

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSE MIGUEL CARRERA

IMPLEMENTACIÓN DE GLASS BUBBLES PARA RECUPERACIÓN DE
ULTRAFINOS DE COBRE EN EL PROCESO DE FLOTACIÓN

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
Minería y Metalurgia

Alumno:

Fabián Esteban Castro Jeria
Carol Nataly Guzmán Ordenes

Profesor Guía:

Ing. Luis Gutiérrez Meneses

2017

RESUMEN

Keywords: GLASS BUBBLES, MOLIENDA HÚMEDA, RECUPERACIÓN DE ULTRAFINOS,

Las glass bubbles o burbujas de cristal, son esferas huecas de vidrio hechas de sodio-cal-borosilicato, dentro de sus propiedades una de las más importantes es su baja densidad por lo que es empleada en diferentes tipos de industrias, como por ejemplo la industria automotriz, aeronáutica, y hasta para mejorar las propiedades de ciertas pinturas.

No tienen un pH definido, pues al estar en estado sólido, como un polvo seco, no se puede determinar, aunque si se diluyen en agua desionizada arrojan un pH de 9,5 en promedio. Son químicamente estables, sin embargo, por sobre los 600 °C sus propiedades se ven afectadas.

Existen diferentes tipos de micro burbujas las cuales son fabricadas por la empresa 3M, para los propósitos de este trabajo se emplearon microburbujas K series, en específico el modelo K 37. Su tamaño promedio es de 45 micrones con una densidad de 0,37 g/cm³.

Uno de los problemas de la flotación de minerales es poder conseguir la granulometría adecuada para que las burbujas que se producen por efecto del espumante, logren levantar y flotar las partículas de mineral, es sabido que se tienen grandes pérdidas de mineral de interés, por estar molido a una granulometría muy pequeña, es por esto que se emplearon glass bubbles en el proceso de flotación para recuperar aquellas partículas que se iban a perder.

Para que las micro burbujas puedan funcionar como colector de las pequeñas partículas, estas deben ser activadas de cierta forma, el proceso se llama funcionalización, y básicamente es hacer reaccionar un alcohol de cadena larga y recta con la superficie de las glass bubbles, esta superficie tiene en su composición el grupo silanol, el cual se une con la cadena de alcohol recubriéndose de estas. Este proceso se realiza durante siete horas agitando y calentando la mezcla de burbujas con alcohol, el alcohol que se evapora debe ser devuelto al proceso por medio de la condensación de este. Una vez finalizada las siete horas de funcionalización, la mezcla se filtra recuperando las micro burbujas, estas se deben lavar para retirar todo el alcohol que no reaccionó. De esta manera están listas para ser utilizadas en la flotación de minerales ultra finos.

En este trabajo se llevaron a cabo diferentes pruebas para el uso de microburbujas de vidrio en la flotación, para llevar a cabo estas pruebas fue necesario recrear las condiciones de granulometría para los ultra finos de mineral de cobre, realizando molienda húmeda, ya que el mineral ultra fino se volatiliza fácilmente debido a su bajo peso y se pierden grandes cantidades de la muestra en el aire. La molienda húmeda ayuda a controlar las pérdidas de este tipo, ya que las partículas se encuentran inmersas en el agua, unidas y aglomeradas unas con otras.

La capacidad dentro del molino condicionará la cantidad de mineral que se va a moler, con esto también se puede calcular la cantidad de bolas que se necesitan, para que el molino pueda girar moliendo el mineral en su interior.

La base de este tipo de molienda es tener el control del agua que se utiliza en el proceso, el agua no solo participará dentro del molino en funcionamiento, sino que también después de esta operación, se necesitará agua para poder arrastrar el mineral que quede en las paredes del molino. Toda esta agua se calcula considerando la capacidad en litros de la celda que se va a ocupar.

Durante la flotación también se agrega agua, para recuperar el nivel de agua que se pierde con la espuma que se va generando.

En la flotación convencional de ultra finos sin micro burbujas, la recuperación de partículas de interés es mínima, con el uso de micro burbujas funcionalizadas, la recuperación fue mucho mayor. El modo de comparación de estos procesos nombrados es el análisis de muestras de las diferentes flotaciones realizadas, a cada muestra se le realizó una digestión ácida, este proceso logra diluir el mineral de interés en el ácido, para que pueda ser analizado a través de la espectrometría de absorción atómica.

Por último, se detallan los procedimientos paso a paso para llevar a cabo una flotación empleando glass bubbles.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: GLASS BUBBLES.....1

1 ANTECEDENTES GENERALES DE LAS GLASS BUBBLES 3

1.1 GLASS BUBBLES O MICRO ESFERAS DE VIDRIO 3

1.2 DATOS DE SEGURIDAD DE LAS GLASS BUBBLES.....6

1.2.1 FICHA DE SEGURIDAD 3M Glass Bubbles, Tipo K y Tipo S.....6

1.2.1.1 Primeros auxilios.....6

1.2.1.2 Medidas contra incendios.....6

1.2.1.3 Medidas contra una liberación accidental 6

1.2.1.4 Manejo y Almacenamiento 7

1.2.1.5 Controles de exposición 7

1.2.1.6 Equipo de Protección Personal (EPP).....7

1.2.1.7 Propiedades físicas y químicas 8

1.2.1.8 Estabilidad y reactividad 9

1.2.1.9 Información toxicológica 9

1.2.1.10 Información ecológica.....10

1.2.1.11 Consideraciones de desecho.....10

1.3 FUNCIONALIZACIÓN DE MICRO BURBUJAS.....10

1.3.1 Materiales para la funcionalización de micro burbujas.....11

1.3.2 Procedimiento para la funcionalización de micro burbujas 12

1.3.3 Materiales para el lavado de micro burbujas funcionalizadas 14

1.3.4 Procedimiento para lavado de micro burbujas funcionalizadas 14

CAPÍTULO 2: PARÁMETROS EXPERIMENTALES PARA LA FLOTACION DE ULTRAFINOS.....2

2 PARÁMETROS EXPERIMENTALES PARA LA FLOTACION DE ULTRAFINOS 16

2.1 MOLIENDA 16

2.1.1 Molienda húmeda.....17

2.1.1.1 Materiales para molienda húmeda 17

2.1.1.2 Procedimiento para molienda húmeda: 17

2.2 ANTECEDENTES DE LA FLOTACIÓN.....19

2.2.1 Celdas de flotación.....19

2.2.2 Principios de la flotación.....20

2.2.3 Diseño de flotación 21

2.2.3.1 Reactivos de flotación 21

2.2.3.1.1 Espumantes 22

2.2.3.1.2	Colectores.....	23
2.2.3.1.3	Activadores.....	24
2.2.3.1.4	Depresores.....	25
2.2.3.1.5	Modificadores de pH.....	25
2.2.3.2	Flujo de aire.....	25
2.2.3.3	Tiempo de residencia	26
2.2.3.4	Tamaño de partículas	26
2.3	DIGESTIÓN ACIDA	26
2.4	ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	27
2.5	PROBLEMAS DE ULTRAFINOS EN LA FLOTACIÓN	27
CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR FLOTACIÓN		
UTILIZANDO MICROBURBUJAS.....		17
3	PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR FLOTACIÓN UTILIZANDO	
MICROBURBUJAS.....		30
3.1	CHANCADO	30
3.1.1	<i>Materiales para chancado de mineral</i>	<i>30</i>
3.1.2	<i>Implementos de seguridad.....</i>	<i>31</i>
3.1.3	<i>Procedimiento para chancado de mineral.</i>	<i>31</i>
3.2	MUESTREO DEL MINERAL.....	32
3.2.1	<i>Materiales para roleo y cono y cuarteo</i>	<i>32</i>
3.2.2	<i>Roleo.....</i>	<i>32</i>
3.2.3	<i>Cono y cuarteo</i>	<i>35</i>
3.2.4	<i>Partidor de jones.....</i>	<i>36</i>
3.3	FLOTACIÓN	36
3.3.1	<i>Flotación convencional</i>	<i>36</i>
3.3.1.1	<i>Materiales para flotación</i>	<i>36</i>
3.3.1.2	<i>Procedimiento.....</i>	<i>37</i>
3.3.2	<i>Flotación con microburbujas de cristal</i>	<i>37</i>
3.3.2.1	<i>Materiales para la flotación con micro burbujas</i>	<i>38</i>
3.3.2.2	<i>Procedimiento:</i>	<i>38</i>
3.4	DIGESTIÓN ÁCIDA	38
3.4.1	<i>Materiales para digestión ácida</i>	<i>38</i>
3.4.2	<i>Implementos de seguridad.....</i>	<i>39</i>
3.4.3	<i>Procedimiento para soluciones.....</i>	<i>39</i>
3.4.4	<i>Procedimiento para digestión ácida</i>	<i>40</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1: IMAGEN REFERENCIAL DE MICRO BURBUJAS DE VIDRIO	3
FIGURA 1-2: IMAGEN DE LAS MICROBURBUJAS DE VIDRIO 3M™ K37	4
FIGURA 1-3: REPRESENTACIÓN DE LA FUNCIONALIZACIÓN DE LAS MICRO BURBUJAS DE VIDRIO, EN DONDE LAS CADENAS DE ALCOHOL ESTÁN REPRESENTADAS POR LAS LÍNEAS RECTAS.....	11
FIGURA 1-4: SISTEMA INSTALADO PARA LA FUNCIONALIZACIÓN DE MICRO BURBUJAS	13
FIGURA 1-5: SISTEMA DE FILTRADO INSTALADO PARA EL LAVADO DE LAS MICRO BURBUJAS FUNCIONALIZADAS	15
FIGURA 2-1: IMAGEN EN REPRESENTACIÓN DE VOLUMEN ÓPTIMO DE CARGA DEL MOLINO	18
FIGURA 2-2: IMAGEN EN REPRESENTACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS BOLAS DENTRO DEL MOLINO CUANDO ES CARGADO CON POCA AGUA Y PUESTO EN MARCHA CON MUCHA VELOCIDAD.....	18
FIGURA 2-3: IMAGEN EN REPRESENTACIÓN DEL COMPORTAMIENTO IDEAL DE LAS BOLAS Y MINERAL DENTRO DEL MOLINO, CON CANTIDADES APROPIADAS DE LLENADO. EL PUNTO ROJO SEÑALA LA ZONA DE IMPACTO.	19
FIGURA 2-4: DISTINTAS ZONAS DE TRABAJO DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN.	20
FIGURA 2-5: INTERACCIÓN ENTRE PARTÍCULAS HIDROFÓBICAS E HIDROFÍLICAS CON BURBUJAS DE AIRE.	21
FIGURA 2-6: ADHESIÓN DEL COLECTOR A LA SUPERFICIE DEL MINERAL.	23
FIGURA 2-7: ZONA DE TRABAJO DE COLECTORES ANIÓNICOS Y CATIÓNICOS.....	24
FIGURA 2-8: INTERACCIÓN ENTRE LA BURBUJA Y LA PARTÍCULA DE MINERAL DURANTE LA FLOTACIÓN.....	28
FIGURA 2-9: IMAGEN QUE REPRESENTA LA TRAYECTORIA DE LA BURBUJA Y LAS PARTÍCULAS	29
FIGURA 2-10: BURBUJA A MUESTRA EL CONTACTO NORMAL, CON POCA DESVIACIÓN DE ÉSTA CON EL MINERAL, BURBUJA B MUESTRA EL ASCENSO DE LA BURBUJA, BURBUJA C MUESTRA LA DESVIACIÓN DE LAS PARTÍCULAS ARRASTRADAS POR EL AGUA, EN ESTA ÚLTIMA NO HAY CONTACTO CON LA BURBUJA MISMA.	29
FIGURA 3-1: CHANCADOR DE MANDÍBULAS T.M. RHINO JAW CRUSHER MODELO #1AL..	30
FIGURA 3-2: LLAVE DE AJUSTE ESPECIAL PARA REGULAR LA ABERTURA DE DESCARGA DEL CHANCADOR DE MANDÍBULAS.....	31
FIGURA 3-3: POSICIONAMIENTO INICIAL DEL MINERAL SOBRE EL PAÑO ROLEDOR.....	33
FIGURA 3-4 : LA FLECHA INDICA EL PRIMER MOVIMIENTO DEL MINERAL PARA EL ROLEO .	33
FIGURA 3-5: LA FLECHA DE LA FIGURA MUESTRA EL SEGUNDO MOVIMIENTO DEL MINERAL PARA EL ROLEO	34
FIGURA 3-6: LA FLECHA INDICA EL TERCER MOVIMIENTO DEL MINERAL PARA EL ROLEO..	34

FIGURA 3-7: LA FLECHA INDICA EL CUARTO MOVIMIENTO DEL MINERAL PARA EL ROLEO .34

FIGURA 3-8: SE MUESTRAN LOS PASOS A SEGUIR PARA REALIZAR EL CONO Y CUARTEO DE
LA MUESTRA DE MINERAL.....36

FIGURA 3-9: MUESTRAS DE DIGESTIÓN ÁCIDA AFORADAS.....40

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE GLASS BUBBLES TIPO K37 5

SIGLA

%	: Porcentaje.
3M TM	: Minnesota Mining and Manufacturing Company.
ASTM	: American Society of Testing Materials (Asociación Americana de Ensayo de Materiales).
EAA	: Espectrometría de Absorción Atómica.
EPP	: Equipo de protección personal.
OSHA	: Occupational Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional).

