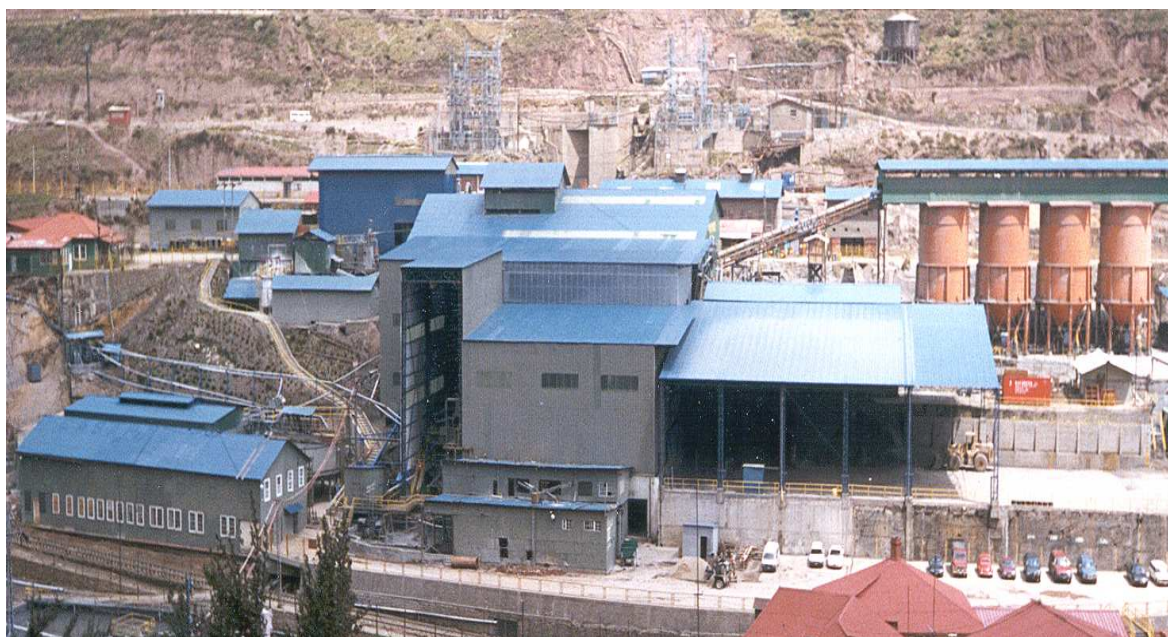


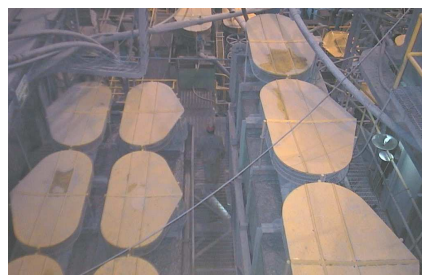


EMPRESA MINERA LOS QUENUALES S.A.
UNIDAD MINERA YAULIYACU

PLANTA CONCENTRADORA



MANUAL DE FLOTACIÓN



CASAPALCA - 2004

INTRODUCCIÓN

Los procesos de concentración por flotación juegan un rol preponderante en la recuperación de especies valiosas desde sus respectivas menas. El número de variables que inciden sobre los resultados metalúrgicos obtenidos a través de la aplicación de este proceso a una mena en particular, es muy extenso; En muchas ocasiones se denomina como un proceso complejo

Por intermedio de los Supervisores de Operaciones de la Planta Concentradora se ha desarrollado este manual denominado **FLOTACIÓN DE MINERALES**, dirigido para el uso de operadores, y todos que laboran en la planta concentradora

El manual contiene conceptos elementales de la sección más importante de la Planta Concentradora como es la “Flotación de Minerales”. Se comenta problemas típicos y su posible solución que se presentan en la operación diaria, dichos aspectos debe poseer el operador para mejorar su rendimiento y eficacia en su actividad diaria que realiza

Un empleo inteligente y consecuente de todas las recomendaciones contenido en este manual, asegurará a usted realizar un trabajo con seguridad y eficiencia

Es muy importante que este manual se encuentre siempre al alcance, para consultas, hasta lograr familiarizarse completamente con su contenido, cualquier duda consultar con el autor u otro supervisor

BRAVO GÁLVEZ, Antonio César
Supervisor de Operaciones
Ingeniero Metalurgista CIP: 66587

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| Introducción | |
| Tabla de contenidos | |
| I. FUNDAMENTOS DE LA FLOTACIÓN | |
| 1.1 Flotación de minerales (hidrofilicos y hidrofóbicos) | 4 |
| 1.2 Proceso de flotación por espumas | 4 |
| 1.3 Elementos de la flotación (fase sólida, líquida y gaseosa) | 5 |
| 1.4 Factores que intervienen en la flotación: a. La pulpa; pulpa espesa, pulpa muy fina | 6 |
| b. El aire; c. Los reactivos | 7 |
| d. Agitación | 8 |
| II. REACTIVOS DE FLOTACIÓN | |
| Clasificación de los reactivos | 9 |
| 2.1 Espumantes | 9 |
| 2.2.1 Clasificación de los espumantes; a. Básicos b. Ácidos c. Neutros | 10 |
| 2.2 Colectores | 11 |
| a. Poder colector y selectividad | 12 |
| b. Xantatos. Xantato amilico de potássio Z-6. Xantato isopropilico de sodio Z-11 | 13 |
| 2.3 Modificadores: A. Depresores. | 14 |
| Cianuro de sodio, NaCN | 15 |
| Bisulfito de sodio y sulfato de zinc, ZnSO ₄ | 16 |
| Bicromato de sódio. B. Activadores o reactivadores | 17 |
| Sulfato de cobre | 18 |
| C. Reguladores de pH, Cal | 19 |
| Efectos de los reactivos | 20 |
| III. CIRCUITOS DE FLOTACIÓN Y EQUIPOS | |
| 3.1 Funciones de la celda de flotación: Zona de mezcla, de separación, de espumas | 22 |
| 3.2 Tipos de celdas de flotación | 22 |
| A. Celdas mecánicas | 22 |
| Características generales de las celdas Sub-A | 23 |
| Celdas agitair | 24 |
| B. Celdas neumáticas | 24 |
| B.1 Cuidados principales en las celdas y bancos de flotación | 25 |
| B.2 Uso de máquinas de flotación de gran volumen | 25 |
| B.3 Celdas outokumpu | 26 |
| Zonas funcionales de las celdas outokumpu | 27 |
| El corazón de las maquinas de flotación outokumpu, resultados económicos | 28 |
| 3.3 Equipos auxiliares. A. Potenciómetro | 29 |
| B. Alimentadores de reactivos, partes funcionamiento | 30 |
| C. Acondicionadores, partes | 31 |
| IV. CONTROLES DE FLOTACIÓN | |
| 4.1 Variables operativas del proceso de flotación | 32 |
| 4.2 Alimentación de reactivos | 34 |
| 4.3 Columna de espuma | 35 |
| 4.4 Lavado de plato | 35 |
| 4.5 El agua en los canales | 35 |
| 4.6 Cuidados de operación | 36 |
| 4.7 Controles metalúrgicos | 36 |
| 4.8 Recuperación y radio de concentración | 37 |
| V. RECOMENDACIONES GENERALES | |
| Limpieza y Seguridad | 38 |
| Flowsheet de otras plantas concentradoras | 39 |
| Flowsheet de la sección flotación | 40 |

I. FUNDAMENTOS DE LA FLOTACIÓN

1.1 FLOTACIÓN DE MINERALES

La flotación por espumas es un proceso físico - químico de la concentración de minerales finamente molidos. El proceso comprende el tratamiento químico de una pulpa de mineral a fin de crear condiciones favorables para la adhesión de ciertas partículas de minerales a las burbujas de aire. Tiene por objeto la separación de especies minerales, divididos a partir de una pulpa acuosa, aprovechando sus propiedades de afinidad (hidrofílico) o repulsión (hidrofóbico) por el agua. Las especies valiosas o útiles constituyen una fracción menor del mineral, mientras que las especies no valiosas o estériles constituyen la mayor parte

El carácter hidrofílico o de afinidad hace que estas partículas se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa, para finalmente hundirse. El carácter hidrofóbico o de repulsión evita el mojado de las partículas minerales que pueden adherirse a las burbujas y ascender

Estas propiedades de algunos minerales tienen en forma natural, pero pueden darse o asentarse mediante los reactivos de flotación

MINERALES HIDROFÍLICOS

Son mojables por el agua, constituidos por: óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros, que generalmente representan la mayoría de los minerales estériles o ganga. Haciendo que se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa para finalmente hundirse

MINERALES HIDROFÓBICOS

Son aquellos minerales que no son mojables o son poco mojables por el agua, dentro de ellos tenemos: Los metales nativos, sulfuros de metales o especies tales como: Grafito, carbón bituminoso, talco y otros, haciendo de que evite el mojado de las partículas minerales, que pueden adherirse a las burbujas de aire y ascender

Además se puede observar, que los minerales hidrofóbicos son aerofílicos, ósea tienen afinidad con las burbujas de aire, mientras que los minerales hidrofílicos son aerofóbicos, ósea no se adhieren normalmente a ellas

1.2 PROCESO DE LA FLOTACIÓN POR ESPUMAS

Los minerales hidrofílicos e hidrofóbicos de una pulpa acuosa se pueden separar entre sí, después de ser finamente molidos y acondicionado con los reactivos químicos que hacen mas pronunciadas las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas, haciendo pasar burbujas de aire a través de la pulpa. Las partículas hidrofílicas se van a mojar y caer al fondo de la celda de flotación. De esta forma se puede separar un mineral que contiene en los casos más simples dos componentes, un útil y otra estéril, en dos productos: un concentrado de la parte valiosa y un relave que contiene la parte estéril

La flotación funciona de la siguiente manera:

La flotación es algo similar al lavado de ropa con los detergentes. **Ejemplo:** Tomemos un recipiente con agua y un poco de detergente, y agitamos un poco; al agitar se produce una espuma blanca. Si ponemos ropa para lavar, entonces la espuma se tiñe de oscuro. ¿Qué ha ocurrido? Simplemente que las partículas de suciedad se han pegado a las burbujas y las han teñido

La flotación es muy similar, ya que las partículas de los sulfuros se pegan a las burbujas en idéntica forma

La sección de flotación es importante porque:

Después de haber chancado y molido el mineral, ¿hemos obtenido ya los concentrados?... claro que NO. Entonces, ¿Dónde se obtienen los concentrados? En la flotación

Veamos mejor esto;

Tenemos en un vaso un poco de pulpa del overflow de los hidrociclones ¿Qué hay en esta pulpa? En esta pulpa hay una infinidad de granitos con valor y sin valor, pero completamente mezclados, entreverados. Entonces lo que tenemos que hacer ahora es seleccionar todos los granitos de sulfuro de cobre a un lado, separar los granitos de sulfuro de plomo a otro lado, y lo mismo con las partículas sulfuro de zinc. Cada uno de estos sulfuros constituye un concentrado y lo que botamos es el relave. Esto quiere decir que en las celdas de flotación es donde verdaderamente se realiza la concentración y por lo tanto, es la parte más importante del proceso de concentración

1.3 ELEMENTOS DE LA FLOTACIÓN

FASE SÓLIDA: Esta representada por los sólidos a separar (minerales) que tienen generalmente una estructura cristalina. Esta estructura es una consecuencia de la comparación química de las moléculas, iones y átomos componentes que son cada uno, un cuerpo completo. Los factores de importancia en el proceso de flotación, en lo que se refiere a los sólidos, son los siguientes:

- a. Carácter de la superficie aireada en la ruptura del sólido (Tipo de superficie, fuerzas residuales de enlaces)
- b. Imperfecciones en la red cristalina
- c. Contaminantes provenientes de los sólidos, líquidos y gases

FASE LIQUIDA: Es el agua debido a su abundancia y bajo precio; y también debido a sus propiedades específicas, constituye un medio ideal para dichas separaciones

La estructura de una molécula de agua investigada por espectroscopia es bastante compleja; aparece que aproximadamente el 46% de los enlaces es covalente y 54% es iónico

Finalmente hay que subrayar la importancia de las impurezas y contaminaciones que tiene toda agua natural o industrial. En primer lugar hay que mencionar la dureza del agua ósea la contaminación natural causada por sales de calcio, magnesio y sodio. Estas sales y otro tipo de contaminaciones no solo pueden cambiar la naturaleza de la flotabilidad de ciertos minerales sino también son casi siempre causa de un considerable consumo de reactivos de flotación con los cuáles a menudo forman sales solubles

A parte de la contaminación inorgánica también la contaminación orgánica que puede ser mucho más importante y peligrosa, particularmente si se trata de aguas servidas

FASE GASEOSA: Es el aire que se inyecta en la pulpa neumática o mecánicamente para poder formar las burbujas que son los centros sobre los cuales se adhieren las partículas sólidas

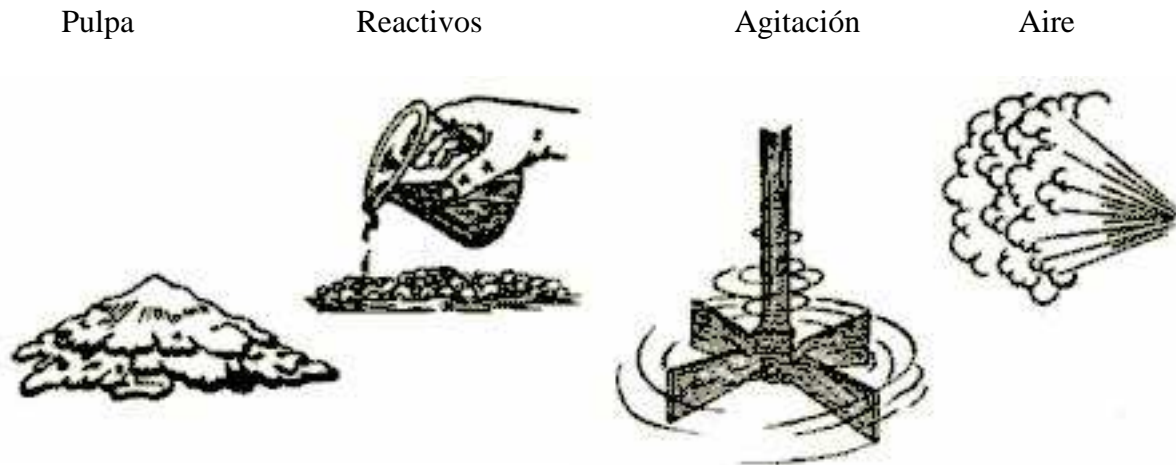
La función del aire en la flotación tiene distintos aspectos de los cuales los principales son:

- a. El aire influye químicamente en el proceso de flotación
- b. Es el medio de transporte de las partículas de mineral hasta la superficie de la pulpa

El aire es una mezcla de nitrógeno (78.10%) y oxígeno (20.96%) con pequeñas cantidades de dióxido de carbono (0,04%) y gases inertes como argón y otros

1.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA FLOTACIÓN

En toda operación de flotación intervienen cuatro factores principales, que son:



a. LA PULPA

Es una mezcla del mineral molido con el agua, y viene a constituir el elemento básico de la flotación ya que contiene todos los elementos que forman el mineral

La pulpa debe reunir ciertas condiciones, es decir que el mineral debe estar debidamente molido a un tamaño no mayor de la malla 48, ni menor a la malla 270, dentro de este rango de tamaño de partículas, se podrá recuperar de una manera efectiva las partículas de los sulfuros valiosos (Esto depende básicamente de la mineralogía de tipo de mineral)

Cuando la pulpa contiene partículas gruesas (mayores a malla 48), debido a una mala molienda, estas partículas tiende a sentarse en el fondo de las celdas de flotación y pueden llegar a plantar el impulsor de la celda, atorar la tubería y causar más trabajo que de costumbre (rebasarían los canales, se atorarían las bombas etc.)

