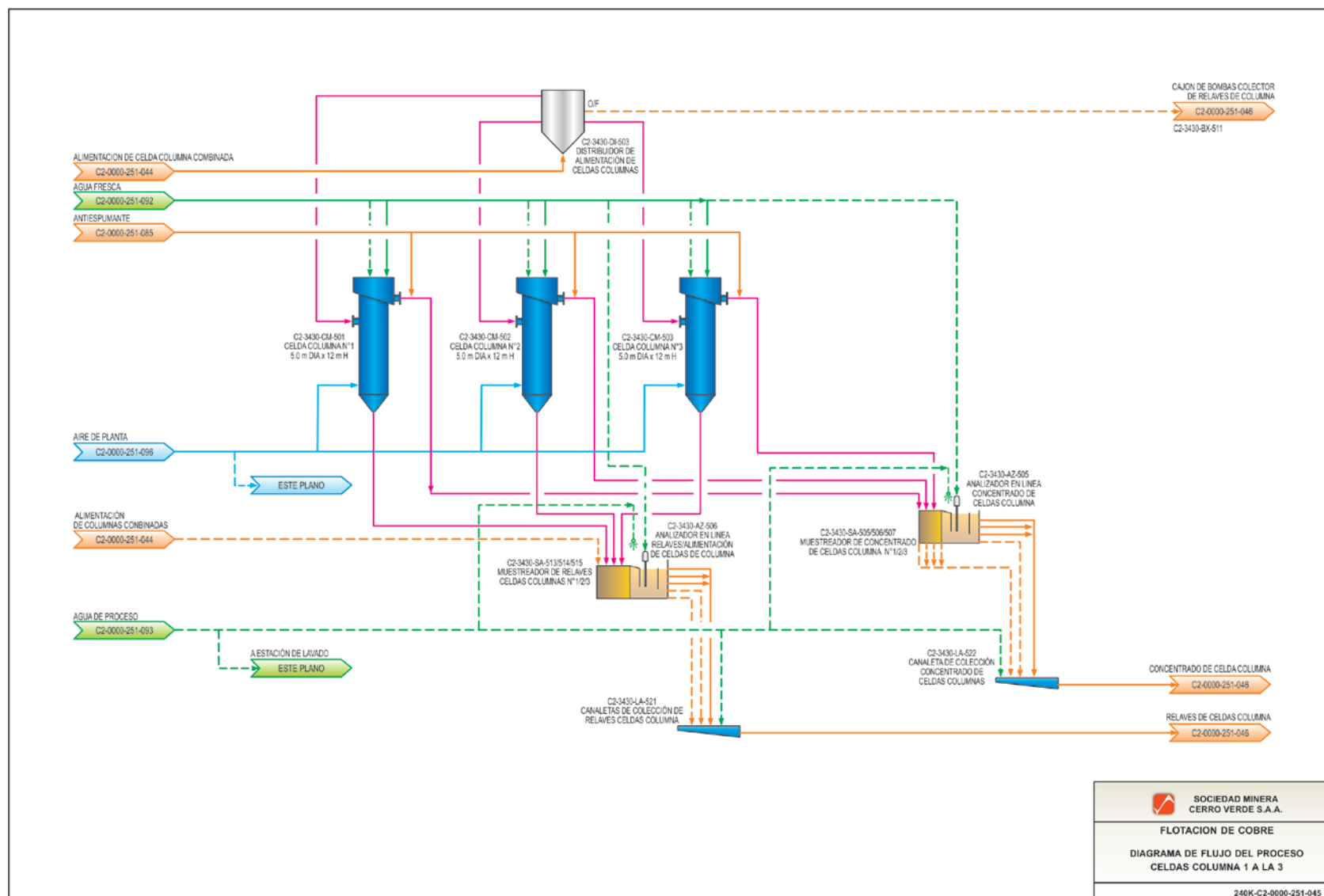


Figura N° 5. 9. Diagrama de flujo flotación celdas columna



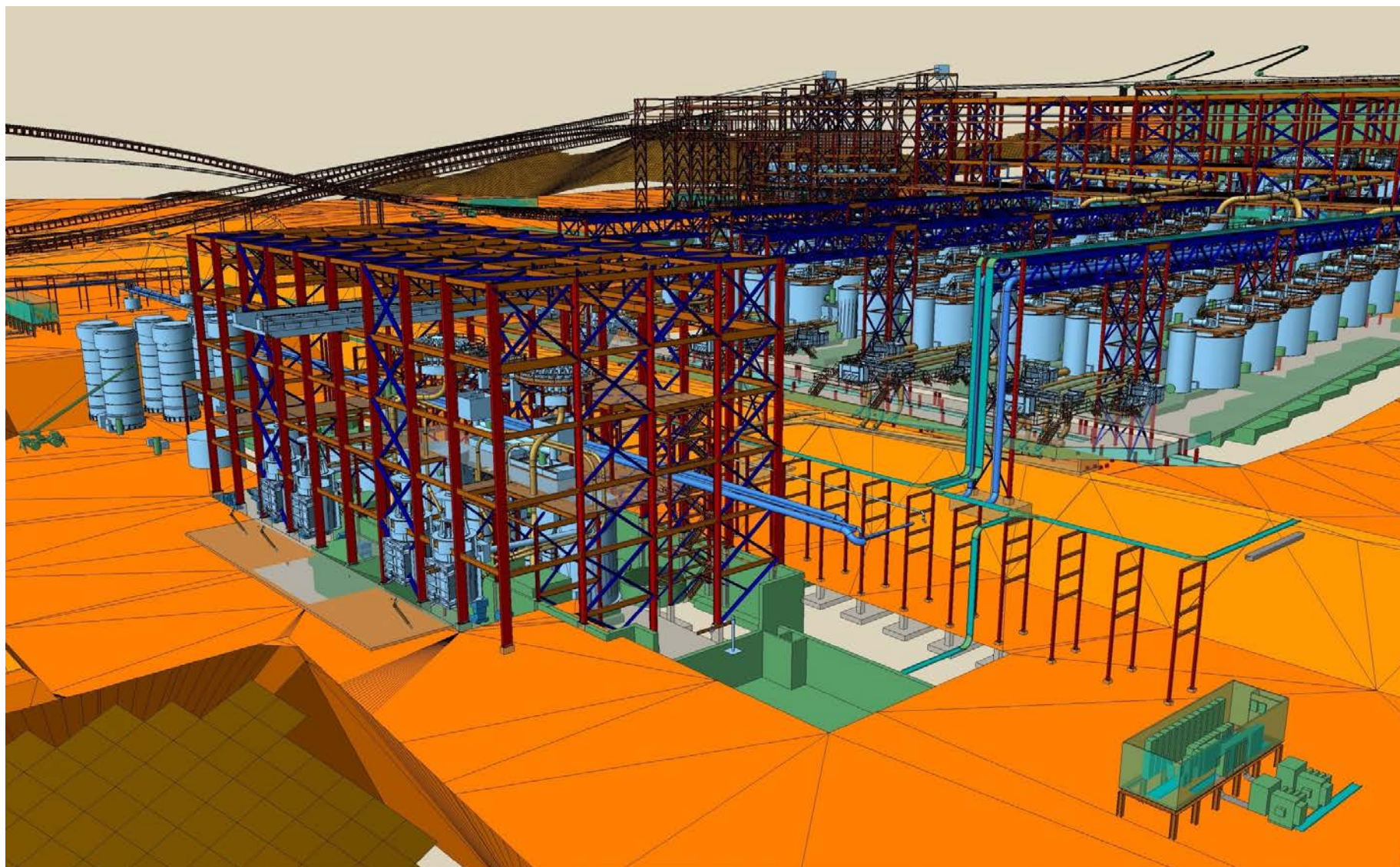


Figura N° 5. 11. Circuito de flotación

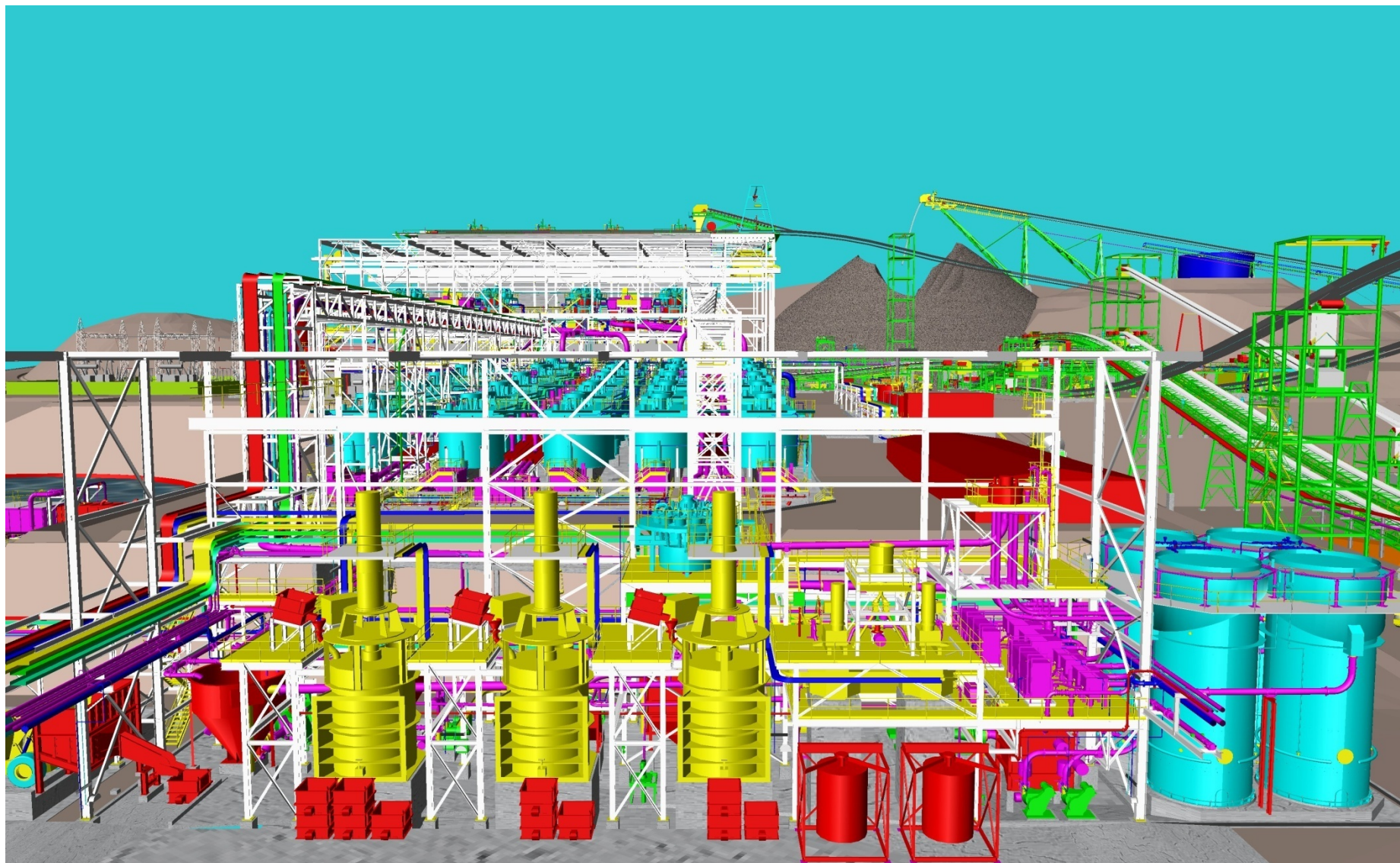


Figura N° 5. 12. Circuito de flotación y remolienda

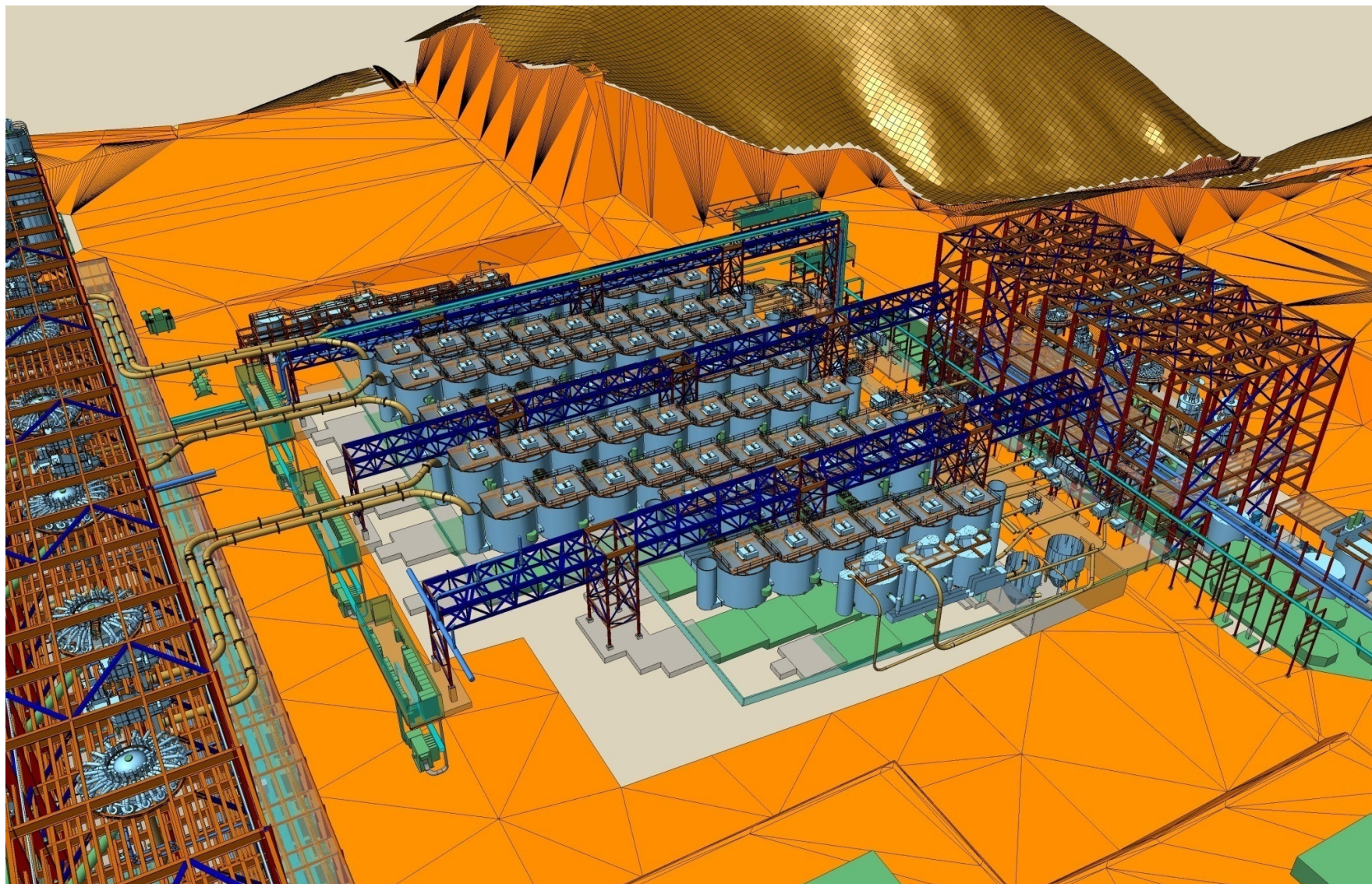


Figura N° 5. 13. Circuito de Flotación Cleaner y Cleaner –Scavenger.

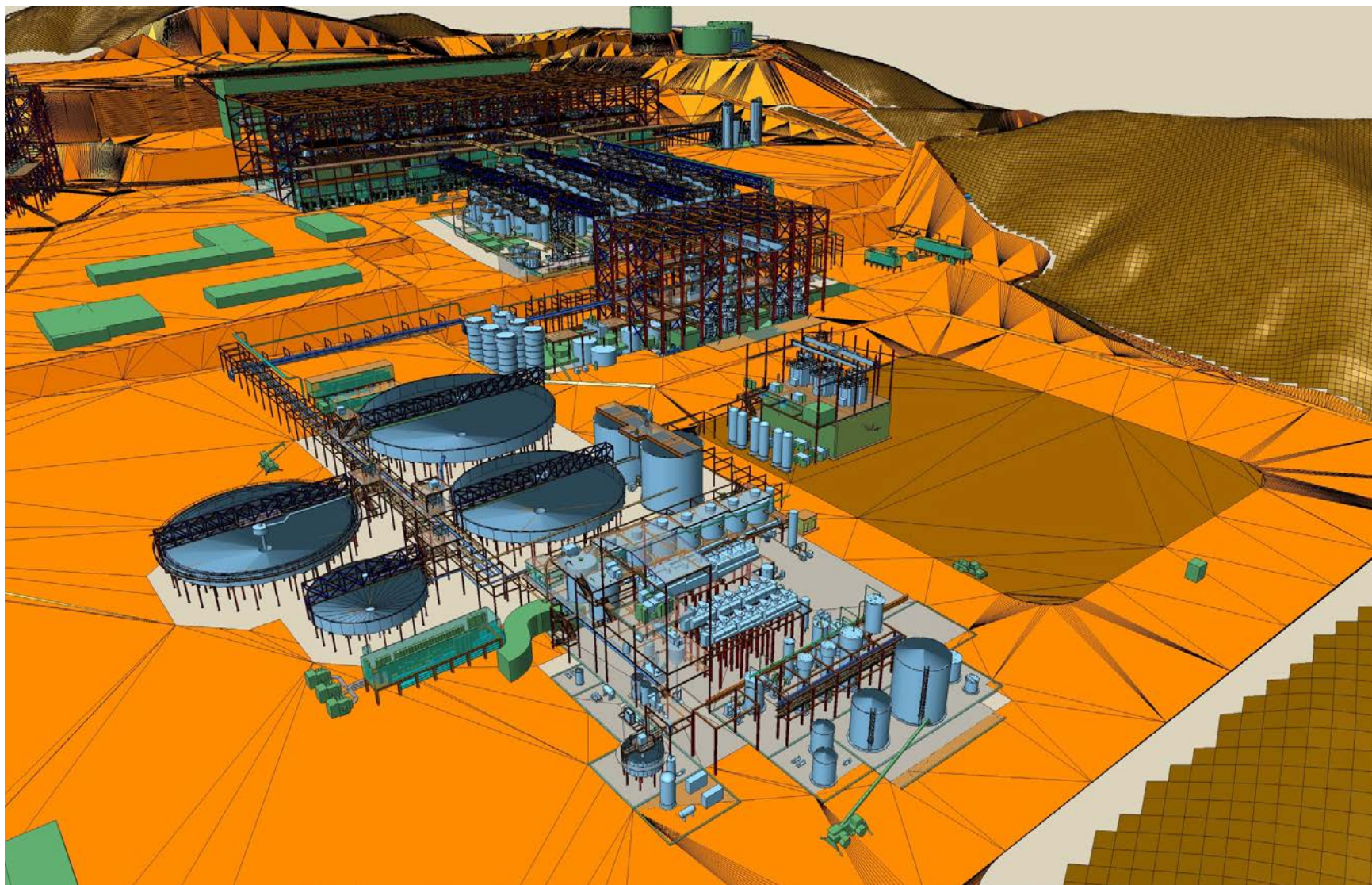


Figura N° 5. 14. Circuito de flotación- espesamiento

5.2.4.- EQUIPOS DEL CIRCUITO DE FLOTACION

5.2.4.1.- EQUIPOS FLOTACION ROUGHER SCAVENGER

EQUIPOS FLOTACION ROUGHER	TAG	TAG	TAG	TAG	TAG	TAG
Flotación rougher	3410-CF-101 3410-CF-102	3410-CF-201 3410-CF-202	3410-CF-301 3410-CF-302	3410-CF-401 3410-CF-402	3410-CF-501 3410-CF-502	3410-CF-601 3410-CF-602
Cajón distribuidor concentrado grueso	3410-ST-168	3410-ST-268	3410-ST-368	3410-ST-468	3410-ST-568	3410-ST-668
Flotación Scavenger.	3410-CF-103 3410-CF-109	3410-CF-203 3410-CF-209	3410-CF-303 3410-CF-309	3410-CF-403 3410-CF-409	3410-CF-503 3410-CF-509	3410-CF-603 3410-CF-609
Canaleta concentrados rougher	3410-LA-103	3410-LA-203	3410-LA-303	3410-LA-403	3410-LA-503	3410-LA-603
Canaleta concentrados scavenger	3410-LA-104	3410-LA-204	3410-LA-304	3410-LA-404	3410-LA-504	3410-LA-604
Analizador concentrado grueso	3410-AZ-104		3410-AZ-204		3410-AZ-304	
Muestreador relaves scavenger	3410-SA-102	3410-SA-202	3410-SA-302	3410-SA-402	3410-SA-502	3410-SA-602
Analizador de relaves scavenger	3410-AZ-103	3410-AZ-203	3410-AZ-303	3410-AZ-403	3410-AZ-503	3410-AZ-603
Muestreador de concentrados rougher gruesos y scavenger	3410-SA-103 3410-SA-104	3410-SA-203 3410-SA-204	3410-SA-303 3410-SA-304	3410-SA-403 3410-SA-404	3410-SA-503 3410-SA-504	3410-SA-603 3410-SA-604

5.2.4.2.- EQUIPOS REMOLIENDA DE CONCENTRADOS DE ALTA LEY

EQUIPOS REMOLIENDA CONCENTRADOS ROUGHER	TAG	TAG
Cajón de concentrado rougher	3420-CS-502	
Bombas alimentación a ciclones remolienda alta ley	3420-PP-502	3420-PP-502
Nido de ciclones de remolienda alta ley.	3420-CS-505	
Muestreador	3420-SA-541	
Canaleta de descarga ciclones de remolienda	3420-LA-502	
Molino de remolienda alta ley	3420-ML-503	3420-ML-503
Distribuidor de alimentación de remolienda	3420-DI-511	
Cajón de bombas alimentación molinos de remolienda	3420-BX-505	3420-BX-506
Bombas alimentación molino de remolienda alta ley	3420-PP-520	3420-PP-521
Distribuidor del cajón alimentación celdas columna	3420-DI-403	
Cajón bombas celda columna	3420-BX-403	3420-BX-503
Bombas alimentación celdas columna	3420-PP-522 3420-PP-523	3420-PP-535 3420-PP-536
Muestreador alimentación celdas columna	3420-SA-543	

5.2.4.3.- EQUIPOS REMOLIENDA DE CONCENTRADOS BAJA LEY

EQUIPOS REMOLIENDA CONCENTRADOS SCAVENGER	TAG	TAG
Cajón de concentrado scavenger	3420-CS-504	
Bombas alimentación a ciclones remolienda baja ley	3420-PP-524	3420-PP-525
Nido de ciclones de remolienda baja ley.	3420-CS-506	
Muestreador	3420-SA-542	
Canaleta de descarga ciclones de remolienda	3420-LA-500	
Molino de remolienda baja ley	3420-ML-505	3420-ML-506
Distribuidor de alimentación de remolienda	3420-DI-512	
Cajón de bombas alimentación molinos de remolienda	3420-BX-510	3420-BX-513
Bombas alimentación molino de remolienda baja ley	3420-PP-526	3420-PP-527
Muestreador de rebose ciclones remolienda	3420-SA-512	
Analizador de tamaño de partículas	3420-AZ-500	

5.2.4.4.- EQUIPOS DE FLOTACION CELDAS COLUMNA

EQUIPOS DE FLOTACION CELDAS COLUMNA	TAG	TAG	TAG
Distribución de alimentación celda columna	3430-DI-503	3430-DI-504	
Celdas columna	3430-CM-501 3430-CM-504	3430-CM-502 3430-CM-505	3430-CM-503 3430-CM-506
Analizador en línea concentrados celda columna	3430-AZ-506	3430-AZ-508	
Muestreador de concentrados celda columna	3430-SA-506	3430-SA-507	
Analizador en línea relaves	3430-AZ-505	3430-AZ-507	
Muestreadores de relaves celdas columna	3430-SA-513 3430-SA-516	3430-SA-514 3430-SA-517	3430-SA-515 3430-SA-518
Canaleta de colección de concentrados	3430-LA-522		
Canaleta de colección de relaves	3430-LA-521		
Caja de bombeo colección concentrado	3430-BX-512		
Bombas de transferencia concentrado de columna	3430-PP-514	3430-PP-515	
Caja de relaves celda columna bombeo colección	3430-BX-511		
Bombas de transferencia relaves celdas columna	3430-CM-512	3430-CM-513	
Bomba de derrames área celda columna	3430-PP-516		

5.2..4.5.- EQUIPOS FLOTACION CLEANER

EQUIPOS DE FLOTACION CLEANER	TAG	TAG	TAG	
Distribución de alimentación primera cleaner	3410-DI-505			
Celdas primera cleaner	3410-CF-522 3410-CF-532	3410-CF-523 3410-CF-533	3410-CF-524 3410-CF-534	
Cajón distribuidor concentrado primera cleaner	3410-ST-512 3410-ST-521	3410-ST-513 3410-ST-522	3410-ST-513 3410-ST-523	3410-ST-514 3410-ST-524
Canaleta de concentrado primera cleaner	3410-LA-511	3410-LA-514		
Celdas limpiadoras scavenger	3410-CF-527 3410-CF-537	3410-CF-528 3410-CF-538		
Canaleta concentrado limpieza scavenger	3410-LA-528	3410-LA-538		
Muestreador de concentrado	3410-SA-532	3410-SA-535		
Muestreador de concentrado primera cleaner	3410-SA-533	3410-SA-534		
Muestreador de relave primera scavenger	3410-SA-531	3410-SA-534		
Analizador primera cleaner	3410-AZ-509			
Canaleta de concentrado primera cleaner	3410-LA-513	3410-LA-516		
Cajón de alimentación recleaner	3410-BX-514			
Bomba de alimentación de recleaner	3410-PP-517			
Celda de segunda limpieza	3410-CF-541			
Canaleta concentrado segunda limpieza	3410-LA-508			
Celdas Primera limpieza	3410-CF-542	3410-CF-543		
Muestreador de relaves reclener	3410-SA-536			
Muestreador de concentrado recleaner	3410-SA-537			

5.3.- DESCRIPCION DEL EQUIPO

La flotación de minerales por espuma es un proceso selectivo para separar los minerales de la ganga. En la flotación, las burbujas de aire producidas por la agitación mecánica de los mecanismos, son usadas para flotar las partículas de mineral, a través de la adherencia, en la superficie de las celdas para su recuperación. Básicamente, la adherencia de las partículas pequeñas en las burbujas de aire reduce la gravedad específica de las partículas combinadas de mineral-aire de manera que la gravedad específica de su asociación sea menor que la gravedad específica de la pulpa, induciéndolas así a ascender dentro de la pulpa.