SIMBOLOGIA

Ca(OH) ₂	: Hidróxido de calcio.
Cu ⁺²	: Cobre (II).
CuSO ₄	: Sulfato de cobre (II).
Fe	: Hierro.
g	: gramos
g/cm ³	: gramos, centímetros cúbicos.
H ₂ SO ₄	: Tetraoxosulfato (VI) (ácido sulfúrico).
HCl	: Cloruro de hidrogeno (ácido clorhídrico).
HNO ₃	: Ácido trioxonítrico (ácido nítrico).
in	: pulgadas.
m ³	: metro cubico.
ml	: mililitro.
mm	: milimetro.
MPa	: megapascal.
Na ₂ CO ₃	: Carbonato de sodio.
NaCN	: Cianuro de sodio.
NaOH	: Hidróxido de sodio (soda caustica).
OH	: Grupo hidroxilo.
pH	: Medida de acidez o basicidad de una solución.
PSI	: Libra de fuerza por pulgada cuadrada.
Si(OH)	: Silanol.
ZnS	: Sulfuro de zinc.
µl	: microlitro.
µm	: micrómetro.
°C	: Grados Celcius.

INTRODUCCIÓN

Con el transcurso del tiempo, gracias a los avances tecnológicos, la metalurgia ha desarrollado progresivamente sus técnicas, tanto de obtención como de tratamientos de minerales metálicos, con el fin de optimizar procesos y obtener el mayor beneficio de las materias primas con las cuales se trabajan.

Dentro de la metalurgia, la flotación es un proceso que permite la separación y selección de partículas, donde se produce una interacción entre una pulpa de mineral y burbujas de aire que ascienden en un medio líquido, colectando y transportando partículas de interés hacia la superficie. Idealmente, el rango típico de tamaño de liberación para especies mineralógicas comunes en la industria chilena del cobre es de 45-75 μm . [1]

A la fecha, no se ha establecido un método para tratar y recuperar especies mineralógicas de cobre con granulometrías bajo 20 μm . Es por ello, que junto con el departamento de química de la Universidad Técnica Federico Santa María y la compañía 3M Chile, se desarrollará una posible alternativa para la recuperación de especies de dicho tamaño. Para esto se utilizarán glass bubbles, un producto fabricado y desarrollado por 3M, que consiste en microesferas de vidrio huecas de alta resistencia y baja densidad hechas de vidrio de boro silicato. [2]

Pruebas preliminares, evaluadas por el laboratorio de investigación del departamento de química de la Universidad Técnica Federico Santa María, basados en la adhesión de partículas finas con glass bubbles, indican que se permite recuperar efectivamente las partículas finas (bajo 20 micrones) mientras que los test cinéticos para partículas de 38 micrones, se logró aumentar en 100% la constante cinética, evidenciando que tanto partículas sobre y bajo 20 micrones pueden ser efectivamente colectadas.

Bajo este criterio, la finalidad de este trabajo de título es lograr un procedimiento para implementar las glass bubbles en el proceso de flotación para la recuperación de ultrafinos de cobre.

Para lograr esto, se establecerá un procedimiento completo y estandarizado con parámetros experimentales, tanto para molienda como para flotación, apoyados por

simulaciones en el laboratorio, información bibliográfica e información de empresa 3M para caracterizar las funciones y propiedades presentes en las glass bubbles.

Objetivo:

- Implementar glass bubbles en el proceso de flotación, para la recuperación de ultrafinos de cobre, con la finalidad del mejoramiento de la recuperación metalúrgica.

Objetivos específicos:

- Caracterizar las propiedades de las glass bubbles a través de la ficha técnica entregada por la empresa 3M para la flotación de ultrafinos de cobre.
- Definir parámetros experimentales de molienda y flotación, para la igualación de condiciones de ultrafinos de cobre mediante simulaciones en laboratorio.
- Establecer los procedimientos de flotación con el uso de glass bubbles, para optimizar la recuperación de ultrafinos de cobre.

CAPÍTULO 1: GLASS BUBBLES

1 ANTECEDENTES GENERALES DE LAS GLASS BUBBLES

1.1 GLASS BUBBLES O MICRO ESFERAS DE VIDRIO

Las Glass Bubbles o microesferas de vidrio (Figura 1-1 y Figura 1-2) son huecas, de forma esférica perfecta, son duras ligeras y de baja densidad, hechas de vidrio de sodio-cal-borosilicato, son químicamente estables, no son porosas y le aportan una excelente resistencia al agua y al aceite. Las burbujas de vidrio (glass bubbles), son aditivos poliméricos de alta resistencia que pueden usarse como material de relleno de baja densidad, diseñadas por la compañía 3M como alternativas de rellenos y aditivos convencionales tales como, sílices, carbonato de calcio, talco, arcilla, etc. [4]



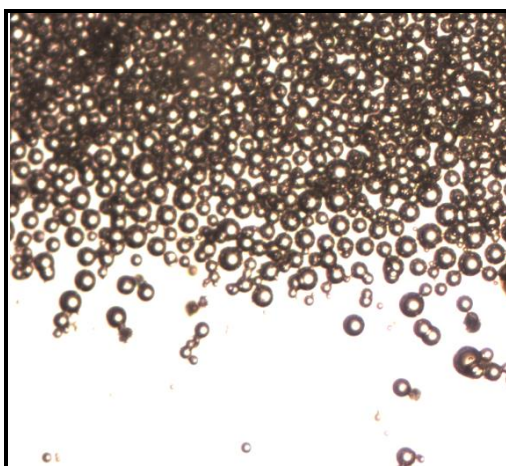
Fuente: 3m.com

Figura 1-1: imagen referencial de micro burbujas de vidrio

Su pH no está definido, porque son consideradas polvo seco, por ende, su pH va estar determinado por la alcalinidad de la solución en la que se encuentre inmersas, sin embargo, al ser diluidas en agua desionizada, arroja un pH de solución entre 9,1 y 9,9.

Este producto es poco denso, por lo cual se utiliza para reducir el peso de ciertas piezas, disminuir costos y mejorar las propiedades del producto. Se utilizan en diversas industrias como por ejemplo en materiales de construcción, fluidos de perforación y cemento, en aislamiento y flotabilidad para equipos que trabajan sobre el agua, minería, fabricación de pinturas, plásticos y en la construcción de medios de transportes aéreos y terrestres, así como también en la industria química de cosméticos. [4]

Su baja densidad permite mejorar la producción, ya que se pueden acortar los ciclos de procesos logrando la elaboración de más piezas por hora y los procesos de fabricación se benefician con ahorro de energía.



Fuente: captura propia en base a las microburbujas vistas en un microscopio

Figura 1-2: imagen de las microburbujas de vidrio 3M™ K37

En general las micro burbujas son químicamente estables, sin embargo, algunas de las propiedades de las burbujas se pueden ver afectadas sobrepasando los 600°C, todo depende de la temperatura y el tiempo de exposición a esta.

La compañía 3M posee burbujas de vidrio de diferente variedad de tamaños y características, divididos en series, para cumplir diversos requisitos. K Series, S Series y iM Series, son ejemplos de ello.

El modelo que se presenta en este trabajo corresponde al modelo K37, cuyas burbujas ofrecen resistencia química, aumento del rendimiento de producción, ligereza en las piezas de fabricación que en su composición se pueden encontrar microburbujas, así como también estas ofrecen una buena resistencia a la temperatura. Su color al igual que en otros modelos se puede apreciar blanco de consistencia como el polvo, están compuestas básicamente de vidrio de sodio-cal-borosilicato.

En cuanto a su resistencia a la compresión se ha podido determinar que ésta es hasta de 3000 psi. Son empleadas en diferentes industrias debido a su baja densidad, en este modelo es de 0,37 g/cm³, es decir, que pesan muy poco y ocupan un gran espacio, esto es debido a que son esferas huecas, además debemos considerar su tamaño de 45 micrones, el cual no es visible a simple vista, sino a través de un microscopio, es impresionante ver que una partícula tan pequeña hecha de vidrio y hueca, pueda tener

tantas cualidades de resistencia, como para ser usada en la elaboración de piezas importantes para reducir su peso sin perder otras propiedades importantes de seguridad.

A continuación, se presenta una tabla con las características del modelo K37:

Tabla 1-1: características generales de glass bubbles tipo K37

Nombre del Atributo	Valor
Capacidades	Resistencia química, aumento del rendimiento de producción, ligereza, resistencia a la temperatura.
Color	Blanco, pulverulento.
Composición	Vidrio de sodio-cal-borosilicato.
Resistencia de aplastamiento (PSI)	3.000
Densidad (g/cm ³)	0,37
Industrias	Minería, pinturas y revestimientos, caucho y plástico, transporte.
pH (al 5% en peso de carga en agua)	9,5
Tamaño de Partícula, diámetro promedio (Micrón)	45
Fuerza (MPa)	20,6

Fuente: © 3M 2015. Todos los derechos reservados

Si bien es cierto, estas esferas tienen un tamaño muy pequeño con paredes delgadas, poseen una resistencia al aplastamiento de 3.000 (psi), por lo tanto, son adecuadas para una serie de funciones. En minería por ejemplo son utilizadas como componente de los explosivos ya que actúan como huecos prefabricados de baja densidad, aportando con puntos calientes que ayudan a aumentar la sensibilidad y la velocidad de detonación.

Las compañías de automoción y aeronáutica pueden verse beneficiadas con el uso de microburbujas en su fabricación de productos, como por ejemplo en la fabricación de una cabina de avión, el uso de microburbujas logra que esta sea más ligera por ende se economiza el gasto de combustible y a su vez ayuda a reducir el impacto medioambiental, pero sin afectar la función principal para la cual son creadas estas piezas.

Gracias a su baja conductividad pueden ser utilizadas en la elaboración de pinturas evitando que se produzca condensación en climas húmedos.

1.2 Datos de seguridad de las glass bubbles

1.2.1 FICHA DE SEGURIDAD 3M Glass Bubbles, Tipo K y Tipo S

- Recomendaciones de uso: relleno ligero
- Clasificación de peligro: no clasificado como producto peligroso según OSHA Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200.