Si la pulpa contiene partículas muy finas (menores a malla 270), la recuperación de los sulfuros valiosos no va ser efectiva ya que se perderían en forma de lamas. Al estar la pulpa aguada, el flotador debe cuidar de que las espumas salgan normalmente de los bancos de limpieza y que no bote mucha espuma en el banco scavenger. Si la pulpa está muy fina, a la vez debe estar muy diluida, significa que estamos pasando menos tonelaje por lo tanto estamos perdiendo capacidad

Pulpa: El circuito de molienda nos entrega, el overflow de los ciclones, un producto al que se le ha chancado y molido y que contiene sulfuros valiosos, ganga y agua; a esto nosotros llamamos pulpa. La pulpa debe cumplir ciertas condiciones tales como: Densidad y pH correcto según se requiera

Pulpa espesa; Una pulpa espesa (densidad muy alta) nos indicará molienda gruesa. Si esta pulpa ingresa a los circuitos de flotación, veremos que no flota o flota muy poco, debido a que los reactivos y el aire no pueden levantar granos muy grandes aún cuando se agregan cantidades enormes de reactivos. Además, se perderían también los sulfuros valiosos en los relaves, por falta de liberación

Una **pulpa muy fina** implica que tenemos una pulpa de densidad baja y significará que está pasando menos tonelaje. Si bien la cantidad de pulpa que llega a las celdas es igual, contiene menos sólidos, ya que es una pulpa aguada. Esto quiere decir entonces que hay fuertes pérdidas de tonelaje. Además, cuando la pulpa es muy fina hay exceso de lamas que dificultan la flotación; ensuciando los concentrados, unas veces, y los relaves en otras

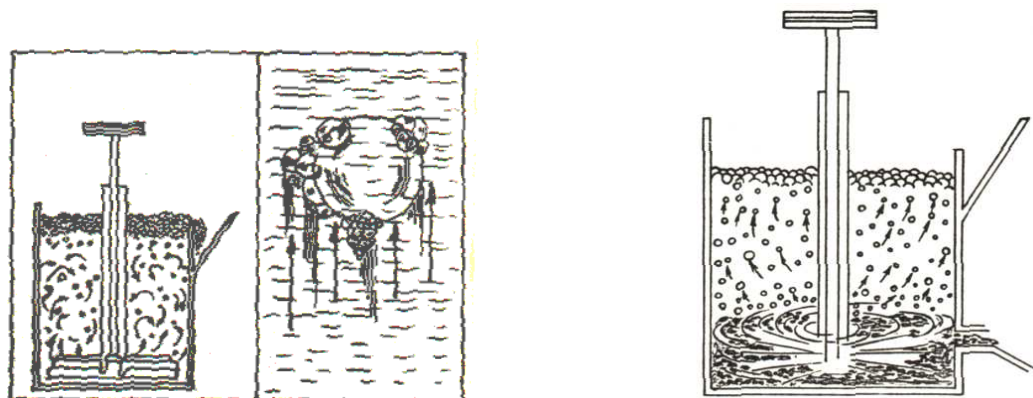
El **pH indica** la cantidad de cal que contiene el circuito de flotación, esto es, su alcalinidad; a más cal, la pulpa es más alcalina; a menos cal, menos alcalina. En otras palabras el pH no es sino la forma de medir la cal en la pulpa. El factor pH se mide de 0 a 14, con un aparato llamado Potenciómetro; de 0 a 6 es ácido y de 8 a 14 es alcalino. El pH 7 es neutro (ni alcalino ni ácido) y corresponde al agua pura

b. EL AIRE

Es un factor importante que sirve para la formación de las burbujas (el conjunto de burbujas acompañadas de partículas de sulfuros forman las espumas) que se necesita en las celdas. Por tanto, el aire ayuda a agitar la pulpa

Las espumas se encargan de hacer subir o flotar los elementos valiosos hacia la superficie de la pulpa, en cada celda o circuito

- El aire se obtiene a través de los ventiladores (Blowers) que ingresa a baja presión ($2-6 \text{ lb/pulg}^2 = 2-6 \text{ PSI}$) al interior de las celdas de flotación llenas de pulpa. O También la aeración en los tipos de celdas Sub – A es en forma natural o del medio ambiente que ingresan a baja presión al interior de la celda
- Si se usa mucho aire, se está haciendo una excesiva agitación, provocando que las espumas se reviente antes de rebosar por los labios de la celda o salgan conjuntamente con la pulpa, rebalsando las celdas, llevándose consigo a la ganga que no es necesaria
- Cuando se usa poco aire, la columna de espumas es baja e insuficiente no pudiéndose recuperar los elementos valiosos, que se pierden en el relave general. La cantidad de aire se regula de acuerdo a las necesidades requeridas en el proceso



En conclusión, no se debe usar ni mucho ni poco aire. El correcto control del aire y la altura de las compuertas nos darán siempre una buena espuma. (Con un espumante bien regulado)

c. LOS REACTIVOS

Son sustancias químicas que sirven para la recuperación de los sulfuros valiosos, despreciando o deprimiendo a la ganga e insolubles. Mediante el uso de reactivos podemos seleccionar los elementos de valor en sus respectivos concentrados

Para tener un mayor conocimiento de la función específica de cada reactivo, los podemos clasificar en tres grupos: Espumantes, Colectores y modificadores; que posteriormente lo estudiaremos en forma muy detallada todo lo referente a los reactivos químicos

Ya sabemos que en cualquier celda de flotación encontramos agua, aire, mineral molino y reactivos. Estos reactivos son sustancias que gustan y se asocian a uno o más de los

elementos valiosos, pero no a los otros. Por *ejemplo*, hay reactivos que les gusta el aire pero no el agua; hay otros sulfuros que les gusta la roca, pero no los sulfuros, a otros les gustan los sulfuros, pero no la roca y así sucesivamente

Y.. ¿Qué hacemos cuando nos gusta una cosa? Por *ejemplo*: Si nos gusta el pisco... nos tomamos un trago ¿no es así? Si nos gusta el calor nos acercamos al fuego. Los reactivos hacen lo mismo; se acercan al elemento que más les gusta, lo rodean y se pegan a él

He aquí un *ejemplo* que nos aclara más: “Si tenemos una gallina que no ha comido desde hace dos días y la soltamos en un coral donde hemos esparcido unos granos de maíz y granos de mineral, ¿qué cosa comerá? el maíz ¿Por qué? Sencillamente porque le gusta el maíz. En la flotación, los reactivos hacen lo mismo que la gallina, se pegan al elemento que más les atrae, ya sea la roca, los sulfuros, el agua o el aire

d. LA AGITACIÓN

La agitación de la pulpa nos permite la formación de las espumas de aire para la flotación, y además nos sirve para conseguir la mezcla uniforme de los reactivos con los elementos que constituyen el mineral de la pulpa, dentro de la celda. Además, la agitación, nos evita el asentamiento de los sólidos contenidos en la pulpa

Si tomamos en un vaso un poco de rebalse del ciclón y lo dejamos sobre una mesa sin agitarlo, veremos que al cabo de un cierto tiempo todas las partes sólidas se han asentado en el fondo. Si en estas condiciones agregamos un poco de reactivo, ¿Cree usted que se mezclará con todas las partículas? Evidentemente que no. Pero si luego agitamos esta 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

En resumen, podemos decir que la agitación hace los siguientes trabajos:

- No dejar que las partículas se asienten, manteniéndose suspendidos
 - Permite una mayor mezcla de los reactivos con la pulpa
- a. La agitación en una celda de flotación debe ser moderada. Si *es excesiva* rebalsa pulpa en lugar de espumas, también hace que se rompan las burbujas y si *es insuficiente* se achica la espuma y no alcanza a rebalsar
 - b. Cuando la agitación es insuficiente, se disminuye la columna de espuma y no alcanza a renvalsar las espumas se achican y esto ocurre cuando los impulsores están gastadas o cuando hay poco aire (tubos de aire atorados)
 - c. Hay deficiencia de agitación de la pulpa en una celda, cuando:
 - El impulsor de la celda esta gastada
 - El estabilizador esta malogrado
 - Las fajas en “v” del sistema de movimiento (polea motriz y polea del árbol de agitación) están demasiado flojas, lo cual hace que la velocidad del impulsor disminuya



II. REACTIVOS DE FLOTACIÓN

Los reactivos de flotación juegan un papel importante en este proceso. Estos al ser añadidos al sistema cumplen determinadas funciones que hacen posible la separación de los minerales valiosos de la ganga. Sin embargo la aplicación adecuada de estos reactivos no siempre resulta una tarea fácil debido a una serie de dificultades técnicas que se presentan durante el proceso. En flotación el rendimiento de los reactivos, sean colectores o espumantes, depende mucho de la composición y constitución mineralógica de la mena

Los reactivos utilizados para el acondicionamiento favorable del proceso, constituyen los llamados **Agentes de Flotación**. La selección y combinación apropiada de los mismos para cada tipo de mineral particular, constituye precisamente el principal problema del metalurgista a cargo de la operación

CLASIFICACIÓN DE LOS REACTIVOS

Los reactivos o agentes de flotación se clasifican en:

- ⇒ **Espumante.** Tienen como propósito la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta su extracción de la máquina de flotación (celdas)
- ⇒ **Colector.** Es el reactivo fundamental del proceso de flotación puesto que produce la película hidrofóbica sobre la partícula del mineral
- ⇒ **Modificadores.** Actúan como depresores, activadores, reguladores de pH, dispersores, etc. Facilitando la acción del colector para flotar el mineral de valor, evitando su acción a todos los otros minerales como es la ganga

2.1 ESPUMANTES

Tiene como propósito la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta su extracción de las celdas de flotación



Son sustancias tensoactivas heteropolares que pueden adsorberse en la superficie de separación agua-aire. A los espumantes corresponde la creación de una espuma y que por este hecho, permite la separación de las partículas hidrófobas e hidrófilas

El objetivo principal de los espumantes es dar consistencia, rodeando de una capa adsorbida a las pequeñas burbujas de aire que se forman en la pulpa, por agitación o inyección de aire, evitando que se unan entre sí (colalescencia) y que cuando salgan a la superficie no revienten, constituyendo las espumas; además, dar elasticidad, ayudando a las burbujas ascendentes a irrumpir a través de la capa superior del agua, emergiendo intactas en la interfase agua-aire

En la fase líquida de la pulpa de flotación su acción eleva la resistencia mecánica de las burbujas de aire, favorece su conservación en estado disperso, aumentando de esta forma la superficie de adherencia de las partículas de mineral flotante y la estabilidad de la espuma de flotación.

La estabilidad de las espumas constituye la primera cualidad que un espumante debe conferir a una pulpa mineral. G. Brown, C. Thurman y Mac Bain han demostrado que la estabilidad

de las espumas aumenta con una viscosidad creciente y la permeabilidad decreciente de la película líquida. La práctica de la flotación muestra, en efecto que una espuma cargada de pequeñas partículas es mucho más estable que una espuma vacía, en fin es necesario subrayar que la estabilidad de una espuma depende de la temperatura y también del pH de la pulpa

Los espumantes realizan el siguiente trabajo:

A los reactivos espumantes les gusta el aire. Ud. recuerda que a los reactivos les gusta más un elemento que los otros; pues bien, a los espumantes les gusta mucho el aire y poco el agua. ¿Qué quiere decir esto en una celda de flotación? Veamos

Sabemos que a una celda de flotación se le inyecta aire por el eje de la máquina dentro del agua, debido al movimiento de la mariposa, o por la agitación producida por el mismo aire, resulta que el aire introducido se desmenuza en pequeñísimas burbujas que van subiendo a través de la pulpa

Ahora, cuando ponemos uno de los reactivos espumantes, dentro de una pulpa con agua, donde se inyecta aire, ¿Qué es lo que pasa?

Como al espumante le gusta el aire, entonces sucede que este reactivo se acerca a las burbujas de aire y las rodea cubriéndolas completamente con una capa muy delgada. En otras palabras, él espumante forma una capa alrededor de las burbujas de aire, impidiendo que las pequeñísimas burbujas se junten unas con otras formando grandes burbujas que subirían rápido a la superficie y reventarían. Al contrario, con esta capa de espumante alrededor de ellas, las burbujas de aire muy pequeñas se protegen unas de otras y cuando llegan a la superficie, dicha capa de espumante impide que revienten muy pronto

¿Qué ocurriría si no se utiliza espumante?

- Se reventarían las burbujas
- No habría espumas
- No habría flotación y se ensuciarían los relaves

¿Qué sucede cuando se alimenta una cantidad excesiva de espumantes?

Un exceso de reactivo espumante, no solamente representa un despilfarro, sino que durante la flotación vamos a tener serios problemas, debido a que se producirán muchas espumas y rebalsarán los canales; también pueden ensuciarse los concentrados

¿Qué pasa cuando no se alimenta suficiente cantidad de espumantes?

Una insuficiente cantidad de espumante nos dará una columna de espuma muy baja y los sulfuros pasarán al relave, la flotación será deficiente

2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ESPUMANTES

En dependencia de la eficacia de acción de los espumantes con diversos valores del pH de la pulpa, éstos se dividen en:

- a. **BÁSICOS:** Los que poseen una propiedad espumígena máxima en pulpas alcalinas. A los que espumantes principales pertenecen las bases de piridina pesadas, que poseen una elevada propiedad espumígena en medios muy alcalinos
- b. **ÁCIDOS:** Los que disminuyen sus propiedades espumígenas a medida de que se incrementa la alcalinidad de la pulpa. A los espumantes ácidos pertenecen los reactivos fenólicos (cresol, xilenol, aceites de madera que contienen fenol y otros) y los alquilarsulfonatos (detergentes y azolatos)
Puesto que la flotación de los minerales se efectúa generalmente en pulpa alcalina, en la práctica de enriquecimiento los agentes espumantes ácidos se conocen como débiles, pero en su mayoría son reactivos bastante selectivos

En la actualidad todos los espumantes fenólicos (cresoles, xilenoles y otros) están excluidos de la práctica de flotación de las menas de los metales no ferrosos, debido a su alta toxicidad

- c. NEUTRO.** Cuyo empleo en la flotación no depende prácticamente del pH de la pulpa. Es el grupo más considerable de agentes espumantes por su cantidad e importancia

Es racional subdividirlos en tres grupos:

1. Los reactivos que constituyen alcoholes aromáticos y alicíclicos; corresponden las sustancias que contienen terpineol, las que se hallan en diversos aceites de madera (Aceite de pino) y algunos espumantes sintéticos del tipo ciclohexanol, dimetilfenilcarbinol, terpineol sintético (aceite de terpinoleno) y otros
2. Reactivos que contienen alcoholes alifáticos; que son sustancias individuales o mezclas de alcoholes, que se obtiene como productos secundarios durante el procesamiento de diversos compuestos químicos o de una producción especial
3. Reactivos que contienen sustancias con enlaces éteres, le corresponden los monoéteres de polipropilenglicoles, polialcoxialcanes y dialquifitalatos

La combinación de los reactivos da unos excelentes resultados, sobre todo cuando uno de los reactivos aumenta la solubilidad del otro

La función más importante del espumante es de mantener una espuma estable que permite remover el concentrado de las celdas de flotación; también tienen valiosos efectos en los circuitos de flotación tales como:

- La formación de burbujas finas que mejora la dispersión de las burbujas de aire en la celda de flotación
- Previene la coalescencia; fusión o unión de las burbujas de aire separadas
- Disminuye la velocidad de la burbuja hacia la superficie de la pulpa
- Aumenta la resistencia de la película de la burbuja y la estabilidad de la espuma formada, cuando las burbujas mineralizadas salen hacia la superficie
- Afecta la acción del colector

2.2 COLECTORES

Son compuestos químicos orgánicos, cuyas moléculas contienen un grupo polar y uno no-polar. El anión o catión del grupo polar permiten al ión del colector quedar adsorbido a la superficie también polar, del mineral. Por el contrario, el grupo no-polar o hidrocarburo queda orientado hacia la fase acuosa hidrofugando el mineral, ya que tal orientación resulta en la formación de una película de hidrocarburo hidrofóbico en la superficie del mineral. Por consiguiente, las partículas de mineral hidrofobadas por una película de colector se adhieren a las burbujas de aire que van subiendo, arrastrando consigo el mineral a la superficie de la pulpa

Estos reactivos se asocian más a los sulfuros y al aire, pero muy poco a la ganga. En los acondicionadores y celdas de flotación actúan rápidamente sobre los sulfuros, a los que rodean con una película que se pegan a las burbujas de aire que salen a la superficie de la pulpa formando las espumas de los concentrados. Ósea actúan de enlace, como ganchos entre las burbujas de aire y el sulfuro que queremos recuperar

En la adsorción de los colectores sobre la superficie del mineral la parte no-polar es orientada hacia la fase del agua y la parte polar hacia la fase del mineral; esta orientación es que actualmente hace que la superficie del mineral sea impermeable

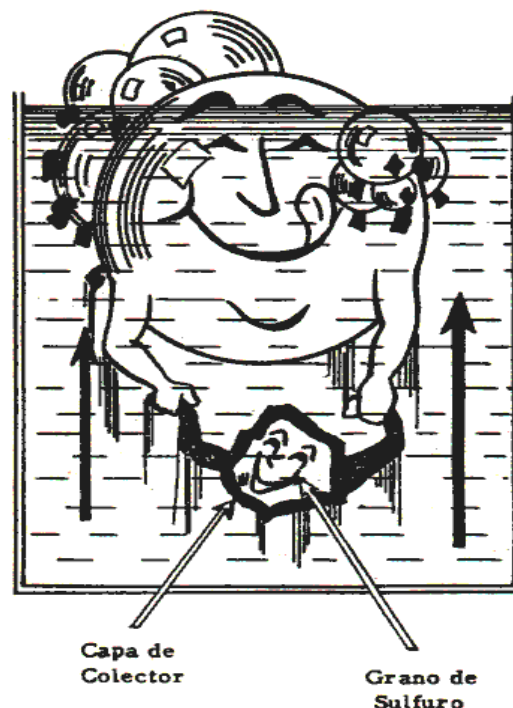
El colector se constituye, por tanto, en el factor principal del circuito de flotación. De allí que es necesaria la combinación más apropiada del colector y modificadores para obtener los mejores resultados metalúrgicos

Los colectores realizan el siguiente trabajo

Los colectores son reactivos a los cuales les gustan los sulfuros y el aire. Entonces, en una celda de flotación, actúan primero sobre los sulfuros cubriéndolos con una capa delgada y luego se pegan a una burbuja de aire que pasa cerca y viajan con ella hasta la superficie llevando consigo su carga de sulfuros

¿Qué pasa si no hay colectores?