5.3.1.- ASPECTOS TEORICOS DE LA FLOTACION DE MINERALES

Se define la flotación como un proceso de concentración de minerales en el cual se procura separar las partículas de menas útiles de estériles o gangas, mediante un tratamiento físico - químico que modifica su tensión superficial para lograr que burbujas de aire, finamente divididas, se adhieran a las primeras y las enriquezca en una espuma, este proceso se lleva a cabo en unas maquinas denominadas celdas de flotación.

Las celdas de flotación tienen un rotor-dispersor que proporciona mezclado y aireación. El aire del ambiente es llevado hacia la celda y es distribuido a través de toda la pulpa en la forma de burbujas que por sí mismas se adhieren a las partículas para la flotación. El flujo de aire inducido proporciona una aireación eficiente con una facilidad mecánica. Un tubo de aspiración cónico canaliza el flujo para producir una alta recirculación de la pulpa. Este admite el aire inducido por el giro del rotor.

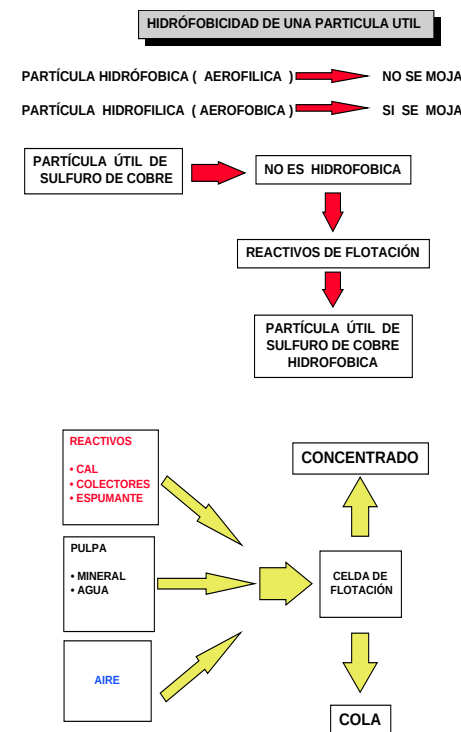


Figura N° 5. 15. Hidrofobicidad de una partícula

5.3.1.1.- FUNDAMENTOS DE LA FLOTACION-

5.3.1.1.1.- CINETICA DE LA FLOTACION

La cinética del proceso de flotación de espumas se puede definir como la cantidad de mineral transportado por las espumas como concentrado que se extrae de la máquina en la unidad de tiempo, donde a partir de este concepto se busca un modelo matemático que describa el proceso de flotación, bajo presunciones basadas en la teoría de los hechos establecidos por el estudio del mecanismo de la flotación, o de las observaciones empíricas. En consecuencia, el problema de la cinética de flotación consiste en determinar la forma de un modelo matemático que defina a la velocidad de flotación y

los efectos cuantitativos de las variables principales sobre los parámetros de la cinética.

Cuando consideremos los modelos de cinética de flotación, es importante tener presente aquellos aspectos de interacción física y química muy complejas que están involucrados en el proceso de flotación. Sin embargo, estas interacciones complejas de pulpa y superficie no están consideradas en los modelos de cinética de flotación, debido a que la flotación de espumas es simplemente tratada como un proceso de velocidad.

Aún cuando estas interacciones no están consideradas en los modelos, es esencial reconocer que la flotación es un sistema de ingeniería interactiva. Fenomenológicamente hablando.

La mena molida a una finura determinada, teniendo así una distribución de tamaño dada y una distribución de partículas del contenido metálico libres y encapsuladas (grado de liberación) y de minerales de ganga, está sujeta a una reacción de separación en el circuito de flotación.

Dependiendo del Eh-pH prevaleciente, temperatura y condiciones de la solución, tanto como la presencia de varios reactivos, el alimento es partido en dos productos, uno que contiene el o los minerales de contenidos metálicos conocido como concentrado, material que continúa su procesamiento y otro que contiene a todos los otros minerales sin valor, conocido como relave. Cuando la mena es multi-metálica o compleja, podemos obtener más de un concentrado.

Por lo tanto, recordemos que el sistema de flotación está relacionado a tres factores:

- Factor químico.
- Factor de equipo, y
- Factor de operación

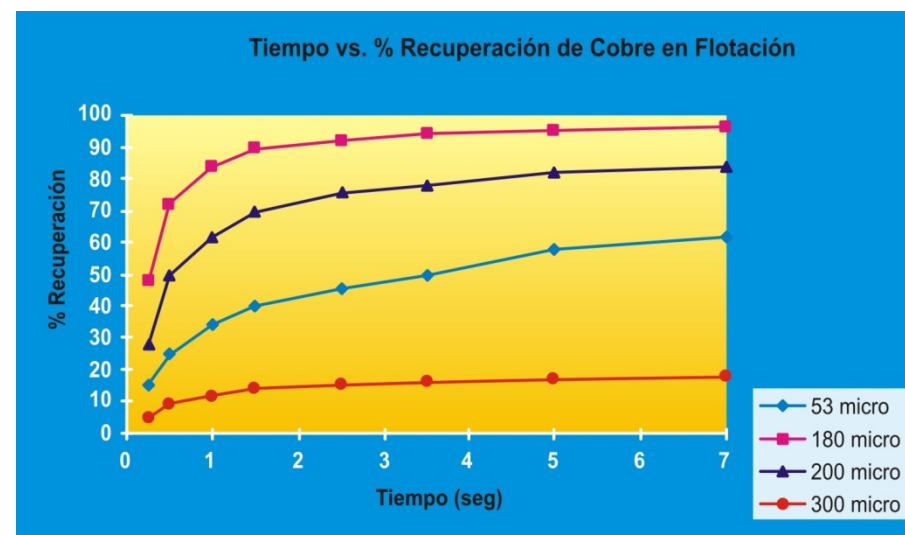


Figura N° 5. 16. Cinética de la flotación

5.3.1.1.2.- TERMODINAMICA DE LA FLOTACION

Para que en la práctica ocurra la adhesión entre una burbuja y una partícula mineral, deben cumplirse condiciones termodinámicas a la vez que hidrodinámicas. En primer lugar debe ocurrir un encuentro físico entre la partícula y la burbuja (colisión). Para que dicha colisión sea exitosa se requiere que durante el corto tiempo que dura la colisión, tenga lugar el adelgazamiento y ruptura del film de líquido que los separa y se forme una nueva interface mineral/aire. Tanto la espontaneidad con que ocurra esta etapa, así como, la estabilidad en el tiempo de esta adhesión, dependen de la hidrofobicidad del mineral. Durante la adhesión hay un efecto cinético importante. Hay un tiempo mínimo necesario para que ocurra una adhesión estable, llamado tiempo de inducción. Lógicamente, en la flotación se requiere que el tiempo de inducción sea menor que el tiempo de duración de la colisión. Durante este corto lapso de tiempo debe ocurrir el reemplazo de la interface mineral/solución por la interface mineral/gas, lo cual involucra vencer ciertas fuerzas de oposición que surgen de la energía superficial del

agua dispersa en un film muy delgado que a su vez es función de la afinidad con la superficie mineral. La flotación es básicamente la adhesión de una partícula mineral parcialmente hidrofóbica a una burbuja de gas. La propiedad que gobierna la hidrofobicidad es la tensión superficial. La flotación ocurre cuando el balance de las tensiones superficiales en el sistema trifásico mineral/gas/líquido (generalmente agua) son favorables. Termodinámicamente, está dado por la expresión que define el cambio de energía libre superficial para la adhesión partícula/burbuja en medio acuoso:

5.3.1.1.3.- ANGULO DE CONTACTO

Podemos definir el ángulo de contacto como el ángulo formado por el plano tangente a la interface líquido/gas y el plano formado por el sólido en un contacto trifásico sólido/líquido/gas

Se tendrá entonces que, cuando un líquido moja completamente a un sólido, el ángulo de contacto será igual a cero, por otra parte ángulos de contacto mayores a cero indicarán mojabilidad y consecuentemente mayor el grado de hidrofobicidad.

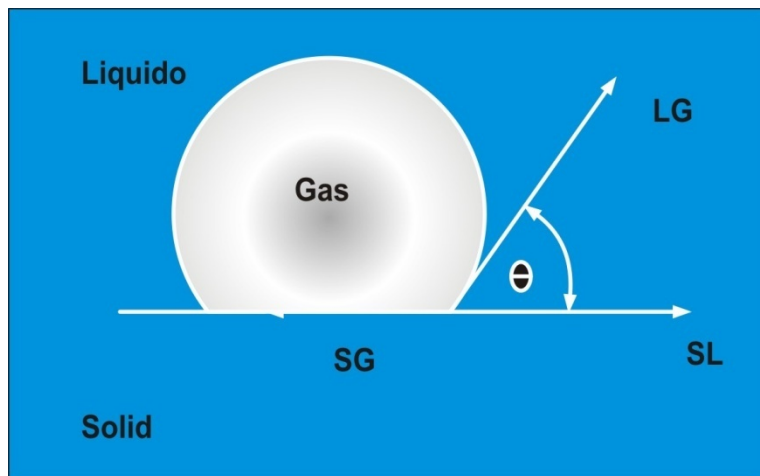


Figura N° 5. 17. Ángulo de contacto

5.3.1.2.- ETAPAS DE LA FLOTACION

El mecanismo esencial de la flotación comprende la anexión de partículas minerales a las burbujas de aire, de tal modo que dichas partículas son llevadas a la superficie de la pulpa mineral, donde pueden ser removidas. Este proceso abarca las siguientes etapas.

1. El mineral es molido húmedo hasta aproximadamente 140 micrones.
2. La pulpa que se forma, es diluida con agua hasta alcanzar un porcentaje de sólidos en peso entre 28% y 30%.
3. Se adiciona pequeñas cantidades de reactivos, que modifican la superficie de determinados minerales.
4. Otro reactivo denominado colector, específicamente seleccionado, se agrega para que actúe sobre el mineral que se desea separar por flotación. Este reactivo cubre la superficie del mineral haciéndola aerofílica e hidrofóbica.
5. Luego se adiciona el reactivo espumante, que ayuda a establecer una espuma estable.
6. La pulpa químicamente tratada en un depósito apropiado, denominados acondicionadores entra en contacto con aire introducido por agitación o por la adición directa de aire a baja presión.
7. El mineral aerofílico, como parte de la espuma, sube a la superficie de donde es extraído. La pulpa empobrecida, pasa a través de una serie de tanques o celdas, con el objetivo de proveer tiempo y oportunidad a las partículas de mineral para contactar burbujas de aire y pueden ser recuperadas en la espuma.

Para que la flotación de minerales sea efectiva, se requieren de los siguientes aspectos:

Reactivos químicos

- Collectores
- Espumantes
- Activadores
- Depresores

Componentes del equipo

- Diseño de la celda
- Sistema de agitación
- Flujo de aire
- Configuración de los bancos de celdas
- Control de los bancos de celdas

Componentes de la operación

- Velocidad de alimentación
- Mineralogía
- Tamaño de partículas
- Densidad de pulpa
- Temperatura

En la flotación intervienen los siguientes elementos o factores:

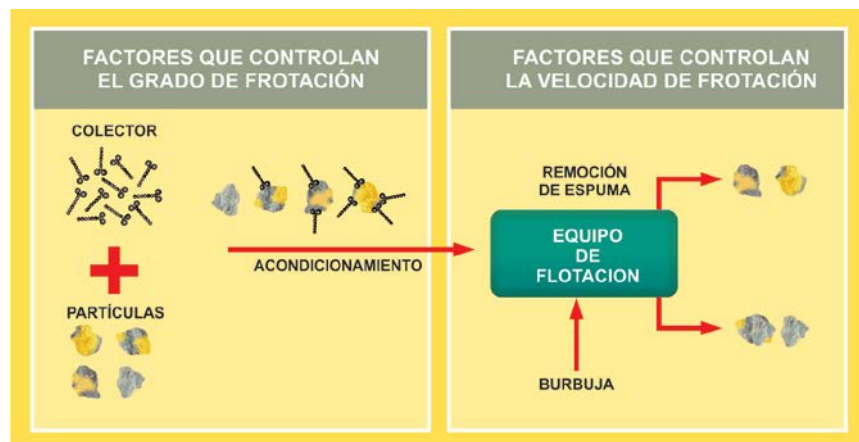


Figura N° 5. 18. Factores que controla la flotación

5.3.1.3.- FACTORES QUE HACEN POSIBLE LA FLOTACION

De lo anteriormente descrito, podemos ya concluir que los factores que intervienen son:

5.3.1.3.1. LA PULPA

El circuito de molienda nos entrega en el rebalse del ciclón un producto al que se le ha chancado y molido y que contiene sulfuros valiosos, ganga y agua, en una mezcla. A este conjunto lo denominamos pulpa.

5.3.1.3.2. LOS REACTIVOS

La mayor parte de los minerales en estado natural, no son repelentes al agua, ni son tan afines al aire, por lo tanto es conveniente agregar reactivos o agentes químicos de flotación a la pulpa con el propósito de lograr un grado de control de las características de las interfaces. Por ende, podemos decir que los reactivos de flotación son el componente y la variable más importante del proceso, debido a que la flotación no se puede efectuar eficientemente sin ellos.

Los Colectores.- Los colectores son compuestos orgánicos de moléculas complejas de estructura asimétrica y heteropolar, cuya función principal es la de adsorberse en la superficie del mineral valioso hidrofobizándola selectivamente dentro de la pulpa, para crear condiciones de reducción de la energía libre superficial del mineral hidratado (mojado) a un punto donde sea posible la formación de un perímetro de contacto de fases (mineral-agua-aire), favoreciendo la adherencia de la partícula mineral a la burbuja.

Los Espumantes.- que permiten la formación de espuma estable, de tamaño y mineralización.

Los espumantes son sustancias orgánicas tensoactivas (superficies activas) heteropolar que pueden adsorberse en la superficie de la interfase aire-agua. Su función principal es proporcionar una adecuada resistencia mecánica de las burbujas de aire, manteniéndolas dispersas y previniendo su coalescencia o unión, de modo que puedan presentar superficies de adherencia adecuada de las partículas de mineral flotante, y por consiguiente logra la estabilidad de la espuma de flotación, la cual ha reducido su energía libre superficial y la tensión superficial del agua.

Los Modificadores.- Los reactivos modificadores son utilizados en flotación para modificar y controlar la acción del colector, ya sea intensificando o reduciendo el efecto repelente al agua sobre la superficie mineral, haciendo

de este modo más selectiva la acción del colector hacia ciertos minerales, asegurando una mejor precisión en la separación eficiente, razonable y económica de ellos.

Los Activadores.

Son sales solubles cuyos iones alteran la naturaleza química de las superficies de los minerales valiosos, de tal modo que mejoran o ayudan a la adsorción de un colector, haciéndolos hidrofóbicos y flotables, es decir, hacen la acción del colector más selectiva.

Depresores.

Son reactivos que inhiben o evitan la adsorción de un colector por un mineral volviéndolo hidrofílico, por tanto, no flotable. Esto permite una flotación diferencial o selectiva. Una forma de depresión natural es por las lamas presentes en la pulpa que recubren a los minerales haciéndolos hidrofílicos.

Modificadores de pH.

La efectividad de todos los reactivos o agentes de flotación dependen grandemente del grado de alcalinidad (OH^-) o acidez (H^+) de la pulpa. Por lo tanto, un objetivo primario de una prueba de flotación es encontrar el valor óptimo del pH para una combinación dada de reactivos y mena. El pH es uno de los pocos factores que se pueden medir fácilmente en una pulpa de flotación.

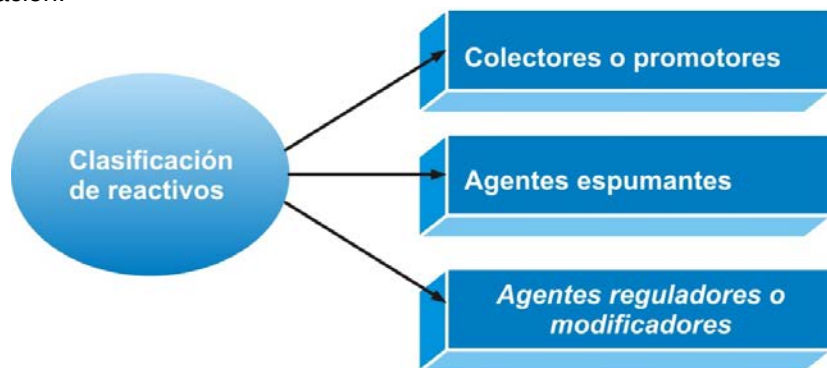


Figura N° 5. 19. Clasificación de los reactivos

5.3.1.3.3.- EL AIRE

El aire es un factor importante de la flotación, porque permiten la formación de burbujas que se encargan de transportar los sulfuros valiosos hasta la superficie de las celdas, ayudando además a agitar la pulpa.

5.3.1.3.4.- LA AGITACION

Si tomamos en un vaso un poco del rebalse del clasificarlo (finos de hidrociclón) y lo dejamos sobre la mesa sin agitarlo, veremos que al cabo de un cierto tiempo todas las partes sólidas se han asentado en el fondo. En estas condiciones agregamos un poco de reactivo, ¿Se mezclara todas las partículas?

Evidentemente que no. Pero si luego agitamos nuestra pulpa con una varilla, será posible evitar el asentamiento de las partículas y podremos conseguir que el reactivo entre en contacto con los granos valiosos y actúe sobre ellos.

5.3.1.4.- MECANISMOS DE LA FLOTACION

Para estudiar el mecanismo de la flotación es suficiente, en principio, enterarse con todo detalle de lo que sucede entre una partícula de mineral y una burbuja de aire para que ellos formen una unión estable.

Con respecto a las partículas de minerales, es sabido que pocas de ellas tienen propiedades hidrofóbicas suficientemente fuertes como para que puedan flotar. En primer lugar, en la gran mayoría de los casos hay que romper enlaces químicos (covalentes e iónicos principalmente) para efectuar la liberación del mineral. Esto inmediatamente lleva a la hidratación de la superficie del mineral.

En resumen, es necesario hidrofobizar las partículas minerales en la pulpa para hacerlas flotables. Esto se efectúa con los reactivos llamados colectores, que son generalmente compuestos orgánicos heteropolar, o sea, una parte de la molécula es un compuesto evidentemente apolar (hidrocarburo) y la otra es un grupo polar con propiedades iónica = propiedades eléctricas.

Para facilitar la absorción de estos reactivos sobre la superficie de las partículas minerales hay que crear condiciones favorables en la capa doble de cargas eléctricas, lo que se hace con los reactivos llamados modificadores.

La partícula mineral queda cubierta por el colector que se afirma en su red cristalina por medio de su parte polar, proporcionándole con la parte apolar propiedades hidrofóbicas (propiedades no mojables). Logrando:

- Flexibilidad para concentrar selectivamente, es decir, con producción de concentrados limpios y de alta ley.
- Adaptarse fácilmente al tratamiento en gran escala y con ayuda de técnicas automáticas de control y medición, a pulpas de mineral con granulometría de amplia gama: entre 140 micrones.
- Integrarse fácilmente con técnicas modernas de molienda y clasificación, así como con medios mecanizados de manejo de productos y separación sólido/líquido.

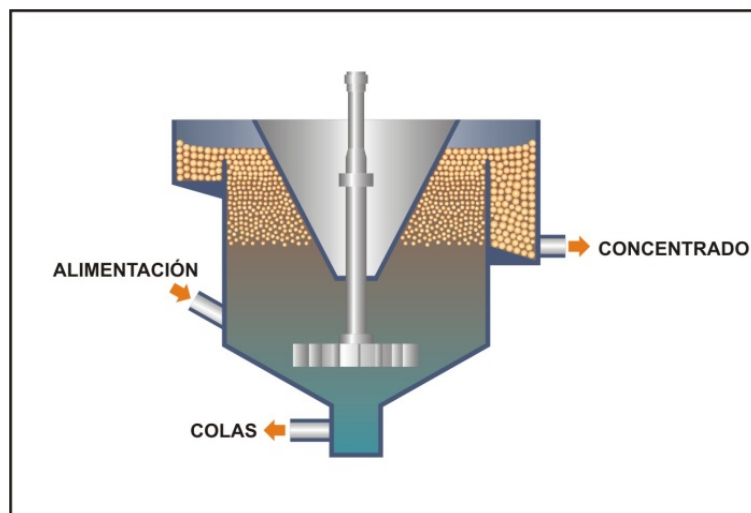


Figura N° 5. 20. Esquema celda de flotación por espuma

5.3.1.5.- TIPOS DE CELDAS DE FLOTACION

5.3.1.5.1.- CELDAS MECANICAS

Cada uno de las celdas de flotación consiste en un tanque cilíndrico de 255 m³ (capacidad nominal), constituidas por cajones de derivaciones y descarga con válvulas de dardo, canaletas radiales para la colección de espumas, mecanismo de agitadores que incluye el montaje de accionamiento y motor, válvula de entrada de aire, y controles automáticos del nivel. Las primeras celdas de cada banco están equipadas con cajones semicirculares de alimentación.

La celda de flotación Wemco se caracteriza por tener un y un mecanismo de accionamiento del eje, un tubo de aspiración híbrida para mejorar la circulación, colectores de espumas para acelerar el movimiento de los sólidos en la superficie.