1.2.1.1 Primeros auxilios

- Retire a la persona al aire libre. Si no se siente bien, obtenga atención médica.
- Contacto con la piel: Lavar con agua y jabón. Si se desarrollan signos / síntomas, obtenga atención médica.
- Contacto visual: Enjuague con grandes cantidades de agua. Retire las lentes de contacto si es fácil de hacer. Continúa enjuagando. Si los signos / síntomas persisten, obtenga atención médica.
- En caso de ingestión: Enjuagar la boca. Si no se siente bien, obtenga atención médica.

1.2.1.2 Medidas contra incendios

- Medios de extinción adecuados e incombustible: use un agente de extinción de incendios adecuado para el fuego circundante.
- Peligros especiales derivados de la sustancia o mezcla: Ninguno inherente en este producto.
- Acciones especiales de protección para los bomberos: no se prevén acciones especiales de protección para los bomberos.

1.2.1.3 Medidas contra una liberación accidental

- Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia: evacue y ventile el área con aire fresco.
- Precauciones ambientales: evite su liberación al medio ambiente.

- Métodos y material para contención y limpieza: recoja la mayor cantidad de material derramado como sea posible. Use compuesto de barrido húmedo o agua para evitar el polvo. Barrer. Coloque en un contenedor cerrado aprobado para el transporte por las autoridades correspondientes. Limpie los residuos. Selle el contenedor. Deseche el material recogido lo antes posible de acuerdo con las regulaciones locales / regionales / nacionales / internacionales aplicables.

1.2.1.4 Manejo y Almacenamiento

- Precauciones para una manipulación segura: sólo para uso profesional o industrial. Evite respirar el polvo. No coma, beba ni fume cuando use este producto. Lávese bien después de la manipulación.
- Condiciones para almacenaje seguro, incluyendo cualquier incompatibilidad: sin requisitos especiales de almacenamiento.

1.2.1.5 Controles de exposición

- Controles de ingeniería: use ventilación de dilución general y/o ventilación de escape local para controlar las exposiciones en el aire. Si la ventilación no es adecuada use equipo de protección respiratoria.

1.2.1.6 Equipo de Protección Personal (EPP)

- Protección de ojos / cara: seleccione y use protección para los ojos y cara para evitar el contacto. Se recomienda protección ocular: gafas de seguridad con protección lateral.
- Protección de la piel / mano: no se requieren guantes de protección química.
- Protección respiratoria: Una evaluación de la exposición puede ser necesaria para decidir si se requiere un respirador.
- Si se necesita un respirador, use respiradores como parte de un programa completo de protección respiratoria. Se recomienda, respirador purificador de aire de media careta o careta completa adecuado para partículas.
- Para preguntas sobre la idoneidad para una aplicación específica, consulte con su fabricante de respiradores.

- Existen mascarar de filtrado, las cuales pueden ayudar a evitar la inhalación de micro burbujas y de ciertos polvos que pueden volatilizarse en el procedimiento. Estas las hay en tres grandes tipos, clasificadas por las letras “R” “N” y “P”, las cuales dependen de cómo funcionan cuando se exponen a aceites:
 - N" significa No resistente al aceite;
 - "R" significa relativamente Resistente al aceite;
 - "P" significa muy resistente al aceite, o a Prueba de aceite.

La otra clasificación de las máscaras, corresponde al número que acompaña a las letras, los filtros que eliminan al menos el 95 por ciento de esas partículas reciben una calificación de 95. Los que filtran al menos el 99 por ciento reciben una calificación de 99, y los que filtran al menos el 99.97 por ciento -casi el 100 por ciento-, reciben una calificación de 100.

1.2.1.7 Propiedades físicas y químicas

Información sobre propiedades físicas y químicas básicas:

- Forma física general: sólido
- Forma física específica: polvo fino de baja densidad.
- Olor, color, grado: blanco inodoro.
- pH: datos no disponibles.
- Punto de fusión: no aplica.
- Punto de ebullición: no aplica.
- Punto de inflamación: no aplica.
- Tasa de evaporación: no aplica.
- Inflamabilidad (sólido, gas): no clasificado.
- Límites de inflamabilidad (LEL): no aplica.
- Límites de inflamabilidad (UEL): no aplica.
- Presión de vapor: no aplica.
- Densidad del vapor: no aplica.
- Densidad: 0,1 – 0,6 g/cm³.
- Gravedad específica: 0,1 – 0,6 (referencia estándar, agua = 1).
- Solubilidad en agua: insignificante.
- Temperatura de ignición espontánea: no aplica.
- temperatura de descomposición: no aplica.
- Viscosidad: no aplica.
- Peso molecular: datos no disponibles.

- Compuestos orgánicos volátiles: no aplica.
- Porcentaje de volátiles: <0.5% peso.
- Punto de ablandamiento: ≥ 600 °C.

1.2.1.8 Estabilidad y reactividad

- Reactividad: este material se considera no reactivo en condiciones normales de uso.
- Estabilidad química: estable.
- Posibilidad de reacciones peligrosas: la polimerización peligrosa no ocurrirá.
- Condiciones para evitar: ninguno conocido.
- Materiales incompatibles: ninguno conocido.

1.2.1.9 Información toxicológica

Signos y síntomas de la exposición. Basados en datos de prueba y/o información sobre los componentes, este material puede producir los siguientes efectos sobre la salud:

1. Inhalación:
 - a. Irritación del tracto respiratorio: Los signos / síntomas pueden incluir tos, estornudos, secreción nasal, dolor de cabeza, ronquera y dolor de nariz y garganta.
2. Contacto con la piel:
 - a. Irritación mecánica de la piel: los signos / síntomas pueden incluir abrasión, enrojecimiento, dolor y picazón.
3. Contacto visual:
 - a. Irritación ocular mecánica: los signos / síntomas pueden incluir dolor, enrojecimiento, lagrimeo y abrasión corneal.
4. Ingestión:
 - a. Puede ser dañino si se ingiere.
 - b. Irritación gastrointestinal: los signos / síntomas pueden incluir dolor abdominal, malestar estomacal, náuseas, vómitos y diarrea.
5. Peligro de aspiración: no hay datos disponibles actualmente o los datos no son suficientes para la clasificación.

1.2.1.10 Información ecológica

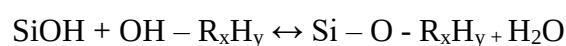
- Información ecotoxicológica: Por favor, póngase en contacto con 3M™ para obtener información ecotoxicológica adicional sobre este material y/o sus componentes.
- Información del destino químico: Por favor, póngase en contacto con 3M™ para obtener información adicional sobre el destino químico de este material y/o sus componentes.

1.2.1.11 Consideraciones de desecho

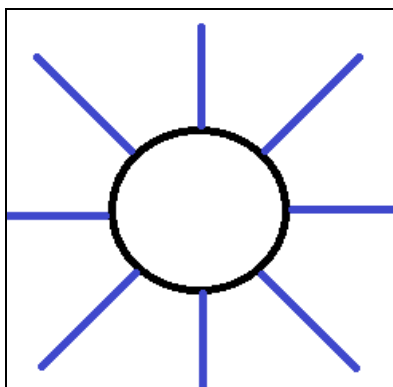
- Métodos de eliminación: eliminar el contenido / contenedor de acuerdo con las regulaciones locales / regionales / nacionales / internacionales.
- Antes de su eliminación, consulte a todas las autoridades y reglamentaciones pertinentes para asegurar una clasificación adecuada. Deseche el producto en una instalación de desechos industriales permitida.
- Número de residuos peligrosos de la EPA (RCRA): No regulado.

1.3 FUNCIONALIZACIÓN DE MICRO BURBUJAS

La funcionalización de la superficie de vidrio de las microburbujas es un proceso que se refiere a la esterificación entre el grupo silanol de la sílice y el surfactante utilizado, es decir, la superficie de la micro burbuja está conformada por grupos silanol (SiOH), sin embargo por sí sola no es capaz de captar mineral, para esto se realiza la funcionalización de las micro burbujas en donde estas se colocan en contacto con alcohol de cadena larga y por medio de una reacción química se unen, este debe ser un alcohol de cadena derecha, la reacción química que provoca el recubrimiento de las partículas por las cadenas de alcohol es la siguiente [2]:



En la figura 1-3, se puede observar a modo de representación la funcionalización de las micro burbujas por efecto del alcohol



Fuente: elaboración propia, en base al recubrimiento de las burbujas con las cadenas de alcohol

Figura 1-3: representación de la funcionalización de las micro burbujas de vidrio, en donde las cadenas de alcohol están representadas por las líneas rectas.

La investigación que se llevó a cabo para determinar el mecanismo de reacción que produce el recubrimiento con alcoholes se viene realizando desde 1975. Con este estudio se determinó que la esterificación de la sílice con cadenas alcalinas es producto de la fisión del enlace silanol. [2]

En estudios más recientes se ha podido esclarecer los efectos de distintos tipos de alcoholes terminales en la funcionalización de superficies, así como también se afirma que la hidrofobicidad de las burbujas es mayor mientras más larga es la cadena de alcohol. [2]

Debido a que la reacción que ocurre está en equilibrio, se trata de trabajar con alcohol en exceso para asegurar que la reacción de esterificación se lleve a cabo. [2]

1.3.1 Materiales para la funcionalización de micro burbujas

- Las micro burbujas que se utilizaron para la funcionalización, fueron facilitadas por 3MTM, corresponden a las del modelo K37, las cuales tienen un tamaño promedio de 45 μm y una densidad de 0,37 g/cm^3 .
- El alcohol utilizado corresponde a 1-butanol con una pureza del 99,5 % y densidad igual a 0,810 g/cm^3 , además para la etapa de lavado del producto se utilizó etanol y acetona. Cabe mencionar que los reactivos antes nombrados fueron facilitados por los departamentos de Química e Ingeniería Química y Ambiental de la casa central de estudios, y el laboratorio de Metalurgia de la sede José Miguel Carrera, ambos de la Universidad Técnica Federico Santa María.

- Para funcionalizar las burbujas de vidrio, estas fueron depositadas en un bulbo de fondo redondo de 500 ml de capacidad.
- Se instaló un tubo condensador sobre el bulbo de fondo redondo, para evitar la evaporación del alcohol, además de una bomba peristáltica para la circulación del agua que enfriará el vapor del tubo.
- Se necesita además un agitador magnético con calefacción
- Agua para la función de la bomba peristáltica.

1.3.2 Procedimiento para la funcionalización de micro burbujas

Lo primero es preparar el material que se va a ocupar, en este caso se comienza con introducir una barra magnética al bulbo de fondo redondo de 500 ml de capacidad, ésta debe ser capaz de mover la mezcla que luego se le va a incorporar al bulbo de fondo redondo, posterior a esto se masan 50 gramos de micro burbujas, las cuales deben ser tratadas con mucho cuidado ya que debido a su bajo peso tienden a ser muy volátiles, una vez masadas, se introducen al bulbo con la ayuda de un embudo. Seguido a esto se miden 130 gramos de 1-butanol (correspondientes a 160,5 ml del reactivo) y se incorporan al bulbo con las burbujas, con la ayuda de un embudo. Se debe agitar bien para que se forme una mezcla homogénea entre las burbujas y el alcohol.

Se procede a instalar el sistema, el cual consiste en colocar en un soporte universal el tubo condensador acoplado al bulbo redondo con la mezcla antes nombrada, y este a su vez sobre el agitador magnético, así como se muestra en la figura 1-4. [2]



Fuente: captura propia en base a la instalación del sistema de la funcionalización de micro burbujas

Figura 1-4: sistema instalado para la funcionalización de micro burbujas

Una vez que esta todo fijado en su lugar, se deberá poner en marcha la bomba peristáltica, la que empujará el agua a través del tubo condensador, esta estará funcionando durante todo el proceso, a su vez se inicia la agitación magnética, la que evitará la coagulación de la mezcla, es decir, permitirá que haya una buena homogenización entre las burbujas y el 1-butanol. Cuando el agua haya alcanzado toda la columna y empiece a recircular, deberá encenderse la calefacción de la placa, esta deberá ir subiendo gradualmente hasta alcanzar los 118°C , considerada la temperatura optima ya que es aquella a la cual el 1-butanol ebulle a presión atmosférica. Esta temperatura es alcanzada luego de 20 minutos aproximadamente, todo puede variar dependiendo de la capacidad de la placa que se esté utilizando, luego, dicha temperatura, deberá mantenerse estable durante todo el proceso de funcionalización.