Si no hubiera colectores, no habría quien “pegue” los sulfuros a las burbujas. En este caso, las burbujas subirían sin carga a la superficie y todos los sulfuros valiosos se pasarían al relave



¿Qué sucedería si se alimentara una cantidad excesiva de colector?

El exceso de colector hace flotar en cantidades excesivas a los materiales indeseables (pirita y roca) o a los sulfuros valiosos que se espera flotar en otros circuitos de máquinas. Por ejemplo. Ud. Sabe que en el caso del circuito de plomo se mantiene deprimido el zinc, para flatarlo en su respectivo circuito; pero un exceso de colector podría hacer flotar al zinc junto con el plomo. Igual cosa sucedería si pusieramos exceso de colector en el circuito de zinc, haría flotar a la pirita que se encuentra deprimida por la lechada de cal

¿Qué pasa si hay insuficiente cantidad de colector?

Relaves altos, porque no se recuperan los sulfuros valiosos

a. PODER COLECTOR Y SELECTIVIDAD

El **poder** colector de cualquier agente de flotación es medido por la dosis y lo compleja que resulta la flotación del mineral, por una unidad de colector empleado. Con los xantatos, esta propiedad ha sido considerada, desde hace mucho tiempo, como una función del número de átomos de carbono, mayor será el poder colector. Sin embargo, esta regla sufre algunas limitaciones

Por **ejemplo**, puesto que diferentes minerales sulfurados responden en forma distinta a la adsorción de colectores, los poderes colectores relativos de los diferentes tipos de xantatos deben variar de un mineral a otro, como ha resultado ser el caso. Así, el Z-6 se usa preferentemente en lugar del Z-3 como colector de cobre, porque contrariamente a la regla general el Z-6 flota menos fe (pirita) que el Z-3

La **selectividad** en un colector se refiere a su habilidad para recubrir en forma preferente o selectiva, y en consecuencia, flotar el mineral o minerales deseados sin flotar también los indeseados

La selectividad de los colectores, puede controlarse fácilmente mediante el uso de agentes modificadores adecuados lográndose una separación exitosa de la mayor parte de las combinaciones de minerales

b. XANTATOS

Los xantatos o xantogenatos son sales de ácido xantogénico, y se encuentran entre los primeros colectores orgánicos solubles en agua y de aquí que su adopción fuera inmediata y amplia

Los xantatos pueden oxidarse, convirtiéndose en este caso en dialquil xantogenurs. Las soluciones acuosas de los xantatos se hidrolizan formando los ácidos xantogénicos. La hidrólisis de los xantatos aumenta con la reducción del pH del medio; mientras que las soluciones acuosas de xantatos en medios alcalinos son bastante estables

Toxicidad: Los xantatos son tóxicos. La concentración límite admitida de xantatos en las aguas residuales es de 0.01 mg/l

→ XANTATO AMILICO DE POTASIO (Z - 6)

Este xantato es muy fuerte por lo que se emplea generalmente en aquellas operaciones de flotación que requieren el mas alto grado de poder colector

Es un colector muy apropiado para flotación de sulfuros manchados u oxidados de cobre, minerales de plomo (con NaS). Asimismo, se le emplea en el tratamiento de la arsenopirita, pirrotita, sulfuros de cobalto, níquel y sulfuros de hierro conteniendo oro. También se usa como promotor secundario en la flotación agotativa que sigue a una flotación “bulk”, donde se utiliza un promotor más selectivo

Cuando se emplea en las dosis adecuadas, el Z-6 puede ser más selectivo para ciertas separaciones. Así por *ejemplo*, su empleo para la flotación de minerales de cobre-hierro en una pulpa alcalina de cal ha resultado en una selectividad superior de cobre-hierro, así como una mejor recuperación de cobre

→ XANTATO ISOPROPILICO DE SODIO (Z - 11)

Este xantato ha llegado a ser el más ampliamente usado de todos los xantatos debido a su bajo costo y elevado poder colector. Generalmente es un poco mas lento que los xantatos de etílico y a menudo puede sustituirlos con una definida reducción en la cantidad y costo de colector requerido. Se han obtenido aplicaciones muy exitosas en la flotación de prácticamente todos los minerales sulfurados

Se emplea en gran escala en la flotación de cobre, plomo y zinc; minerales complejos de plomo-zinc y cobre-hierro, en los que los principales minerales sulfurados son: calcopirita, calcocita, enargita, galena, esfalerita, marmatita, pirita y pirrotita

Otra de las aplicaciones incluyen la concentración de cobre nativo, plata, oro y los sulfuros de hierro conteniendo cobalto o níquel; así como la recuperación de pirita de hierro para procesar y obtener el ácido sulfúrico

Toxicidad: Tienen baja toxicidad oral aguda. El contacto prolongado con la piel puede causar irritación externa, por eso recomienda lavarse la zona de piel afectada con abundante agua y jabón neutro durante 5 minutos. En caso de irritación a los ojos y en especial a la cornea, lavar con abundante agua durante 10 minutos y consultar al médico

→ CUIDADOS EN SU MANIPULEO (Xantatos)

Las personas que manejan físicamente los xantatos o las soluciones de estos, deben tomar las siguientes precauciones:

- Debe evitarse la llama viva o el fuego, puesto que los xantatos y algunos de sus productos de descomposición son combustibles
- Los xantatos en sí arden en forma similar al azufre

- A las personas alérgicas al xantato se les desarrolla una irritación en la piel cuando llegan a tener contacto con la solución. Por lo que se recomienda lavarse perfectamente la piel que ha estado en contacto con los xantatos
- Deben almacenarse en un lugar fresco y seco, preferentemente aislados del calor y la luz solar
- En términos generales, los xantatos deben manejarse con el mismo grado de precaución que se aconseja con otros productos químicos orgánicos normalmente empleados en las plantas de flotación

2.3 MODIFICADORES

La función específica de los reactivos modificadores es precisamente preparar las superficies de los minerales para la adsorción o desorción de un cierto reactivo sobre ellas y crear en general en la pulpa condiciones propicias para que se pueda efectuar una flotación satisfactoria. Ósea cambia o modifica la superficie de los sulfuros o de la ganga, para favorecer o impedir que los reactivos colectores actúen sobre ellos, evitando de esta manera que floten

Ya hemos visto dos clases de reactivos: Los espumantes que gustan del aire más que el agua y los colectores que gustan de los sulfuros y del aire. Hay además, otra clase de reactivos que se llaman modificadores, porque cambian o modifican la superficie de los sulfuros o de la ganga. Hay reactivos modificadores que cambian la superficie de la ganga, formando una capa alrededor de los granos de roca, lo que impide que estas partículas entren en contacto con los colectores a fin de que no se vuelvan flotables

También hay reactivos modificadores que cambian la superficie de algunos sulfuros y no de otros. Entonces, si agregamos un reactivo de este tipo, modificará solamente la superficie de cierto sulfuro y no los otros sulfuros presentes, permitiendo que floten solamente los que no han sido modificados. Esto es lo que contiene sulfuros de plomo y de zinc; si agregamos colector xantato Z-5 que no hace distinción de ninguna clase, ambos flotarán. Pero si antes de agregar el Z - 5 añadimos a la pulpa un modificador como el sulfato de zinc, este reactivo actuará sobre los granos de sulfuro de zinc, y les impedirá flotar en el momento en que se agregue el colector porque su superficie ha sido modificada. En este caso, sólo flotará el sulfuro de plomo

La lista de modificadores o agentes reguladores usados en flotación es variada; y en general, el término regulador, es aplicado a todos aquellos reactivos, los cuales no tienen tareas específicas de coacción o espumación. Estos se clasifican por su función como sigue:

- Depresores (NaCN , ZnSO_4 , NaHSO_3)
- Reactivadores o activadores (CuSO_4)
- Reguladores de pH (CaO)
- Dispersantes - Flocculantes - Sulfidizantes

A. DEPRESORES

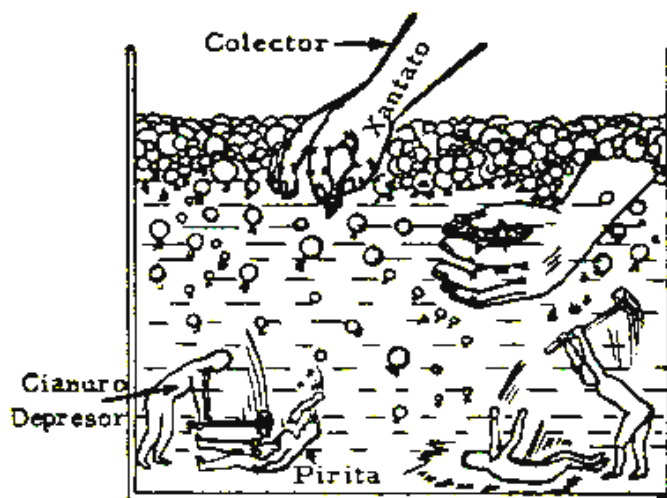
La función específica de los depresores es disminuir la flotabilidad de un mineral haciendo su superficie más hidrofílica o impidiendo la adsorción de colectores que pueden hidrofobizarla (inhibe de coacción)

Impiden la flotación de algunos sulfuros, mientras se hacen flotar otros. Los iones del depresor forman compuestos superficiales o pasan a la red cristalina por intercambio iónico para impedir la adherencia del colector, incrementar la hidratación de la superficie mineral y despegar del mineral los iones del colector. Como *ejemplo* de este tipo de

depresiones se puede citar la depresión de sulfuros de metales pesados con el ión HS y la depresión de ciertos sulfuros con el ión CN

¿Para qué sirven los reactivos depresores?

En la flotación, cuando no queremos que floten algunos sulfuros usamos los reactivos depresores. *Ejemplo:* En la flotación de plomo usamos Cianuro de sodio para que no floten ni el zinc ni la pirita. En este caso, el cianuro es un reactivo depresor porque deprime los sulfuros de zinc y de fierro



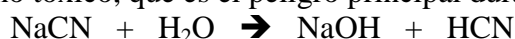
¿Qué pasaría si no hubiera depresores?

Ya sabemos que los colectores actúan sobre todos los sulfuros por igual. Si no se usaran los depresores, flotarían todos los sulfuros y no los podríamos separar. *Ejemplo:* En el caso del plomo flotarían también el zinc y la pirita

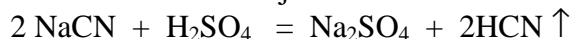
→ CIANURO DE SODIO (NaCN)

Son cristales en forma de pellets de color blanquecino, se usan para el recubrimiento y depresión de minerales sulfurados de fierro, cobre y zinc. Los iones de estos metales, forman unos complejos bien estables con el cianuro; asimismo se ha determinado que los minerales con iones metálicos, los cuales no forman tales compuestos con cianuro, por decir: el Pb, Bi, Sn, Sb y As, no son deprimidos por el cianuro. También es depresor de la sílice en medio ácido

Toxicidad: Son tóxicos muy fuertes. Siendo higroscópico, se descompone liberando el cianuro de hidrógeno tóxico, que es el peligro principal durante el trabajo con cianuros



Las soluciones ciánicas liberan vapores tóxicos. Es especialmente activo el desprendimiento del ácido cianhídrico bajo los efectos de ácidos



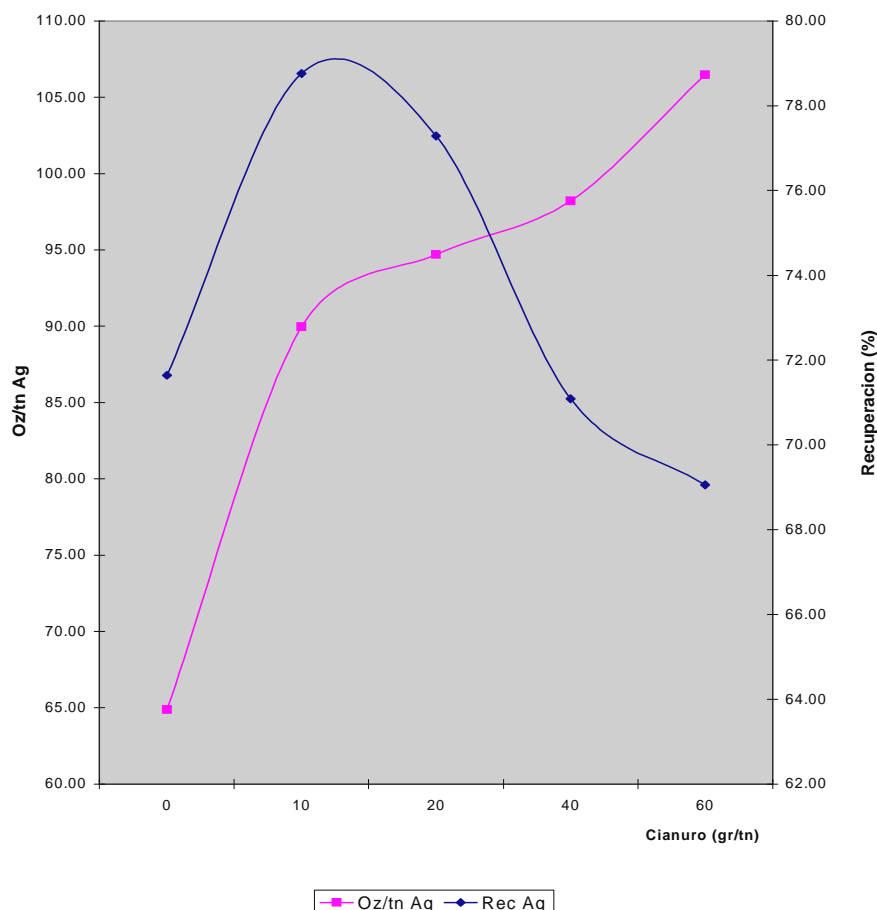
La intoxicación con cianuros puede ocurrir como consecuencia de la aspiración de polvo que se forma durante su almacenamiento, carga y descarga de los cianuros en las cubas de solución, la penetración de estas sustancias en el estómago con la comida, así como también a través de la piel, si sobre ésta hay rasguños y pequeñas heridas

La penetración en el organismo de 0.05 g de esta sustancia es mortal. Al trabajar con poco cuidado con soluciones de cianuro, aparecen llagas y eccemas crónicas en las manos