Los cajones circulares de conexión son los medios para controlar el nivel e incluso el flujo entre las celdas. Las válvulas de dardo contenidas en los cajones de conexión, mantienen el nivel de la pulpa en las celdas de flotación mediante el control del flujo entre las celdas. El cajón circular de la descarga mantiene el nivel de la pulpa en las celdas anteriores, y proporciona una conexión hacia la canaleta de colas. Estos cajones contienen el tapón y asiento reemplazables de la válvula y los puertos de inspección de las bridas de obturación.

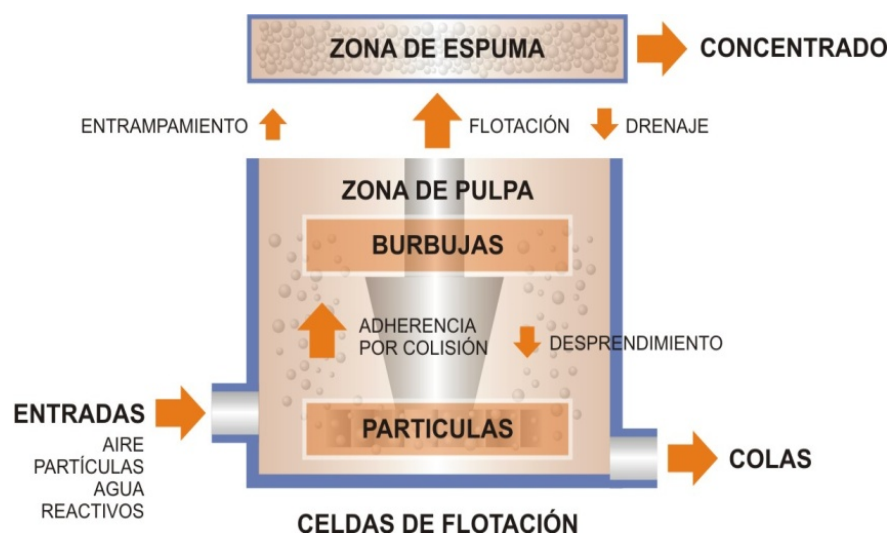


Figura N° 5. 21. Zonas en una celda de flotación

5.3.1.5.2.- CELDAS NEUMÁTICAS

Son máquinas de flotación que no tienen impulsor mecánico, la pulpa es agitada por aire comprimido.

Estas celdas originalmente son tanques rectangulares con tuberías de difusión de aire instalado en el fondo de la celda.

La celda columna se considera también como celda neumática; estas celdas funcionan con sistemas de flujos en contracorriente; se tiene un flujo ascendente de burbujas generales en forma continua, desde el fondo descendente de partículas sólidas en la pulpa.

5.3.1.5.3.- CELDAS DE FLOTACION A GRAN ESCALA

A medida que las leyes de los minerales fueron bajando, fue necesario tratar tonelajes mayores para mantener los niveles de producción de concentrado fino.

Esta necesidad de aumentar la capacidad de tratamiento, estimuló la fabricación de molinos de gran tamaño y, por consiguiente, el diseño de celdas de mayor volumen para evitar el uso de una cantidad de celdas excesiva, que se tradujera en mayor mantención, mayor complejidad de control y mayor requerimiento de espacio.

5.3.2.- DESCRIPCION DE EQUIPOS DE FLOTACION DE MINERALES

5.3.2.1.- PARTES DE LA CELDA DE FLOTACION DE MINERALES

5.3.2.1.1.- CAJAS DE ALIMENTACION

La caja de alimentación esta hecha de plancha de acero, forrada interiormente con caucho y el exterior pintado con epóxido, la caja esta sujeta al tanque con pernos.

5.3.2.1.2.- TANQUE

Los tanques están hechos de planchas de acero, están equipadas con canaletas longitudinalmente, el interior esta forrado con elastómero.

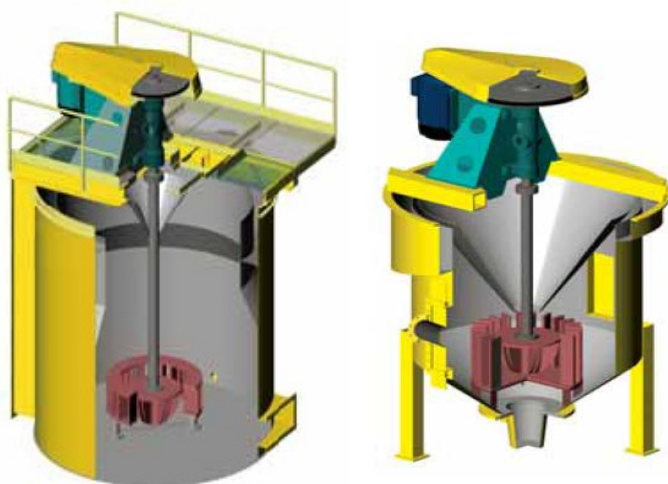


Figura N° 5. 22. Partes de la celda de flotación

5.3.2.1.3.- UNIDAD IMPULSORA

Consiste en un motor eléctrico con caja de rodamientos y transmisión con banda entre el motor y la caja de rodamientos todo esto montado sobre una cremallera apoyada sobre las vigas de soporte en la parte superior del tanque. El ensamble del rotor y del eje inferior está conectado a la brida inferior de la caja de rodamientos.

El ingreso de aire se realiza a través de la tubería y válvula de conexión.

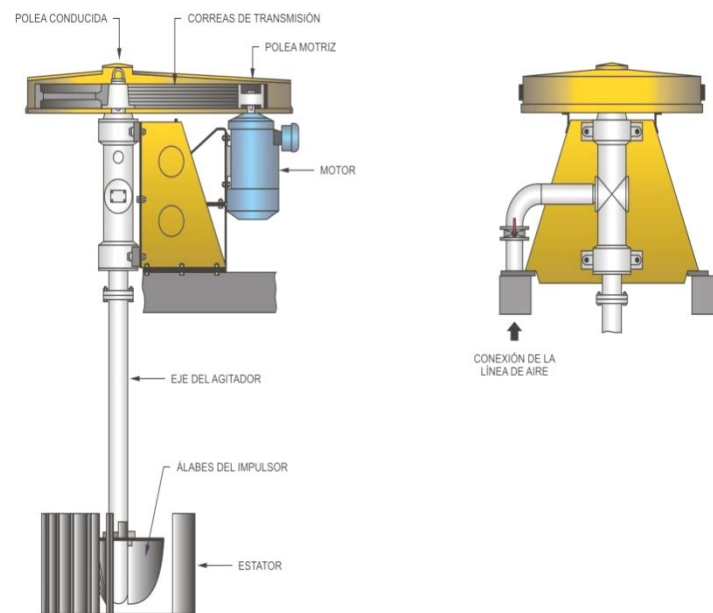


Figura N° 5. 23. Ingreso del aire a una celda de flotación

5.3.2.1.1.- ROTOR

El rotor está montado sobre el eje inferior mediante una brida de junta. Esta forrada con linatex y balanceado para su uso.

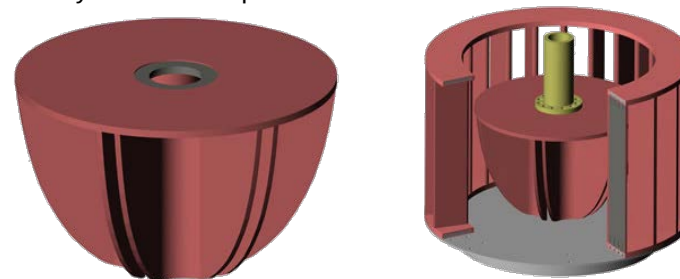


Figura N° 5. 24. Rotor de una celda de flotación

5.3.2.1.5.- ESTATOR

El estator se eleva desde la parte inferior del tanque

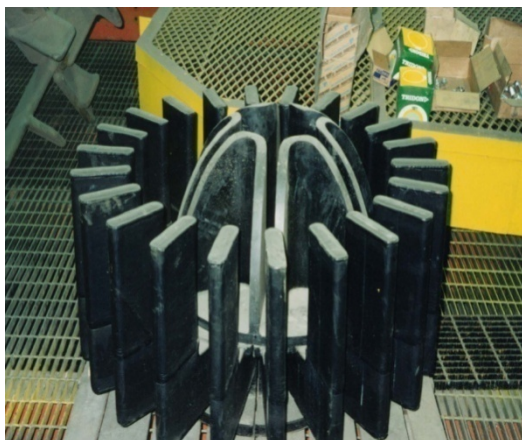


Figura N° 5. 25. Estator de una celda de flotación

5.3.2.2.- INSTRUMENTOS

5.3.2.2.1.- CONTROL DE NIVEL DE PULPA

Mantiene en forma automática el nivel de pulpa en un valor específico y además estabiliza el proceso de flotación cuando se producen fluctuaciones en el nivel de alimentación. El punto de ajuste puede ser modificado manualmente por el operador en el campo.

El nivel de pulpa de una celda de flotación es indicada por un flotador, cuya posición es medida por un monitor ultrasónico de nivel o mediante un transmisor de ángulo eléctrico.

Las válvulas dardo son empleadas por lo general para el control de nivel.

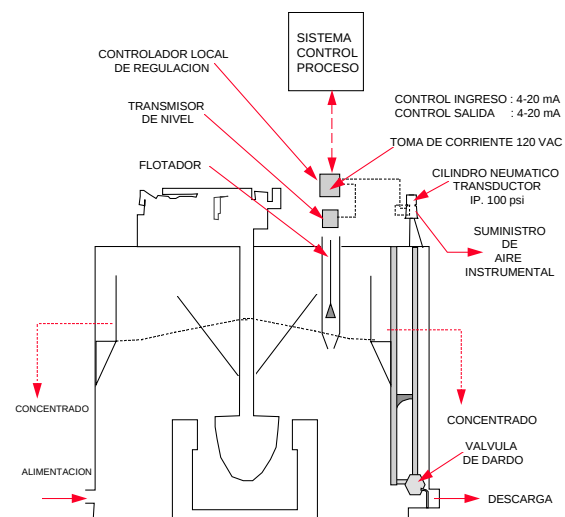


Figura N° 5. 26. Sistema de control de nivel de pulpa de celda

5.3.2.2.2.- MECANISMO DE CONTROL DE ALIMENTACION DE AIRE

El mecanismo de mezclado que disponen las celdas dispersa el aire de flotación interior de la pulpa, además de mantener la pulpa en completa suspensión por su acción de bombeo.

El sistema consiste en un rotor colocado sobre un eje hueco y un estator anexo a su pedestal; el eje se conecta a un reductor de velocidad accionado por un motor eléctrico, la transmisión de potencia entre el motor y el reductor de velocidad se efectúa mediante una transmisión de correa ajustable en el tiempo.

El aire alimentado al rotor llega a través del eje secundario del mecanismo reductor de velocidad y del eje hueco inferior.

Las partículas ascienden a la superficie transportadas por las burbujas de aire y forman una espuma, la cual fluye sobre el labio de la celda hacia la canaleta periférica. La remoción de la espuma y por consiguiente la

velocidad de transporte se mejora mediante un cono ajustable en el interior del tanque.

Los valores de flujos de aire requeridos para la flotación fluctúan de acuerdo a la ubicación del banco.

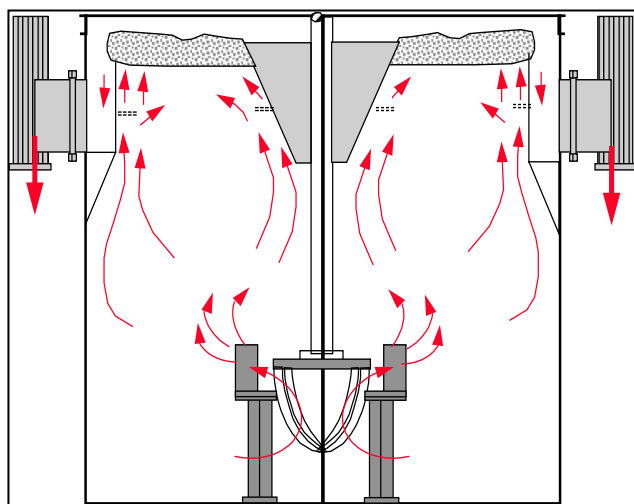


Figura N° 5. 27. Distribución de flujo de pulpa en una celda

5.3.2.3.- CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS DE UNA CELDA DE FLOTACION

- **Zona de mezcla**, localizada en el entorno del mecanismo de agitación (A), donde el aire se dispersa en pequeñas burbujas debido a la alta turbulencia que aquí se produce y toman contacto con las partículas de mineral ya hidrofobizado.
- **Zona de separación**, de movimiento hidrodinámico poco turbulento (B), en donde las burbujas se agrupan unas con otras y drenan partículas indeseables que pudieran haber sido atrapadas o arrastradas.

- **Zona de espuma o concentración**, que es bastante tranquila en relación a las dos primeras C, donde se forma un lecho o colchón de espumas de altura variable y que contienen el mineral valioso en la ley o grado requerible,

5.3.2.4.- BANCOS DE FLOTACION

Se llama así el grupo de 2 o más celdas que efectúan un mismo tipo de flotación. Los tipos de bancos de flotación son:

5.3.2.4.1.- BANCO DE CELDAS ROUGHER

Llamadas también celdas de desbaste, celdas de cabeza o celdas Rougher. Es aquella que recupera una alta proporción de las partículas valiosas, aun a costa de la selectividad, utilizando las mayores concentraciones de reactivos colectores y/o depresores del circuito, velocidades de alta agitación y baja altura de la zona de espumas.

Son celdas que reciben primero a la pulpa que proviene como producto de la molienda produciéndose la primera flotación. El concentrado Rougher no es producto final y deberá pasar a las etapas de limpieza o cleaner.

La operación de la flotación Rougher cumple con el objetivo de lograr recuperar el concentrado en el primer encuentro del mineral con las diversas fases dentro de una celda de flotación, por lo tanto esta flotación debe verificarse con alta eficiencia y calidad.

5.3.2.4.2.- BANCO DE CELDAS SCAVENGER O AGOTADORAS

Es aquella operación en la que se recupera la mayor cantidad de contenidos metálicos posibles; su relave será un descarte final, mientras que su concentrado deberá retornar generalmente a la etapa rougher para incrementar su ley.

Generalmente, las cargas circulantes deben tener concentraciones (leyes) similares a los flujos a los cuales se unen; así el concentrado scavenger deberá tener una ley cercana a la del alimento fresco y al relave de la primera limpieza ya que los tres se unen.

Muchas condiciones severas de flotación se imponen en la sección scavenger: alta concentración de reactivos y prolongados tiempos de flotación, Estas celdas reciben como alimentación las colas del Rougher y tratan de hacer flotar el resto de los sulfuros valiosos que no hayan podido flotar en las primeras celdas, ya sea por falta de tiempo, deficiente cantidad de reactivo o por defectos mecánicos. Pero las espumas que obtenemos en estas celdas no las podemos juntar con las del concentrado final porque están sucias, tampoco las podemos desechar porque contienen material valioso. Entonces las regresamos al circuito.

La operación de la flotación Scavenger cumple con el objetivo de lograr recuperar el concentrado disponible en el mineral luego de sucesivas etapas de flotaciones, por lo tanto esta flotación de limpieza y repaso debe verificarse con alta eficiencia y calidad.

5.3.2.4.3.- BANCO DE CELDAS CLEANER

Tienen como finalidad obtener concentrados de alta ley aún a costa de una baja en la recuperación; en algunos casos en estas etapas para hacer más selectivo el proceso, se requieren bajos porcentajes de sólidos en las pulpas de flotación, menores velocidades de agitación, mayor altura de la zona de espumas y principalmente menor concentración de reactivos colectores que en la etapa rougher.

También es habitual añadir a éstas etapas reactivos depresores que incrementan la selectividad de la flotación. Los relaves de limpieza generalmente no son descartados y regresan para su retratamiento a la etapa anterior.

Estas celdas sirven para quitar la mayor cantidad de impurezas contenidas en las espumas del Rougher y nos da finalmente un concentrado que ha de integrarse al concentrado final.

5.3.2.5.- CIRCUITOS DE MULTIPRODUCTOS

5.3.2.5.1.- FLOTACION BULK

En la flotación bulk, los minerales valiosos son flotados conjuntamente para formar un concentrado bulk. Este concentrado a su turno va hacia una sección de flotación diferencial donde es concentrado uno de los minerales principales y los otros permanecen en la pulpa.

5.3.2.5.2.- FLOTACION DIFERENCIAL

Todos los procesos de concentración por flotación son SELECTIVOS o DIFERENCIALES, por cuanto un mineral o grupo de minerales son flotados para separarlos de la ganga que los acompaña.

Ordinariamente sin embargo la separación de minerales distintos, como los sulfurados de los no sulfurados, se conoce como flotación COLECTIVA (bulk) y el término de flotación diferencial se restringe a aquellas operaciones que comprenden la separación de tipos similares de mineral.



Figura N° 5. 28. Circuitos multiproductos

5.3.2.6.- MEDICIONES

Las diversas mediciones con que se controla comúnmente los parámetros de la flotación, se pueden igualmente efectuar por vía mecánica (preferible) o manual. Las más importantes son:

- a) Tonelaje de mineral alimentado a los molinos.
- b) Caudal de agua agregada al circuito de molindas.
- c) Densidad de pulpa entrante a la flotación y de varias pulpas intermedias.
- d) Granulometría de rebalse de ciclones.
- e) Ph de pulpa, con o sin regulación automática de adición de lechada de cal.

La instrumentación moderna permite efectuar estas mediciones con un alto grado de exactitud en forma automática y en muchos casos con regulación computarizada del circuito, pero condiciones limitantes, son su precio y la geometría del equipamiento de la planta.

En flotación, se recomienda los siguientes controles, fuera de los ya mencionados:

- a) Niveles de pulpa en los bancos de celdas, preferentemente con reguladores automáticos.
- b) Ploteo de productos de flotación, para visualizar instantáneamente la mineralogía de dichos materiales y eventualmente decidir medidas correctivas (con el objetivo, entre otros, de minimizar pérdidas en relaves y maximizar leyes de concentrados).

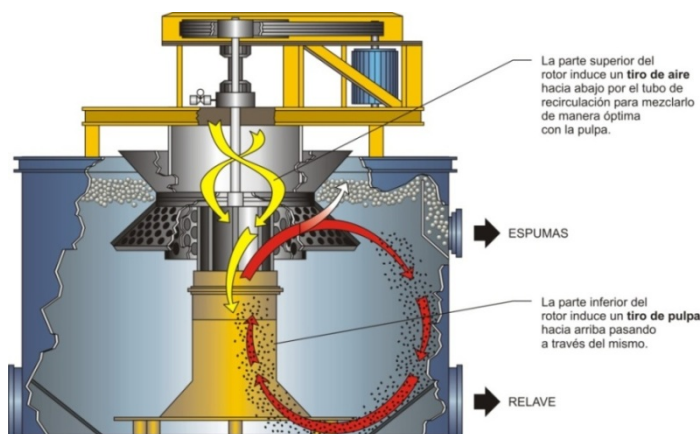


Figura N° 5. 29. Celdas de flotación

5.3.2.6.1.- PULPAS

Pulpa en minería y especialmente en metalurgia, viene a ser una mezcla matemática de una porción constituida por sólidos de una granulometría casi uniforme y otra constituida por un líquido, generalmente es el agua.

Desde que es una mezcla de sólidos y agua, éstos constituyentes tienen sus propiedades ó características físicas propias tales como gravedad específica, peso, volumen, etc, resultando dificultoso nominar a una determinada mezcla empleando las características propias y proporcionales de ambos constituyentes; por lo tanto, se considera a la pulpa como un material completamente diferente, que tienen sus características propias, como son: gravedad específica ó densidad de pulpa, peso y volumen, que generalmente son referidos en porcentajes de peso ó volumen de los constituyentes .

Llámesse densidad de pulpa, al peso de la unidad de volumen que generalmente se denomina en kilogramos por litro o gramos por litro, puesto que a pulpa se comporta como un líquido o fluido.

5.3.2.6.2.- GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS CONSTITUYENTES

Prioritariamente se debe determinar y conocer la gravedad específica del sólido o mineral, puesto que, la gravedad específica del agua es considerada como la unidad, nominamos sus nomenclaturas, para fines de los cálculos matemáticos.

5.3.2.6.3.- DENSIDAD DE PULPA

La densidad de pulpa, generalmente se determina por medición, bajo el empleo de aparatos llamados densímetros o picnómetros que vienen a ser unas balanzas que pesan unos recipientes de un litro de capacidad, y da lecturas directas de la densidad de pulpa, considerando el peso del recipiente.

5.3.2.6.4.- PORCENTAJE DE SOLIDOS

Conocidas las gravedades específicas de los constituyentes y la densidad de pulpa de una determinada mezcla sólido agua, se pueden determinar las

otras características de la pulpa, tales como volúmenes, pesos, porcentajes en volumen de los constituyentes y porcentajes en peso de los mismos, resultando éstos últimos de mayor significación dentro de la industria.

5.3.2.7.- BALANCE METALÚRGICO DE DOS PRODUCTOS:

El término balance en concentración de Minerales engloba todos los cálculos metalúrgicos que se efectúan en una Planta Concentradora, para evaluar técnica y económicamente el proceso de concentración por flotación en este caso.

En una Planta Concentradora generalmente se efectúan dos tipos de balances, a saber:

1. Balance metalúrgico o contabilidad metalúrgica.
2. Balance de materiales (sólidos, agua, elemento, etc).

5.3.2.7.1.- BALANCE METALÚRGICO.

El balance metalúrgico o contabilidad metalúrgica se efectúa en una Planta Concentradora para determinar la producción diaria, la eficacia o recuperación obtenida, la calidad de los concentrados, etc.

En flotación de minerales, al igual que cualquier otro proceso de concentración, la cuantificación se puede efectuar a través de dos expresiones matemáticas que se las denomina Razón de Concentración y Recuperación.

5.3.2.7.2.- RAZÓN DE CONCENTRACIÓN (K).

Este término indirectamente se refiere a la selectividad del proceso. Directamente expresa cuántas toneladas de mineral de cabeza se necesitan procesar en la Planta Concentradora para obtener una tonelada de concentrado. En consecuencia, esta razón es un número que indica cuántas veces se concentró el mineral valioso contenido en la mena. Este término se puede deducir del siguiente modo:

Sea el esquema de una Planta Concentradora



Figura N° 5. 30. Balance de materia

Ahora hagamos un balance de materiales y de metal valioso contenido en cada flujo de la Planta Concentradora. Esto es:

$$\text{Balance de material: } F = C + T \quad (1)$$

$$\text{Balance de metal: } Ff = Cc + Tt \quad (2)$$

Multiplicando la ecuación (1) por t y restando de la ecuación (2) se obtiene lo siguiente:

$$Ft = Ct + Tt$$

$$F(f - t) = C(c - t)$$

De donde se obtiene la razón de concentración, es decir:

$$K = \frac{F}{C} = \frac{(c - t)}{(f - t)} \quad (3)$$

5.3.2.7.3.- RECUPERACIÓN.

Este término se refiere a la eficiencia y rendimiento del proceso de flotación. Es decir, es la parte de mineral valioso que se obtiene en el concentrado, con respecto al contenido metálico en el mineral de cabeza. Se expresa en porcentaje y su expresión matemática es:

$$R = \frac{Cc}{Ff} \times 100 \quad (4)$$

Si se sustituye en la fórmula (4) el valor de C/F en función de las leyes, se obtiene:

$$R = \frac{(f - t)}{(c - t)} \times \frac{c}{f} \times 100 \quad (5)$$

La expresión (5) sirve para los cálculos cuando hay un solo elemento valioso, como se verá una deducción más completa en adelante. Cuando hay más de un elemento valioso, el sistema de cálculo se complica, pero se mantiene la misma filosofía de cálculo de las expresiones antes determinadas.