El alcohol evaporado es enfriado por el tubo condensador, y devuelto al bulbo que contiene la mezcla a medida que se condensa. Este procedimiento se debe realizar durante 7 horas.

Una vez concluidas las 7 horas de funcionalización, se procede realizar el lavado de las burbujas para retirar el alcohol excedente.

Si bien este es un proceso que dura siete horas, no se puede descuidar, ya que si la temperatura excede los 118°C se produce una ebullición violenta en donde la mezcla empieza a subir por el tubo condensador y podría hasta contaminarse la mezcla que se está funcionalizando. Lo idea es que cada cierto tiempo se corrobore la temperatura tanto

de la placa como de la mezcla al interior del bulbo de fondo redondo, porque también podría suceder que la placa este a la temperatura optima, pero esta no alcanza para calentar la mezcla dentro del bulbo a la temperatura que se necesita, y por lo tanto al termino de las 7 horas, no se habrán funcionalizado como corresponde las micro burbujas.

Al terminar la funcionalización y antes del lavado, la consistencia de la mezcla que antes más bien era liquida y que tendía a separarse en dos fases (microburbujas y alcohol), ahora tiene una consistencia espesa, por lo que para vaciar la mezcla tiene que ser con ayuda para arrastrar lo que vaya quedando en el bulbo.

1.3.3 Materiales para el lavado de micro burbujas funcionalizadas

- Matraz Kitasato
- Embudo bûchner
- Papel filtro (poro de 10-13 μm)
- Sistema de generación de vacío, en este caso se usó compresor
- Acetona
- Etanol
- Frasco

1.3.4 Procedimiento para lavado de micro burbujas funcionalizadas

Cuando concluyen las 7 horas de funcionalización, se debe apagar la calefacción de la placa, se deja enfriar y se procede a la instalación del sistema de filtrado, el cual consiste en acoplar el embudo bûchner a la parte superior del matraz Kitasato, al vástago del matraz se le conecta la manguera de succión del compresor, el cual generara el vacío suficiente para facilitar el filtrado del alcohol presente en las burbujas, y colocar el debido papel filtro al embudo como se muestra en la figura 1-5.



Fuente: captura propia en base a la instalación del sistema de filtrado

Figura 1-5: sistema de filtrado instalado para el lavado de las micro burbujas funcionalizadas

Se enciende el compresor, para que empiece la succión a través del embudo y se vacía el contenido del bulbo de fondo redondo dentro del embudo con el papel filtro. Se limpia todo lo que haya quedado en el bulbo con acetona.

Una vez que el embudo ha dejado de gotear líquido, se rocía con acetona las burbujas, empapándolas hasta una consistencia pastosa, esto consiste en el primer lavado, se le conoce como lavado ya que la acetona arrastra el 1-butanol que no esté participando en el recubrimiento de las glass bubbles. El lavado con acetona se realiza dos veces, esperando que el embudo deje de gotear para proceder con el segundo. Cuando deje de gotear una segunda vez, se realiza el lavado con alcohol etílico el cual se realiza de la misma manera que con acetona.

Cuando terminado de gotear por tercera vez, se procede a vaciar el contenido del embudo en el recipiente donde se almacenará para su posterior uso.

CAPÍTULO 2: PARÁMETROS EXPERIMENTALES PARA LA FLOTACION
DE ULTRAFINOS

2 PARÁMETROS EXPERIMENTALES PARA LA FLOTACION DE ULTRAFINOS

2.1 MOLIENDA

La molienda es la última etapa de la conminución o reducción de tamaño de los minerales, en donde los tamaños habituales a la salida de una molienda, van desde 1 mm hasta los 10 μm . Para lograr la fragmentación del mineral, ocurren dentro del molino fuerzas de compresión, cizalladura y abrasión. El molino como tal es un cilindro de metal cuya clasificación radica en el tipo de cuerpo molturante que posea, estos pueden ser bolas, barras, autógenos o semiautógenos, y de pebbles (cuerpos no metálicos, naturales o fabricados).

En la práctica los molinos pueden funcionar de dos formas, continua, en donde el mineral molido va saliendo a medida que va entrando el mineral sin moler, y la no continua, en la que el mineral es cargado al molino y se cierra la tapa para que al moler no se escape el mineral, una vez molido, se procede a abrir la tapa y a vaciar el mineral, este último es generalmente utilizado a nivel de laboratorio.

La molienda también puede realizarse en seco o en húmedo, todo depende de la granulometría a trabajar, ya que, por ejemplo, si ésta es muy fina, inferior a 200 μm , se recomienda realizar la molienda en húmedo, de esta manera se reducen las pérdidas de mineral que tiende a volatilizarse debido a que las partículas son muy livianas.

El objetivo final de la molienda es liberar el mineral de interés para alcanzar la mayor recuperación del metal. Para la obtención de mineral más fino se utilizan bolas de acero dentro del molino, ya que estas poseen mayor área superficial por unidad de peso que las barras. Estas pueden ser de igual diámetro, o una mezcla de varios tamaños, la cual permita obtener la granulometría deseada.

Además, se debe considerar la velocidad crítica del molino, ya que si el molino funciona a una velocidad mayor las bolas se adhieren a la pared del molino y no se produce la molienda ni por impacto ni por deslizamiento.

2.1.1 Molienda húmeda

2.1.1.1 Materiales para molienda húmeda

- Molino de bolas.
- Tacómetro.
- Agua potable.
- Pissetas.
- Cronómetro.

Antes de comenzar con el proceso de molienda se deben definir ciertos parámetros con los cuales se va a trabajar.

En primer lugar, el molino de bolas operará con el 30% de volumen de llenado. (ver figura 2-1), Es decir, si el volumen total del molino es de 5400 ml, este se llenará con un máximo de 1620 ml, los cuáles serán distribuidos entre volumen de bolas y de pulpa (mineral más agua).

Del total de las bolas de acero se usará un 40% de tamaño 1,06 in, y un 60% de bolas de tamaño 3/8 in.

Para el caso de la pulpa, se trabajará con 60% sólidos. Al añadir poca agua al molino, se genera una mezcla pastosa que provoca que las bolas se adhieran a las paredes del cilindro (ver figura 2-2).

2.1.1.2 Procedimiento para molienda húmeda:

Abrir el molino de bolas y verificar que no tenga ningún residuo de alguna molienda anterior, si este se encuentra con alguna suciedad, limpiar.

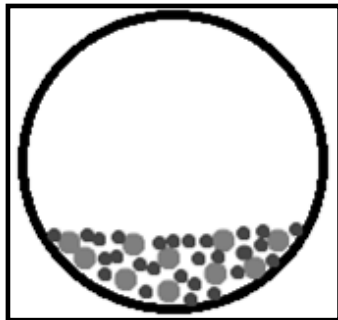
Una vez esté completamente limpio introducir las bolas, el mineral y el agua potable al molino. Sellar y apretar la tapa para que no exista ningún tipo de fuga, tanto líquida, como de mineral.

Colocar el molino de bolas sobre los rodillos, dirigirse al tablero de control y encender el equipo. Posteriormente, con el tacómetro medir y verificar que las RPM sean las correspondientes. Si no se alcanza las revoluciones requeridas, ir al tablero de control y modificar la frecuencia hasta que las revoluciones sean las óptimas.

Marcar 40 minutos en el cronómetro. Una vez terminado el tiempo de molienda, ir al tablero de control y detener el equipo. Retirar el molino de los rodillos, abrir y extraer la pulpa usando las pissetas con agua potable, se deben limpiar las bolas para no perder mineral.

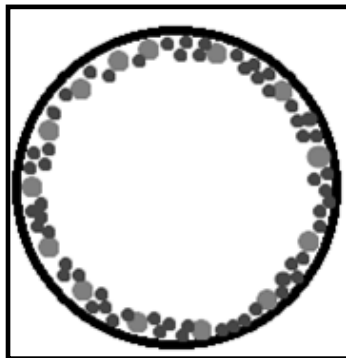
Cabe destacar que el agua que se utiliza, tanto al inicio de la molienda y para limpiar las bolas, no debe superar la cantidad de agua permitida en el proceso de flotación (cantidad de agua previamente calculada según celda que se utilizará).

Cuando el equipo esta con todas las condiciones favorables para una buena molienda, todo el material dentro de este será levantado produciéndose deslizamiento y caerá impactándose bolas con mineral. (ver figura 2-3). El punto rojo señala la zona de impacto.



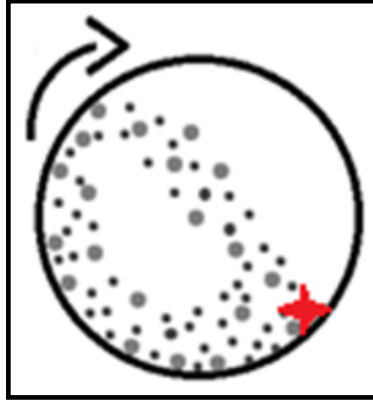
Fuente: elaboración propia en base al funcionamiento del molino

Figura 2-1: imagen en representación de volumen óptimo de carga del molino



Fuente: elaboración propia en base al funcionamiento del molino

Figura 2-2: imagen en representación del comportamiento de las bolas dentro del molino cuando es cargado con poca agua y puesto en marcha a altas revoluciones.



Fuente: elaboración propia en base al funcionamiento del molino

Figura 2-3: imagen en representación del comportamiento ideal de las bolas y mineral dentro del molino, con cantidades apropiadas de llenado.

2.2 ANTECEDENTES DE LA FLOTACIÓN

2.2.1 Celdas de flotación

Los equipos que se utilizan en el proceso de flotación se llaman celdas de flotación, cuyo propósito es separar elementos útiles de aquellos sin interés, mediante la formación de burbujas de aire y la captura selectiva de partículas, a través, de reactivos químicos. En donde las burbujas se adhieren a la pulpa y ascienden junto a ellas, acumulándose en la espuma que se encuentra en la superficie de la celda.

La estructura de una celda de flotación se construye a modo que favorezca de la forma más óptima el desarrollo del proceso de flotación, no existe una forma geométrica estándar para las celdas, ya que éstas pueden ser cuadradas o redondas, con fondo recto o circular.

Principalmente, una celda de flotación debe mantener suspendidas las partículas que alimentan la celda. Esto lo realiza mediante un rotor, que genera la agitación de la pulpa y a su vez favorece el contacto entre partícula y burbuja. También posee un estator que crea zonas tranquilas con menos turbulencia, las cuales mejoran la distribución del aire y favorecen la estabilidad de la espuma.

Además, el equipo debe provocar la colisión y adhesión entre partículas y burbujas, con el fin de que el conjunto formado posea una densidad baja y así pueda ascender desde la pulpa a la zona de espumas en la superficie, para posteriormente ser retiradas y enviadas al siguiente proceso.

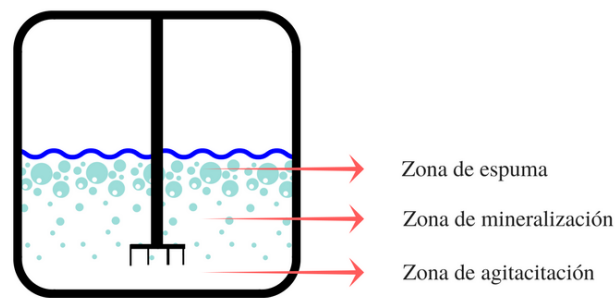
Se debe poder regular el nivel de agua, la inyección de aire y el grado de agitación. Asimismo, es importante un eficaz sistema de evacuación, tanto para los relaves como para concentrado.