La acción tóxica del ácido cianhídrico y los cianuros se reduce principalmente a la parálisis del centro respiratorio en el sistema nervioso. El ácido cianhídrico dentro del organismo se descompone con facilidad formándose productos inocuos, por lo que, con unas dosis no letales después del primer período de intoxicación grave comienza una rápida recuperación completa

Para intoxicaciones estomacales con cianuros es menester provocar vómitos a la víctima y darle de tomar una solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, al 1%. Al intoxicarse con vapores de HCN se recomienda aspirar amoníaco. En ambos casos, al sufrir desmayo el damnificado, se recurre a la respiración artificial. La concentración límite admitida de cianuros en las residuales es de 0.1 mg/lit

EFECTO DEL CIANURO DE SODIO SOBRE LA PLATA



→ **BISULFITO DE SODIO** NaHSO_3

Es un depresor para sulfuros de zinc y hierro. Se usa en reemplazo del cianuro de sodio particularmente en minerales con contenido de plata

En la flotación de la galena se usa para controlar el exceso de oxidación. Es muy efectivo en menas que contienen cobre si no existe un agente reductor; puesto que el mineral de cobre tiende a oxidarse durante la molienda, llegando a ser más soluble. El ión cobre resultante (y/o plomo) pueden; por tanto, activar la esfalerita, originando que ella flote en el concentrado de plomo, Deprime a la marmatita y sulfuros de Fe y Zn

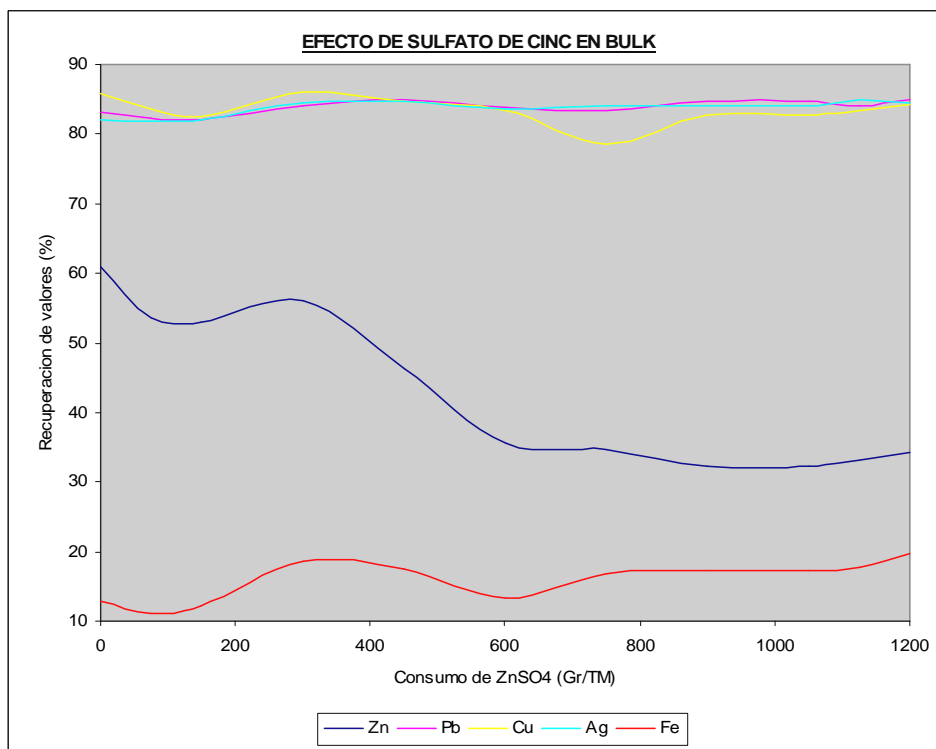
En resumen, la adición del agente reductor sulfito de sodio o bisulfito de sodio previene la oxidación y por consiguiente, la activación resultante de la esfalerita

→ **SULFATO DE ZINC** ZnSO_4

El $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, son cristales incoloros; es uno de los reactivos reguladores principales de acción depresoras, utilizada para la flotación selectiva de minerales de cobre y plomo de la esfalerita. Generalmente, se emplea en medio ligeramente alcalino en combinación con otros reactivos: NaCN , NaS , NaHSO_3 y otros. No obstante en la práctica se conocen casos en que el ZnSO_4 sirve como depresor independiente de la blenda de zinc, asegurando una supresión eficaz del mineral; y también es un depresor de pirita

La hidrólisis del sulfato de zinc en la solución es relativamente pequeña y no supera a 0.2%. Experimentalmente se ha establecido que al elevarse el pH la acción depresora aumenta sobre la esfalerita y reduce el consumo. La depresión de la esfalerita es acarreada por el hidróxido de zinc que se forma durante la interacción del ZnSO_4 suministrada en la pulpa con los álcalis y que se adhiere en la superficie de la esfalerita y como resultado, se impide la interacción de la superficie del mineral con el colector

Toxicidad: Las soluciones de sulfato de zinc producen quemazones en la epidermis, por lo que el trabajador debe tomar las medidas de seguridad generales. Además se recomienda lavar las manos con una solución de sosa al 2%. En calidad de medidas preventivas es conveniente emplear pomadas grasosas



→ **BICROMATO DE SODIO**

Son depresores de limitada utilización, se emplea para la depresión de la galena, la baritina y la calcita

La oxidación de la galena con el bicromato tiene lugar con un pH inferior a 10.5 y de la pirita y calcopirita inferior a 8 - 8.5. Esta diferencia es uno de los motivos principales de la supresión selectiva de la galena con sales de cromo. La oxidación de la galena es acompañada con la formación en su superficie del cromato de plomo. Los cromatos no se forman en la superficie de la calcopirita y pirita. La película de cromato de plomo, formada con un pH 6.8 - 7.0 es la que posee mayor estabilidad

B. ACTIVADORES O REACTIVADORES.

Estos aumentan la flotabilidad de ciertos minerales, mejorando o ayudando a la adsorción de un colector. Los reactivos reactivadores, restablece la flotabilidad de un mineral oxidado o que ha sido deprimido

La función activante es contraria a la función depresora y los reactivos de este tipo sirven para aumentar la adsorción de los colectores sobre la superficie de los minerales o para fortalecer el enlace entre la superficie y el colector

Los iones de estos reactivos pasan a la red del mineral o forman compuestos superficiales, reduciendo su hidratación superficial y aumentando la cantidad de colector adherido al mineral. Crea una nueva superficie en el mineral y lo hace susceptible a la flotación

¿Qué trabajo hacen los reactivadores?

Hacen flotar los sulfuros que han sido deprimidos en otros circuitos. *Ejemplo:* Para flotar el zinc que ha sido deprimido en el circuito de bulk es necesario usar sulfato de cobre. En este caso, el sulfato de cobre es un reactivador de los sulfuros de zinc



¿Qué trabajo hacen los reactivos dispersantes?

En la molienda por efectos mecánicos, se producen lamas que tienen tendencia a pegarse a las burbujas y flotan junto con ellas, ensuciando los concentrados. Para evitar que estas lamas floten, usamos los reactivos dispersantes

➔ SULFATO DE COBRE CuSO_4

El $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, sulfato de cobre con 5 moléculas de agua, forma cristales azules brillantes asimétricos del sistema triclínico con una densidad de 2.28 g/ml. Es un activador de la esfalerita, también pirita, calcopirita, pirotita, arsenopirita y cuarzo

La materia prima para la fabricación del sulfato de cobre sirve el ácido sulfúrico y cobre en forma de chatarra y desperdicios en la industria de labrado de metales o productos metalúrgicos semielaborados

Es ampliamente usado saturado o en soluciones en los circuitos de flotación de zinc para la reactivación de los sulfuros de zinc que han sido deprimidos en la etapa anterior (circuito de bulk). La acción activadora, consiste en que el ión cobre del sulfato de cobre reemplaza al ión zinc en la celda cristalina del mineral, formando una película de CuS sobre la esfalerita; la esfalerita seguidamente se comporta como mineral de cobre, sobre el cual el xantato puede ser absorbido y por consiguiente, el mineral puede ser flotado

En medio alcalino la activación de la blenda de zinc se realiza no sólo mediante la adsorción del ión cobre bivalente, sino también mediante la sorción (adhesión) de partículas coloidales de hidróxido de cobre sin desplazar al catión zinc o con un desplazamiento no equivalente

Toxicidad: Es tóxico penetrando en el estómago, provoca náuseas, vómitos, dolores en el abdomen y otras descomposiciones del organismo

La piel de la cara, los cabellos y las conjuntivas de los ojos de los operarios tienen a veces un color amarillo verdusco o negro verdusco. En las encías pueden aparecer franjas rojo oscuras o rojo púrpuro; en algunos casos aparecerán pequeñas erupciones rojas

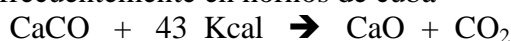
c. REGULADORES DE pH

Son los reactivos que controlan la acidez o alcalinidad de la pulpa. Es un reactivo que cambia la concentración del ión hidrógeno de la pulpa, lo cual tiene como propósito incrementar o decrecer la adsorción del colector como se desee salvo raras excepciones, la efectividad de todos los agentes de flotación, depende grandemente de la concentración de hidrógeno o ión hidroxilo en la pulpa. Uno de los principales objetivos de la investigación por flotación, es encontrar el pH óptimo para cualquier combinación de reactivos y mineral. La mayoría de plantas de flotación, que tratan minerales sulfurados, operan con una pulpa alcalina para dar optima metalurgia, así como para mantener la corrosión al mínimo. Muy pocas plantas operan en circuitos ácido; esto para el caso en que se estén flotando minerales contenidos en las colas de una lixiviación ácida

→ CAL CaO

En la práctica se emplea cal cáustica CaO y cal hidratada Ca(OH)₂ El hidróxido Ca(OH)₂ pertenece a las bases fuertes. Con la cal pueden ser obtenidas soluciones acuosas con una concentración del 0.17% en peso a 25 °C. Las soluciones de cal generalmente se denominan agua de cal y las suspensiones acuosas, lechada de cal

La interacción de la cal cáustica con agua transcurre con desprendimiento de una gran cantidad de calor (apagamiento de cal). La cal cáustica es obtenida mediante la calcinación de la caliza frecuentemente en hornos de cuba



El CaO es depresor mas común de pirita y en exceso de otros minerales sulfurosos. El calcio es el reactivo mas comúnmente usado, para recubrir pirita y otros iones metálicos, con el objeto de deprimirlos (los convierte completamente mojables) en presencia de xantato

Toxicidad: La cal en polvo irrita las membranas mucosas provocando estornudos y tos. Es particularmente peligrosa la cal cáustica, cuya acción reside en la saponificación de la grasa, absorción de la humedad en la piel, disolución de proteínas, irritación y quemazón de tejidos. Al caer cal a los ojos frecuentemente se observa edema vidrioso y fuerte hiperemia de la conjuntiva

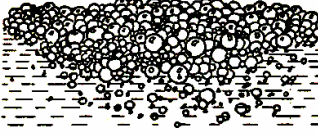
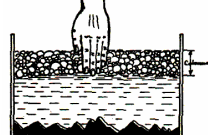
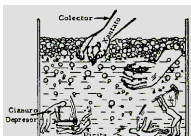
A ser afectada la piel, las partículas de cal pegadas a ésta se deben eliminar con aceite mineral o vegetal, y luego hacer fomentos con una solución al 5% de ácidos cítricos, tartárico, acético o muriático. Al caer cal en los ojos es imprescindible lavarlos inmediatamente con agua y luego neutralizarlos con una solución al 10 - 20% de amonio tartárico neutro

La ropa de trabajo de los operadores que trabajan con cal debe estar ceñida al cuerpo. Deben usar guantes y anteojos con montura de cuero, usar respiradores. Las partes del cuerpo descubiertas se recomienda untarlas con vaselina

¿Cuál es el trabajo de los reactivos reguladores de pH?

Ya hemos explicado lo que es el pH. Ahora nos hace explicar que cada sulfuro (cobre, plomo, zinc y fierro) tiene su propio pH de flotación donde flota mejor. Esta propiedad también varía según el mineral y la mina de donde procede. Los reactivos reguladores de pH tienen la misión de dar a la pulpa el pH necesario para una mejor flotación

EFFECTOS DE LOS REACTIVOS

| REACTIVOS | EXCESO | DEFECTO |
|---|--|--|
| <u>ESPUMANTES</u> Aceite de Pino Frother 70, MIBC Dowfroth 250 | Gran cantidad de espumas Rebalsan los canales y cajones Tendencia a ensuciar los concentrados | Muy baja la columna de espuma Los sulfuros valiosos se pasan al relave |
| <u>COLECTORES</u> Xantato Z – 11 Xantato Z – 6 Aerofloat 25 Ditiofosfatos Reactivo 301 | Flotan todo tipo de sulfuros No hay selección Se ensucian los concentrados Flota pirita e insolubles Produce carga circulante | Espumas muy pobres con concentrado limpio Espumas muy frágiles Los sulfuros valiosos se pasan al relave |
| <u>MODIFICADORES</u> Sulfato de Zinc y Bisulfito de sodio (Deprime sulfuros de zinc, ZnS) | Despilfaro, consumos muy altos Aumenta consumo de CuSO_4 Peligro de envenenar la pulpa Depresión de sulfuros de plomo Activación de sulfuros de hierro al bajar el pH | Flotan los sulfuros de zinc en el circuito de plomo o bulk  |
| Cianuro de Sodio (Deprime Pirita y sulfuro de zinc) | Un exceso en el circuito de Pb o bulk, deprime los sulfuros de Pb y Ag Activa los sulfuros de Zn al subir pH | Flotarían mucho hierro y se ensuciaría el concentrado |
| Bicromato de Sodio (Deprime sulfuros de plomo) Se usa para separar plomo de cobre | Despilfarro consumo alto inútil Aumenta consumo de colectores Peligro de envenenar la pulpa Aguas con alto contenido de iones Cr | Flota mucho plomo con el cobre en la separación  |
| Sulfato de cobre (Reactiva los sulfuros de zinc que han sido deprimidos por el sulfato de zinc) | Se espesan las espumas de los concentrados de zinc, y los concentrados se ensucian con pirita Producen pérdida de sulfuros en el relave Producen carga circulante innecesaria | No se reactivan completamente los sulfuros de zinc que vienen de la flotación bulk. Además, se suavizan las espumas y los sulfuros valiosos se pasan al relave (espumas muy frágiles) |
| Lechada de cal, Carbonato de sodio (reguladores de pH y depresores de Pirita) | Se eleva demasiado el pH Las espumas son frágiles Aumenta el consumo de colectores Los sulfuros se pierden en el relave | Se baja el pH Flota pirita en exceso Se espesa las espumas Se ensucia el concentrado |
| Superfloc, Separan (floculante, aglomerantes de lamas) | Demasiado costo. Veloz asentamiento de los sólidos, pueden plantar los rastrillos del espesador | Pérdida de sólidos en el rebalse del espesador |
| Silicato de sodio Almidón (dispersantes de lamas) | Peligro de envenenar la pulpa  | No dispersa bien la ganga silicosa. Se ensucian los concentrados |

3. CIRCUITOS DE FLOTACIÓN Y EQUIPOS

La flotación es una operación destinada a seleccionar los sulfuros valiosos contenidos en la pulpa y rechazar la ganga como relave. Pero resulta casi imposible hacer esta operación en una sola celda y conseguir un concentrado limpio y un relave igualmente limpio; es necesario que las espumas de las primeras celdas pasen a un nuevo grupo de celdas que se encarguen de limpiar los elementos indeseables que hayan logrado flotar con la parte valiosa. Lo mismo ocurre con los relaves de la primera máquina ya que aún tienen apreciable cantidad de sulfuros valiosos que no se pueden perder y es necesario recuperarlos en otro grupo de celdas

Por esta razón, en la sección flotación se tiene tres tipos de máquinas (circuitos):

- a. De cabeza o Rougher (Desvastadoras)
- b. Limpiadora o Cleaner
- c. Scavenger

Celdas de Cabeza o Rougher (desvastadoras)

Estas máquinas reciben la pulpa de cabeza procedente de los acondicionadores o de los molinos. Aquí flota la mayor parte de los sulfuros valiosos. Pero en estas celdas sólo obtendremos concentrados y relaves “provisionales”. Las espumas obtenidas en las desvastadoras no es un concentrado final, porque todavía contiene muchas impurezas