Se emplea cuando la mena que trata una planta concentradora contiene un solo elemento valioso principal, por consiguiente solo se producirá un concentrado y un relave. Los ensayos químicos necesarios serán del alimento, del concentrado final y del relave final. Para el establecimiento de la fórmula se partirá del siguiente esquema:

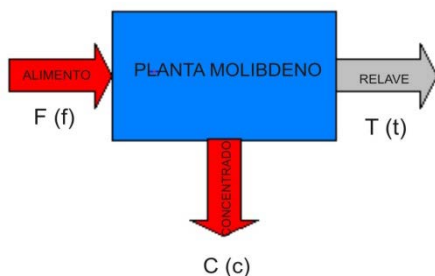


Figura N° 5. 31. Diagrama para balance de flotación

Aquí podemos observar que los puntos de muestreo son:

1. Cabeza que corresponde al mineral de faja que alimenta la tolva de finos al molino, o del rebose del clasificador.
2. Concentrado.
3. Relave.

Se establecen las siguientes relaciones:

Balance de materiales

Entrada = Salida

$$F = C + T \quad (6)$$

Balance del metal valioso

$$F.f = C.c + T.t \quad (7)$$

Multiplicando la ecuación (1) por t se obtiene:

$$F.t = C.t + T.t \quad (8)$$

Restando 6.8 de 6.7 se tendrá:

$$F(f - t) = C(c - t) \\ \frac{C}{F} = \frac{f - t}{c - t} \Rightarrow C = F \times \frac{f - t}{c - t} \quad (9)$$

Entonces el peso de concentrado obtenido estará dado por la siguiente fórmula:

$$C = F \times \frac{f - t}{c - t} \quad \text{t/día o ton/día} \quad (10)$$

La recuperación obtenida de metal valioso estará dada por:

$$Re = \frac{Cc}{Ft} \times 100 \quad (11)$$

$$Re = \frac{(f - t)}{(c - t)} \times \frac{c}{f} \times 100 \quad (12)$$

La razón de concentración está dada por:

$$K = \frac{F}{C} = \frac{(c - t)}{(f - t)} \quad (13)$$

5.3.2.7.4.- EJEMPLO 1:

Si una planta concentradora produce 1200 t/día de concentrado de cobre que ensaya 27,6% Cu a partir de un mineral de cabeza de 0,87% Cu, dejando en los relaves 0,1% Cu. Calcular: a) El peso de la alimentación, b) La recuperación, c) La razón de concentración, d) El peso de relave.

Solución.

a) Cálculo del peso de la alimentación.

Para ello tenemos que acomodar la ecuación (10):

$$F = Cx \frac{(c - t)}{(f - t)}$$

Datos:

C = 1200 t.
c = 27.6 % Cu
f = 0.87 % Cu
t = 0.1 % Cu

Remplazando datos tenemos:

$$F = 1200x \frac{(27,6 - 0,1)}{(0,87 - 0,1)} = 42.857,143 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

b) Cálculo de la recuperación.

Para este caso se emplea la ecuación (7):

$$\text{Re} = \frac{(0,87 - 0,10)}{(27,6 - 0,10)} x \frac{27,6}{0,87} x 100 = 88,83\%$$

Re = 88,83%

c) Cálculo de la razón de concentración

Utilizamos la ecuación (8):

$$K = \frac{(c - t)}{(f - t)} = \frac{(27,6 - 0,1)}{(0,87 - 0,1)} = \frac{35,714}{1}$$

ó $K = \frac{42857.143}{1200} = \frac{35.714}{1}$

d) Cálculo del peso de relave.

De la relación:

$$F = C + T$$

Se obtiene:

$$T = F - C = 42.857,143 - 1200$$

$$T = 41.657,143 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

Ahora el balance metalúrgico puede tabularse tal como se muestra en el cuadro 6.1.

Cuadro 5.1.- Balance Metalúrgico.

Producto	Peso T	% Peso	Ensayo	Contenido metálico	% Distribución	Razón
			%Cu	Cu	Cu	
Cabeza	42 857,143	100	0.87	372,857	100,00	
Conc.Cu	1 200,00	280	27.6	331,200	88,83	35,71
Relave	41 657,143	97.2	0.1	41,657	11,17	

5.3.3.- FLOTACION COLUMNAR

La flotación en columna es una técnica atractiva para minerales complejos que presentan problemas de selectividad; con una sola etapa de limpieza, ella permite elevar sustancialmente el grado del concentrado y una mayor recuperación. Como en todo proceso, solo después de que todas las variables involucradas son examinadas puede lograrse su buen entendimiento.

La celda columna es un tipo de máquina que pertenece a las celdas neumáticas, la cual en la actualidad tiene un gran potencial de aplicación en el procesamiento de minerales.

5.3.3.1.- CELDAS COLUMNA

En la flotación columnar, como en las celdas convencionales, las partículas de mineral hidrofóbicas son adheridas a las burbujas, las cuales ascienden y son movidas como concentrado; pero a diferencia de las celdas de flotación

convencional, las celdas columna no usan sistema de agitación mecánico para suspender las partículas y dispersar el aire, esto las hace más eficientes energéticamente y también en mantenimiento mecánico.

La pulpa de alimentación entra a una corta distancia de la parte superior de la celda. La pulpa dentro, encuentra una corriente de aire ascendente y una corriente descendente del agua de lavado.

El concentrado rebosa por la parte superior de la celda, mientras que la cola es descargada por el fondo. El aire es introducido por la parte inferior de la celda columna mediante generadores. Estos generadores pueden ser hechos de varios tipos de material y diferentes diseños con el objeto de producir pequeñas burbujas de aire. El agua de lavado es alimentada mediante ducha colocada en la parte superior de la celda.

5.3.3.2.- HOLD UP,

Se define como el volumen de aire en el interior de la celda columna a cualquier tiempo, se expresa como porcentaje del volumen total de la pulpa. El Hold up es directamente proporcional al flujo volumétrico de aire que atraviesa el difusor e inversamente proporcional al diámetro de las burbujas. A medida que aumenta el Hold up se incrementa la recuperación hasta un punto donde se inicia la coalescencia.



Figura N° 5.32. Partes de la celda columna flotación

5.3.3.3.- BIAS,

Es la relación que hay entre el flujo de relave y el flujo de alimentación. En una celda convencional esta relación es menor que la unidad (Bias negativo) y en la celda columna es igual o mayor a la unidad (Bias positivo) y esto se debe a la adición de agua en lugar sobre o debajo del rebose de la celda.

5.3.3.4.- COALESCENCIA,

Es el instante en el cual no puede extenderse más el Hold up en la celda. El aire puede incrementarse hasta el punto donde el Hold up empieza a decrecer, puesto que, en este punto las burbujas colapsan y se crea una caída en la recuperación.

5.3.3.5.- INPEDING HOLD UP,

Es la deficiencia de sobrefuerza requerida para transportar el concentrado del labio del rebose debido a un acumulamiento excesivo del contenido en el colchón de espuma.

5.3.3.6.- SPARGERS O DIFUSORES DE AIRE,

Son generadores de burbujas útiles para la flotación que pueden estar hechos de diversos materiales y formas, pero generalmente tienen forma tubular con pequeños agujeros a través de los cuales se inyecta aire a la celda. El diámetro de los agujeros, la separación entre ellos y el tipo de forro de los difusores deben ser capaces de generar burbujas del menor tamaño posible y crear un hold up adecuado dentro de la columna.

5.3.3.7.- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN.

Una celda columna, tal como es de sección circular, cuadrada o rectangular, en la que la pulpa acondicionada se alimenta un tercio o un cuarto de distancia desde el rebose de la celda, el aire es introducido o inyectado a través de los difusores que se encuentran cerca a la base y el agua de lavado ingresa a través de una especie de ducha de 3 a 6 pulgadas sobre o debajo del rebose de la celda.

Las partículas de mineral contenidas en la pulpa tropiezan con una nube ascendente de burbujas de aire y son llevadas hasta el rebose, pero estas al

pasar por encima del punto de alimentación, se encuentran con un flujo suave descendente de agua fresca que lava las partículas de mineral no valioso (ganga) adheridas a ellas. El concentrado, emerge por el rebose de la celda y los relaves se descargan por la parte inferior de la celda.

El proceso de colección en una celda columna se sustenta en el hecho de que las partículas minerales de la especie valiosa y ganga están moviéndose en sentido contrario a la nube de burbujas, lo cual puede explicarse en dos patrones de flujo en contracorriente:

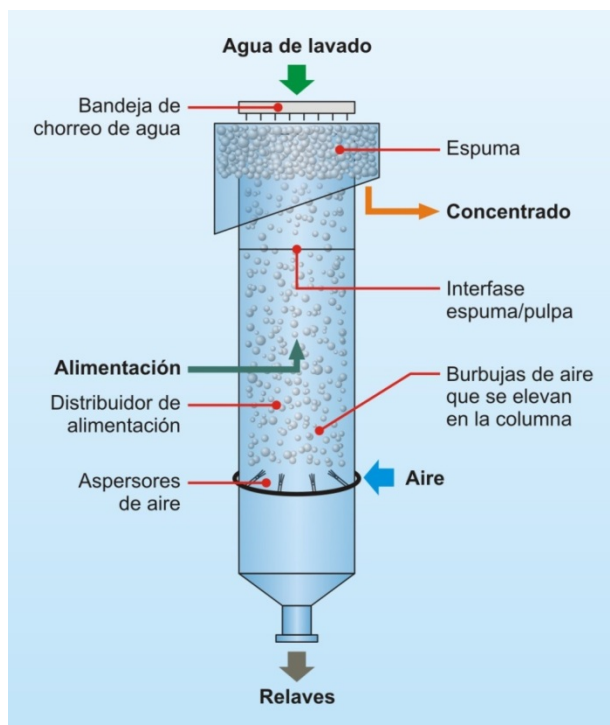


Figura N° 5. 33. Esquema general de la celda Columna

1. Un flujo descendente de partículas de mineral y burbujas ascendentes en la zona de colección.
2. Burbujas ascendentes y un flujo descendente de agua de lavado en la zona de limpieza.

Se dice que una celda opera con bias negativo y bias positivo, veamos entonces en qué consiste cada situación:

Operación con bias negativo, en este régimen, el flujo de alimentación es siempre mayor que el flujo de relaves, causando exceso de volumen para su rebosada como concentrado. Ello indica que, alguna cantidad de agua del alimento va al concentrado, lo cual da un producto de baja ley. Esto es:

5.3.3.7.1.- FUNCION DEL AGUA DE LAVADO

El agua de lavado agregada en el rebose de la celda columna tiene las siguientes funciones, para:

- Formar el bias
- Mantener el nivel de pulpa
- Limpiador del concentrado
- Lubricante del concentrado

5.3.3.7.2.- FUNCIÓN DEL AIRE.

En función de como se inyecta el aire a la columna sus funciones son:

- Producción de burbujas muy finas, consiguiendo la máxima retención del aire o hold-up.
- Promover la mayor probabilidad de encuentro partícula-burbuja, de modo de alcanzar una mayor recuperación de la especie de tamaño fino.
- Permite establecer una relación de flujo de aire-velocidad de extracción del concentrado-Recuperación-Ley.

5.3.3.2.3.- CÁLCULO DEL HOLD-UP.

El hold-up se determina instalando en la celda columna dos visores Uno en la parte superior y otro en la parte inferior de la columna. Aceptando que la diferencia de niveles a través de dichos visores debe ser proporcional al aire

contenido dentro de la celda y asumiendo una densidad de pulpa homogénea en toda la zona de colección, se puede determinar una fórmula matemática que permite calcular con relativa facilidad, la retención de aire o Hold-up, expresado como porcentaje:

5.3.4.- MOLINOS DE REMOLIENDA VERTIMILL

5.3.4.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL

El vertimill es un molino de medios por agitación que consta de un cilindro vertical con un agitador de medios tipo tornillo de velocidad relativamente baja, tal como se muestra en la figura 5.34. El vertimill, o molino torre, es comúnmente usado para aplicaciones de remolienda de concentrados con

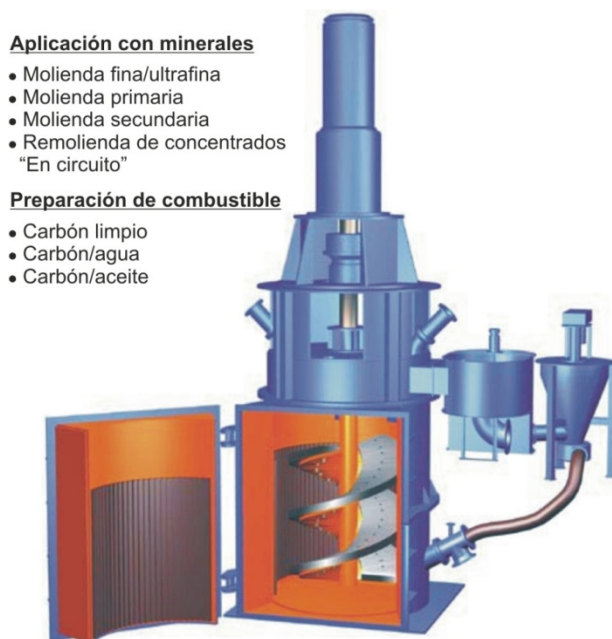


Figura N° 5. 34. Molino de remolienda Vertimill

un tamaño típico de alimentación de alrededor de 100 a 300 micrones y con productos típicos de 100 a 15 micrones. Productos más finos son posibles con el uso de medios moledores convenientes. Estos molinos utilizan predominantemente bolas de acero como medio molidor que fluctúan en tamaño desde 40 mm hasta 6 mm. La baja velocidad del impulsor ayuda a reducir el desgaste de los componentes, pero da como resultado un tamaño y volumen grandes para el molino.

5.3.4.2.- PARTES DEL MOLINO VERTIMILL

El cuerpo del molino es una construcción fabricada en acero que consiste en:

5.3.4.2.1.- UNIDAD DE CUERPO INFERIOR

Revestido con una puerta de acceso embisagrada para el mantenimiento y retiro de tornillos, un ducto para descarga de bolas, y una conexión1 embreadada para el retorno a reciclaje. Para Cerro Verde, la alimentación del underflow de los ciclones de remolienda es bombeada hacia esta conexión. El molino es también drenado mediante una válvula unida a la entrada de reciclaje.

5.3.4.2.2.- UNIDAD DE CUERPO SUPERIOR

Con el montaje superior del eje de accionamiento, un ducto para cargar bolas y una canaleta incluida para el overflow para conectarse con la alimentación del ciclón.

5.3.4.2.3.- ENSAMBLE DE LA BASE DE ACCIONAMIENTO

Para el montaje del motor del reductor y motor impulsor.

5.3.4.2.4.- SISTEMA NEUMÁTICO DE LA PUERTA DE ACCESO

Está diseñado para ayudar a abrir la puerta de acceso accionándola para abrir las primeras tres o más pulgadas. Este sistema consta de cuatro gatas de 5 toneladas de capacidad montados en la jamba de la puerta de acceso. La instalación de cañerías y mangueras es realizada para accionar las cuatro gatas con una bomba de 10,000 PSI de capacidad. La bomba usada para estas gatas es la misma bomba suministrada para el sistema de transporte del tornillo.

5.3.4.2.5.- AGITADOR DE LOS MEDIOS MOLEDORES

Consta de un tornillo helicoidal de doble paso, de acero forjado montado sobre un eje de acero sólido suspendido dentro del cuerpo del molino. Las chaquetas de los pasos están empernadas sobre piezas fundidas de metal reemplazables diseñadas para proporcionar una máxima vida. Las zapatas de sujeción (chaquetas de los pasos de la base) están especialmente diseñadas para facilitar su reemplazo. El eje del agitador y pasos del tornillo están recubiertos con un material resistente a la abrasión. El agitador está unido al eje superior de accionamiento mediante un reborde empernado y calzado con chavetas para trabajo pesado.

5.3.4.2.6.- REVESTIMIENTOS DEL MOLINO

Revestimientos magnéticos de la cama del mineral, estos módulos se fijan directamente a la carcasa del molino y son imanes cerámicos incrustados en el caucho. Las bolas pequeñas y otros materiales magnéticos forman una cama sobre la superficie de los revestimientos. Esta cama es continuamente reemplazada por la carga. El perfil de la cama tiene una forma ondulada causada por los campos magnéticos.

5.3.4.2.7.- EL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO

Tiene tres rodamientos: un rodamiento radial con buje de bronce reemplazable, un rodamiento de rodillo radial esférico, y un rodamiento de rodillo esférico de empuje. Todos los rodamientos con sellos de doble labio y diseñados para lubricación con grasa. Los rodamientos están situados por encima del cuerpo del molino y están sostenidos por soportes de acero estructural. El eje impulsor de acero sólido conecta el eje reductor de baja velocidad al agitador de los medios moledores.

5.3.4.2.8.- SISTEMA DE ENGRASE PARA RODAMIENTOS

Consta un sistema de lubricación automático con grasa que aplica grasa al rodamiento del eje en cantidades predeterminadas sobre una base cronometrada. Los acoples flexibles de alta y baja velocidad con sus mitades montadas en fábrica.

5.3.4.2.9.- EL REDUCTOR DE ACCIONAMIENTO DEL MOLINO

Es un reductor de engranajes planetario vertical con un sistema de rodamientos anti-fricción y con un sistema de circulación externa de aceite (sistema de lubricación del reductor) que consiste en un motor eléctrico TEFC, una bomba de aceite para engranajes para trabajo pesado, filtro de aceite, intercambiador de calor aceite – agua, manómetro, indicador de temperatura, e indicador de flujo con un interruptor eléctrico.

5.3.4.2.10- EL MOTOR ACCIONADOR DEL MOLINO

Es un motor de brida vertical montada, eje descendente, 1,500 HP TEFC, de inducción en jaula de ardilla de alta eficiencia, con cojinetes anti-fricción lubricados con grasa, aislamiento de clase F.

5.3.4.3.- OPERACIÓN

Los medios moledores son agitados mediante un tornillo de doble hélice colgado (o agitador de carga).

La bomba de alimentación externa al molino de remolienda usada para alimentar el underflow de los sistemas del cicloneo, proporcionan una velocidad ascendente predeterminada que causa la clasificación de las partículas contenidas en la parte superior del cuerpo del molino. La preclasificación y separación del producto clasificado por tamaño de la alimentación reduce la sobremolienda e incrementa la eficiencia. Las partículas pequeñas ascienden, mientras que las partículas grandes son conducidas hacia los medios moledores para su remolienda. La bomba de alimentación externa al molino ubicada en la base del molino, también facilita el arranque del molino después de paradas planificadas o no planificadas.

La molienda es por rozamiento/abrasión. La eficiencia de la molienda es intensificada por la presión relativamente alta entre los medios de molienda y las partículas a molerse. Porque existe una mayor presión entre los medios de molienda y la producción menor de calor y sonido, el vertimill consume menos energía que un molino de tambor giratorio para realizar el mismo trabajo.

La parte inferior del cuerpo del molino está llena con los medios de molienda excepto para un espacio pequeño directamente por debajo de los pasos del tornillo. Cuando se utilizan las bolas de acero, la altura típica que alcanzan los medios moledores es de 6 a 8 pies. Los medios moledores se elevan dentro de los pasos del tornillo y descienden hacia el espacio entre las puntas de los pasos del tornillo y los diámetros interiores del cuerpo del molino.

La pulpa rebosa desde el cuerpo del molino a través del ducto de salida hacia la línea en dirección al cajón de bombas de colección del concentrado scavenger. De este cajón, la pulpa es bombeada hacia la batería de ciclones del circuito de remolienda. Después de la clasificación, el underflow es bombeado hacia el molino tal como se describió anteriormente.

Sistema de lubricación del reductor: La bomba del sistema a baja presión extrae aceite del colector del reductor. Luego este filtra y después enfría el aceite vía un intercambiador de calor refrigerado por aire antes de suministrar suficiente aceite a los cojinetes del cuerpo principal y parte superior del reductor.

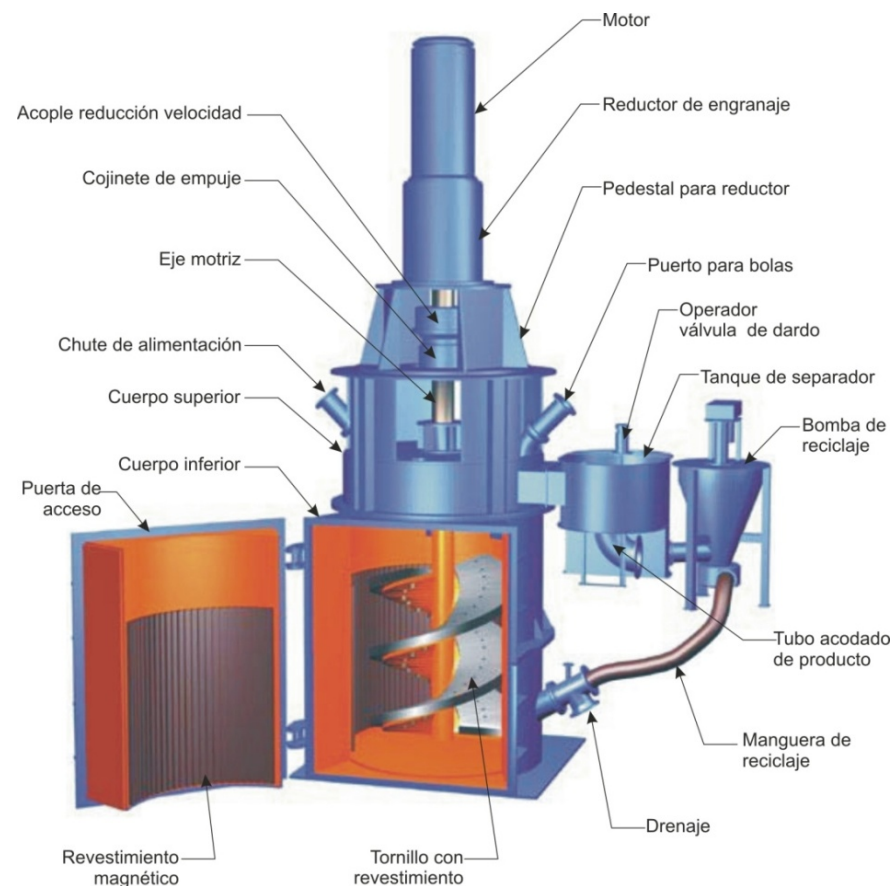


Figura N° 5. 35. Esquema del vertimill – sistema general

5.3.5.- BATERIA DE CICLONES

5.3.5.1- COMPONENTES

Cada batería de los ciclones finales consta de un distribuidor de alimentación, 13 ciclones canaletas para underflow y overflow revestidas por caucho y una estructura de soporte de acero. El sistema de baterías no incluyendo a los ciclones es también conocido como el sistema múltiple radial. Los ciclones están montados radialmente alrededor de un cabezal vertical central de alimentación para una distribución uniforme de la pulpa y las canaletas son concéntricas alrededor del distribuidor de alimentación central. Bajo una condición normal de operación, se utilizan catorce ciclones por batería, dejando dos como repuestos.

Un transmisor de presión este montado sobre la parte superior del distribuidor de alimentación. Se dispone de una válvulas de aislamiento individual para cada ciclón (válvulas Newcon de entrada de compuerta tipo cuchilla automatizadas neumáticamente accionadas con interruptores de posición para una indicación de posición abierta/cerrada con válvulas de solenoide premontadas y tubulares e interconectadas por una red de conductores comunes).

Para asegurar una distribución uniforme de la alimentación, el compartimiento de alimentación tiene un diámetro y una altura cilíndrica por encima de la línea central de las boquillas de salida igual a un mínimo de 1-½ veces el diámetro de la tubería de alimentación. Se dispone de una cubierta abovedada unida por un acoplamiento vitaulico para permitir el acceso hacia el distribuidor de alimentación para una inspección y/o mantenimiento fuera de línea. El cabezal de alimentación y la cubierta abovedada están revestidos con caucho.

El sistema de baterías junto con las válvulas de aislamiento permite un reemplazo en campo de cualquier ciclón sin interrumpir a otros ciclones o parar el sistema.