Dentro de una celda de flotación existen tres distintas zonas, donde ocurren diferentes procesos, tal como se observa en la figura 2-4.

En primer lugar, una zona de agitación o mezclado que permite la adhesión de las partículas con las burbujas. Para propiciar el contacto entre éstas, debe haber condiciones físicas y químicas favorables.

En segundo lugar, la zona de mineralización, también llamada región intermedia, se identifica por ser una zona tranquila de poco movimiento, esto ayuda a que las burbujas con partículas adheridas puedan ascender fácilmente hacia el exterior.

Finalmente, en la zona superior o de espuma, correspondiente a la fase acuosa que forman las burbujas. La espuma rebalsa y se retira con paletas mecánicas.

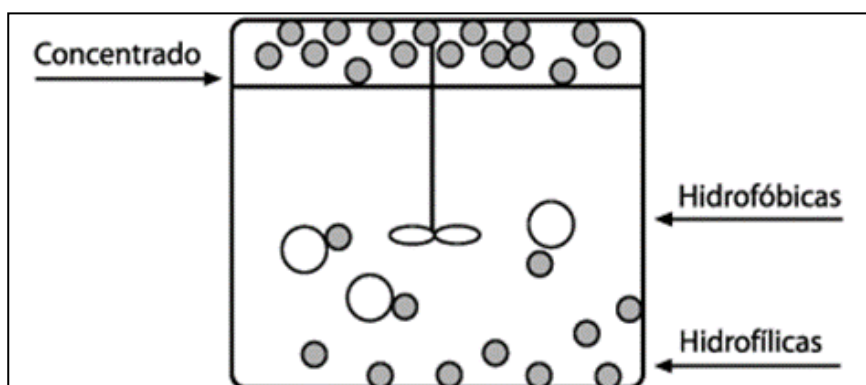


Fuente: elaboración propia en base a las fases dentro de una celda de flotación

Figura 2-4: Distintas zonas de trabajo de una celda de flotación.

2.2.2 Principios de la flotación

El proceso de flotación consiste en la separación y colección selectiva de partículas de mineral en un medio de pulpa acuoso, donde se produce una interacción entre burbujas de aire y partículas sólidas suspendidas en el medio. Estas burbujas de gas ascienden, colectando y transportando, hacia la superficie un concentrado con especies hidrofóbicas, dejando en el medio las partículas hidrofílicas, (Figura 2-4).



Fuente: Codelco educa

Figura 2-5: Interacción entre partículas hidrofóbicas e hidrofílicas con burbujas de aire.

Para lograr un proceso eficaz y recuperar selectivamente el mineral de interés, previamente se reduce el tamaño de partículas, a un tamaño relativamente fino, ya que, si la granulometría es mayor, la fuerza de adhesión entre la partícula y la burbuja será menor que la fuerza ejercida por su peso, impidiendo que permanezcan adheridas.

Dicha partícula debe tener la capacidad de adherirse a la burbuja, para que esta pueda transportarla a la superficie. Por lo tanto, el rango típico de tamaño de liberación para especies mineralógicas comunes en la industria chilena del cobre, es de 45-75 μm . [1]

2.2.3 Diseño de flotación

Dentro del diseño del proceso de flotación, se debe considerar ciertos parámetros fundamentales:

- la dosificación y tipo de reactivos,
- la velocidad de agitación,
- el flujo de aire,
- control del pH,
- tiempo de residencia,
- tamaño de la partícula

2.2.3.1 Reactivos de flotación

Los reactivos de flotación son productos químicos que influyen en la recuperación del mineral sulfurado de interés, y asimismo deprecian la ganga.

Usualmente, se utilizan colectores para la selectividad de los minerales que se desean flotar, un espumante que permite estabilizar las burbujas que se forman, y en caso de ser necesarios se aplican modificadores para regular pH, entre otros.

Cabe destacar, que estos reactivos se aplican en distintos puntos dentro del circuito del procesamiento del mineral, tanto en el proceso de molienda, como también en el proceso de flotación en sí, regulados de forma manual o automática.

Estos reactivos de flotación son divididos en grupos, según sus funciones específicas:

- Espumantes.
- Colectores.
- Activadores.
- Depresores.

2.2.3.1.1 Espumantes

Naturalmente, se generan burbujas de forma espontánea dentro de los equipos debido a la agitación de la pulpa y el ingreso del flujo de aire. Inconvenientemente se produce la coalescencia entre burbujas y estas aumentan su tamaño. Por lo tanto, los espumantes son sustancias capaces de estabilizar las burbujas que se producen dentro de la flotación y modificar sus propiedades para disminuir la coalescencia.

Asimismo, permiten mantener una burbuja estable para su colisión y adhesión con las partículas de mineral.

Básicamente, estas sustancias están compuestas por grupos hidroxilos, OH⁻. Los más comunes son los siguientes:

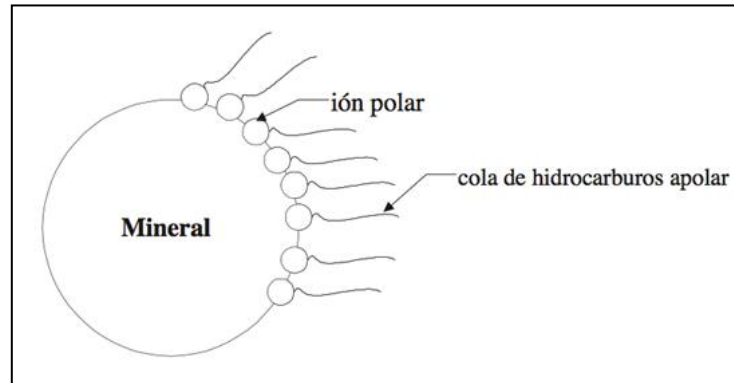
- Alcoholes: estos poseen una baja actividad superficial, por lo que se consideran espumantes débiles. Además, tienen una cinética rápida en cuanto a la recuperación de partículas, por lo que generan espumas menos estables y baja persistencia.

La actividad superficial de los espumantes alcoholes es mayor cuando el largo de la cadena crece.

- Poliglicoles: Éstos forman una familia de gran variedad de estructura y pesos moleculares. Cuando el peso molecular aumenta, aumenta la recuperación de agua. Se logra una buena profundidad de espuma, una espuma más estable y persistente comparada a la lograda con alcoholes, una baja sensibilidad a los cambios de pH y una alta retención de agua por lo que produce una espuma más húmeda (mayor arrastre de agua).

2.2.3.1.2 Colectores

Los colectores son sustancias orgánicas que poseen moléculas con un grupo polar y otro no polar. La parte polar del ion se adhiere a las partículas de mineral, mientras que la parte no polar del ion se ubica hacia la fase acuosa, generando una característica hidrofóbica al mineral. (Figura 2-5).



Fuente: Flotación de Minerales, Yianatos J. B.

Figura 2-6: Adhesión del colector a la superficie del mineral.

Luego de la adhesión del colector, la “nueva” partícula de carácter hidrofóbica, colisionan y se adhieren a las burbujas de aire que ascienden por la pulpa.

El comportamiento de los distintos colectores se determina por la cadena de hidrocarburos, la cual está asociada a entregar una repelencia al agua mayor o menor en cada caso. Por lo tanto, la colección está relacionada con la naturaleza del mineral y la composición del colector.

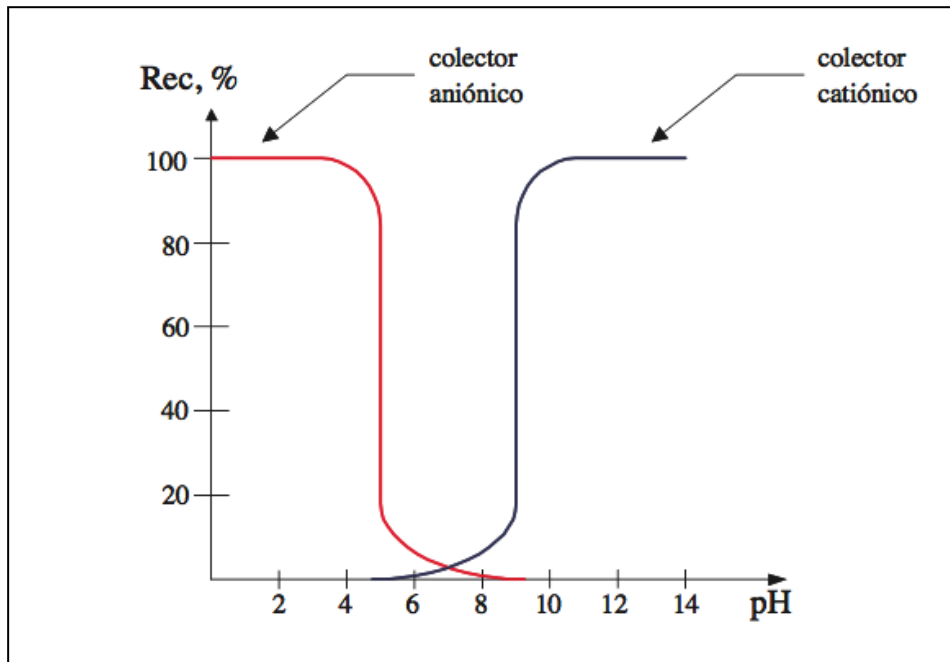
Se pueden distinguir dos tipos de colectores, dependiendo de la carga de éste: catiónicos y aniónicos.

- **Colectores catiónicos:** estos tipos de colectores se identifican por poseer una carga positiva en su parte polar, cuya parte se adhiere a una superficie con carga negativa.

En cuanto a su selectividad, son menos eficientes en comparación con los colectores aniónicos, pocas veces quedan absorbidos específicamente en un mineral determinado. Es por eso que se utilizan en conjunto con modificadores de pH, activadores y/o depresores, para aumentar su selectividad.

- Colectores aniónicos: opuestos a los colectores catiónicos, se identifican debido a que tiene una carga negativa en su parte polar, la cual se adhiere a una superficie de carga positiva. El xantato es el colector más común de este grupo.

El tipo de colector a utilizar en flotación depende del pH de trabajo en los equipos. En la figura 2-6 se muestra la acción del colector dependiendo el ambiente de pH que se encuentre.



Fuente: Flotación de Minerales, Yianatos J. B.

Figura 2-7: Zona de trabajo de colectores aniónicos y catiónicos.

2.2.3.1.3 Activadores

Los activadores tienen la función de aumentar la absorción de los colectores sobre la superficie de los minerales o para fortalecer el enlace entre la superficie y el colector.

Un activador puede renovar y limpiar la superficie de un mineral afectada por un proceso secundario tal como es la oxidación y floculación de lamas.

Por ejemplo, Cu^{+2} (en la forma de CuSO_4) es adecuado para flotar el mineral de esfalerita, ZnS .

2.2.3.1.4 Depresores

Los depresores tienen como función específica disminuir la flotabilidad de un mineral que no es valioso para el proceso, haciendo que la superficie de éste sea más hidrofílica o impidiendo la absorción de colectores que puedan hacer hidrofóbico dicho mineral.

Por ejemplo, el cianuro, NaCN , se utiliza para depresar los compuestos de Fe y se utiliza principalmente en la flotación selectiva de molibdeno y cobre.

2.2.3.1.5 Modificadores de pH

Los modificadores de pH son reactivos encargados de regular la alcalinidad o acidez que presenta una determinada pulpa. Básicamente, se busca un pH óptimo para que la mezcla de reactivos y mineral tenga una flotación eficiente.

Las plantas de flotación usualmente operan con una pulpa en un medio alcalino, debido a que los colectores son más estables y para también disminuir la corrosión que sufren los equipos.