Celdas Limpiadoras

Estas máquinas sirven para quitar la mayor cantidad de las impurezas contenidas en las espumas del rougher y nos dan finalmente un concentrado, esto se hace a través de la:

1^{ra} Cleaner, 2^{da} Cleaner y 3^{ra} Cleaner

Las espumas de la 3^{ra} cleaner, forman el concentrado final que va al espesador

Celdas Scavenger

Estas máquinas reciben el relave de la rougher y tratan de hacer flotar el resto de los sulfuros que no han podido flotar en las celdas de cabeza, ya sea por falta de tiempo, deficiente cantidad de reactivos, o por efectos mecánicos

Pero las espumas que obtenemos en estas máquinas no las podemos enviar al espesador porque están sucias, pero tampoco las podemos desechar porque contienen mucho material valioso. Entonces, ¿Qué debemos hacer? Regresarlas al circuito, en este caso a la cabeza de flotación

Productos Intermedios (Medios)

Los relaves de las limpiadoras y las espumas de las agotadoras son productos más ricos que el relave final pero más pobres que los concentrados finales. Por esta razón, tienen que tratarse nuevamente, a fin de recuperar la mayor cantidad posible de sulfuros valiosos contenidos en ellos. Estos productos se llaman intermedios o medios (meddlings)

Productos finales

El circuito de flotación nos proporciona dos productos finales:

- Los concentrados
- Los relaves

No siempre se puede señalar que un concentrado y su relave tengan leyes fijas. Esto depende, en gran parte de la ley de la cabeza. Solamente podemos recomendar que usted. Como buen

flotador trate siempre de obtener los relaves más limpios que pueda, y un buen concentrado según la ley que le indique su Supervisor

3.1 FUNCIONES DE LAS CELDAS DE FLOTACIÓN

Los equipos en los cuales se realizan los procesos de flotación se denominan celdas de flotación y son construidos de modo que favorezcan la realización del proceso mediante las siguientes funciones:

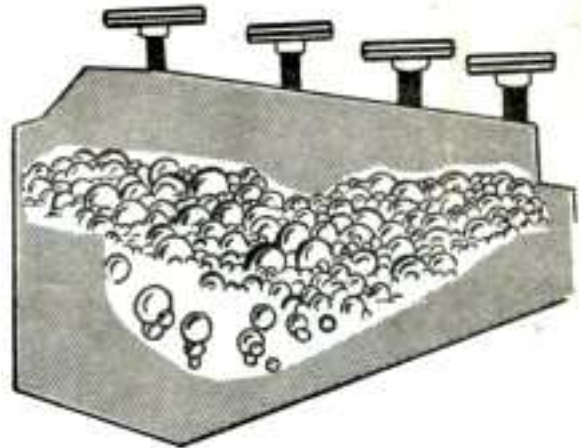
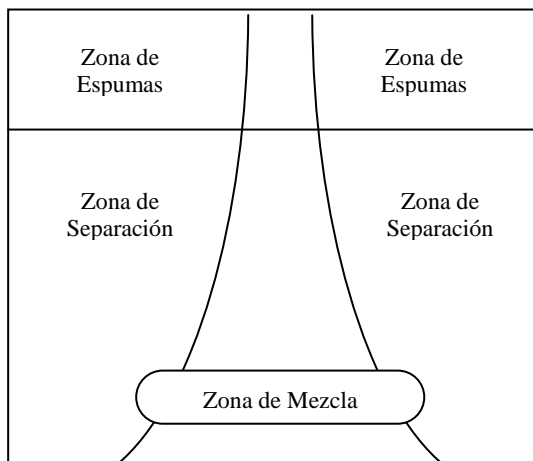
- Mantener en suspensión las partículas de la pulpa que ingresa a la celda de flotación, evitando la segregación de los sólidos por el tamaño o por la densidad
- Formar y diseminar pequeñas burbujas de aire por toda la celda; los volúmenes de aire requeridos dependerán del peso de material alimentado
- Promover los choques entre partículas minerales y las burbujas de aire con el fin de que el conjunto mineral-burbuja formado tenga una baja densidad y puede elevarse desde la pulpa a una zona de espumas, las cuales serán removidas de la celda conteniendo el concentrado
- Mantener condiciones de quietud en la columna de espumas para favorecer su estabilidad. También permitir una adecuada evacuación tanto de relaves como de concentrados, así como la fácil regulación del tanto de relaves como de concentrados, así como la fácil regulación del nivel de pulpa en las celdas, de su aireación y del grado de agitación

De acuerdo a lo anterior las celdas de flotación deberán tener zonas específicas:

Zona de mezcla; aquella en la cual las partículas minerales toman contacto con las burbujas de aire

Zona de separación; en la que las burbujas de aire se condensan una con otra y eliminan partículas indeseables que pudieran haber sido arrastradas por atrapamiento u otro motivo

Zona de espumas; en la que las espumas mineralizadas deberán tener estabilidad y ser removidas de la celda conteniendo el concentrado



3.2 TIPOS DE CELDAS DE FLOTACIÓN

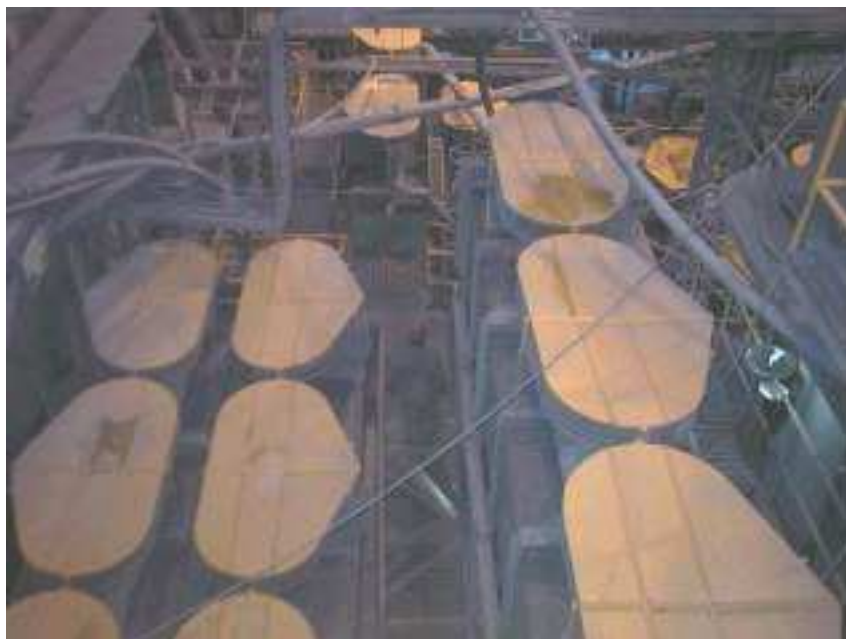
A. CELDAS MECÁNICAS: Se utiliza en forma generalizada en nuestro medio; se caracterizan por tener un agitador mecánico que mantiene la pulpa en suspensión y dispersa el aire dentro de ella. A este tipo pertenecen las celdas: Agitair, Denver, Morococha, Outokumpu, Wenco, etc.; pueden operar individualmente como las Morocochas, en bancos de flujo abierto o divididos en varios compartimientos

Los bancos divididos en celdas por paredes intermedias como el caso de las DENVER Sub – A, son utilizados especialmente en plantas pequeñas, donde se requiere que el impulsor actúe como una bomba o en etapas de limpieza donde es necesario un control estricto de niveles de pulpa, agitación, etc. Los bancos de flujo libre proporcionan ventajas por su construcción y mantenimiento más simple y mejor suspensión de las partículas gruesas al eliminarse las paredes intermedias: Las partes más importantes de estas celdas son:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| → Árbol – sistema accionamiento | → Canal de espumas |
| → Labio de la celda | → Tubería de alimentación |
| → Forros de fondo | → Tubería de aire a baja presión |
| → Motor | → El difusor |
| → Eje central | |
| → Forro lateral | |

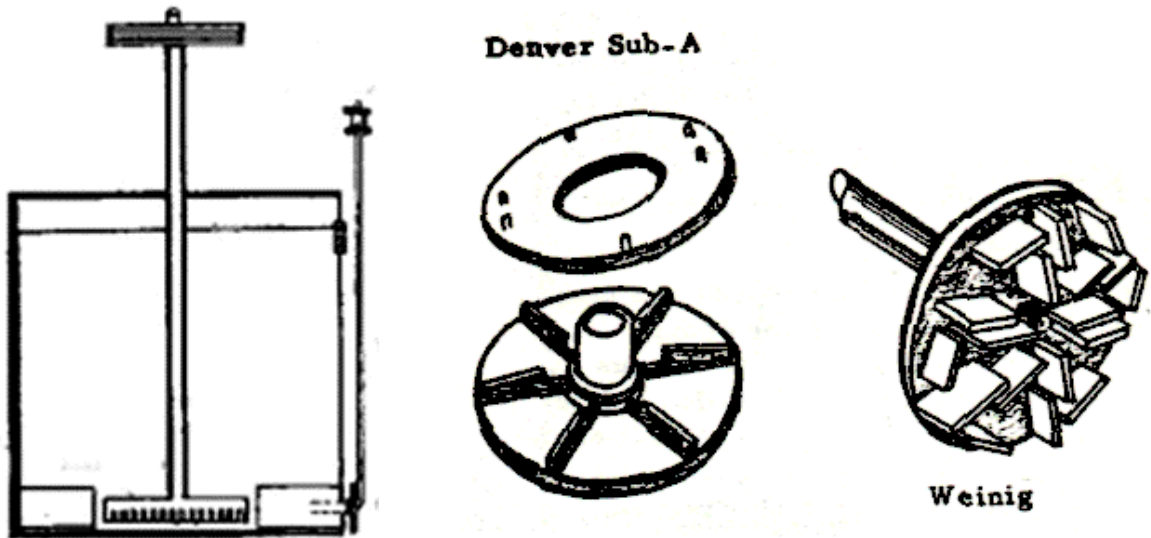
La aeración en las celdas mecánicas pueden realizarse por insuflación forzada de aire o por la acción succionante del impulsor; la utilización generalizada de este tipo de maquinas, frente a las neumáticas se deben a las dos ventajas que indiscutiblemente ofrecen

- Mantienen adecuadamente los sólidos en suspensión
- Es posible arrancar con relativa facilidad cuando se encuentran cargadas. La nueva tendencia en la construcción de celdas mecánicas se orientan a máquinas de gran tamaño, con lo que se logra una reducción en el número de celdas, mejoramiento en el control y facilitando el mantenimiento



→ CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CELDAS SUB -A

- Tipo Sub – aereación con compuertas intermedias para regulación de flujo
- Con árbol de impulsión del tipo suspendido, caja metálica de plancha de acero soldado
- Fondo revestido con jebe, forros laterales de fierro fundido
- Doble hilera de paletas para la extracción de espumas
- Accionado mediante motores eléctricos, transmisión de fuera por fajas, poleas y reductor de velocidad
- Impulsor y difusor; en acero inoxidable de alta resistencia al desgaste por abrasión, corrosión e impacto



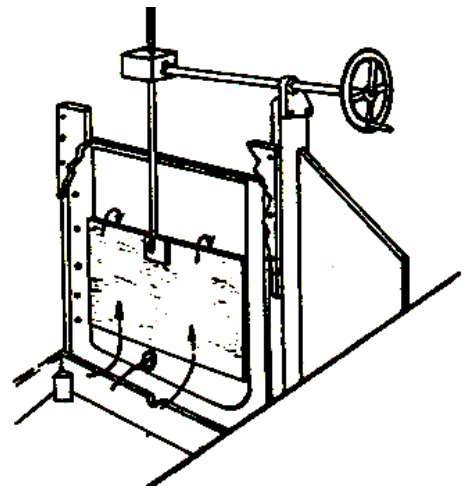
➔ CELDAS AGITAIR

La agitación: Se hace en parte con la mariposa y el resto con aire, a baja presión

Los impulsores o mariposas: Cada celda tiene su propio tipo de impulsor o mariposa, hay celdas que no las tienen

Las compuertas: Sólo las Denver tienen una compuerta para cada celda. Esto hace que cada celda pueda trabajar independientemente de sus vecinas. Agitair trabajan con batería de 4, 5, 6 o más celdas, todas ellas con una sola compuerta colocada al final

Las válvulas de aire: Tiene la misión de regular la cantidad de aire que entra a la celda

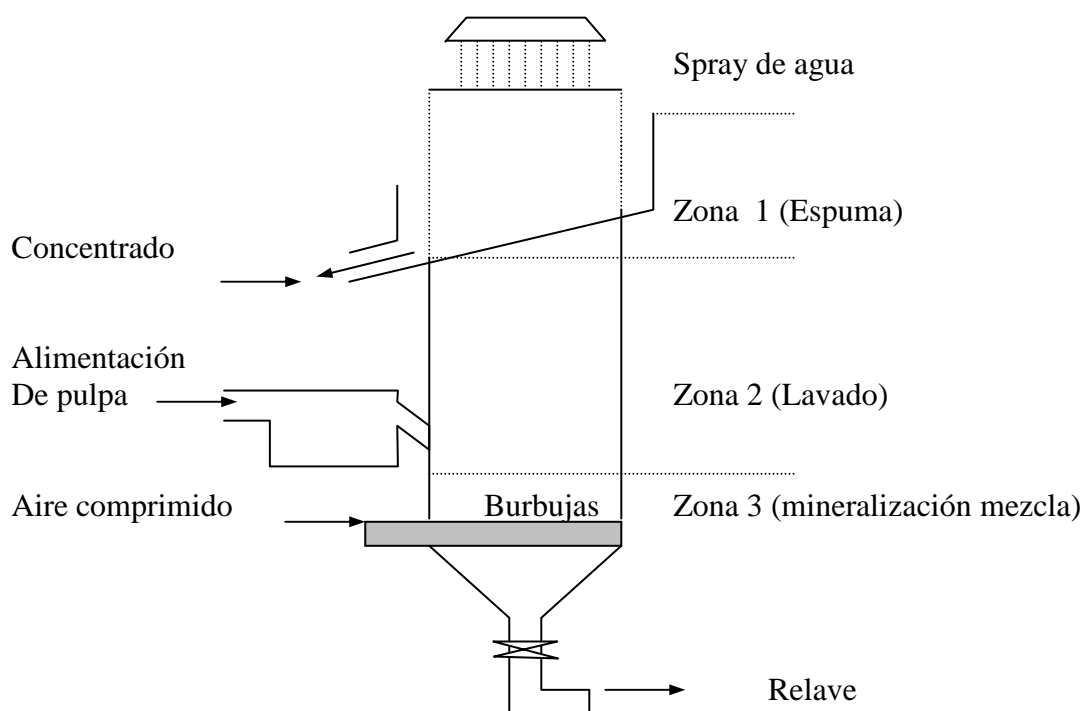


B. CELDAS NEUMÁTICAS

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

Un tipo de celdas neumáticas con un potencial de aplicación importante son las columnas, utilizadas en Canadá desde 1961. En este tipo de celdas ocurre un proceso en contracorriente; el alimento se introduce en la mitad de la columna y el aire es insuflado por la parte inferior a través de un fondo poroso. Igualmente se añade agua de lavado por la parte superior, al nivel de espumas, el mineral al caer encuentra las burbujas en la zona 3 produciendo la mineralización de las burbujas. En la zona 2 se produce un lavado por acción del agua añadida a la altura de las espumas, lo cuál evita que el material estéril sea atrapado en las espumas que rebosan fuera de la celda por la zona número 1, arrastrando el concentrado. El relave sale de la celda por la parte inferior cayendo por los espacios vacíos comprendidos entre los ductos porosos. Las celdas columnas al igual que las demás celdas neumáticas en general presentan el problema de la obstrucción de los insufladores de aire o de los fondos porosos

COLUMNA DE FLOTACIÓN



B.1 CUIDADOS PRINCIPALES EN LAS CELDAS Y BANCOS DE FLOTACIÓN

- Limpieza de los labios de las celdas de cada banco
- Que los canales de espumas no presenten huecos
- Limpiar con una varilla la tubería de aire a baja presión
- Revisar la temperatura de los motores
- Chequear las fajas “v” que estén completas, derechas y tengan la tensión correcta
- Cojinetes del eje central bien lubricados
- Que los chisguetes de agua a presión no estén atorados
- Mantener correctamente la compuerta desarenadora y las varillas de nivelación de la pulpa
- Que no le falte tapón en la tubería de aire del eje central
- Evitar el rebalse de la pulpa por los labios de la celda
- Evitar el rebalse de las espumas por el canal de concentrado
- Que las paredes de las celdas no tengan huecos
- Chequear los reactivos adicionados