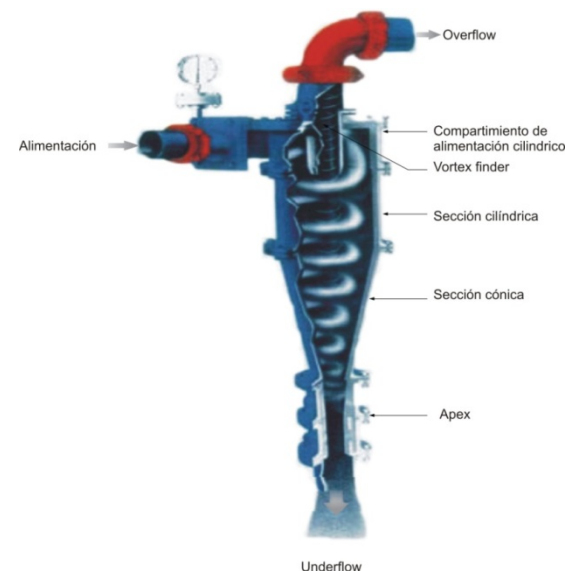


Figura N° 5. 36. Corte del ciclón krebs

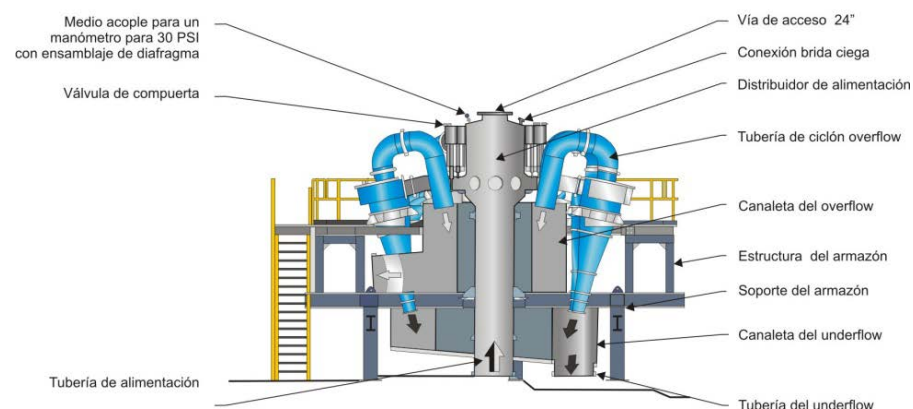


Figura N° 5. 37. Batería de ciclones

el ciclón es un dispositivo simple que causa la separación centrífuga de materiales dentro de una corriente de fluido. El ciclón utiliza la energía obtenida a partir de la presión hidráulica para crear un movimiento rotacional del fluido. El movimiento rotacional origina que los materiales suspendidos dentro del fluido se separen uno del otro debido a la fuerza centrífuga.

5.3.5.2.- PRINCIPIO DE OPERACION

El ciclón es un dispositivo simple que causa la separación centrífuga de materiales dentro de una corriente de fluido. El ciclón utiliza la energía obtenida a partir de la presión hidráulica para crear un movimiento rotacional del fluido. El movimiento rotacional origina que los materiales suspendidos dentro del fluido se separen uno del otro debido a la fuerza centrífuga. La rotación es producida por la introducción tangencial o en espiral del fluido dentro del recipiente.

El ciclón consiste en un cilindro vertical con un fondo cónico. Los ciclones no tienen partes móviles, y el bombeo del fluido tangencialmente dentro del cuerpo cono-cilíndrico estacionario produce el movimiento arremolinante esencial. La parte cilíndrica está sellada por la parte superior mediante una cubierta, a través de la cual la tubería de overflow líquido, conocido como vortex finder, se extiende hasta cierta distancia dentro del cuerpo del ciclón. Es necesario que el extremo del vortex finder se extienda por debajo de la entrada de la alimentación para reducir la salida prematura del overflow. Localizado cerca de la cubierta de la parte superior se encuentra tanto una abertura de alimentación circular como rectangular, por donde el líquido ingresa al ciclón a través de la entrada tangencial. El underflow sale a través de una abertura contenida en el ápex del cono. La figura 5.36 es una representación general de un ciclón típico (ambos espirales rotan en el mismo sentido).

Tal como se muestra en la Figura 5.38, la pulpa ingresa al área del ciclón denominada cabeza de entrada desde el tubo de entrada de alimentación. La pulpa es introducida al lado de la pared de la entrada cilíndrica, lo cual induce una acción arremolinante. Esta acción ayuda a desarrollar las fuerzas de inercia que permiten la clasificación de partículas dentro del ciclón. La mezcla es posteriormente acelerada dentro de las secciones cónicas del

separador. La acción arremolinante produce un torbellino de baja presión en el centro del ciclón a donde migran las partículas más finas, de baja masa. Las partículas relativamente ligeras son retiradas con la corriente del overflow mediante un flujo arremolinante ascendente a través del indicador vortex. Las partículas más pesadas son retiradas con una corriente del underflow mediante un flujo arremolinante descendente a través de la región inferior del clasificador del ciclón.

Los ciclones usados en la industria minera normalmente tienen compartimientos de acero con revestimientos reemplazables. En los ciclones metalúrgicos, el revestimiento más frecuente es el caucho adhesivo. Debido a la cantidad de sólidos gruesos que se alimentan a un ciclón en muchos de las aplicaciones mineras, el diseño de un ciclón más resistente al desgaste incluirá revestimientos más gruesos de caucho en la parte superior del ciclón, y utilizará una combinación de revestimientos cerámicos para los conos y partes superiores. Es importante inspeccionar y reemplazar estas partes para mantener la eficiencia metalúrgica propia del ciclón. Esto típicamente se realiza durante la parada de mantenimiento programada. La figura 4.37 muestra una sección transversal del ciclón .

5.3.5.3.- PARTES DEL CICLON

- **Cámara de alimentación (Cabezal):** Es una sección cilíndrica que recibe tangencialmente la pulpa a presión. La pulpa ingresa por una abertura estrecha llamada feed inlet. En la parte superior tiene acoplado un diafragma llamado vortex finder que se prolonga a través de una tubería por donde salen al exterior las partículas finas.
- **Sección Cilíndrica:** Es la parte central y da la dimensión del ciclón.
- **Sección Cónica:** Es la parte inferior del ciclón que termina en un orificio llamado ápex por donde salen los gruesos al exterior. Estos dos últimos están internamente revestidos con jebe para evitar que se gasten rápidamente, debido a la gran cantidad de arena que tiene la carga.

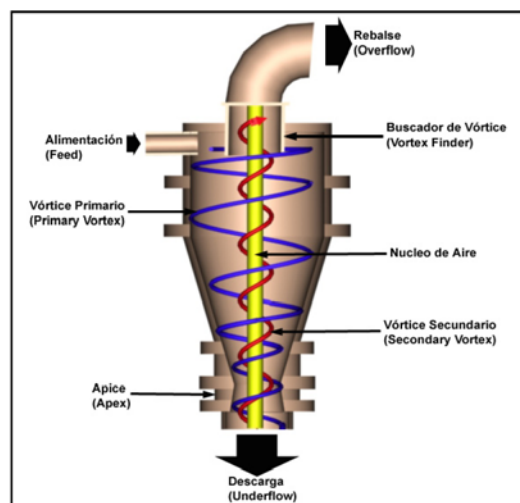


Figura N° 5. 38. Partes de un ciclón

5.3.5.4.- INFLUENCIA DE LA LONGITUD DEL CUERPO CILINDRICO DEL CICLON

En este caso, a mayor longitud de la parte cilíndrica se obtiene separaciones más finas. Ello se muestra en la figura 4.37 se utilizan especialmente para operaciones de concentración o preconcentración y también clasificación

Flujo Inferior (Torbellino Primario)

La alimentación que ingresa al ciclón origina un flujo pegado a la pared interna de la sección cilíndrica y cónica dirigida hacia el vértice inferior (ápex) para salir al exterior arrastrando las partículas gruesas

Flujo Superior (Torbellino Secundario)

Se origina por una gran cantidad del líquido que asciende por el núcleo central y que es forzado a salir del ciclón por el vórtex arrastrando las partículas finas. El núcleo central es formado por el torbellino primario.

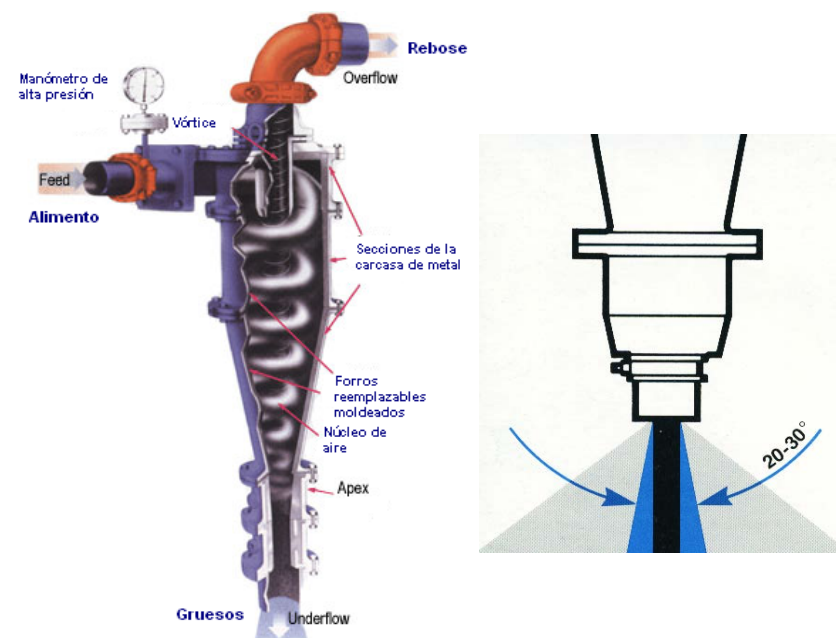


Figura N° 5. 39. Longitud del cuerpo cilíndrico del ciclón

5.3.5.5.- FUNCIONAMIENTO DEL CICLON

Su funcionamiento se puede describir de la siguiente manera:

1. La pulpa entra con fuerza al ciclón por la tubería de alimentación y comienza a girar a gran velocidad, pegada a la pared interna del ciclón.
2. Por este movimiento, las partículas gruesas son las que se pegan a las paredes del ciclón y empiezan a bajar, saliendo por el vértice de descarga llamado ápex.
3. En la parte central del ciclón se forma un remolino que levanta a las partículas finas y las obliga a salir por la tubería de descarga de finos, llamada vortex.

¿Cuáles son las variables de la operación de los ciclones?

1. Densidad de pulpa que sale del molino.
2. La cantidad de agua que se agrega a la pulpa antes de entrar a los ciclones.

¿Qué nos indica una densidad de rebalse baja? Nos indica:

1. Que hay una molienda muy fina en los molinos.
2. Que se está alimentando mucho agua al ciclón

¿Qué indica una densidad de rebalse alta?

1. Que la pulpa que entra al ciclón es gruesa
2. Que se está pasando mucho tonelaje
3. Que se está usando poco agua a la entrada al ciclón
4. Que el ciclón pueda estar atorado

5.3.5.6.- EFECTOS DEL TAMAÑO DEL APEX EN EL FLUJO DE DESCARGA

El tamaño del orificio inferior es muy importante para una buena separación de partículas en el ciclón

Ápex de tamaño correcto:

- Da un flujo de ángulo de cono entre 20 á 30 grados (flujo en spray)
- Permite el ingreso de aire que saldrá por el vórtex
- Los gruesos descargan libremente con un % sólidos mayor al 50% en peso
- Los finos salen libremente por el vórtex

Ápex de tamaño muy pequeño:

- Permite un flujo de salida denso en forma de espiral (flujo en sogá)
- No permite el ingreso de aire
- Obliga la salida de partículas gruesas

Ápex de tamaño muy grande:

- Permite un flujo de pulpa de cono muy abierto
- Permite la salida de mayor cantidad de agua (pulpa menos densa)
- Permite la salida de mayor cantidad de partículas finas (forma paraguas).

5.3.5.7.- TIPOS DE DESCARGA DE CICLONES

Normal, cuando la presión y el flujo son estables, y están en parámetros adecuados.

Soga, cuando hay un exceso de presión y consecuentemente un exceso de flujo. Puede haber un exceso de agua o una densidad de entrada alta, esto provoca una alta carga circulante. Un incremento de la carga circulante puede ser porque el material está demasiado duro, hay presencia de gran cantidad de gruesos en la pulpa del underflow de ciclones y será necesario remoler.

Abierto, cuando hay poca presión y consecuentemente poco flujo, que puede estar ocasionado por falla en la bomba.

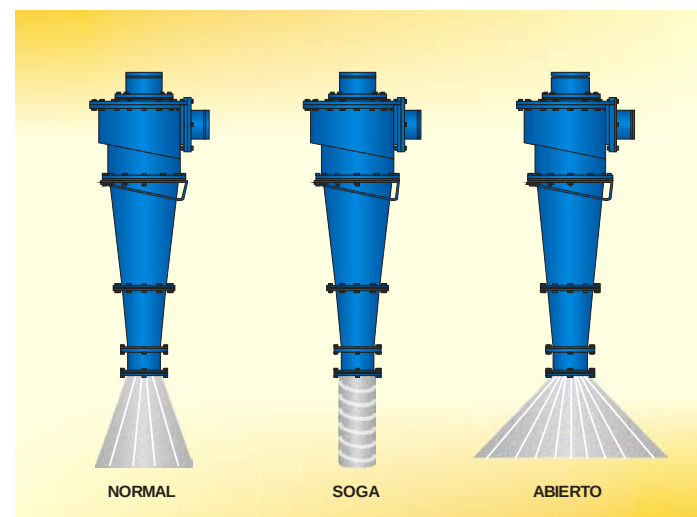


Figura N° 5. 40. Tipos de descarga del ciclón

5.3.5.8.- VARIABLES RELACIONADOS CON LA PULPA ALIMENTADA

Porcentaje de sólidos. El porcentaje de sólidos para una operación eficiente no debería pasar de 40 %.

Densidad. La densidad del o/f depende que se haga una buena clasificación. Además para que haya una buena clasificación, la descarga del ciclón debe ser en forma de soga continua por un momento y en forma de ducha en otro instante

Cuando la densidad del o/f es bajo; nos indica que: La pulpa que entra al ciclón es muy aguada, puede causar atoros en la descarga (u/f), puede sobrecargar a los molinos y crear una demasiada carga circulante.

Cuando la densidad del o/f es alto; nos indica que: La pulpa que entra es espesa, es necesario aumentar agua, es necesario tener cuidado en la descarga

5.3.5.9.- ATORO DE LOS CICLONES

El operador se da cuenta del atoro de un ciclón cuando la densidad de los molinos está muy bajó (aguada), cuando rebalsa las bombas, cuando se plantan las máquinas de flotación, etc. Y esto es debido a:

- La presencia de sustancias extrañas dentro del ciclón (residuos de bolas, ejes, alambres, madera, etc.)
- Que algunas veces el jebe protector se levanta o se despegas del ciclón impidiendo una buena operación y su libre descarga
- Alimentación de carga gruesa
- Exceso de agua en la alimentación, cajón de la bomba etc.

EL ATORO TRAE SERIAS CONSECUENCIAS COMO:

- La carga se asienta en las tuberías produciendo atoros
- Por la carga gruesa se plantan las bombas produciendo derrames, paradas de molinos, pérdida de tonelaje, más trabajo para el operador
- Ingreso de carga gruesa al circuito de flotación
- La pulpa se asienta en las celdas de flotación paralizando los motores eléctricos

- En caso de que un ciclón se atore, debe cambiarse la carga al ciclón de repuesto lo más rápido posible, ya sea cambiando de bomba o descargando el cajón; esto se hace después de regular la densidad adecuada, luego desatorar cuanto antes el ciclón atorado
- **Caudal de pulpa.** La capacidad o caudal de pulpa que se alimenta al ciclón, depende fundamentalmente del diámetro del vórtex, de la caída de presión y del porcentaje de sólidos
- **Presión de alimentación.** La caída de presión o simplemente presión constituye la diferencia de presión entre el ingreso al ciclón y el rebose que generalmente se encuentra a la presión atmosférica.

5.3.5.10.- DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTACION

Los ciclones están dispuestos en grupos o baterías para ahorrar espacio y para asegurar una distribución pareja y adecuada de la alimentación que ingresa a cada ciclón.

La pulpa de las bombas de alimentación ingresa a la parte inferior del distribuidor de la alimentación cilíndrica, alrededor del cual se encuentran distribuidas simétricamente las tuberías de alimentación. Las válvulas de alimentación a cada ciclón permiten que los ciclones entren en operación o se detengan en forma independiente.

Cada descarga de ciclón pasa a una canaleta circular dispuesta en anillo alrededor de la tubería de alimentación (cajón de Underflow).

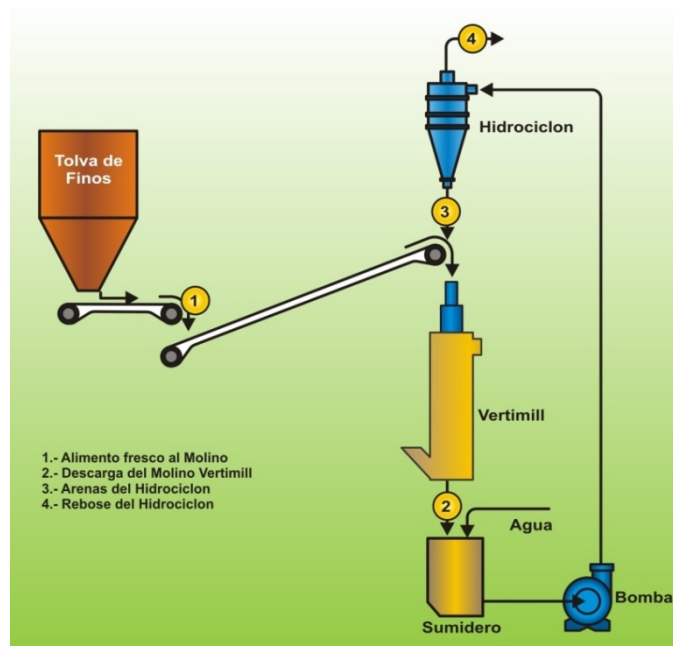


Figura N° 5. 41. Diagrama de un sistema de clasificación

5.3.5.11.- SISTEMA RADIAL MULTIPLE DE CICLONES (NIDO DE CICLONES)

La pulpa debe alimentarse a todos los ciclones en proporciones iguales y a la misma caída de presión. Componentes de un sistema radial múltiple:

- Distribuidor de alimentación radial
- Válvulas de control a la entrada de los ciclones
- Batea anular superior
- Batea inferior
- Tuberías de flujo de salida superior
- Bastidor de acero

Los ciclones están dispuestos en nidos para ahorrar espacio y para garantizar una distribución pareja de la alimentación a cada ciclón. La pulpa proveniente de las bombas de alimentación al ciclón ingresa por la parte inferior de un distribuidor de alimentación cilíndrico, alrededor del cual se encuentran dispuestas en forma simétrica las tuberías de alimentación al ciclón. Las válvulas de alimentación que llevan a cada ciclón pueden operarse o pararse en forma independiente. La pulpa espesada proveniente de cada ciclón descarga en una canaleta circular instalada alrededor de la tubería de alimentación. Otra canaleta circular recolecta el rebalse.

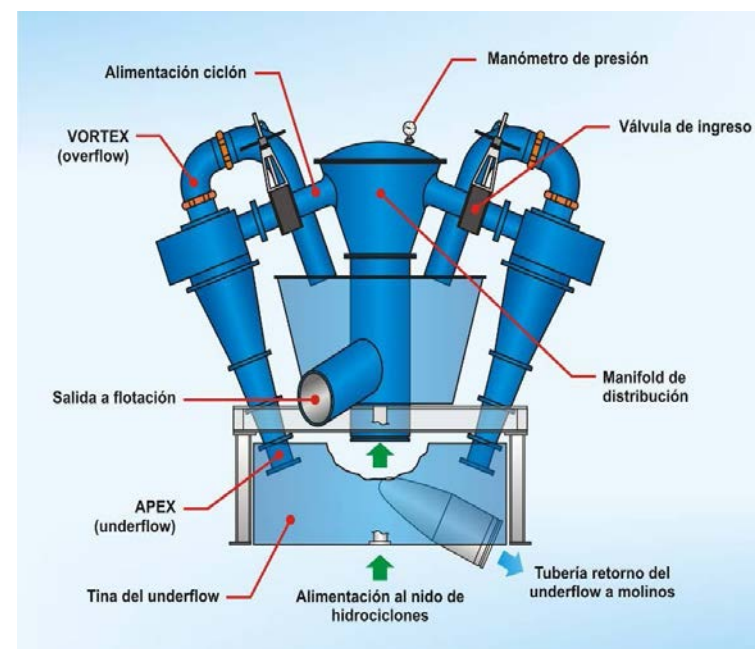


Figura N° 5. 42. Partes principales de un nido de ciclones

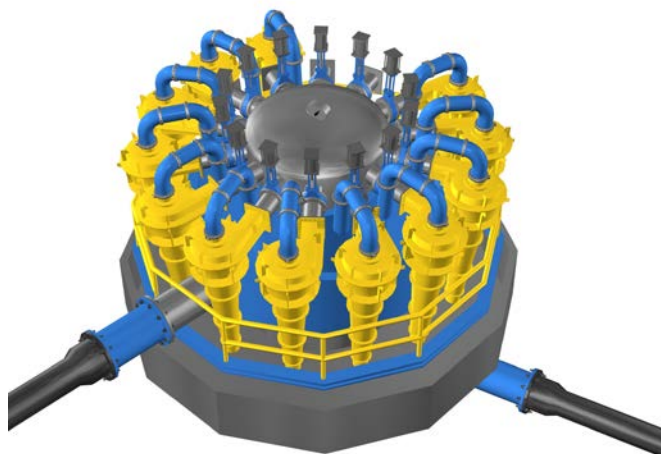


Figura N° 5. 43. Nido de ciclones

5.3.5.12.-- TAMANO DE CORTE

La curva de clasificación describe la manera en que las partículas en la alimentación de un clasificador se reparten entre los flujos de rebase y de descarga. En un clasificador en donde la separación no es perfecta el tamaño de corte es el tamaño al cual las partículas en la alimentación tienen la misma chance de irse a la descarga o al rebose del ciclón. El grado de separación es una medida de eficiencia de la clasificación está dado por la pendiente de la curva de clasificación, una pendiente pronunciada indica una clasificación cercana a la ideal, una pendiente baja es una indicación de una clasificación pobre. El cortocircuito indica el porcentaje de partículas finas que han sido arrastradas por el agua y salen por la descarga.



Figura N° 5. 44. Tamaño de corte

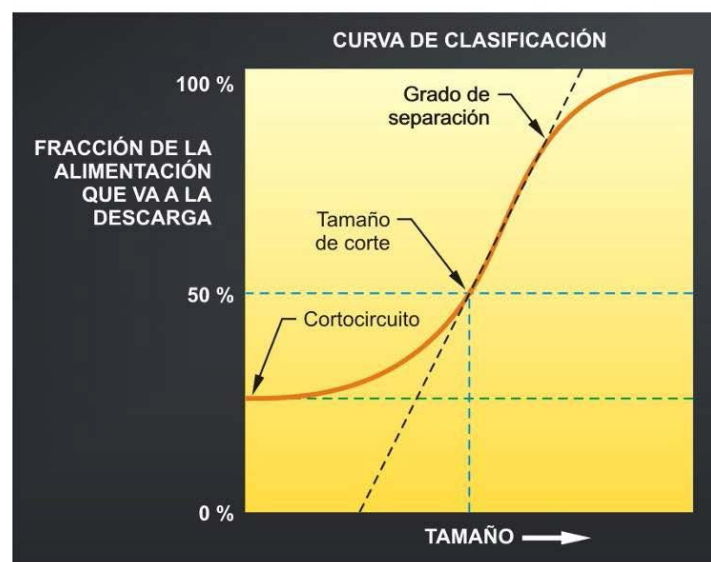
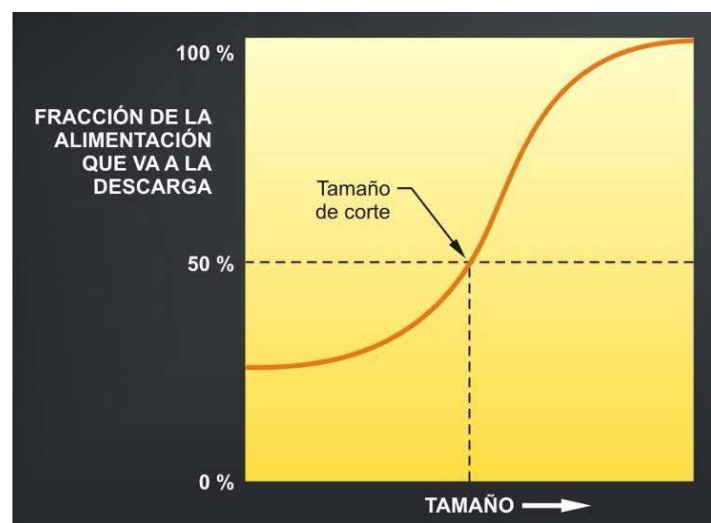


Figura N° 5. 45. Curva de clasificación y el tamaño de corte

5.3.6.- TRANSPORTE DE PULPAS

5.3.6.1.- TRANSPORTE DE PULPAS

Se requieren de estas bombas para transportar la pulpa desde los sumideros de alimentación hacia las baterías de ciclones de remolienda de concentrados de baja y alta ley. Estas son bombas centrífugas horizontales para pulpa con una carcasa de hierro con alto contenido de cromo y un impeler para acrecentar la vida contra el desgaste. Además, estas bombas están construidas con módulos de extremos húmedos reemplazables para reducir el tiempo de mantenimiento.