Para regular el pH de la pulpa se pueden usar productos como:

- Aumentar el pH: Ca(OH)_2 (cal), NaOH (soda caustica), Na_2CO_3 (ceniza de soda).
- Reducir el pH: H_2SO_4 (ácido sulfúrico).

2.2.3.2 Flujo de aire

El flujo de aire es un factor importante dentro del control del proceso de flotación de minerales.

Habitualmente, cuando el flujo de aire se lleva a su nivel máximo permitido, la recuperación del mineral que se está flotando aumenta. Esto ocurre debido a que el área superficial de las burbujas crece.

Por otro lado, si el flujo de aire introducido al proceso es excesivo, puede perjudicar la flotación del mineral debido al aumento de la turbulencia o al arrastre de otras partículas no deseadas.

2.2.3.3 Tiempo de residencia

El tiempo de residencia es una variable que influye en la recuperación del mineral flotado y varía mediante diversas alteraciones en el flujo, en la concentración de mineral y reactivos de flotación.

Este factor de tiempo permite preparar y acondicionar, previamente al proceso de flotación, los sólidos contenidos en la pulpa en conjunto con los reactivos químicos. Con el fin de conseguir la mayor eficiencia, tanto de colectores como de modificadores, entre otros.

En las condiciones industriales el tiempo necesario para el acondicionamiento de los reactivos oscila entre una fracción de 1 a 30 minutos. [3]

2.2.3.4 Tamaño de partículas

La granulometría del mineral en flotación para obtener óptimos concentrados de cobre en celdas mecánicas, oscila entre los 50 y 100 micrones [μm]. Esto se determina mediante análisis granulométricos de muestras seleccionadas y clasificadas por el laboratorio.

2.3 DIGESTIÓN ÁCIDA

La digestión ácida es una técnica que habitualmente se aplica para la preparación de diversos tipos de muestras con la finalidad de convertir el analito en solución, evitando la pérdida o contaminación de la muestra de interés, para que pueda ser analizado en forma líquida mediante métodos analíticos, como la espectrometría de absorción atómica (EAA).

Las técnicas de digestión ácida se utilizan para minimizar las irrupciones producidas por la presencia de sustancias orgánicas, además de transformar los metales a un estado que pueda ser analizable. Comúnmente, en la digestión se usa un ácido nítrico (HNO_3), debido a que es conveniente para la extracción de metales, asimismo los nitratos facilitan la medición de la absorción atómica. No obstante, existen muestras que necesitan de un ácido más agresivo para completar la digestión. Se suele utilizar ácido sulfúrico (H_2SO_4) o ácido clorhídrico (HCl).

2.4 ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Se entiende por absorción al paso de una radiación por una capa transparente de un sólido, líquido o gas; y pueden eliminarse selectivamente ciertas frecuencias.

La espectrometría de absorción atómica (EAA), es un proceso que envuelve la absorción de la luz de una longitud de onda específica por los átomos libres de un elemento. Se suelen analizar los elementos metálicos, metaloides ya que la energía requerida de los fotones no es tan alta. Sin embargo, estos elementos de niveles de energía bajos, se requiere de una energía precisa y específica para lograr que los átomos de un elemento particular, absorban dichos fotones, por lo cual se utiliza una fuente llamada lámpara de cátodo hueco, que provee dicha energía.

La lámpara de cátodo hueco es la fuente de energía más utilizada, para las medidas de absorción atómica. Dentro de sus componentes posee un ánodo de tungsteno y un cátodo construido con el metal que se quiere analizar.

2.5 PROBLEMAS DE ULTRAFINOS EN LA FLOTACIÓN

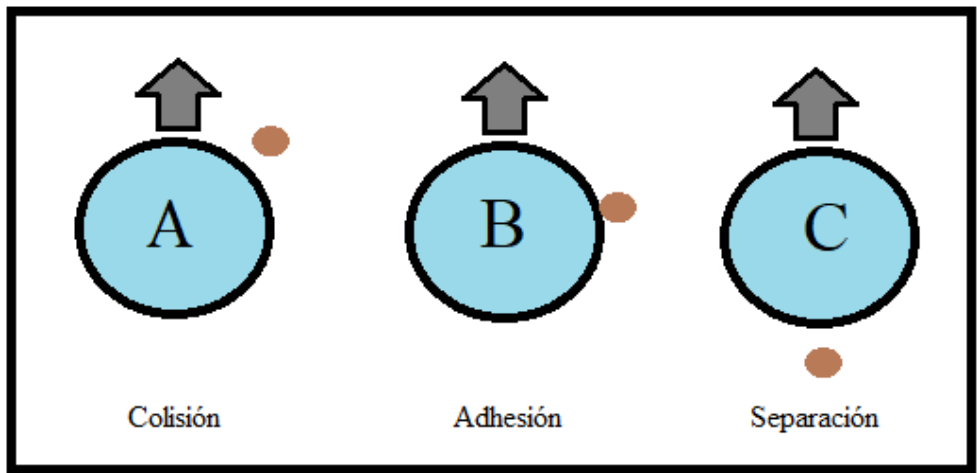
La flotación es un proceso físico-químico cuya finalidad es separar el mineral sulfurado del metal, de otros minerales y de otras especies que conforman la mayor parte de la roca.

Durante este proceso las partículas de mineral útil, previamente molido, se adhieren a las burbujas insufladas a la pulpa. La adhesión de estas partículas a las burbujas, queda determinada por las propiedades que presenten las partículas de mineral, ya sea, hidrofóbica (que repele el agua), y la propiedad hidrofílica (que es afín con el agua).

Cuando la pulpa de mineral es ingresada a la celda de flotación, esta es agitada por un aspa rotatoria, que la mantiene en constante movimiento, a su vez que es insuflado aire al sistema para generar las burbujas, este conjunto de factores ayuda y facilita la colisión de partículas de mineral con las burbujas, provocando que las que son hidrofóbicas, se adhieran a dichas burbujas elevándose a la superficie de la pulpa y posteriormente son arrastradas por una paleta hacia afuera de la celda.

La adhesión o colección de las partículas ocurre a través de tres micro procesos: primero el encuentro o colisión de la partícula con la burbuja (figura 2-7, burbuja A),

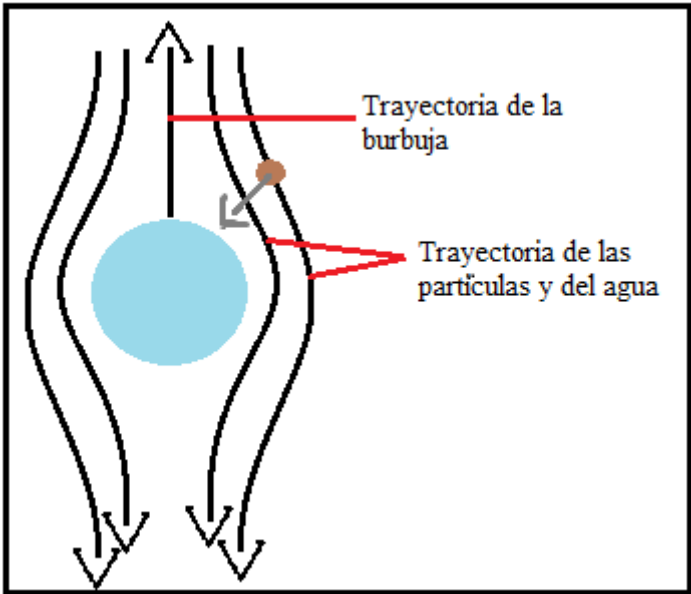
segundo la adhesión de estas partículas a dicha burbuja (figura 2-7, burbuja B), y por último el ascenso estable (figura 2-7, burbuja C).



Fuente: Elaboración propia en base al comportamiento del mineral y las burbujas

Figura 2-8: interacción entre la burbuja y la partícula de mineral durante la flotación.

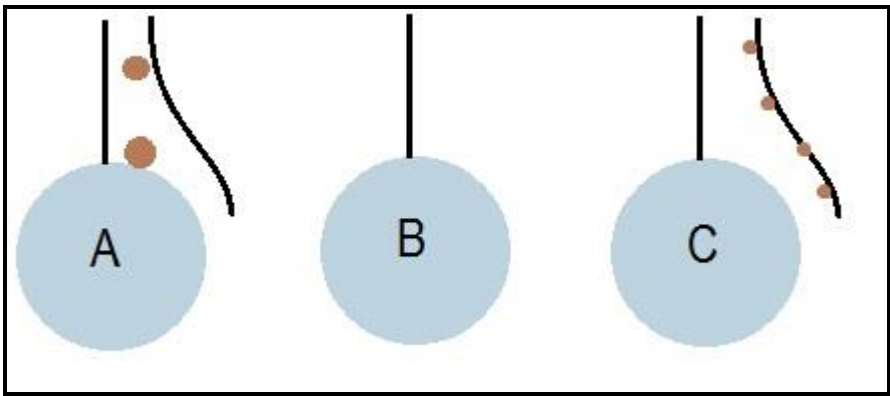
Las partículas de mineral se mueven alrededor de la burbuja a una cierta distancia movidas por fuerzas hidrodinámicas, fuerzas gravitacionales, fuerzas de inercia de la partícula, fuerzas de fricción y flotabilidad estática del fluido. El encuentro de una partícula con la burbuja implica el acercamiento de la partícula a la burbuja en su campo de flujo, en la figura 2-8 se puede observar el comportamiento del ascenso de la burbuja y el posible contacto de esta con el mineral que está moviéndose en el flujo alrededor de la burbuja misma.



Fuente: Elaboración propia en base al comportamiento del mineral y las burbujas

Figura 2-9: imagen que representa la trayectoria de la burbuja y las partículas

Si bien la flotación busca levantar las partículas de mineral, estas no serán levantadas si el tamaño es superior al que la burbuja puede levantar, es decir, que si la partícula es muy grande la fuerza de adhesión entre esta y la burbuja será menor que la fuerza de su peso, y no será flotada. En caso contrario si el mineral es muy fino, este no colisionará y no tendrá contacto con la burbuja y será arrastrado por el agua, como se ejemplifica en la figura 2-9:



Fuente: elaboración propia en base al comportamiento del mineral con las burbujas

Figura 2-10: burbuja A muestra el contacto normal, con poca desviación de ésta con el mineral, burbuja B muestra el ascenso de la burbuja, burbuja C muestra la desviación de las partículas arrastradas por el agua, en esta última no hay contacto con la burbuja misma.

CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR FLOTACIÓN
UTILIZANDO MICROBURBUJAS

3 PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR FLOTACIÓN UTILIZANDO MICROBURBUJAS

3.1 CHANCADO

A continuación se nombran el procedimiento para el chancado del mineral.

3.1.1 Materiales para chancado de mineral

- Mineral sulfuro de cobre con granulometrías aproximadas de 1,5 pulgadas.
- Chancador de mandíbulas T.M. Rhino Jaw Crusher modelo #1AL.
- Llave de ajuste especial para regular la abertura de descarga del chancador de mandíbulas.
- Lona o paño roleador.
- Tamiz malla #10 ASTM.



Fuente: elaboración propia de chancador de mandíbulas T.M. Rhino Jaw Crusher modelo #1AL

Figura 3-1: Chancador de mandíbulas T.M. Rhino Jaw Crusher modelo #1AL

3.1.2 Implementos de seguridad

- Antiparras.
- Mascarilla para ambientes polvorientos.
- Capa blanca.
- Zapatos de seguridad.
- Protectores auditivos.
- Guantes.

3.1.3 Procedimiento para chancado de mineral.

En primer lugar, antes de ingresar al laboratorio, se debe equipar con los implementos de protección; antiparras, mascarilla para ambientes polvorientos, zapatos de seguridad, guantes y protectores auditivos.

Una vez equipado, se dirige al chancador, facilitado por el laboratorio de metalurgia de la sede Viña del Mar de la Universidad Técnica Federico Santa María. Se procede a regular la abertura de descarga del chancador de mandíbulas, utilizando la llave especial. Se debe cerrar la mandíbula móvil al mínimo, cuya dimensión es de 2 (mm) de abertura.