B.2 USO DE MAQUINAS DE FLOTACIÓN DE GRAN VOLUMEN

El fuerte aumento del precio de energía de una parte, y el progreso hecho en el campo de control del proceso de otra parte, han mostrado claramente que las máquinas de flotación de gran tamaño son insuperables. Gracias al uso de las máquinas de gran volumen en vez de las pequeñas en las plantas concentradoras se han bajado sin excepción considerablemente los costos de operación y mejorando los resultados metalúrgicos. Además, al construir una nueva planta concentradora es posible conseguir ahorros considerables tanto en equipos como en construcción

B.3 CELDAS OUTOKUMPU

Características de las celdas de gran volumen



Dispersión del aire. La dispersión de grandes cantidades de aire requiere una amplia área de dispersión. El aire es alimentado al rotor OK a través de un hueco y descargado a través de ranuras de aire verticales. La compensación de presión de aire se define matemáticamente

Suspensión de sólidos. Un grado de suspensión suficiente es esencial desde el punto de vista del funcionamiento de la máquina de flotación. Solo en suspensión las partículas de mineral pueden quedar pegadas en la superficie de burbujas de aire y flotarse

El rotor OK tiene caminos separados para el aire y la pulpa. El rotor sirve de bomba de pulpa aspirando pulpa con sus partes inferiores y descargándola desde las partes superiores. Los flujos de aire y los de pulpa se reúnen y las fuertes corrientes de pulpa aireada se descargan del mecanismo a la celda. Gracias a la influencia de bombeo se produce un fuerte movimiento circular en el interior de la pulpa

La dirección del flujo de pulpas es oblicuamente hacia arriba del mecanismo; la turbulencia causada por el mecanismo mezclador intensifica la colisión de partículas de mineral y burbujas de aire y a la vez elimina, de una manera eficaz el arenamiento de sólidos en el fondo de la celda

Ya que el rotor OK sirve de bomba de pulpa, es capaz de mantener en suspensión hasta partículas bastante gruesas

Las máquinas de flotación OK-38 y OK-16 tienen corte transversal de forma de U, pues no hay esquinas en la celda, gracias al cual los sólidos depositados en el fondo según mediciones representa solo el 1.5% del volumen de la celda, mientras que en las celdas de corte transversal rectangular representa normalmente 10 – 15%

Consumo de energía. Es un hecho bien conocido que al crecer el tamaño de celda se disminuye el consumo de energía de una máquina de flotación calculado por unidad de volumen de celda

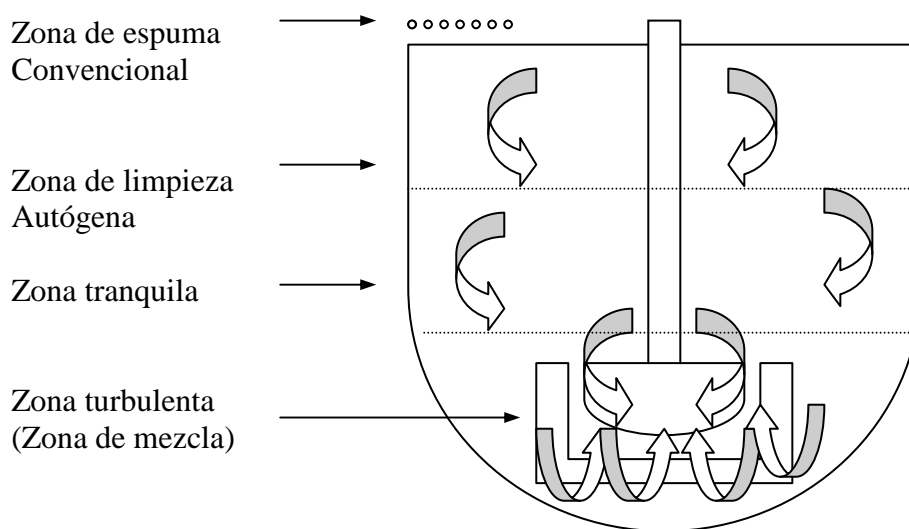
La mayor parte de los conocidos mecanismos de máquinas de flotación funcionan como agitadores. Ya que el mecanismo OK funciona con bomba de pulpa, es capaz de mantener la pulpa en suspensión como un consumo de energía más pequeño. Es de observar que al usar una gran cantidad de aire se disminuye el consumo de energía de la celda esencialmente más que crece la necesidad de energía de los sopladores

Profundidad de la máquina de flotación. Ha sido posible planear las máquinas de flotación profundas gracias al mecanismo eficaz. Así se han obtenido las siguientes ventajas:

- En la celda las diferentes actividades de flotación se realizan en sus propias zonas, pues es posible operar con capas más gruesas de espuma de lo que resulta que el concentrado es más puro en la flotación rougher – scavenger y las cargas de recirculación más pequeñas.
- Área de piso requerida se disminuye

ZONAS FUNCIONALES EN LAS CELDAS OUTOKUMPU

Se puede decir que la flotación se realiza en cuatro zonas



1. En la parte inferior hay una zona de mezcla de fuerte turbulencia donde incluso las partículas gruesas del mineral están bien en suspensión y tienen buenas posibilidades de entrar en contacto con burbujas de aire de pequeño tamaño, ya que la diferencia de velocidad es grande entre las partículas gruesas y la suspensión del aire / líquido
2. La siguiente zona es más tranquila, aquí las burbujas de aire suben cogiendo a la vez en superficies más pequeñas de mineral. Especialmente la granulometría fina se flota en esta zona, ya que ahora la diferencia de velocidad es grande entre las burbujas de aire crecidas y la pulpa y también las pequeñas partículas pueden chocar con las burbujas de aire. La flotación pasada en esta zona es también muy selectiva, porque una turbulencia demasiado fuerte no la molesta.
3. “Semifroth” es decir zona de limpieza autógena, se forma en la parte inferior de la gruesa capa de espuma. En esta zona las burbujas de aire se condensan, la una contra la otra y se reúnen en parte cuando líquido entonces libre corre entre las burbujas hacia abajo soltando a la vez las partículas mecánicamente pegadas en ellas, que son por ejemplo impurezas de silicato en flotación de sulfuros. En cambio la combinación formada químicamente entre las partículas y las burbujas de aire se mantiene

4. La cuarta zona es una capa de espuma convencional, cuya tarea es sólo la de transportar el material flotado fuera de la celda. Ya no hay acontecimientos que influyan en el propio resultado de flotación en esta zona.

Las máquinas de flotación pequeñas y bajas tienen en general sólo las zonas 1 y 4 mientras las zonas 2 y 3 les faltan casi totalmente. Entonces la delgada capa de espuma se encuentra inmediatamente sobre la pulpa de fuerte turbulencia

➔ EL CORAZÓN DE LAS MÁQUINAS DE FLOTACIÓN OUTOKUMPU

El singular diseño del rotor –estator produce una aireación y una agitación máxima con un consumo mínimo de energía

El éxito de la operación de un dispositivo de flotación depende totalmente de la operación de su mecanismo. Básicamente debe cumplir principalmente dos tareas:

1. La dispersión del aire en finas burbujas y
2. El mantenimiento de la pulpa en perfecta suspensión

Como el volumen total aumenta, esto por lo general significa mayores dificultades en el cumplimiento de ambas tareas

La clave del mecanismo OK es la reforzada dispersión del aire en forma de finas burbujas a partir de la superficie total de las ranuras de aire del rotor en lugar de una estrecha zona. Ello se logra mediante un diseño ideal de rotor – estator. La fuerza centrífuga creada por el anillo de la pulpa giratoria en el juego rotor-estator, compensa la mayor presión hidrostática en partes inferiores del rotor. El aire se introduce en el rotor a través del eje. Además el rotor OK sirve de eficaz bomba, succionando la pulpa con sus partes inferiores y descargándola a lo largo de la parte superior. De este modo la intensiva circulación inferior se lleva a cabo cuando la zona de descarga coincide con la del aire. El flujo de la pulpa fuera del rotor ya a través del estator, se dirige hacia arriba. La pulpa golpeada contra las paredes de la celda, manteniendo una turbulencia adecuada en todo el espacio de la celda. Además intensifica el choque de las burbujas y las partículas. El rotor actuando con una poderosa bomba mas que como un agitador, puede mantener, a pesar de su reducido tamaño, hasta material grueso en suspensión en toda la celda. Su reducido tamaño conduce además a un bajo consumo de energía y mínimo desgaste. El método y disposición OK están patentados en todo el mundo.

➔ RESULTADOS ECONÓMICOS

Al comparar los resultados económicos obtenidos con las celdas de aprox. 3 m³ (100 ft³) con los obtenidos con las celdas de 16 m³ (600 ft³) y 38 m³ (1350 ft³) se puede notar que, entre otras cosas las siguientes ventajas han sido logradas con estas:

- Consumo de energía menor de más del 50%
- Consumo de reactivos menor del 19 - 15%
- Ahorro de área de piso mas del 50%
- Precio de compra de equipos un 40% menor por unidad de volumen
- Los costos de bombeo han bajado a causas de menores cargas circulantes. También los costos de mantenimiento se bajan considerablemente
- El costo inicial de instrumentación es menor y el control del proceso mejor a causa de tener menos unidades de maquinas
- Los resultados metalúrgicos se han mejorado en parte gracias a la selectividad mejorada por la profundidad de la maquina

3.3 EQUIPOS AUXILIARES

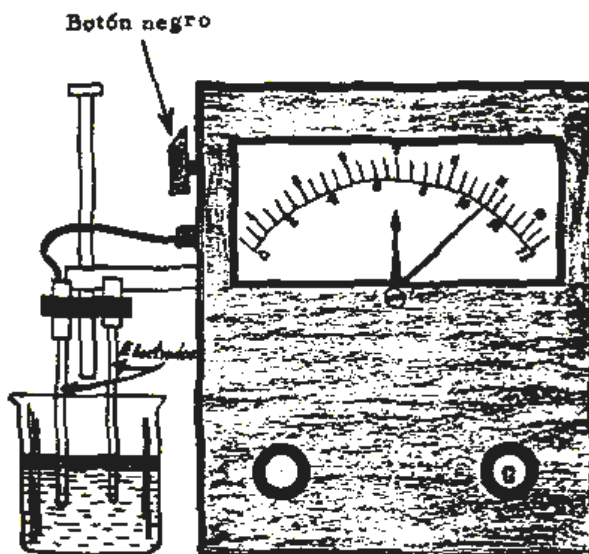
Son unos aparatos que ayudan en el control de las operaciones, entre ellos por ejemplo tenemos al potenciómetro, alimentadores de reactivos (Clarkson) y los acondicionadores

A. POTENCIÓMETRO

Ya sabemos que una de las condiciones de una pulpa de flotación es tener un pH correcto. Pues bien, para medir este pH usamos el Potenciómetro

Partes principales del Potenciómetro:

- Los electrodos (Tubos de vidrio) son muy delicados. Hay que tener mucho cuidado al usarlos
- El cuadrante tiene una escala graduada de 0 a 14 (valores de pH, ácido, neutro y básico)
- El botón negro (3), del lado izquierdo tiene tres posiciones



- La mas lejana al operador o posición "0" (cero) coloca el aparato en (neutro). (En un aparato bien calibrado, cuando el botón negro esta en "cero" la aguja debe estar bajo la roja)
- Posición central "pH". Es la posición de medir el pH
- Tercera posición La más cercana al operador. No debe usarse. Solo el electricista o personas autorizadas pueden hacerlo para chequear el aparato

Las agujas La *aguja blanca* que señala el pH en la escala graduada, cuando el botón negro esta en posición central "pH"

La *aguja roja* que sirve para controlar el funcionamiento del aparato. Su control queda a cargo de personas autorizadas. El operador nada puede hacer en este caso

El *botón rojo*. Sirve para calibrar el aparato. El operador no esta autorizado para usarlo

Para usar este aparato se procede de la siguiente manera:

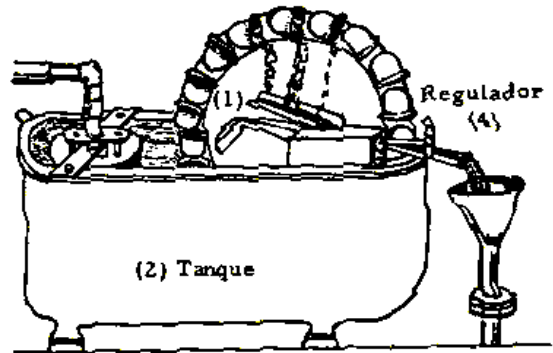
- Se toma una muestra de pulpa en un vaso de 250 ml
- Se limpia el vaso y el fondo (Por afuera)
- Fijarse bien que el lugar donde se asienta el vaso, debe estar seco para evitar lecturas erróneas
- Se colocan los electrodos dentro del vaso. Procurando que la pulpa los moje completamente
- Se colocan el botón negro en posición pH y se espera que aguja blanca quede quieta. Luego se lee
Vamos ha ver como se lee correctamente. Supongamos que la aguja cae entre dos números, por ejemplo, 6 – 7, y como entre cada diez números hay diez rayas chicas que corresponden a fracciones decimales, luego tenemos que observar con cuidado para poder ver exactamente en que raya se detiene la aguja. Digamos que la aguja quedo en el 6, y 5 rayas más, luego el pH será: 6.5
- Retire el vaso de pulpa y limpie los electrodos con agua o papel de filtro

B. ALIMENTADORES DE REACTIVOS

Ya hemos visto que los reactivos deben alimentarse a las celdas en cantidades definidas, pues si echa demasiado o poco se presentan serios problemas. Por lo cual se utiliza los alimentadores Clarkson, estos aparatos sirven para alimentar reactivos en cantidades medidas

PARTES PRINCIPALES DEL ALIMENTADOR Clarkson

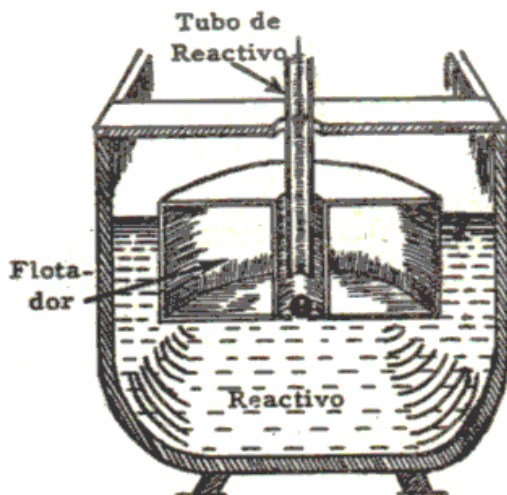
- Tanque o deposito
- Las copas
- La válvula de regulación de reactivo
- El disco vertical
- El flotador
- Las tuberías: de alimentación, descarga y de rebalse
- El sistema de movimiento, constituido por: el motor y el eje principal



FUNCIONAMIENTO DEL ALIMENTADOR Clarkson

El motor por medio del eje, hace girar el disco con sus copas, sumergiéndolo en el reactivo contenido en el tanque. Las copas suben llenas de reactivo para luego vaciarse en el canal de salida

Si la platina móvil del regulador esta baja dejara pasar menos reactivo y si esta levantada, entrará más reactivo al canal de salida, la dosificación se mide con una probeta



Con el objeto de mantener el tanque siempre lleno de reactivo, se ha ideado el sistema del flotador hermético. Cuando el tanque está bajo de nivel el flotador también baja, la bolita no tapa la entrada y permite que entre mas reactivo. Cuando se llena, el flotador sube y la bolita tapa la entrada del tubo y no deja pasar mas reactivo

CUIDADOS QUE SE DEBEN TENERSE CON EL ALIMENTADOR

- Tener limpio el alimentador, para regular correctamente el aparato, y evitar los atoros
- Chequear que el disco y las copas estén bien ajustadas y sanos, sin agujeros por corrosión
- Que el mecanismo de regulación trabaje bien
- Ver el buen funcionamiento del flotador
- Verificar la temperatura del motor eléctrico