Las bombas son accionadas por motores de 1000 HP, de 32" x 26" que representa a los diámetros de la boquilla de succión y descarga en pulgadas respectivamente. Las bombas son del tipo de operación de sello de prensa estopas húmedas, es decir, se requieren de agua para el sello de prensa estopas.

5.3.6.2.- FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS

En una bomba centrífuga, el motor acciona el eje. El eje hace girar un impulsor dentro de una caja fija. Al girar, las aspas del impulsor producen un movimiento de rotación en el líquido que es llevado hacia afuera de la caja mediante la fuerza centrífuga. A medida que el líquido pasa por las aspas de la caja, se mueve más rápido ya que las aspas se mueven más rápido en las puntas que en el centro. La energía que se entrega al líquido es la **Energía Cinética**, que en los sistemas de bombeo se llama "velocidad de cabeza".

Esta energía hace que el líquido pase al área de mayor presión en la cámara de voluta y la bomba. En este punto, el líquido es más lento; parte de su energía cambia a presión. El líquido se mueve alrededor de la voluta y de allí sale a las tuberías de descarga.

A medida que el líquido es enviado hacia afuera desde el centro de la bomba mediante fuerza centrífuga, éste es reemplazado por un líquido que se extrae desde el centro de la bomba a través de la tubería de succión.

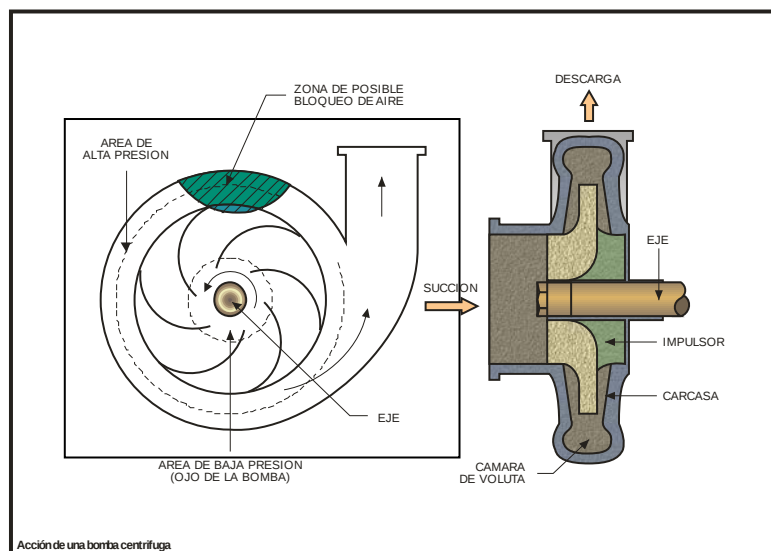


Figura N° 5. 46. Acción de la bomba centrífuga

5.3.6.3.- RENDIMIENTO DE LA BOMBA CENTRIFUGA

Mediante la grafica que aparece en la figura 6.34, podemos interpretar el rendimiento de una bomba centrífuga, de la siguiente manera. La energía cinética impartida por el impulsor al fluido bombeado debe superar la resistencia al flujo. Dicha resistencia es la presión contra la cual la bomba debe trabajar.

Esta resistencia es el resultado de la fricción en la tubería, así como también el número y tipo de conectores a través de los cuales se bombea el fluido. La altura a la cual el fluido es bombeado también se conoce como resistencia y se mide como carga, o altura manométrica, en pies o metros.

Generalmente, todas las resistencias se suman, las presiones se convierten en altura manométrica equivalente –medida en pies o metros- y al total se le denomina carga total.

El rendimiento de la bomba centrífuga generalmente se representa con un conjunto de curvas de bomba. Las curvas de bomba muestran la carga de succión positiva neta requerida, la carga total y la eficiencia de la bomba – que son indicadas en el eje vertical- como una función del caudal de fluidos, lo cual indica en el eje horizontal. Se usa la curva de carga de succión positiva neta, o NPSH (por sus siglas en ingles) al diseñar las aplicaciones de bombas, con el fin de asegurar que el fluido no se vaporice o sufra cavitación durante su transcurso a través de la bomba, Esto no es una consideración cuando se trata de sistemas de bombeo ya diseñados.

La curva de potencia, indicada como potencia de frenado, o BHP (por sus siglas en ingles), muestra cómo cambia el consumo de energía según los cambios de caudal. Observe que a medida que el caudal aumenta, moviéndose hacia la derecha en el eje horizontal de caudal, la energía requerida también aumenta. Observe también, que, a medida que la carga total aumenta, el caudal disminuye. Y, a medida que el caudal disminuye, la energía requerida también disminuye.

La curva de eficiencia muestra el caudal y la carga que se debe usar para lograr la mayor eficiencia de la bomba. Este es el punto operacional para el cual fue diseñada la bomba. Este punto operacional proporciona el consumo de energía eléctrica más eficiente para la cantidad de fluido bombeado.

El efecto de la válvula que se usa para ajustar, o controlar, el caudal de un sistema de bombas centrífugas de velocidad constante. Al cerrarse gradualmente la válvula ajustable, aumenta la resistencia, o carga. La carga adicional disminuye el caudal de fluido reduciendo también el consumo del motor. Por otro lado, al abrirse la válvula, se reduce la carga contra la cual la bomba tiene que bombear aumentando así el caudal del fluido y, al mismo tiempo, el consumo de energía del motor.

A medida que el usuario ajusta la válvula a una posición más abierta o más cerrada, el efecto sobre estos diversos parámetros se muestra en las curvas de bombas y los medidores.

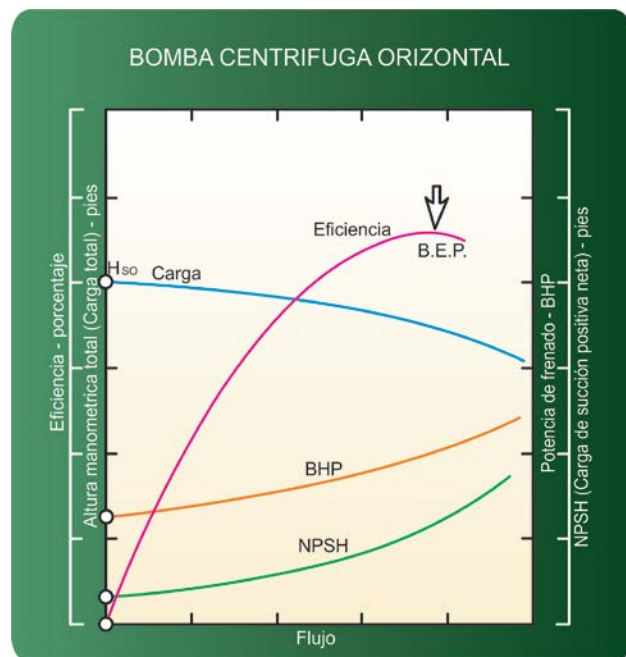


Figura N° 5. 47. Curva de rendimiento de bombas Centrifugas

Cuando una bomba se opera a varias velocidades, puede interpretarse en una gráfica que muestre el comportamiento completo. Para formar este tipo de gráfica, las curvas H-Q se trazan para las diferentes velocidades que se consideran, luego se superponen las curvas que tienen el mismo rendimiento. Estas curvas de rendimiento constante, llamadas de isorendimiento permiten encontrar la velocidad requerida y la eficiencia para cualquier condición de altura – caudal, dentro de los límites de la gráfica.

El grupo de curvas características de la figura 5.48 muestra el comportamiento de la bomba para un diámetro de rotor específico, generalmente el diámetro máximo.

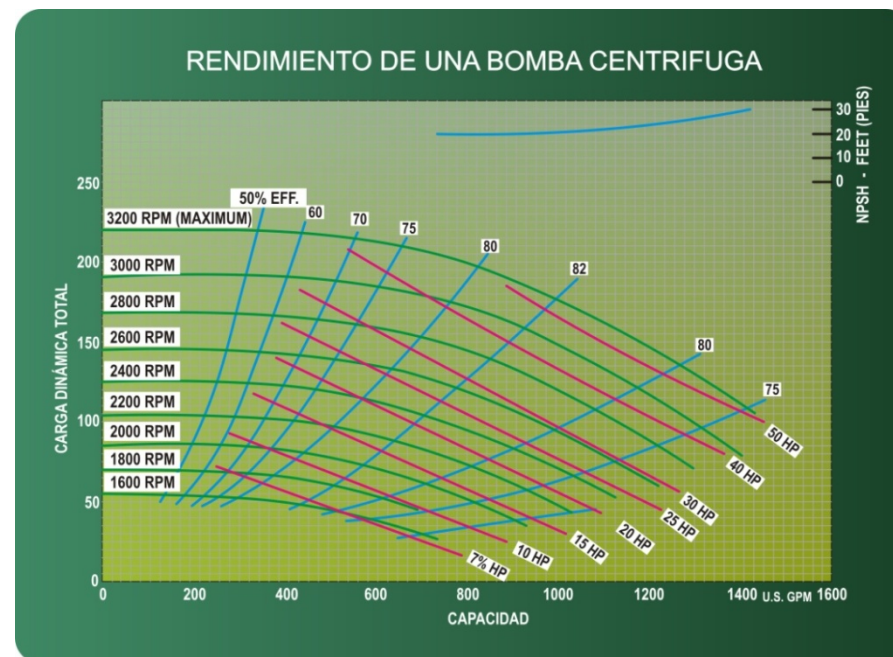


Figura N° 5. 48. Curva de rendimiento de bombas Centrifugas

5.3.6.4.- ARRANQUE DE UNA BOMBA

Seguir los siguientes pasos:

- Comprobar el nivel de aceite con el objeto de evitar daños en el eje y cojinetes por falta de lubricación.
- Mover con la mano la polea o las correas "V" para comprobar si no hay carga asentada en la caja y así evitar que se rompa el perno del eje central. Si la mariposa está plantada hay que lavar con agua a presión hasta que afloje.
- Comprobar que las correas "V" estén correctamente templadas, si las fajas están flojas la bomba no jala bien.

- d) Abrir la válvula de agua a presión.
- e) Arrancar el motor de la bomba.
- f) Mandar carga abriendo el cajón de la bomba

5.3.6.5.- QUE PASOS SE DEBE SEGUIR PARA PARAR UNA BOMBA

Los pasos a tener en cuenta son:

1. Tomar la bomba de repuesto arrancada si es que está parada ..
2. Cortar la carga a la bomba que se va a parar.
3. Dejar que la bomba trabaje unos minutos con agua.
4. Cerrar la válvula de agua a presión
5. Hacer limpieza del piso de la bomba

5.3.6.6.- PARTES PRINCIPALES DE UNA BOMBA

Los elementos principales de la bomba centrífuga son:

5.3.6.6.1.- CUBIERTA (CARCAZA).

Encierra el impulsor, el eje y el casquillo de empaques. Dirige el flujo del líquido que entra y sale de la bomba. Generalmente las cubiertas son del tipo VOLUTA, ó sea de diámetro creciente.

5.3.6.6.2.- EJE DE LA BOMBA.-

Según el tipo de motor que se usa, el eje de la bomba puede formar parte del impulsor del motor, o puede ser independiente y acoplarse al eje del motor. El eje puede ser apoyado por cojinetes independientes, o por los ejes del motor.

5.3.6.6.3.- EL IMPULSOR.

Es la pieza de la bomba que ejerce fuerza de alta energía sobre el fluido para darle velocidad e impulsión. El área abierta en medio del impulsor se llama entrada y determina en parte la capacidad de la bomba.

5.3.6.6.4.- LAS ALETAS DEL IMPULSOR.

Las aletas son las partes del impulsor que dirigen el flujo del fluido dentro de la bomba.

5.3.6.6.5.- LAS GUARDAS DEL IMPULSOR.

Encierran las aletas del impulsor y retienen en el área del impulsor al flujo.

5.3.6.6.6.- PUNTO DE SUCCION.

Es el lugar por donde entra fluido a la bomba; se sitúa normalmente cerca del centro de la bomba. El diámetro del paso de este punto determina en parte la velocidad a la que puede bombear la unidad.

5.3.6.6.7.- ANILLOS DE DESGASTE (camisa).-

Su función principal es la de permitir algo de goteo de fluido entre el impulsor y la cubierta, en el área de succión, se establece un sello hidráulico el cual permite que la bomba funcione con más eficiencia. Además se recircula una pequeña cantidad de líquido de descarga al lado de succión de la bomba.

5.3.6.6.8.- CASQUILLO EMPAQUE (Packing).-

Sella el flujo de fluido dentro de la bomba. El casquillo empaque puede ser usado tanto un empaque fijo o trenzado, que es reemplazable y ajustable, o bien el sello de tipo mecánico

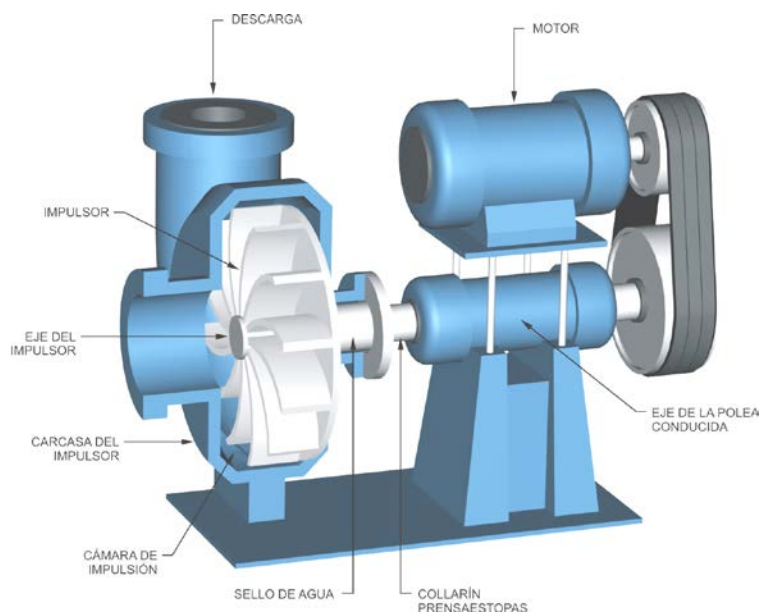


Figura N° 5. 49. Partes de una bomba centrífuga



Figura N° 5. 50. Bomba centrífuga horizontal para pulpa

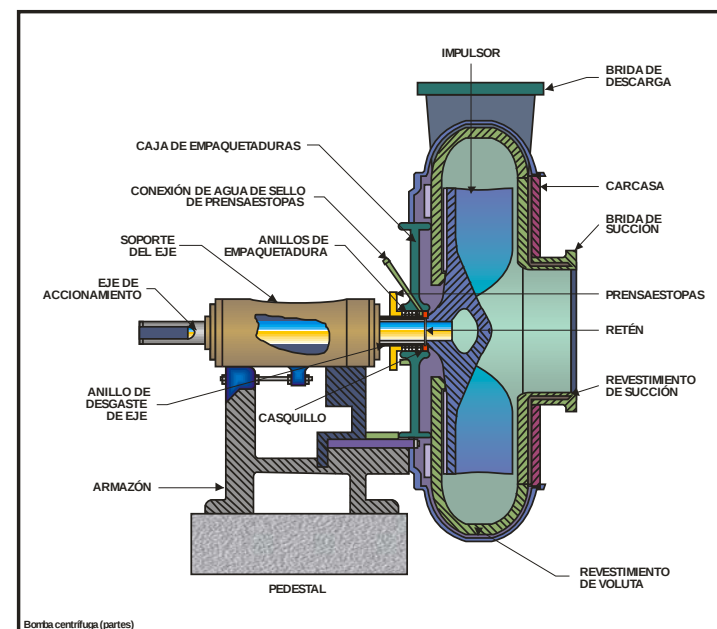


Figura N° 5. 51. Bomba centrífuga y sus partes

5.3.7.- EQUIPO AUXILIAR

5.3.7.1.- BOMBA SUMERGIBLE EN ÁREA DE ALIMENTADOR DE BOLAS

El sumidero del área del alimentador de bolas está equipado con esta bomba sumergible que puede manejar desperdicios de acero. Esta bomba funciona intermitentemente para vaciar el sumidero de todo derrame acumulado, enviando el derrame hacia el sumidero de piso en la línea de molienda #1. La bomba es del tipo de impulsor semi-empotrado y está equipada con un agitador para evitar el atoramiento en la succión y para tratar con concentraciones altas de sólidos. Los componentes de los extremos húmedos de la bomba están hechos de fierro-cromo endurecido para la resistencia contra la abrasión. El motor es un 3 HP/3380 rpm montado directamente en la bomba.

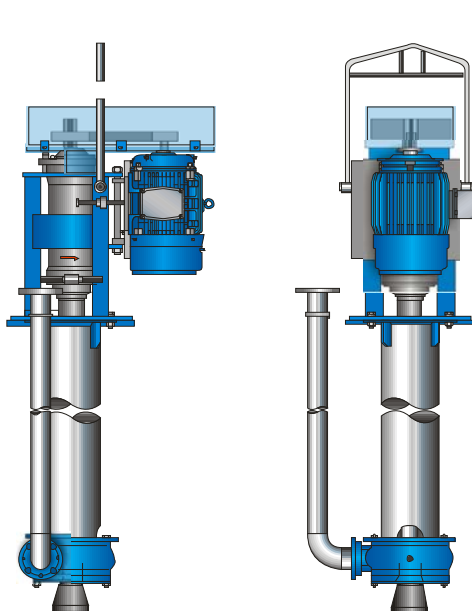


Figura N° 5. 52. Bomba sumidero

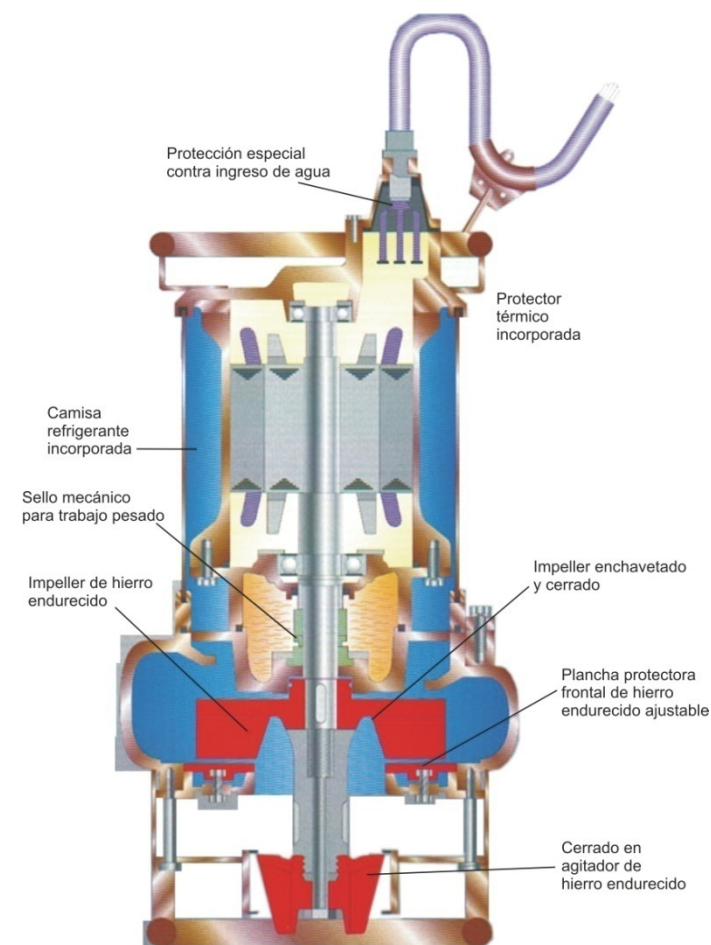


Figura N° 5. 53. Bomba sumergible de sumidero - vista frontal

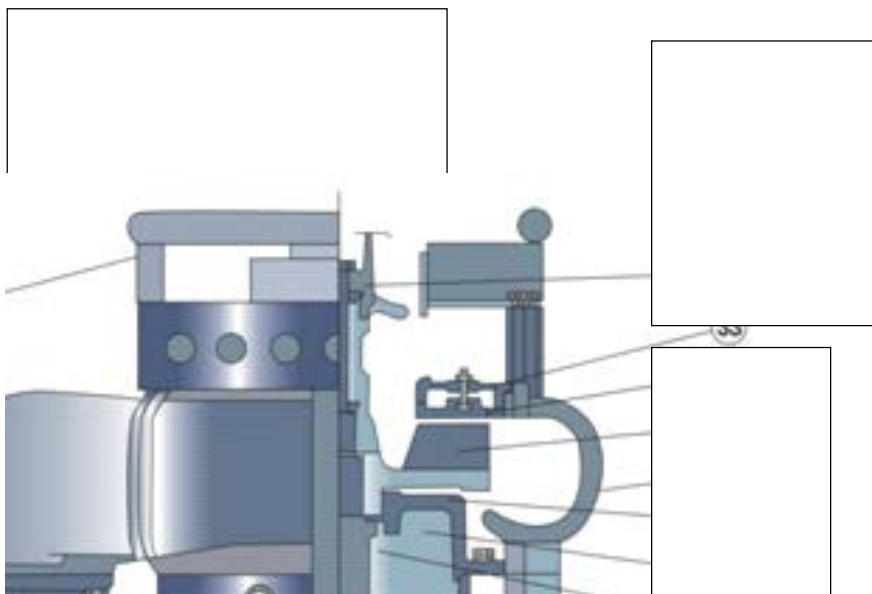


Figura N° 5. 54. Figura 4.54 Bomba sumergible de sumidero - vista lateral

5.3.7.2.- GRÚAS Y ELEVADORES

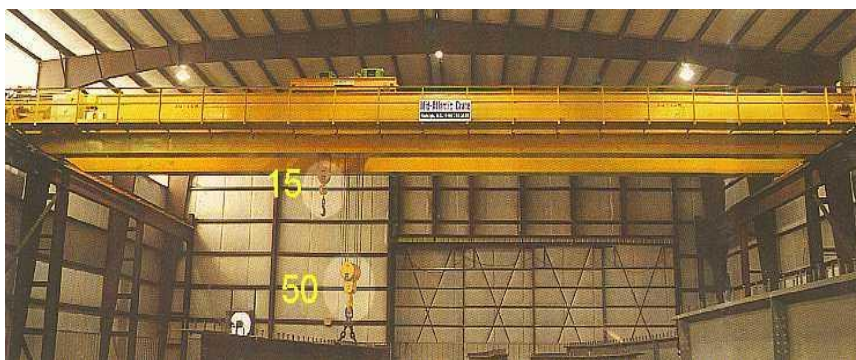


Figura N° 5. 55. Grúa puente

5.3.7.2.1.- GRÚA FLOTACIÓN ROUGHER SCAVENGER

La grúa del área flotación rougher scavenger es usada para elevar, mover y bajar piezas pesadas de equipos o componentes de las tres filas centrales del área de flotación. (La fila exterior de flotación en cada lado recibe mantenimiento mediante una grúa móvil.) La capacidad máxima de esta grúa es de 15 t. Los componentes principales de la grúa puente son el puente, el carro y el elevador. El elevador está montado sobre un carro que se mueve a lo largo de las vigas del puente. El puente puede moverse en dirección perpendicular a lo largo de las carriladas elevadas.