Fuente: elaboración propia de llave especial para regular la abertura de descarga

Figura 3-2: Llave de ajuste especial para regular la abertura de descarga del chancador de mandíbulas.

Se enciende el equipo en el tablero de control para comenzar el chancado. Es de suma importancia que el chancador este encendido para realizar la trituración, en caso contrario se pueden dañar las mandíbulas y/o trancar estas mismas.

Luego se ingresa el mineral por el alimentador, cabe destacar que la cantidad de mineral en el chancador no debe superar $\frac{3}{4}$ partes del total de las mandíbulas. Este procedimiento se realiza hasta pasar el 100 % del mineral.

El mineral de descarga que queda en el cajón del chancador, se pasa en forma manual por un tamizado de una malla #10 ASTM equivalente a 2000 μm . El mineral que queda retenido en el tamiz, se vuelve a ingresar al chancador y se repite el procedimiento anterior hasta que todo el mineral alcance una granulometría menor a 2000 μm . En cambio, todo el mineral que pase por el tamiz se almacena.

Se comienza a rolear en el paño rolear 80 veces, debido a la cantidad, para que quede totalmente homogeneizada. Posteriormente, se separa el mineral chancado en bolsas de aproximadamente 1000 g cada una, para pasar el proceso de análisis granulométrico.

3.2 MUESTREO DEL MINERAL

3.2.1 Materiales para roleo y cono y cuarteo

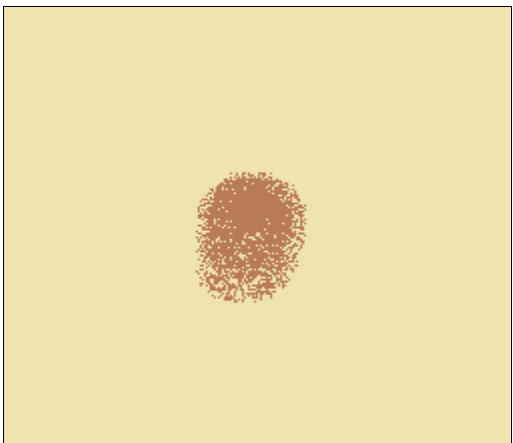
- Paño rolear
- Mineral
- Pala
- Brocha

3.2.2 Roleo

Al tomar una muestra aleatoria de mineral, esta puede o no contener todos los componentes de la roca desde donde se extrajo dicha muestra, y es necesario analizar

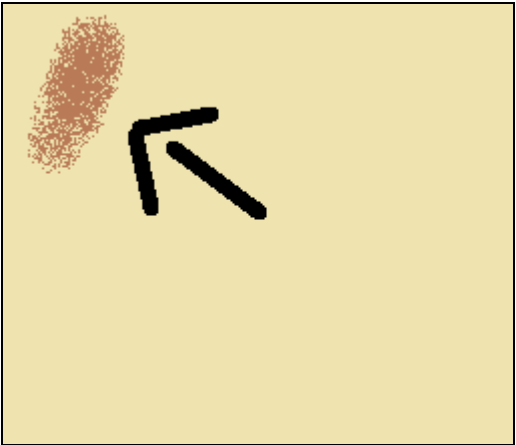
una que refleje la correcta composición del mineral, a esto se le llama muestra representativa, la cual representa de forma precisa la constitución de dicha roca.

Para obtener muestras representativas del mineral que se tiene, y para asegurar que los resultados sean reproducibles, se debe realizar el roleo del mineral, cuyas técnicas sirven para mezclar de forma homogénea la totalidad de la muestra. Para llevar a cabo el roleo, es necesario contar con un paño roleador del tamaño apropiado para la cantidad de muestra que se desea analizar, el mineral se deposita en el centro del paño y desde aquí comienza el movimiento que finalmente mezclará el mineral, a continuación, se muestra la técnica básica del roleo:



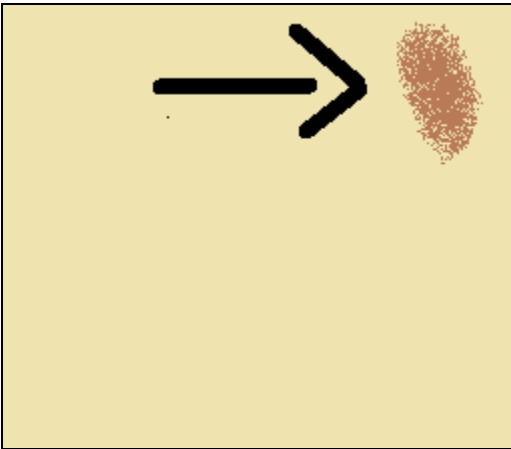
Fuente: elaboración propia en base al posicionamiento inicial de la muestra de mineral sobre el paño roleador

Figura 3-3: posicionamiento inicial del mineral sobre el paño roleador

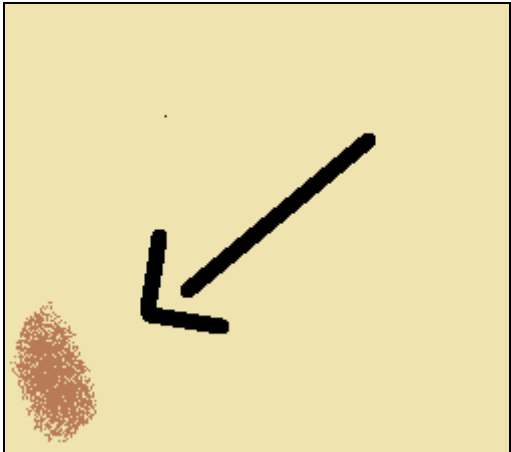


Fuente: elaboración propia en base al primer movimiento para el roleo sobre el paño roleador

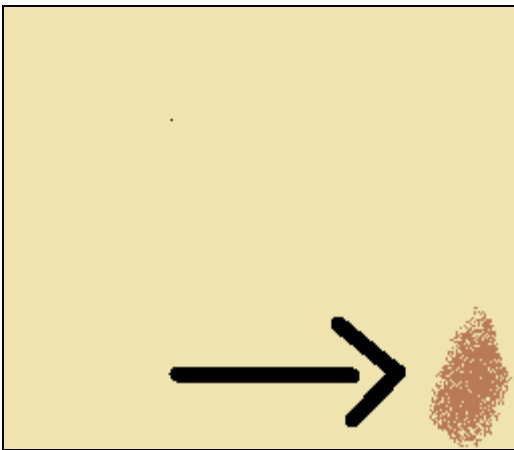
Figura 3-4 : la flecha indica el primer movimiento del mineral para el roleo



Fuente: elaboración propia, en base al segundo movimiento del roleo sobre el paño roleador
Figura 3-5: la flecha de la figura muestra el segundo movimiento del mineral para el roleo



Fuente: elaboración propia, en base al tercer movimiento del roleo sobre el paño roleador
Figura 3-6: la flecha indica el tercer movimiento del mineral para el roleo



Fuente: elaboración propia, en base al cuarto movimiento del roleo sobre el paño roleador
Figura 3-7: la flecha indica el cuarto movimiento del mineral para el roleo

En la figura 3-3 se puede observar que el mineral debe ser posicionado en el centro de paño roleador, para realizar el primer movimiento se toma la esquina opuesta

hacia donde ira el mineral y se levanta logrando que el mineral ruede hacia la esquina deseada en forma cruzada por el paño, cabe recalcar que el mineral debe rodar sobre el paño y no debe ser arrastrado, debido a que si este es arrastrado, no se produce el mezclado que se busca con esta técnica.

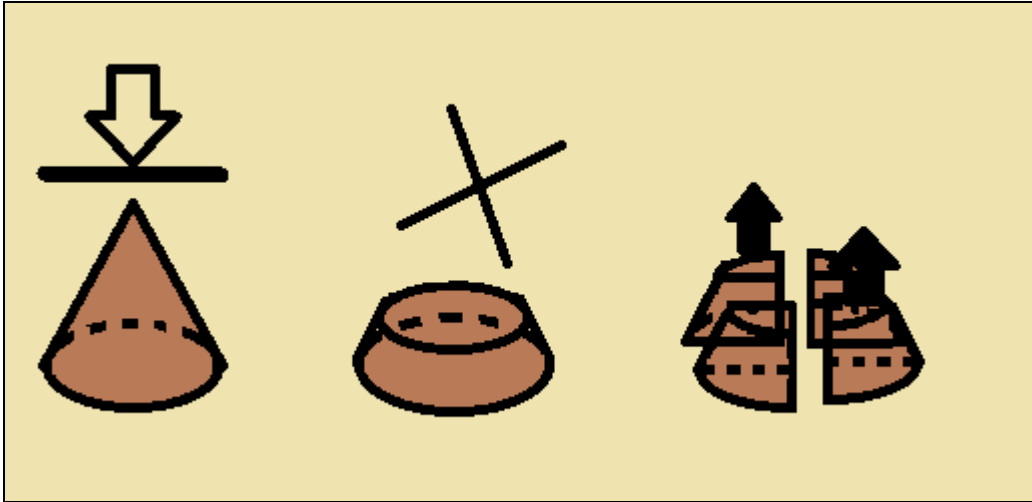
Para llevar a cabo el segundo movimiento se toma la esquina del paño en donde está el mineral y se levanta dirigiendo este hacia la esquina paralela del paño. Estando el mineral en la esquina deseada se procede con el tercer movimiento, tomando la esquina del paño en donde se encuentra el mineral y levantándola dirigiendo la muestra hacia la esquina opuesta del paño roleador en forma cruzada.

Por último, en el cuarto movimiento el mineral es llevado hacia la esquina faltante, en forma paralela, procurando siempre que la muestra ruede sobre el paño y no arrastre sobre este.

Un roleo completo consta de estos cuatro movimientos, por ejemplo, para realizar 5 roleos es necesario ejecutar 20 movimientos. Para empezar el segundo roleo, se vuelve al movimiento 1, considerando que el mineral estará posicionado en la esquina opuesta hacia donde debe llevarse y no en el medio como cuando se empezó, y luego se sigue con el movimiento 2, 3 y 4 sucesivamente hasta completar los roleos necesarios para obtener una mezcla homogénea del mineral.

3.2.3 Cono y cuarteo

Después de finalizar el roleo, el mineral se debe acumular en el centro del paño roleador nuevamente, en forma de cono, luego con una pala o espátula se aplanan la punta de este cono, formando ahora un cono truncado. Con la misma pala o espátula se divide el cono en cuartos simétricos y se toman dos cuartos opuestos, se deberá repetir el proceso hasta obtener las porciones deseadas.



Fuente: elaboración propia, en base al cono y cuarteo

Figura 3-8: se muestran los pasos a seguir para realizar el cono y cuarteo de la muestra de mineral

3.2.4 Partidor de Jones

El partidor de Jones es un aparato rectangular cuya parte interna tiene forma de canaleta, en donde se deposita el mineral que se desea dividir, en la parte de abajo cuenta con una serie de rifles que pueden ser acomodados a conveniencia del usuario.

El mineral se dirige a dos recipientes colocados debajo de los rifles.

3.3 FLOTACIÓN

3.3.1 Flotación convencional

Para la flotación convencional se necesitan los siguientes materiales:

3.3.1.1 Materiales para flotación

- Celda de flotación en este caso se utiliza una celda mecánica de 2,7 litros de capacidad.