C. ACONDICIONADORES

Los acondicionadores de pulpa son tanques que permiten preparar o acondicionar los minerales que contiene la pulpa con los reactivos químicos para que pueda flotar o deprimirse

Antes de pasar a la flotación, es necesario permitir que la pulpa y los reactivos estén “juntos” un determinado tiempo, con el fin de “Acondicionarlos” y conseguir la mayor eficiencia de los reactivos en la flotación. Este “Acondicionamiento” de la pulpa se hace en los tanques acondicionadores

Los **principales cuidados** son los siguientes:

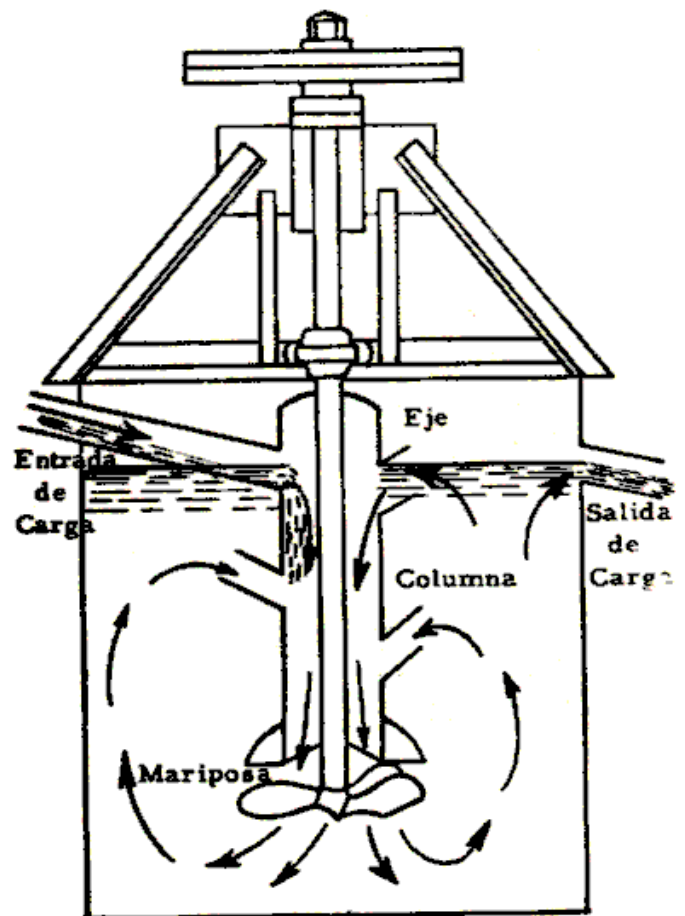
- Verificar que la pulpa circule por el tubo de nivelación
- Revisar la temperatura del motor eléctrico
- Chequear las fajas “V”, que estén completas, derechas y tengan la tensión correcta
- Los cojinetes del eje central bien lubricados
- Verificar los pernos de las orejas de ajuste
- Evitar la caída de latas, alambres y todo material que pueda enredarse en el impulsor
- Evitar el rebalse de la pulpa por el borde del tanque
- Que los sifones trabajen correctamente
- Chequear los reactivos adicionados
- Mantener libre los tubos de entrada y salida
- Si por algún motivo la carga se asienta en el tanque, hay que ayudar a la mariposa usando mangueras con aire a presión

Partes de los acondicionadores

- a. El tanque. Es el recipiente de la carga
- b. El eje. Recibe la fuerza del motor y la pasa a la mariposa
- c. La columna. Cuyo borde superior esta al nivel de la pulpa y su borde inferior de la mariposa. Toda columna rodea al eje
- d. El tubo de entrada de carga
- e. Tubo de salida de carga

La forma de la mariposa y el sentido de la rotación al girar que hacen que la pulpa vaya contra el fondo del tanque y luego suba rebalsando el borde superior de la columna cayendo nuevamente sobre el impulsor. Así se genera un movimiento de la pulpa que baja y sube constantemente

La salida de la carga se hace por un tubo colocado a nivel de la pulpa y al lado opuesto del tubo de entrada



IV. CONTROLES EN LA FLOTACIÓN

4.1 VARIABLES OPERATIVAS DEL PROCESO DE FLOTACIÓN

La flotación es un proceso de múltiples variables cuya definición y descripción cuantitativa requiere todavía muchos estudios y la aclaración de distintos detalles. Esto se debe principalmente al hecho de que todavía no conocemos todas las variables de la flotación, algunos autores nombran hasta 37 distintas variables conocidas

Stherland y Wark los clasificaron según las etapas que la originan, como a continuación se indica

a. Variables relacionadas con la materia prima (Mineral)

1. Forma mineralógica del mineral
2. Su asociación con otros componentes
3. Presencia de impurezas y sales solubles
4. pH natural de mineral
5. Grado de oxidación del mineral
6. Oxidación durante su explotación
7. Cantidad de agua útil cristalización

b. Variables relacionadas a los procesos previos de molienda y clasificación

8. Durante la molienda, el mineral está expuesto a la oxidación
9. Tamaño de liberación (fineza de partículas, diferente asociación)
10. Grado de dureza de los minerales (de cada componente)
11. Tiempo en el circuito de molienda
12. Molienda diferencial
13. Adición de reactivos durante la molienda

c. Variables relacionadas al agua

10. Impurezas disueltas y a menudo no se purifica antes de su uso; pueden resultar en efectos negativos o positivos
11. Presencia de gases disueltos Ejemplo. H_2S , SO_2 , etc.
12. Grado de alcalinidad o acidez de agua "pH"
13. Dureza del agua

d. Variables relacionadas al acondicionamiento

14. Densidad de pulpa
15. Puntos de adición de reactivos y algunos reactivos adicionales
16. Grado y forma de adición de reactivos
17. Tamaño de los acondicionadores y celdas de flotación
18. Tiempo de acondicionamiento
19. Temperatura, agitación, pH, etc.

e. Variables relacionadas a la flotación

20. Densidad de pulpa
21. pH de la pulpa
22. Tiempo de acondicionamiento
23. Nivel de espuma
24. Carga circulante
25. Tamaño de partícula
26. Grado y tipo de aereación

27. Temperatura de la pulpa y el agua
28. Reactivos específicos para cada circuito y dosis

f. Variables relacionadas a las maquinas de flotación

29. Tipo de máquina
30. Potencia consumida
31. Altura de la zona de espumas
32. Agitación
33. Grado de aireación

CONTROLES EN LA FLOTACIÓN

El proceso de flotación que parece ser bastante sencillo, tiene un cierto grado de complejidad debido a las leyes de cabeza que varían durante las 24 horas, y para llevarse en forma eficaz se debe mantener:

- a. Los valores óptimos de pH
- b. Un buen grado de molienda
- c. Una buena densidad de pulpa
- d. Un buen control en la dosificación de reactivos
- e. Una buena regulación de las compuertas en las celdas y bancos de flotación
- f. Buena regulación de aire en las celdas de flotación
- g. Limpiar los labios de las celdas de flotación
- h. Regular bien los chisquetes de agua en los canales de espumas, teniendo en cuenta de no diluir demasiado la pulpa; sobre todo si va a ser nuevamente flotada
- i. Buen nivel de espumas en los bancos de flotación
- j. **Carga circulante.** Otro de los parámetros importantes que se debe tener en cuenta en la operación de flotación es el control de la carga circulante; que esta formada por el relave de las limpiadoras y las espumas de los scavenger que entran nuevamente a la maquina rougher junto con la cabeza fresca. La carga circulante se forma por el hecho de tratar de limpiar bien el concentrado final o de limpiar bien el relave. En el primer caso se deprimen grandes cantidades de sulfuros valiosos recuperables y en el segundo caso se flotan minerales con alto contenido de ganga (gangosas). Para controlar la carga circulante se debe jalar normalmente las espumas de los bancos scavenger, así como también las espumas de las limpiadoras.

Los cuatro factores que hemos mencionado deben ser permanentemente controlados y bien regulados para asegurar una buena flotación

La pulpa: Debe tener la densidad indicada por el supervisor, aún cuando el control de la densidad de la pulpa es función del molinero, los flotadores deben avisar al jefe cuando observen que; la pulpa no es buena

La agitación: Depende de la mariposa (en las celdas mecánicas o mixtas) o de la presión en las celdas de aire. Cuando hay poca agitación es posible que la mariposa este gastada o los huecos de los tubos de aire que estén tapados.

El aire: Es algo muy sencillo de regular; basta abrir o cerrar las válvulas correspondientes a cada celda.

Los reactivos: Deben ser alimentados siempre en las cantidades indicadas por el Supervisor y en el lugar preciso. En cada planta, las cantidades de reactivos están calculadas de acuerdo a la ley de la cabeza de mineral y según los concentrados que se quieren obtener. Por eso, la flotación sufre enormemente cuando los reactivos no están bien medidos.

¿Cómo se controla el pH?

Par el control de la cal se usa el potenciómetro. El número que marca la aguja de este aparato nos indica si la pulpa tiene mucha o poca cal. Es necesario que Ud. Mantenga el pH dentro de los límites indicados por el jefe, ya que un pH bajo es tan dañino a la flotación como uno demasiado alto.

¿Qué consecuencias se derivan de un Ph incorrecto?

Aclaremos esto con algunos ejemplos:

- a. Un pH en el circuito de bulk, significa que no entra suficiente cal para deprimir la pirita y la ganga; entonces, el concentrado estará muy sucio y de baja ley, porque la falta de cal ha permitido que flote mucha roca y pirita.

Al contrario, un pH muy alto, deprime la ganga y la pirita y también parte de los sulfuros de cobre que así se pierden en los relaves

En esta forma, con un pH de menos de 7 en el circuito bulk se levanta mucho fierro y mucho insoluble. Con el pH arriba de 8, al contrario, se deprime mucho sulfuro de cobre, ensuciando el relave

- b. Lo mismo sucede en Paragsha en la sección cobre. En la sección plomo - zinc , un pH bajo deja flotar pirita en el plomo y un pH demasiado alto, deprime y el plomo.

- c. En morococha, un pH bajo deja flotar mucha pirita y pH alto deprime parte del cobre.

4.2 ALIMENTACIÓN DE REACTIVO

¿Dónde se alimenta los reactivos?

Se alimentan en los molinos, acondicionadores de pulpa o directamente en los canales. El lugar depende de:

- Qué trabajo hace el reactivo
- Solubilidad del reactivo en agua
- Si es sólido o no

Los modificadores: Ya sabemos que estos reactivos se agregan para modificar la superficie de la ganga y de algunos sulfuros, a fin de evitar que los colectores actúen sobre ellos y floten. Entonces, es necesario que los modificadores se agreguen a la pulpa, antes que los colectores.

Espumantes y colectores: Acabamos de ver que se añaden a la pulpa después que los modificadores. Además, hay que recordar que estos reactivos deben agregarse poco antes de la flotación, a fin de que tengan tiempo de mezcladores y actuar mejor

¿Qué cantidad de reactivos se usa en cada caso?

La cantidad que se debe usar está indicada en el reporte. En algunos casos el jefe e guardia ordena cuál debe ser el consumo.

Esta cantidad debe ser exacta: de lo contrario pueden ocurrir serios problemas en la flotación

¿Es suficiente el chequeo de los reactivos en los alimentadores?

No, es necesario chequear que los reactivos caigan en su lugar y en la cantidad indicada.

4.3 LA COLUMNA DE ESPUMA

¿Qué es la columna de espuma?

Es la altura que tiene la espuma a partir del nivel de la pulpa

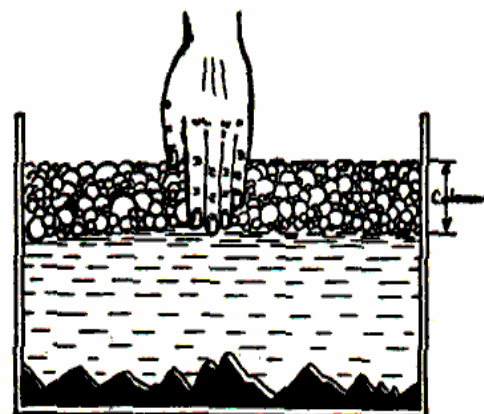
¿Qué tamaño debe tener la columna de espuma?

Varía según el circuito; se aceptan generalmente las siguientes medidas:

Scavenger 1"- 2

Rougher: 3"- 4

Cleaner 4"- 5"



¿Cómo se consiguen estas alturas?

Regulando cuidadosamente el aire y las compuertas: también regulando los reactivos

4.4 LAVADO CON EL PLATO

Una manera práctica de ver si la flotación se está realizando bien es por un análisis gravimétrico que se realiza en un clasificador manual rotatorio llamado "Plato de Lavado"

El plateo consiste en tomar una muestra determinada, que puede ser de los relaves o de los concentrados. Si es relave para saber hasta que punto se esta escapando los sulfuros valiosos, y si es el concentrado para observar hasta que punto lo estamos limpiando de todas las impurezas que hay en el mineral

Un vez que se tiene la muestra en el plato, se procede a quitarlo las lamas, y cuando la muestra está limpia de estas lamas, se hace girar lentamente el plato de tal forma que los minerales de mayor peso especifico se distinguen hacia el centro del plato, mientras que los de menor peso especifico se van distribuyendo hacia el borde de dicho plato

Así, tenemos que en un buen plateado se distinguen desde el borde del plato; primeramente los insolubles, luego el zinc, el cobre, el fierro y al final hacia el centro el plomo

¿Para que se lava con el plato?

Se lavan las espumas de los concentrados y los relaves, con el objeto de verificar si hay material indeseable en los concentrados o si hay sulfuros valiosos en los relaves.

En casi todas las plantas, se usa el plato para controlar la flotación

¿Dónde hay que lavar?

Generalmente hay que lavar en: Rougher, Relaves y Concentrados

¿Cada cuanto tiempo hay que lavar?

Más o menos cada media hora. O cuando cambian las espumas, indicando una variación en la flotación

¿Qué pasa cuando no se lava con el plato?

No habría manera de controlar la flotación, porque a veces, el ojo no es suficiente

4.5 EL AGUA EN LOS CANALES

¿Qué objeto tiene esta agua?

El agua en los canales sirve para empujar las espumas que han caído en los canales y darles una densidad de pulpa adecuada

¿Qué sucede cuando hay exceso de agua?

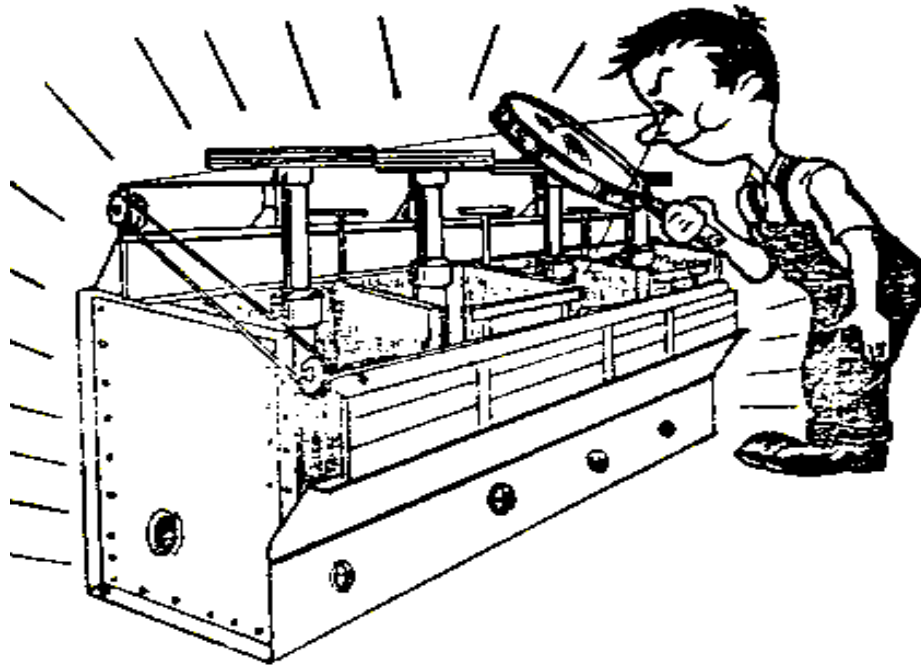
Cuando en los canales hay exceso de agua:

- Se diluye demasiado la densidad de la pulpa (sobre todo cuando son medios o meddlings que van a ser reflatados)
- Se diluye los reactivos
- Se altera el pH

¿Qué pasa cuando falta agua en los canales?