La unidad de montaje usa varios motores eléctricos, reductores de engranaje, ruedas, poleas, cables, una polea de gancho, sistemas de lubricación y de frenos.

5.3.7.2.2.- GRÚA DE SERVICIO ÁREA DE REMOLIENDA

La grúa para mantenimiento del área de remolienda es usada para elevar, mover y bajar piezas pesadas de equipo o componentes dentro del área de remolienda, tales como la unidad ensamblada del tornillo para la remolienda y las cubetas para las bolas de molienda. La capacidad máxima de esta grúa es de 40 t y también hay un elevador auxiliar de 5 t. Los componentes principales de la grúa puente son el puente, el carro y el elevador. El elevador está montado sobre el carro que se desliza a lo largo de las vigas del puente. La grúa puede moverse en la dirección perpendicular a lo largo de las carriladas elevadas. La unidad ensamblada usa varios motores eléctricos, reductores de engranaje, ruedas, poleas, cables, una polea de gancho, sistemas de lubricación y de frenos. Esta grúa debe ser solamente operada por un operador calificado.

5.3.7.2.3.- CUBETA PARA BOLAS REMOLIENDA

Cubetas de acero para almacenar y transportar los medios de molienda utilizados en los tres molinos de remolienda. Capacidad: 10 t cada una. Cuando el molino tiene que ser vaciado para dar mantenimiento al tornillo, las bolas serán descargadas dentro de tolvas por seguridad, para lograr un almacenamiento ordenado y para reducir el manipuleo para recargar el molino

5.3.7.3.- MUESTREO, ANÁLISIS DE ELEMENTOS EN CORRIENTES Y SISTEMAS DE ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

5.3.7.3.1.- MUESTREO DE PULPA

El muestreo de corrientes de pulpa es utilizado para obtener cantidades representativas (estadísticamente) al flujo total. Hay dos tipos de muestras de la pulpa que son recolectadas usando el equipo de muestreo:

Muestras continuas de la pulpa para un análisis de elementos en línea y/o un análisis del tamaño de partícula en línea.

Muestras periódicas de la pulpa para un análisis en el laboratorio con un propósito de contabilidad metalúrgica o para ser usadas como muestra testigo para la calibración de los analizadores.

5.3.7.3.2.- ANÁLISIS DE ELEMENTOS EN LA CORRIENTE

El análisis elemental de las corrientes de pulpa nos proporciona las leyes de los elementos de interés: Cu, Mo, Fe, y en algunos casos As. La información en línea proporcionada por el analizador permite que los operadores de planta sigan las tendencias del proceso en tiempo real, realizando los posibles cambios manuales o automáticos en el proceso. Estos análisis y los ajustes de control aplicables ayudan a mejorar la calidad del producto y la recuperación del metal.

En algunos casos hay un analizador dedicado para una corriente específica, generalmente para los flujos principales. Estos analizadores son sumergidos dentro de una corriente de flujo continuo y son denominados como MEPs (es decir, medidores de multi-elementos). Estos proporcionan análisis continuos de la corriente monitoreada.

5.3.7.3.3.-ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

El monitor del tamaño de partícula (PSI) proporciona, un análisis de distribución del tamaño de partícula en la corriente en tiempo real de las pulpas con tres fracciones del tamaño de partícula medidas simultáneamente. El PSI también mide la densidad de la pulpa (% de

sólidos). Todos los PSI tienen alimentaciones múltiples con un analizador que sirve a dos o más corrientes sobre una base alterna. Utilizando la información del PSI, los operadores de planta pueden optimizar el funcionamiento del circuito de molienda.

5.3.7.3.4.-ESTACIÓN DE MUESTREO (SAMSTAT)

El SamStat usa varias etapas de muestreadores tipo rifle, ubicados en los vertederos del overflow para reducir la corriente de la pulpa hasta lograr una razón de flujo pequeño y fácilmente manejable. Luego se utiliza un pequeño muestreador para cortes transversales, como etapa final, para cortar la muestra depositándola en una cubeta para producir una muestra compuesta.

A medida que la pulpa fluye por el vertedero, una muestra representativa ingresa al cortador tipo rifle y fluye hacia la siguiente etapa del muestreo de tal manera que los cortadores puedan realizar un corte completo de la altura de la pulpa que rebosa el vertedero. Esto significa que cada cortador recibe un rango de tamaños de partícula, densidades y, lo más importante, en caso de los concentrados, toda espuma que esté presente. Un analizador destinado a usarse conjuntamente con la estación del muestreo (SamStat), constituye una estación de análisis y muestreo (AnStat) para proporcionar un muestreo de la contabilización metalúrgica total y un análisis continuo en el flujo. El muestreador está ubicado en las salidas de cada tanque para su calibración y muestreo de control del proceso.

5.3.7.3.5.- SENSOR PARA MULTI ELEMENTOS (MEP)

El MEP es un analizador de fluorescencia de rayos X con energía dispersiva (EDXRF) con alta sensibilidad y selectividad y es capaz de medir hasta ocho elementos y la densidad simultáneamente. En nuestro caso, los MEP están ajustados para medir tres a cuatro elementos (Cu, Mo, FE, y en algunos casos As). El sensor para multi elementos utiliza un detector de rayos X al estado sólido de Si(Li) cuya sensibilidad posibilita la medición de una concentración muy baja de elementos, tales como aquellos que se encuentran en las corrientes de las colas. El MEP proporciona análisis continuo de cada flujo proporcionando actualizaciones de ensayos en períodos cortos de tiempo. En nuestro sistema el tiempo varía a partir de 30 a 60 seg. Por corriente.

5.3.7.3.6.- Estación de muestreo continuo (SamStat-C)

El SamStat continuo (SamStat-C) es similar en diseño al SamStat pero en vez de suministrar la muestra por turno y usada como una estación de análisis con la adición de los MEP, ellos son usados para suministrar una muestra continua al analizador de flujos múltiples (MSA). Así, el SamStat-C no se equipa de muestreadores de corte transversal para las muestras por turno porque los tanques en el MSA contienen muestreadores de corte transversal y las muestras por turno son colectadas aquí. Las figuras de abajo dan más detalles de los muestreadores del SamStat-C.

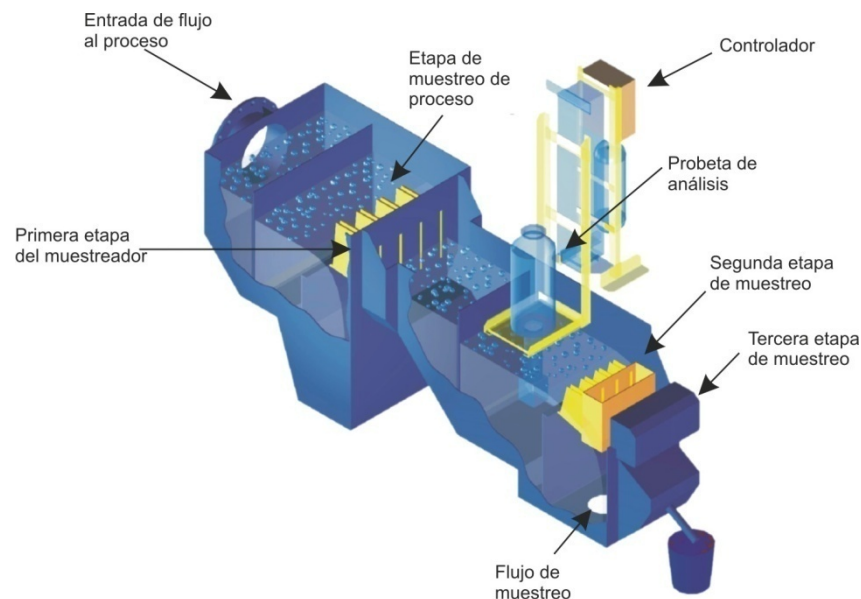


Figura N° 5. 56. Esquema mostrando un SamStat de 3 etapas

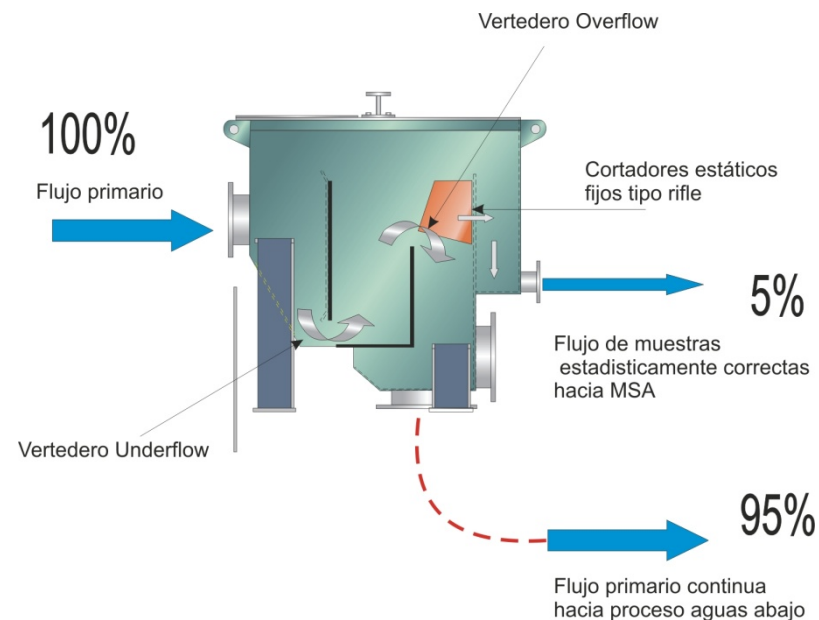


Figura N° 5. 57. Detalles de operación del muestreador del SamStat-C

5.3.7.3.7.- MUESTREADOR TUBULAR A PRESIÓN

Este tipo de muestra no es usualmente utilizada para propósitos de contabilidad metalúrgica pero es una solución simple y económica que proporciona una muestra presurizada para el análisis en flujo y simplifica el trabajo en tuberías. Nuestro sistema utiliza solamente este tipo de muestreador para el análisis de alimentación combinada a celdas columnas. Un muestreador tubular a presión, está instalado en una sección vertical de la tubería cerca de la salida del sistema de bombeo de alimentación a las celdas columna. El muestreador está equipado con válvulas de enjuague previo. Este tipo de muestreador se ilustra en la figura 5.56: La válvula en la línea de descarga de la muestra para este tipo de muestreador debe ser abierta de lado a lado o totalmente cerrada. Si está parcialmente cerrada para estrangular el caudal de la muestra, la calidad de la muestra será comprometida y la válvula estará sujeta al desgaste excesivo.



Figura N° 5. 58. Muestreador tubular a presión

5.3.7.3.8.- ANALIZADOR DE MULTI-FLUJOS (MSA)

El MSA proporciona el análisis simultáneo de los elementos de interés y el porcentaje de sólidos. La técnica del análisis es la fluorescencia por rayos X

(XRF) tal como se describe para el MEP, de hecho, y el MSA es un juego de muestreadores para la etapa final, tanques, con un MEP compartido. Los MSA que tenemos pueden medir desde 3 a 5 flujos, manteniéndolos totalmente separados en sus propios tanques de análisis, moviendo el sensor, es decir, el MEP, de zona a zona.. Las actualizaciones de los ensayos dependen del tiempo fijado para el sensor en cada tanque, la secuencia y el número de tanques. Los muestreadores metalúrgicos de corte transversal están situados en la salida de cada tanque de análisis para la calibración y muestras de control del proceso.

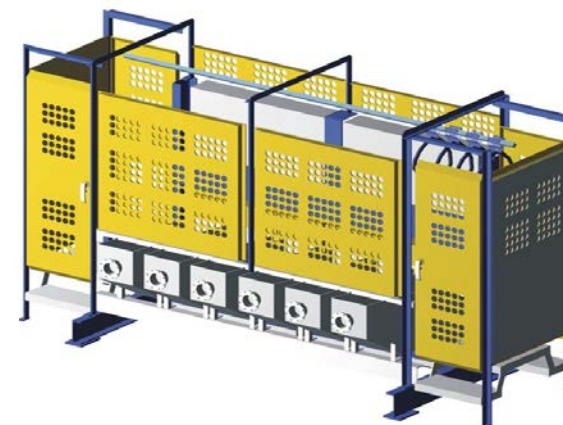


Figura N° 5. 59. El lado de entrada de un MSA para 6 corrientes

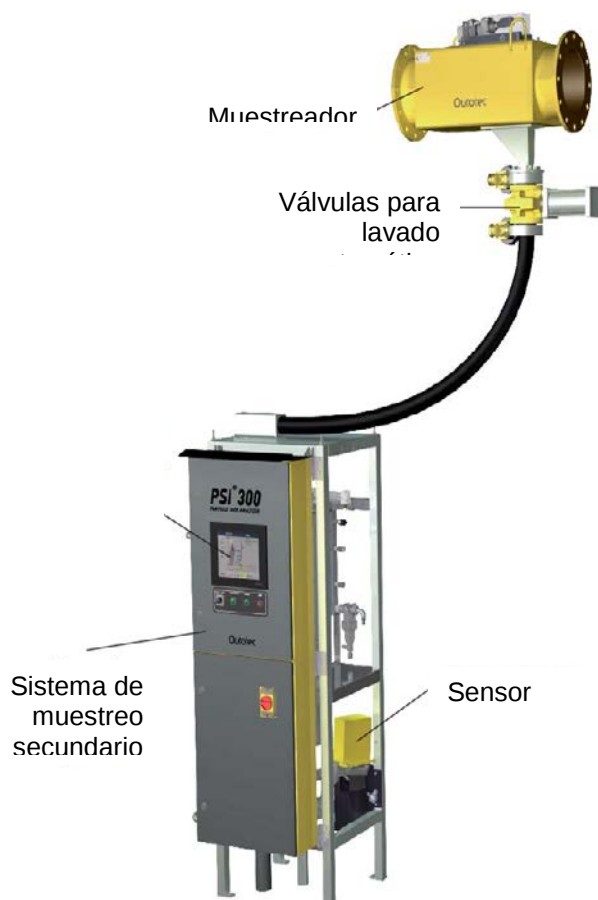


Figura N° 5. 60. Figura 5.60 Parte frontal PSI

5.4.- CONTROL DE PROCESOS

5.4.1.- CELDAS ROUGHER Y CELDAS SCAVENGER

En la flotación rougher scavenger el nivel en cada celda es medido en dos puntos;

- Nivel total de pulpa en el tanque en completa quietud.
- Nivel de espuma en la parte superior del tanque.

El controlador de nivel de cada grupo de celdas (en completa quietud) tendrá modos Manual y Automático, y controlará la operación de las válvulas de dardo (de rango partido). Con la orden de arranque grupal todos los controladores en ese grupo conmutarán al modo Automático con el último setpoint. Todos los agitadores en cada celda están enclavados con el interruptor de operación de campo. Para arrancar los agitadores en grupo, todos los conmutadores local/remoto en campo deben estar en la posición REMOTO. Cuando se da la orden de arranque grupal, los agitadores arrancarán con un retraso de 10 segundos. El concentrado de la primera celda rougher fluye por gravedad hacia las canaletas concentrado rougher. El flujo de concentrado de las segundas celdas rougher es controlado a través del DCS, las válvulas de dardo manualmente operadas, la canaleta concentrado rougher scavenger o la canaleta concentrado rougher. La indicación de nivel de espuma y la cámara de visión de espuma son usadas por el sistema Knowledge Scape y se programarán para el control de la adición de espumante.

5.4.2., CAJÓN DE BOMBA COLECTORA CONCENTRADO ROUGHER

El concentrado rougher de todas las celdas rougher es recolectado en una canaleta combinada y fluye por gravedad al cajón de la bomba colectora concentrado rougher.

El controlador de nivel del cajón de la bomba tiene modos Auto y Manual, el cual determina el setpoint de velocidad para el accionamiento de velocidad variable para cada bomba de alimentación molino de remolienda, Sólo una bomba está en operación, (la otra está en standby, en espera) para mantener una razón de flujo volumétrico constante hacia los molinos de

remolienda. Todas las válvulas tienen modos Auto y Manual; en modo manual el operador puede abrir o cerrar éstas válvulas.

El controlador de flujo de agua tiene tres modos Auto, Manual y Cascada; en modo cascada recibe el setpoint del controlador de densidad. El controlador de densidad tiene tres modos de operación Auto, Manual y Programa, en el modo Programa, el KnowledgeScape proporciona un setpoint remoto.

El cajón de la bomba está provisto con una válvula de drenaje que está normalmente cerrada; el operador puede abrir esta válvula manualmente desde el DCS. Las bombas de alimentación tienen un permisivo de arranque tal que esté fluyendo el agua de sello de la bomba. Durante la operación normal un flujo bajo de sello de agua inicia una alarma en el DCS en CCCR, pero no detiene la bomba. Primero el operador tiene que abrir manualmente por lo menos una de las válvulas y la válvula de alimentación al molino de remolienda.

Los enclavamientos de la bomba incluyen el nivel del cajón de bomba encima del nivel muy bajo y la válvula de drenaje cerrada así como los enclavamientos de protección estándar de motor eléctrico.

5.4.3.- CAJÓN BOMBA DE ALIMENTACIÓN CELDAS COLUMNA

El controlador de nivel del cajón de la bomba tiene modos Auto y Manual, el cual determina el setpoint de velocidad para el accionamiento de velocidad variable para cada bomba de alimentación celda columna. Sólo una bomba está en operación, (la otra está en standby). Todas las válvulas tienen modos Auto y Manual; en modo manual el operador puede abrir o cerrar éstas válvulas.

El controlador de flujo de adición de agua tiene tres modos Auto, Manual y Cascada; en modo Cascada recibe el setpoint del controlador de densidad. El controlador de densidad tiene tres modos de operación Auto, Manual y Programa, en el modo Programa, el KnowledgeScape proporciona un setpoint remoto.

El cajón de la bomba está provisto con una válvula de drenaje que está normalmente cerrada; el operador puede abrir esta válvula manualmente

desde el DCS. Las bombas de alimentación tienen un permisivo de arranque que consiste en el flujo de agua de sello de la bomba. Durante la operación normal un flujo bajo de sello de agua inicia una alarma en el DCS en CCCR, pero no detiene. La bomba de alimentación celda columna no puede arrancarse a menos que una de las válvulas de alimentación de columna esté abierta y no haya un nivel muy alto en la columna.

Los enclavamientos de bomba del cajón de la bomba colectora concentrado incluyen la indicación de válvula de drenaje cerrada así como los enclavamientos de protección estándar de motor eléctrico. El nivel del cajón de la bomba por debajo del nivel muy bajo sólo alarma y no detiene la bomba.

5.4.4.- BOMBA DE DERRAMES PISO ÁREA REMOLIENDA

El nivel del sumidero es monitoreado en la CCCR. El concentrado en el sumidero es transferido al cajón de la bomba colectora concentrado scavenger por la bomba. La bomba arranca en el punto fijado de nivel alto y se detiene en el valor fijado de nivel bajo. La alarma de nivel muy alto del sumidero es activada en el DCS en caso que la bomba falle en arrancar y esté presente un nivel muy alto. Hay permisos normales de motor para el motor de la bomba.

5.4.5.- CAJÓN DE BOMBA COLECTORA CONCENTRADO SCAVENGER

El concentrado scavenger de la flotación principal rougher-scavenger es recolectado en el cajón de la bomba colectora concentrado scavenger. Además los flujos de concentrado scavenger de limpieza y producto molino de remolienda se alimentan a este cajón de bomba.

El controlador de nivel del cajón de la bomba tiene modos Auto y Manual, el cual determina el setpoint de velocidad para el accionamiento de velocidad variable para cada bomba de alimentación ciclón de remolienda. Sólo una bomba está en operación, (la otra está en standby). Todas las válvulas tienen modos Auto y Manual; en modo manual el operador puede abrir o cerrar éstas válvulas a través del DCS.

El controlador de flujo de adición de agua tiene tres modos Auto, Manual y Programa; en modo Programa recibe el setpoint remoto del Sistema Experto

KnowledgeScape. La densidad y flujo de concentrado son medidos y la razón de flujo masivo es calculada.

El cajón de la bomba está provisto con una válvula de drenaje que está normalmente cerrada; el operador puede abrir esta válvula manualmente desde el DCS. Las bombas de alimentación tienen un permisivo de arranque que consiste en el flujo de agua de sello de la bomba. Durante la operación normal un flujo bajo de sello de agua inicia una alarma en el DCS en CCCR, pero no detiene la bomba. Los enclavamientos de la bomba incluyen el estado abierto de un mínimo de seis válvulas batería ciclones de remolienda y la válvula de drenaje cerrada así como los enclavamientos de protección estándar de motor eléctrico. El nivel del cajón de la bomba por debajo del nivel muy bajo sólo alarma y no detiene la bomba.

5.4.6.- REMOLIENDA CIRCUITO BATERÍA DE CICLONES (12)

La batería de ciclones de remolienda consiste en ciclones, cada uno controlado por una válvula on/off. De entrada.

1. El operador puede seleccionar ABIERTO, CERRADO, MODO PROGRAMA para cada una de las válvulas. El controlador de presión tiene dos modos, Auto y Programa. En modo Automático el operador fija un setpoint. En el modo Programa el Sistema Experto lo fija. El operador (en modo Programa) fija el rango de valores y el sistema calcula los umbrales superior e inferior para controlar los ciclones en la Secuencia de Control de Presión. Secuencia de Control de Presión: La presión del distribuidor de los ciclones es monitoreada y alterna la operación de las válvulas de ciclones en una base “primero en entrar - primero en salir”.

2. Un valor de presión mayor que el valor superior durante un tiempo dado (ingresado por el operador) abre la válvula cerrada durante más tiempo que esté en modo Programa (y el temporizador de control de presión se restablece).

Un valor de presión menor que el umbral más bajo durante un tiempo dado (fijado anteriormente) cierra la válvula abierta durante más tiempo que esté en modo Programa (y el temporizador de control de presión se restablece).

3. Hay un número mínimo de válvulas de ciclón que necesitan estar en modo Programa para permitirle al operador cambiar el controlador de presión al modo Programa. Este número depende del número de molinos de remolienda que están en marcha y se ajustará después del arranque.

Las válvulas son de doble efecto, de aire con 2 solenoides en cada válvula. La salida se mantiene para asegurar la posición de la válvula. La falla de la válvula para abrir o cerrar es indicada con una alarma.

El underflow del ciclón es recolectado en la canaleta de underflow de ciclones. La adición de agua es determinada por un controlador de dos modos (Auto y Manual).

5.4.7.- CAJÓN BOMBA DE ALIMENTACIÓN MOLINO DE REMOLIENDA

El concentrado de la canaleta de underflow ciclones primarios circula por gravedad al cajón bomba de alimentación molino de remolienda.

El controlador de nivel del cajón de la bomba tiene modos Auto y Manual, y proporciona un setpoint a los controladores de flujo de molinos de remolienda, los cuales determinan el setpoint de velocidad para los accionadores de velocidad variable para cada bomba de alimentación al molino de remolienda. Todas las válvulas tienen modos Auto y Manual; en modo manual el operador puede abrir o cerrar éstas válvulas.

El controlador de flujo de adición de agua tiene tres modos Auto, Manual y Cascada; en modo Cascada recibe la salida promediada de los tres controladores de densidad. El KnowledgeScape proporciona un setpoint remoto al controlador de flujo.