- 2 litros de agua
- 840 gramos de pulpa de mineral molidos con 500 ml de agua
- Pisetas con mezcla de agua y espumante
- Espumante 10 μ l por litro de pulpa
- Colector, (Xantato) 25 mg por kg de sólido
- NaOH, cantidad necesaria para alcanzar un pH de 10,5 aproximadamente.
- PH metro
- Bandejas

3.3.1.2 Procedimiento

La pulpa recién molida es vaciada en la celda elegida, en este caso se ocupó una de 2,7 litros de capacidad, se comienza a agitar la pulpa el tiempo necesario para su acondicionamiento, en este caso se utilizó 7 minutos, durante el acondicionamiento y con ayuda del pHmetro, se regula el pH, añadiendo NaOH de a poco, hasta alcanzar el pH 10,5, el cual es el óptimo para que el xantato logre colectar las partículas. Una vez regulado el pH, se añade el xantato, posteriormente se añade el espumante y se deja terminar los minutos de acondicionamiento, para que se mezcle bien la pulpa.

Transcurrido el tiempo de acondicionamiento, se comienza con la inyección de aire al sistema, con esto se generan las burbujas que empiezan a flotar el mineral de interés. Cabe recalcar que la cantidad de aire a insuflar debe ser de flujo constante, para que mantenga la espuma a la altura deseada y finalmente para que esta pueda ser arrastrada por la paleta durante el paleteo.

El paleteo consiste en arrastrar con una paleta la espuma que sobrepase el nivel superior, llevándola hacia la zona de descarga de la celda, el paleteo debe ser constante y en intervalos definidos de tiempo, se debe considerar también, que cada paleteo retira volumen de espuma, y esta a su vez retira volumen de la pulpa, es por esto que se debe rellenar la celda con más agua (agua mezclada con espumante y NaOH), para así mantener la altura de la pulpa y espuma y su pH.

3.3.2 Flotación con microburbujas de cristal

Las microburbujas funcionalizadas actúan de colector de pequeñas partículas consideradas ultra finas, que por naturaleza son arrastradas por el agua antes de poder ser elevadas por la burbuja convencional, así se estudió en el punto 2.5 de este trabajo, es por ello que se agregan estas burbujas funcionalizadas.

3.3.2.1 Materiales para la flotación con micro burbujas

- Celda de flotación en este caso se utiliza una celda mecánica de 2,7 litros de capacidad.
- 2 litros de agua
- 840 gramos de pulpa de mineral molidos, con 500 ml de agua
- Microburbujas funcionalizadas
- Pissetas con mezcla de agua y espumante
- Espumante 10 µl por litro de pulpa
- Colector, (Xantato) 25 mg por kg de sólido
- NaOH, cantidad necesaria para alcanzar un pH de 10,5 aproximadamente.
- pHmetro
- Bandejas

3.3.2.2 Procedimiento:

Se inicia vaciando la pulpa en la celda y se da comienzo al tiempo de acondicionamiento, mientras se agita la pulpa se añade el NaOH de a poco, cuidando que el pH llegue a 10,5 con la ayuda de un pHmetro. Posteriormente, se agregan el xantato y las microburbujas seguido del espumante, cuidando el nivel de la pulpa, porque con la adición de microburbujas, este nivel aumenta generando la descarga de no sólo espuma, sino que también de pulpa.

Los pasos siguientes son los mismos que una flotación convencional.

3.4 DIGESTIÓN ÁCIDA

3.4.1 Materiales para digestión ácida

- Muestras de mineral de alimentación, concentrado y relaves de cada flotación.
- Balanza digital.
- Vasos de precipitados.
- Probetas.
- Vidrio reloj.

- Campana de laboratorio.
- Micropipeta 5 (ml).
- Embudo Büchner.
- Matraces aforados 250 (ml).
- Papel filtro.
- Ácido Sulfúrico concentrado (H_2SO_4).
- Ácido Nítrico concentrado (HNO_3).
- Ácido Clorhídrico concentrado (HCl).
- Ácido Clorhídrico 10 % p/p.
- Agua destilada.
- Estufa de secado.
- Placa Calefactora.
- Desecadores.

3.4.2 Implementos de seguridad

- Antiparras.
- Mascarilla.
- Capa blanca.
- Zapatos de seguridad.
- Guantes de nitrilo.

3.4.3 Procedimiento para soluciones

Antes de realizar el procedimiento de digestión ácida, se debe preparar una solución de ácido sulfonítrico (mezcla de ácido sulfúrico y ácido nítrico). Cuya solución debe ser preparada con al menos 24 horas de antelación y trabajar bajo campana.

Para obtener 1000 ml de solución sulfonítrica, se debe agregar a un vaso de precipitado 330 ml de agua destilada. Enseguida añadir lentamente y escurriendo por las paredes del vaso 330 ml de ácido sulfúrico concentrado. Esperar que la mezcla se enfríe, ya que, aumenta la temperatura debido a que es una reacción de tipo exotérmica.

Posteriormente, agregar a la mezcla 340 ml de ácido nítrico concentrado, agitar la solución y rotular.

3.4.4 Procedimiento para digestión ácida

Pesar en la balanza 2,5 g de mineral previamente secado en la estufa, en un vaso de precipitado. Se debe identificar e indicar el nombre de la muestra con su número y contenido respectivo.

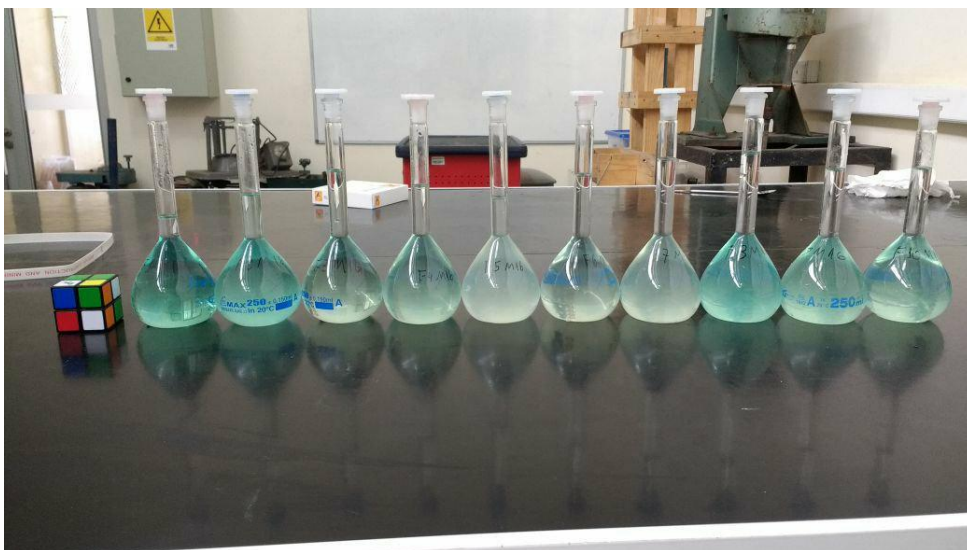
Se debe agregar 10 ml de ácido clorhídrico concentrado a la muestra utilizando una micropipeta para la exactitud del proceso. Además, se le agrega 15 ml de una mezcla de ácido sulfonítrico.

Posteriormente, se tapa la muestra con el vidrio reloj y se agita para mezclar el contenido. Se lleva a la placa calefactora, bajo campana, a una temperatura de 90°C. Esta mezcla se debe digerir hasta que alcance un estado siruposo, es decir, que la muestra tenga una consistencia como un jarabe.

Una vez que la muestra llegue al estado siruposo se debe agregar 100 ml de agua destilada, con precaución, y se adiciona además 2 ml de ácido clorhídrico al 10 % p/p.

Llevar la muestra a ebullición. Mantener durante aproximadamente 8 minutos desde que comience a hervir. Retirar y enfriar en el desecador.

Filtrar la solución con embudo büchner y papel filtro en sistema de filtrado al vacío y traspasar a un matraz aforado. Agregar agua destilada cuidadosamente hasta alcanzar el nivel de 250 ml del aforo.



Fuente: captura propia muestras de digestión ácida aforadas.

Figura 3-9: Muestras de digestión ácida aforadas

Tomar una muestra de 50 ml a partir de la solución aforada, para enviar al laboratorio de espectrometría de absorción atómica y determinar cuantitativamente la cantidad de cobre presente.

Repetir el procedimiento anterior para cada una de las muestras.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logró realizar un procedimiento estandarizado para la implementación de las micro burbujas de vidrio para la recuperación de ultrafinos de cobre en el proceso de flotación.

Si bien es cierto que, el proceso de flotación de minerales de cobre exige una granulometría entre 45-75 μm para que el procedimiento sea eficiente, el método de glass bubbles permite recuperar partículas de cobre de hasta 20 μm , solucionando los problemas de grandes pérdidas de mineral de interés al estar molido a una granulometría muy pequeña, como es el caso de las lamas, las cuales pueden perjudicar la eficiencia en algunos procesos de recuperación metalúrgica, esto se traduce en pérdidas económicas.

Un aspecto importante que se consideró, para que la implementación de este método pueda llevarse a cabo, era simular las condiciones óptimas de trabajo, es decir, antes de comenzar a utilizar las glass bubbles en el proceso de flotación, se debe generar la granulometría pertinente en el proceso de trituración y molienda del mineral, además de funcionalizar las micro burbujas.

Cabe destacar que, en el caso de trabajar con sulfuros que en su composición mineralógica posea presencia de hierro, se recomienda la utilización de cal como regulador de pH, ya que este producto además de tener propiedades que modifican el potencial de hidrógeno, permite depreciar el hierro con mayor facilidad, no obstante, se debe mantener los parámetros mencionados de pH, por lo cual, la cantidad de cal a emplear será distinta respecto a la cantidad de hidróxido de sodio utilizada, en este trabajo de título.

En relación a el agua utilizada en el proceso de molienda húmeda y posteriormente en la flotación, se debe tener precaución con no superar la cantidad máxima de agua que requiere la celda de flotación para trabajar en un estado óptimo. Siempre recordar que, el agua que se utiliza para lavar las bolas del molino, debe ser considerada como agua participante en la flotación dentro de la celda.

Para cada una de las actividades realizadas en este trabajo de título, se debe usar los elementos de protección personal, de esta manera evitar riesgos y accidentes. Al momento de trabajar con las glass bubbles, es de suma importancia que el usuario disponga de una mascarilla anti polvos, idealmente una mascarilla de protección con certificación R95, ya que retiene al menos el 95% de las partículas de 0,3 μm o mayores, además posee un precio accesible para el usuario. Sin embargo, es necesario que el personal que utilice este producto, lea atentamente la ficha de seguridad descrita en el capítulo 1 de este documento.

Manipular las micro burbujas no representa una gran complejidad, sin embargo, debemos tener ciertas precauciones antes de manejar el producto. Considerando el pequeño tamaño y el bajo peso que poseen las glass bubbles, es evidente que tiendan a ser volátil con pequeñas corrientes de viento o con ciertos movimientos bruscos. Por lo tanto, se sugiere al usuario que manipule las micro burbujas con tranquilidad, y que el lugar de trabajo permanezca cerrado, pero ventilado, para que las corrientes de aire no intervengan en el procedimiento. Al momento de trasvasiar las glass bubbles, procurar ocupar material de laboratorio no tan angosto, ya que tienden a quedarse atoradas.

Siempre se desea que exista una mejora continua en este proyecto, por lo cual se recomienda a futuros estudiantes interesados en este trabajo, que complementen este procedimiento de flotación con la recuperación y reutilización de las glass bubbles en procesos posteriores. Para así, ayudar a disminuir los gastos económicos de este producto y contribuir al campo de la metalurgia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] YIANATOS J. B.; “Flotación de Minerales”; Universidad Técnica Federico Santa María, 2005
- [2] ACUÑA C., ARRIAGADA S., CONTRERAS M., “Flotación de partículas finas asistidas por microburbujas de vidrio funcionalizadas”, laboratorio de investigación, Universidad Técnica Federico Santa María, s.f
- [3] SUTULOV A, (1963), Flotación de Minerales, Concepción, Universidad de Concepción.
- [4] 3M, (2013), “3M™ Glass Bubbles K series, S series and iM series”