Los canales se atorran y rebalsan

4.6 CUIDADOS DE OPERACIÓN



¿Qué cuidados se deben tener en la flotación?

Para que la flotación sea correcta, usted debe tener los siguientes cuidados:

1. Verificar que la alimentación a las celdas sea constante y uniforme, a fin de mantener un volumen de pulpa constante en las celdas
2. Columna de espuma: Que tenga la altura correcta. Use las compuertas y las válvulas de aire para conseguir esta altura, de tal manera que, siempre sea la espuma la que rebalse y no la pulpa
3. Verifique, cada media hora, cuando menos, que los reactivos caigan su lugar y en la cantidad precisa.
4. Prueba del plato. Lavar las espumas de los concentrados y los relaves una o dos veces por hora o cada vez que note variación en la flotación
5. Cantidad de agua en los chisquetes regúlela cuidadosamente para no diluir demasiado la pulpa que va a otras máquinas de flotación
6. Agitación: Regule constantemente
7. Aire: Controle cuidadosamente

4.7 CONTROLES METALÚRGICOS EN LOS CIRCUITOS DE FLOTACIÓN

Es muy importante un control adecuado en este circuito porque la calidad del mineral (ley de cabeza) proveniente de mina cambia continuamente, haciendo de la flotación un proceso dinámico que requiere un seguimiento continuo

4.8 RECUPERACIÓN Y RADIO DE CONCENTRACIÓN

Son indicadores de la efectividad y selectividad del proceso de flotación, respectivamente. La recuperación es la cantidad expresada en porcentaje, de mineral valioso extraído en el concentrado

El radio de concentración, es la cantidad de unidades de mineral de cabeza de las que se obtiene una de concentrado

Técnicamente, no conviene llevar la concentración a un grado de enriquecimiento máximo, porque más ricos son los concentrados, menor es la recuperación. Las pérdidas crecen en proporción aritméticas a la riqueza del concentrado hasta un cierto límite, pasando este, crecen en proporción geométrica.

Económicamente, este límite puede determinarse comparando, por un lado, el valor de un concentrado más rico, por otro lado, el costo de operación y las pérdidas de mineral valiosos para elevar la ley del concentrado

GRANULOMETRÍA DEL MINERAL

Es el tamaño de liberación en el que una partícula es mena o ganga. El tamaño óptimo es aquel en el que se obtiene buenos concentrados con una recuperación excelente, esta expresado en porcentaje negativo de la malla 200. Se determina en el laboratorio.

El control se realiza mediante el análisis granulométrico de muestras tomadas en el clasificador y se expresa en porcentajes de mineral que ha pasado la malla 200

DENSIDAD DE PULPA

EL control de la densidad de pulpa se realiza pesando en el densímetro un litro de pulpa, determinado así su gravedad específica en g/lt, que luego se convierte a porcentaje de sólidos mediante formulas o mediante la lectura directa en el mismo densímetro; en el rebose del ciclón, para controlar la alimentación y en los concentrados y relaves finales cuando van a ser bombeados

Una densidad demasiada alta; produce mayor tiempo de flotación, baja calidad de concentrados, bajas recuperaciones, obstrucción y desgaste de celdas y menor consumo de reactivos

Una densidad demasiada baja; produce menor tiempo de flotación, buena calidad de concentrados, baja recuperación, operación y desgaste normal de las celdas y mayor consumo de reactivos

Dentro de ciertos límites, se emplea una densidad alta cuando, los minerales tienen una gran densidad, las partículas son relativamente grandes, el mineral a concentrar es muy flotable, y en los bancos de flotación rougher.

Se emplea una densidad menor cuando: EL mineral está finamente molido, cuando las especies a concentrar no son muy flotables y en las celdas de flotación cleaner.

ALCALINIDAD

El control se realiza en los acondicionadores y celdas de flotación mediante. El potenciómetro, el papel indicador de pH o por titulación con ácido sulfúrico al 0.049%

REACTIVOS

El control se realiza mediante una probeta y un cronometro, se expresa en ml/min o cc/min La dosificación adecuada de reactivos se controla por el “plateo” (lavado en plato) y también observando el tipo y color de espumas que dan buenos resultados

Una espuma pequeña y cargada; indica demasiada dosificación o alto poder colector del promotor usado.

Una espuma viscosa; indica una dosificación de xantato en exceso, demasiado espumante y puede ser también por exceso de silicato de sodio

Una espuma frágil; indica dosificaciones deficientes de espumas, exceso de cal.

Una buena espuma esta formada de burbujas de aire mineralizadas de tamaño pequeño y homogéneo, y sin excesiva viscosidad

V. RECOMENDACIONES GENERALES

Limpieza

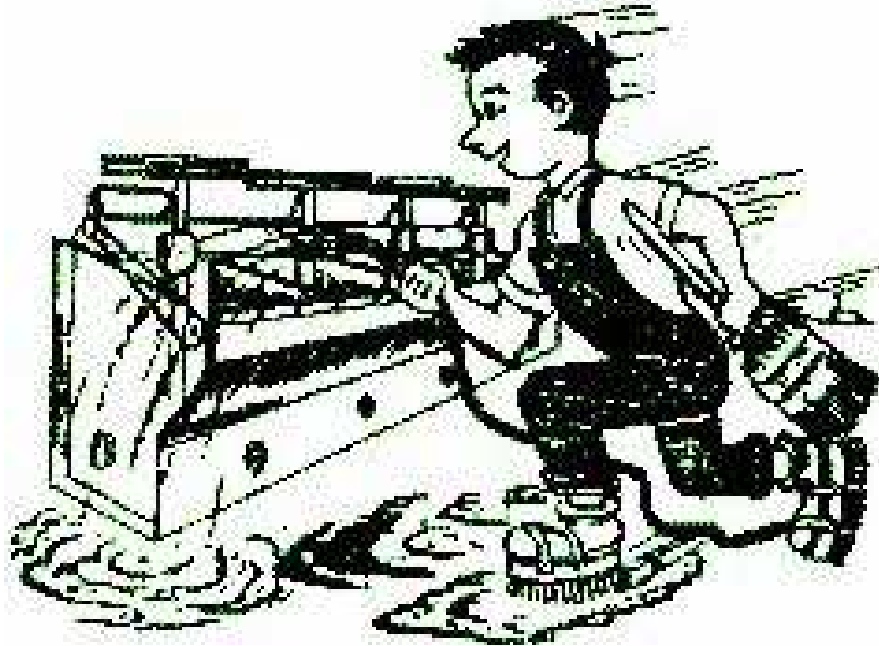
Cada vez que estén sucios y el trabajo lo permita. Obligatoriamente al fin de cada guardia

¿Qué se debe limpiar en la sección flotación?

- Todas las maquinas (no mojar los motores eléctricos)
- Pisos de las escaleras, etc.
- Recuerde que una planta sucia deprime el animo del trabajador

Seguridad

Es necesario hacer limpieza de pisos y escaleras, porque sencillamente la espuma derramada es muy resbalosa y usted mismo se puede caer. Para evitar este tipo de accidentes es mejor hacer la limpieza

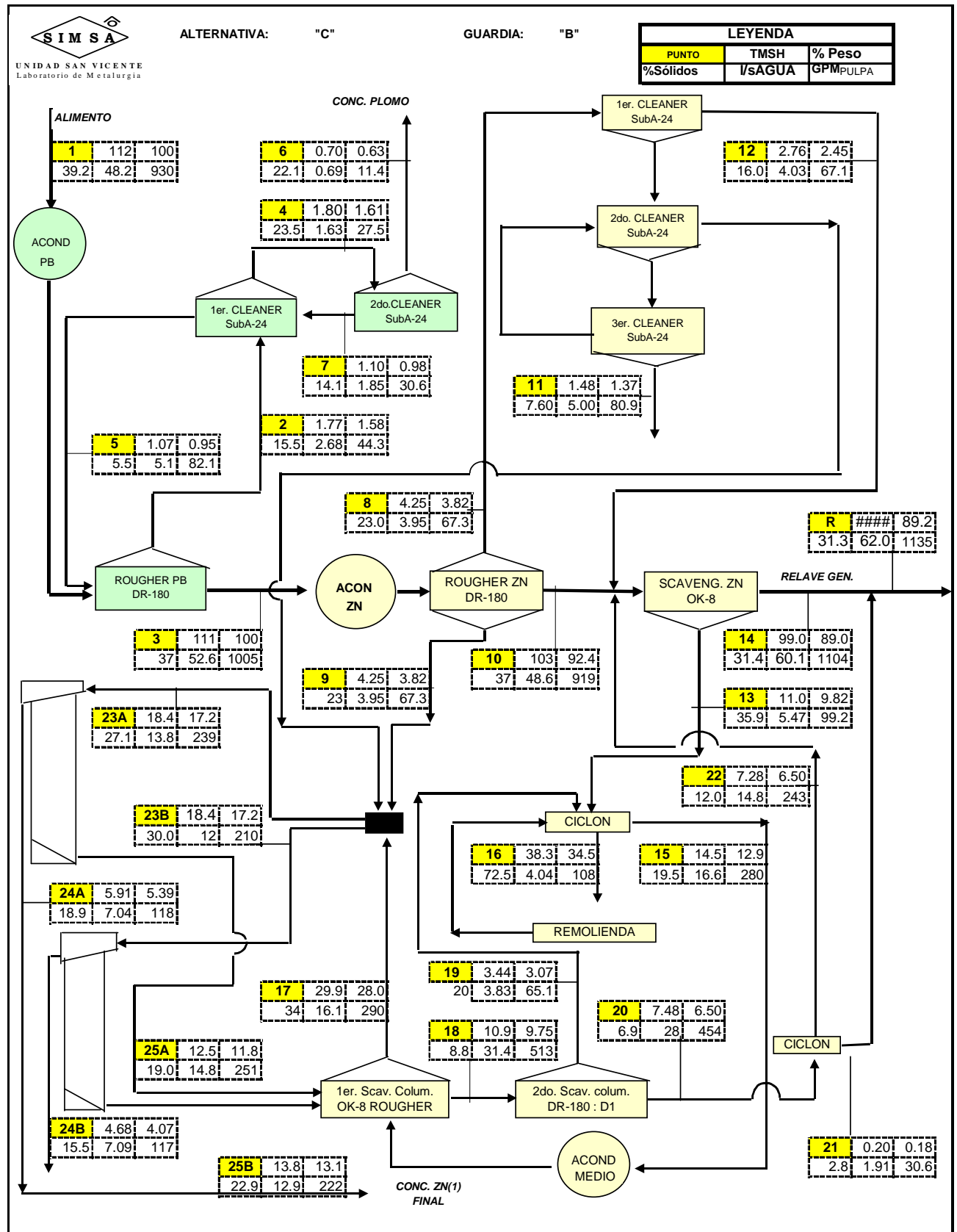


En algunas plantas se usa agua a presión para lavar pisos y escaleras. El uso del agua en este caso es correcto sólo se debe evitar el uso de agua en épocas y lugares muy fríos, porque daría lugar a la formación de escarcha o hielo en las escaleras o pisos, esta escarcha es más peligrosa que la espuma

En este caso será necesario secar los pisos y escaleras mojadas, con algo seco, “aserrín”, por ejemplo. Si no se dispone de este material, puede usarse la escoba

¿Qué otras medidas de seguridad debemos observar?

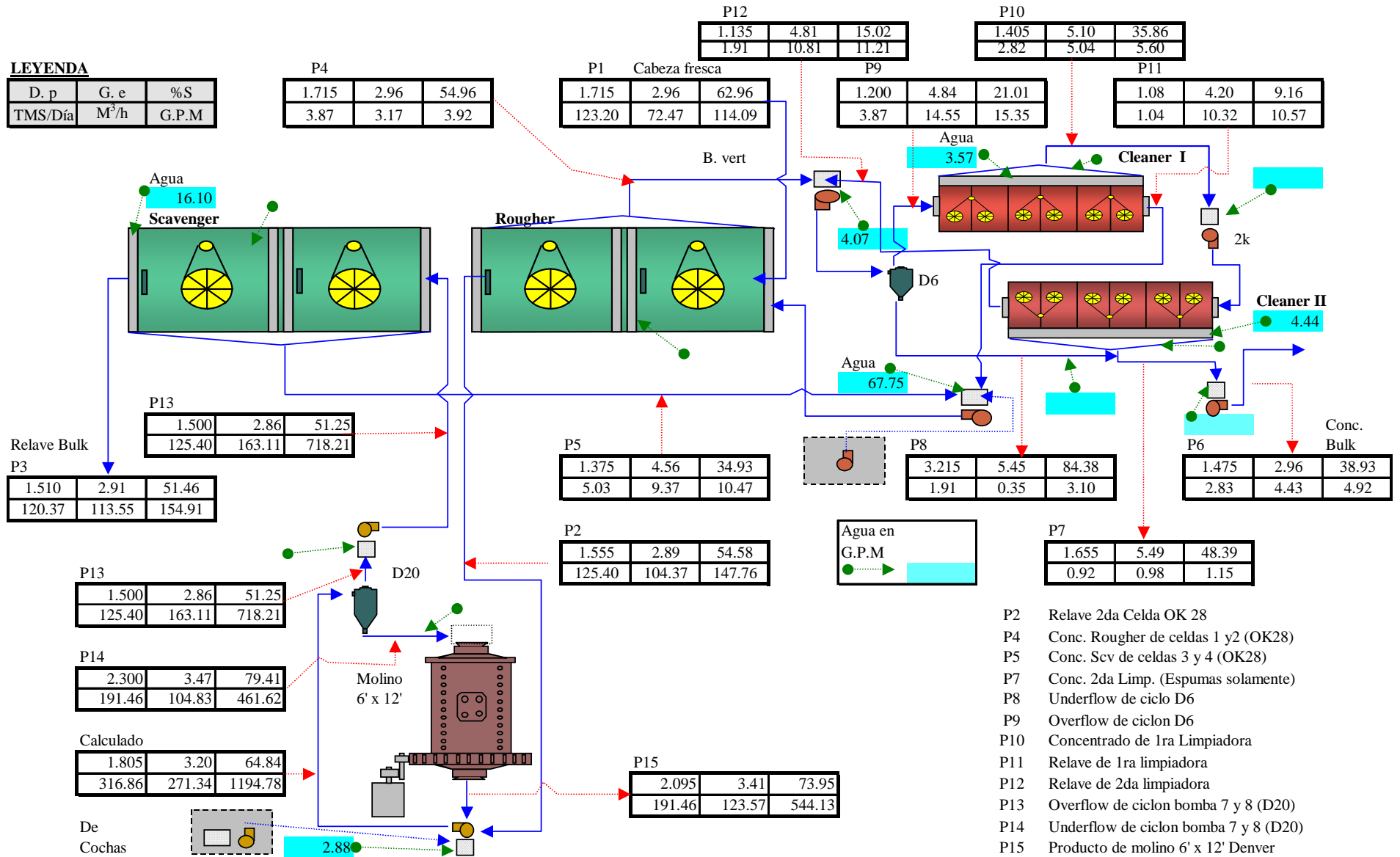
- Mucho cuidado al bajar escaleras
- Avisar al jefe de guardia cuando las barandas y peldaños de las escaleras estén en mal estado
- Tener mucho cuidado con las fajas y las poleas
- No dejar herramientas en el piso



BALANCE DE MATERIALES DEL CIRCUITO DE FLOTACIÓN BULK

LEYENDA

| D. p | G. e | %S |
|---------|-------------------|-------|
| TMS/Día | M ³ /h | G.P.M |



FLWSHEET DEL SUB SISTEMA FLOTACIÓN BULK (Plomo - Cobre - Plata)

Abril 2002

Otros

M = Motor eléctrico
Rv = Reductor de velocidad
C = Cajón de pulpa
Ar = Adición de reactivos
MA = Muestreador Automático

- 12 02 Bombas Wilfley 5k (B:3, 4)
 13 02 Celdas Outokumpu OK28 - Scv Bk
 14 Celda Jameson de 4 Downcomers
 15 01 Bomba 5k (B:19)

Molino
de Bolas
Dominion
10.5' x 11'