El cajón de la bomba está provisto con una válvula de drenaje que está normalmente cerrada; el operador puede abrir esta válvula manualmente desde el DCS. Las bombas de alimentación tienen un permisivo de arranque que consiste en el flujo de agua de sello de la bomba. Durante la operación normal, un flujo bajo de sello de agua, inicia una alarma en el DCS en CCCR, pero no detiene la bomba. La bomba de alimentación debe estar en marcha antes que se arranque el motor del VertiMill.

Los enclavamientos de la bomba incluyen válvula de drenaje cerrada así como los enclavamientos de protección estándar de motor eléctrico. El nivel del cajón de la bomba por debajo del nivel muy bajo sólo alarma y no detiene la bomba.

5.4.8.- VERTIMILLS DE REMOLIENDA

Los cuatro VertiMills de remolienda se operan y monitorean en la CCCR. El Operador arranca los Vertimills manualmente a través del DCS. La bomba de alimentación respectiva debe estar en marcha antes que arranque el motor del molino. La potencia del Vertimill es monitoreada y controlada agregando insumo de molienda según sea necesario. El sistema de accionamiento de los Vertimill está protegido por disparos de protección eléctrica interiores, pero está enclavado con la bomba de alimentación.

5.4.9.- DISTRIBUIDOR DE ALIMENTACIÓN CELDAS COLUMNA

El overflow de clasificación ciclones es transferida al distribuidor de Alimentación Celdas Columna por las bombas de alimentación. Sólo una bomba está en operación, la otra está en stand by. El distribuidor está provisto con válvulas de dardo de modo Manual, una para cada una de las celdas columnas. El estado abierto o cerrado de estas válvulas se indica en el DCS. El operador tiene que abrir estas válvulas manualmente.

5.4.10.- CELDAS COLUMNA ,

La alimentación a cada columna ingresa mediante un distribuidor interior. La razón de flujo de aire es medida y controlada a través de controladores inicialmente el operador determina el setpoint para los controladores pero después el sistema experto proporcionará los setpoints remotos. Las válvulas de agua fresca, 4 válvulas por columna en la base sólo se abren en el arranque de la columna durante un tiempo prefijado y no deben abrirse durante la operación normal. El concentrado de las celdas columna es recolectado en la canaleta colectora de concentrado a la parte superior de la celda. La razón de flujo de adición de agua fresca es medida y controlada. El flujo de colas es medido por flujómetro. Se usa una válvula de control y un controlador de nivel en la línea de colas, para controlar el nivel de espuma en la columna. El control de nivel tiene válvulas de aislamiento controladas por

el DCS en la línea de entrada y línea de descarga. El arranque y parada de la columna debe realizarse a través de una secuencia programada para la operación de la columna.

Hay tres lazos de control para cada celda columna: Control de niveles, control de aire y control del agua de lavado.

5.4.10.1.- EL LAZO PARA CONTROLAR EL NIVEL DE ESPUMAS

Es usado para controlar y cambiar la altura de la espuma en la parte superior de la celda columna. Este lazo contiene una válvula controladora de niveles y una unidad de medición ultrasónica. Una partícula flotada se ubica en la interface espuma/suspensión en la parte superior de cada celda columna. Cada partícula flotada es fijada a un rodillo. Sobre la parte superior de cada rodillo se encuentra una placa plana (u objetivo). Cada unidad ultrasónica mide la distancia entre el objetivo y la unidad ultrasónica. La altura de la espuma es determinada por medio del DCS, y la válvula controladora de niveles conserva este punto de fijación para cada celda columna.

5.4.10.2.- EL LAZO DE CONTROL DEL AIRE

Es usado para controlar y cambiar el flujo de aire de los rociadores. Este circuito contiene una válvula de control y un flujómetro coriolis. La razón de flujo de aire es establecida por medio del DCS, y luego medida por el flujómetro Coriolis. El flujo es mantenido en el punto de fijación mediante la válvula controladora.

5.4.10.3.- EL LAZO DE CONTROL DEL AGUA

Es usado para controlar y regular el flujo del agua de lavado de las celdas columna. Este circuito contiene una válvula controladora y un flujómetro magnético. La razón de agua de lavado es establecido por medio del DCS, y luego es medido por el flujómetro magnético. El flujo es mantenido en el punto fijado mediante la válvula controladora.

5.4.10.4.- GUÍA GENERAL DE OPERACIÓN DE CELDAS COLUMNA

Como en el caso de las celdas de flotación mecánica, la operación con celdas columna mantiene un equilibrio entre los objetivos de la recuperación y la ley del concentrado. Estos objetivos varían dependiendo de la carga en el circuito de flotación. Razones más altas en la adición de aire aumenta la recuperación a expensas de la ley del concentrado. Alturas mayores de la espuma mejoran las leyes del concentrado a expensas de la recuperación. La adición de agua para lavado en la parte superior de la celda, facilita mejorar el lavado de los insolubles. El caudal de agua para lavado es típicamente establecido de tal manera que el caudal añadido de agua para lavado sea ligeramente mayor que el caudal de agua saliente de la celda contenido en el concentrado.

5.4.11.- CAJÓN DE BOMBA COLECTORA CONCENTRADO COLUMNAS

El concentrado de cada columna fluye por gravedad a un sistema de muestreo y analizador en línea luego se transfiere al cajón de la bomba colectora de concentrado.

La velocidad de la bomba y la adición de agua son controladas por el controlador de nivel. El LIC es de acción directa y tiene modo Manual y Auto. En Auto, cada control recibe un setpoint determinado por el operador. La salida del controlador de nivel controla los accionamientos de velocidad variable, uno en marcha, y el otro en stand by. La salida del controlador controla la adición de agua. Todas las válvulas tienen modo Auto y Manual; en modo Manual el operador puede abrir o cerrar estas válvulas a través del DCS.

El cajón de la bomba está provisto con una válvula de drenaje que está normalmente cerrada; el operador puede abrir esta válvula manualmente desde el DCS. Las bombas de alimentación tienen un permisivo de arranque que consiste en el flujo de agua de sello de la bomba. Durante la operación normal un flujo bajo de sello de agua inicia una alarma en el DCS en CCCR, pero no detiene la bomba. La razón de flujo másico en el flujo de concentrado se estima usando la razón de flujo volumétrico en línea y la densidad de pulpa. Los enclavamientos de la bomba incluyen la indicación de válvula de drenaje cerrada así como los enclavamientos de protección

estándar de motor eléctrico. El nivel muy bajo del cajón de la bomba sólo alarma y no detiene la bomba.

5.4.12.- BOMBA DE DERRAMES ÁREA COLUMNAS

Los derrames de concentrado del área columnas son recolectados en un sumidero, y luego transferidos al cajón de bombas colectoras de columna a través de la bomba. El nivel del sumidero es monitoreado y controlado en la CCCR. La bomba arranca en el punto fijado de nivel alto y se detiene en el valor fijado de nivel bajo. La alarma de nivel muy alto del sumidero se activará en el DCS en caso que la bomba no arranque y esté presente un nivel muy alto. Hay permisos normales para el motor de la bomba.

5.4.13.- CAJÓN DE BOMBA COLECTORA COLAS DE COLUMNA

Las colas de cada columna circulan por gravedad a un sistema de muestreo y analizador en línea luego se transfiere al cajón de la bomba colectora de colas de columna. El overflow de ciclones de remolienda y los derrames de concentrado de columna también se recolectan en este cajón de bomba.

El controlador de nivel del cajón de la bomba tendrá modos Auto y Manual, lo que determina el setpoint de velocidad para los accionadores de velocidad variable para cada bomba de transferencia de colas de columna, sólo una bomba está en marcha; la otra está en stand by. Todas las válvulas tienen modo Auto y Manual; en modo Manual el operador puede abrir o cerrar estas válvulas a través del DCS.

El controlador de densidad tiene tres modos Auto, Manual y Programa; en modo Programa recibe el setpoint remoto del Sistema KnowledgeScape. El cajón de la bomba está provisto con una válvula de drenaje que está normalmente cerrada; el operador puede abrir esta válvula manualmente desde el DCS. Las bombas de alimentación tienen un permisivo de arranque que consiste en el flujo de agua de sello de la bomba. Durante la operación normal un flujo bajo de sello de agua inicia una alarma en el DCS en CCCR, pero no detiene la bomba.

Los enclavamientos de la bomba incluyen válvula de drenaje cerrada -así como los enclavamientos de protección estándar de motor eléctrico. El nivel muy bajo del cajón de la bomba sólo alarma y no detiene la bomba.

5.4.14.- CELDAS CLEANER Y SCAVENGER DE 1ª LIMPIEZA

Las celdas de primera limpieza y scavenger de limpieza están configuradas como un banco celdas agitadas. Las celdas están configuradas en pares de celdas con control del nivel entre cada par de celdas. Las primeras seis celdas han sido configuradas como celdas de primera limpieza y las cuatro últimas como celdas scavenger de limpieza. La pulpa del cajón de la bomba colas de columna se bombea a las celdas de primera limpieza. El concentrado de las celdas de primera limpieza es recolectado en una canaleta común de primera limpieza desde dónde circula por gravedad al muestreador de concentrado primera limpieza y al analizador en línea antes de alimentar el cajón de alimentación celdas columna.

Las colas de las celdas de primera limpieza circulan directamente a las celdas de flotación de scavenger de limpieza. El concentrado de las celdas scavenger de limpieza es recolectado en una canaleta se transfiera al cajón de la bomba colectora de concentrado scavenger, circula a través de un muestreador en línea. Cada par de celdas está provisto con una cámara de visión de espuma y una Indicación de nivel de espuma. La información de la cámara de visión de espuma se usa por el sistema experto para controlar el nivel de la celda, la razón de extracción de espuma, la adición de colector secundario, la adición de espuma. El control de nivel de las celdas de flotación de primera limpieza se realiza por los controladores de nivel de rango dividido. Se usa dos válvulas de dardo externas para controlar el flujo de pulpa a los pares de celdas posteriores. El control de nivel de las celdas scavenger de limpieza en el primer grupo es de rango dividido y en las últimas celdas es un control de nivel simple. Las válvulas de dardo se usan en el modo de rango dividido (0-50% y 50%-100%). La última celda scavenger sólo tiene una válvula que gobierna el flujo de relave scavenger de limpieza hacia el muestreador de relave scavenger de limpieza.

5.5.- PROCEDIMIENTOS

5.5.1.- PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES DE FLOTACION

- Operación del circuito rougher
- Operación celdas columna
- Operación circuito limpieza
- Inspección Y operación de molinos remolienda
- Control de Carga de Bolas en el Molino vertimill
- Inspección de Lubricación de los Molinos vertimill.
- Control manual densidad pulpa
- Control y operación de clasificación en ciclones
- Inspección de bombas de alimentación a ciclones
- Limpieza de canaletas

5.5.2.- PROCEDIMIENTOS MANTENCIÓN DE FLOTACION

- Inspección y mantenimiento molino vertimill
- Inspección y mantenimiento de celdas banco Rougher
- Inspección y mantenimiento de celdas columna
- Inspección y mantenimiento de celdas cleaner
- Cambio de revestimiento de canaletas
- Reparación tina over de ciclones.
- Reparación tina under de ciclones.
- Cambio de apex de ciclón.
- Cambio de vortex de ciclón.
- Cambio bomba centrífuga

5.6.- SEGURIDAD

5.6.1.-REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD ESPECÍFICOS DEL PROCESO

- Todos los equipos en movimiento deben tener las guardas correspondientes para evitar contacto directo con el personal y así evitar un accidente.
- Seguir estrictamente el procedimiento de arranque y parada de los equipos para evitar complicaciones operativas y/o pérdidas en el proceso.
- Solo personal autorizado y debidamente entrenado podrá arrancar y parar los equipos.
- Tener cuidado con las salpicaduras de pulpa a los ojos. Utilizar obligatoriamente lentes de seguridad en todo momento.
- Los sensores de nivel deben estar operativos siempre para evitar pérdidas o derrames.

5.6.2.- REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD OPERACIONAL Y DE MANTENIMIENTO

- Se requiere el uso de los siguientes equipos de protección personal: Casco. Anteojos de Seguridad, Tapones de oído, Zapatos de Seguridad y Respirador con cartuchas de carbón activo en algunas áreas
- Para poner operativo los equipos la supervisión tiene la responsabilidad de que todo el personal cumpla su trabajo usando el equipo de protección personal adecuado para el trabajo.
- Todos estarán familiarizados con la sirena preventiva para proceder al arranque de los mismos.
- Para los trabajos de mantenimiento programados se deberá coordinar con el personal de operaciones para parar y descargar los equipos con la debida anticipación.
- Para los trabajos de desatoro o limpieza de tolvas, chutes y cajones, el personal deberá hacerlo contando con sus respectivos arneses de seguridad y contar con línea de vida.

5.6.3.- CONSIDERACIONES DE BLOQUEO Y ETIQUETADO LOTOTO

- Cualquier trabajo de mantenimiento en el circuito de flotación deberá hacerse sólo si antes se está aplicando correctamente el procedimiento de Bloqueo y Rotulación de los equipos.
- Aplicar el LOTOTO ante cualquier intervención de cualquier equipo cortando la energía en el control principal, colocando tarjetas y/o candados.
- El uso indebido de una tarjeta o candado de seguridad es considerado como falta grave.
-

5.6.4.- IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

- Peligros de tropiezo:
- Peligros de resbalamiento:
- Ruido.
- Pisos considerablemente inclinados en un nivel inferior.
- Materiales inflamables en cuartos de lubricación.
- Contacto de cal apagada con la piel.
- Puntos de adición de reactivo (piel, ojos).
- Salpicadura de pulpa de los ciclones (ojos).
- Cargas suspendidas.
- Línea de pulpa de bomba alimentadora de ciclón se rompe.
- Inundaciones en niveles inferiores.
- Desplazamientos del cargador/Bobcat durante la limpieza.
- Esquivarlas del retiro de pernos.
- Flujo de pulpa/agua cuando se drenan los sumideros.
- Espacios confinados:
 - Sumideros alimentación de ciclón.
 - Tuberías de underflow de ciclón.
 - Cajones de alimentación y descarga de alimentador.

5.6.5.- SITUACIONES DE EMERGENCIA NO PREVISTAS CON PLAN DE ACCIÓN A UN NIVEL APROPIADO DE AUTORIZACIÓN

- Ante una parada por corte o baja de energía se debe seguir el procedimiento respectivo.

- Cualquier circunstancia imprevista y que se necesite apoyo de prevención de riesgos se debe notificar mediante el supervisor quien deberá hacer el seguimiento adecuado.
- El personal de cuarto de control verificará las alarmas y pedirá hacer un reconocimiento en campo.

5.6.6.- SEGURIDAD ELÉCTRICA

- Todo equipo antes de ser intervenido debe hacerse el corte de energía respectivo siguiendo el procedimiento de LOTOTO.
- No hacer caer agua a los motores para evitar cortos circuitos.

5.6.7.- SEGURIDAD QUÍMICA (MSDS)

- Mantener las cartillas con los MSDS actualizados al alcance de los trabajadores para que puedan ser utilizados en cualquier momento.

5.7.- MEDIO AMBIENTE

5.7.1.- CONFORMIDAD DE PERMISOS Y REGULACIONES

Se necesita que la operación de la Concentradora cumpla con una variedad de criterios ambientales rigurosos. Estos criterios fueron identificados y establecidos durante el proceso de Evaluación de Impactos Ambientales (EIA) que formaron la base para los permisos de operación del Proyecto de Expansión Planta Concentradora de CV2. Además, los estándares ambientales y sociales establecidos por las organizaciones Financieros Internacionales para Créditos deben ser también cumplidos.

Para asegurarse que estos estándares sean cumplidos, se desarrollo un Plan Ambiental y de Gestión Social (ESMP). Los objetivos del Plan Ambiental y de Gestión Social son:

1. Resumir los impactos potenciales ambientales y socioeconómicos causados por el proyecto (concentradora) tal como se identificaron en el EIA.
2. Definir las medidas que se aplicarán para reducir estos impactos ambientales potenciales.
3. Establecer procedimientos de control para controlar la eficacia de las medidas de reducción.
4. Delinear un Proyecto de Relaciones Comunitarias y de Desarrollo Social.
5. Resumir un plan de respuesta de emergencia para la operación de las instalaciones.

La construcción y operación de la concentradora tendrán efectos sobre el medio ambiente. El proceso (EIA) identificó diez aspectos del medio ambiente que podrían verse afectados por la operación de la concentradora. Los impactos específicos en el medio ambiente que podrían ocurrir debido a la operación del equipo dentro del área de flotacion y las estrategias de reducción implementadas para afrontar los impactos ambientales potenciales son delineados más abajo.

5.7.2.- RESPONSABILIDADES DEL OPERADOR

La concentradora será operada dentro de las condiciones del Plan Ambiental y de Gestión Social. Es responsabilidad de todo el personal de la planta concentradora:

1. Familiarizarse con las indicaciones del Plan Ambiental y de Gestión Social especialmente con aquellas relacionadas a los impactos sobre la calidad del aire, la calidad de agua subterránea y contaminación de suelos.
2. Asegurarse de una operación apropiada de equipo de planta que es instalado para reducir o controlar los efectos de la operación de la concentradora sobre el medio ambiente.
3. Conducir las actividades de mantenimiento y operaciones de tal manera haya un impacto mínimo sobre el medio ambiente y reducir los efectos que se presenten.
4. Entender y seguir las indicaciones establecidas por SMCV para el manejo y disposición de los residuos sólidos y líquidos así como las sustancias nocivas.
5. Reconocer, reaccionar, e informar de los problemas ambientales de una manera oportuna.

5.7.3.- REQUERIMIENTOS DE REPORTES

Los derrames deben ser informados al departamento ambiental que tomará una determinación de los procedimientos requeridos de reducción.

La concentradora está diseñada para reducir los efectos de los derrames más comúnmente encontrados. Estas características de diseño consisten en pisos de concreto dentro de las áreas de operación de la concentradora y de las instalaciones contenedoras para almacenamiento de reactivos.

Los derrames de materiales que impactan en el terreno nativo necesitan ser informados inmediatamente:

1. Derrames de agua y pulpa del proceso que impactan en terreno nativo dentro del área de la concentradora.
2. Derrames de aceite sustancias químicas y reactivos que impactan en terreno nativo en cualquier lugar dentro de la instalación de la instalación.

5.8.- RESPONSABILIDADES DEL OPERADOR**5.8.1.- LISTA DE VERIFICACIÓN DEL OPERADOR**

- La Supervisión y el operador debe conocer, difundir, instruir, cumplir y hacer cumplir el Procedimiento Puesta en Marcha de Equipos.
- El operador es el responsable del área y debe cumplir y hacer cumplir la totalidad de las normas establecidas en el presente procedimiento; informar a la Supervisión cualquier anomalía relacionada con el tema y especialmente aquellas que pudiesen poner en riesgo la integridad de las personas, equipo, propiedad y/o medio ambiente.
- Los operadores no pueden operar, poner en marcha o autorizar la puesta en marcha de ningún equipo para el cual no se haya proporcionado un entrenamiento adecuado.
- "Todas las poleas de impulsión, engranajes, correas, cadenas y otras partes móviles de las maquinarias y equipos deberán estar encerradas o cubiertas con protecciones adecuadas".

5.8.1.1.- DOCUMENTOS RELACIONADOS

- Reglamento Sistema de Bloqueo y Tarjeteo de Equipos
- Procedimiento Aviso en Caso de Emergencia
- Procedimiento Control de Incendios en la Planta Concentradora
- Manual de Bloqueo
- Tareas del Operador del área correspondiente

5.8.1.2.- RESTRICCIONES

- "Cada vez que se efectúe la mantención y reparación de maquinarias o equipos y antes de que sean puestos en servicio, deberán ser colocados todos sus dispositivos de seguridad y sometidos a pruebas de funcionamiento que garanticen el perfecto cumplimiento de su función.
- No retire o dañe deliberadamente ningún dispositivo, protección o advertencia que se haya proporcionado para la seguridad de las personas.
- Nunca ponga las manos, herramientas ni otros objetos de manera tal que puedan quedar atrapados durante la puesta en marcha.

- No apoyar herramientas en las estructuras, las cuales producto de la vibración pueda caer y quedar atrapadas en algún equipo que se encuentre en servicio o durante su puesta en marcha.
- En caso de emergencia, se debe solicitar al Supervisor de Control o al Técnico Operador Planta la detención inmediata del proceso de puesta en marcha del equipo o el operador detenerlo desde terreno mediante la parada de emergencia o pull cord según corresponda y actuar de acuerdo al tipo de emergencia.

5.8.2.- MONITOREO DEL PROCESO

- Verificar la energización de los equipos.
- Verificar los accesos, passwords.
- Solo personal autorizado debe ingresar a la manipulación de los equipos, desde los programas de cada equipo.
- Los parámetros de operación solo pueden ser cambiados por personal autorizado y difundir el cambio para conocimiento de todos.

5.8.3.- REGISTROS DEL OPERADOR

- Un enclavamiento representa la detención o puesta en marcha automática de los equipos, basándose en condiciones asociadas con otros equipos o instrumentos. Ej.: La bomba de alimentación de agua al estanque de agua fresca se pone en servicio si el sensor mide un cierto nivel mínimo.
- El operador del área debe realizar un chequeo pre-operacional previo a dar la autorización y/o puesta en marcha de cualquier equipo; cualquier anomalía detectada debe ser informada al Jefe de Turno, Supervisor de Control o al Técnico Operador Planta.
- El operador del área es la única persona responsable de poner en marcha los equipos o autorizar la puesta en marcha al Supervisor de Control o Técnico Operador Planta, según corresponda.
- Al aproximarse a cualquier equipo que no se encuentre funcionando, hágalo como si éste pudiera comenzar a operar en cualquier momento, a menos que usted haya solicitado su desenergización y procedido de acuerdo al Reglamento Sistema de Bloqueo y Tarjeteo de Equipos y al Manual de Bloqueo.

- Todos los equipos de la Planta Concentradora parten en forma remota desde la Sala de Control, ya sea por que es puesto en servicio por el Supervisor de Control o el Técnico Operador Planta o por una condición dada con un lazo de control.

5.8.4.- ORDEN, MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA

- Hacer limpieza y mantener el orden de los equipos y de los accesos.
- No se considera un trabajo terminado sino se hace la limpieza correspondiente.
- Se debe anotar los cambios y problemas suscitados en la operación del turno para conocimiento de la guardia entrante.

5.8.5.- VERIFICACIONES DE SEGURIDAD

- Cualquier operador puede detener un equipo en caso de emergencia, aún no siendo éste el operador del área; debe informar en forma inmediata a la Sala de Control.
- En caso de emergencia, se debe solicitar al Supervisor de Control o al Técnico Operador Planta la detención inmediata del proceso de puesta en marcha del equipo o el operador detenerlo desde terreno mediante la parada de emergencia o pull cord según corresponda y actuar de acuerdo al tipo de emergencia.
- En todas las áreas se proporciona extintores de incendio y equipos contra incendio; infórmese donde se encuentran éstos equipos y familiarícese con las vías de escape o salidas de emergencia.
- No se debe usar la ropa suelta, especialmente las camisas y las mangas enrolladas, con el objeto de evitar que puedan ser atrapadas en los equipos en movimiento.
- No se debe usar anillos o joyas.
- Se prohíbe el uso de pelo largo sin estar debidamente atado y recogido en el casco de manera de evitar riesgos de atrapamiento.
- En caso de emergencia, se debe solicitar al Supervisor de Control o al Técnico Operador Planta la detención inmediata del proceso de puesta en marcha del equipo o el operador detenerlo desde terreno mediante la parada de emergencia o pull cord según corresponda y actuar de acuerdo al tipo de emergencia.

5.8.6.- CONSUMIBLES DE OPERACIÓN

- Verificar y reportar las reparaciones y cambios para la operación continua.
- Mantenimiento de planta y los planners deben verificar los cambios de las partes de desgaste.

5.8.7.- RESPUESTA A CONDICIONES ANORMALES Y MAL FUNCIONAMIENTO DEL NIVEL AUTORIZADO

- Ante cualquier parada imprevista de los equipos se debe reportar a la supervisión para tener el apoyo correspondiente.
- Llenar reporte de incidentes y hacer los seguimiento correctivos.
- Cada supervisor es responsable de lo que ocurra en su planta.