

Flotación

Nueva tecnología

Ultrarápida

La flotación en columnas centrífugas, actualmente en desarrollo en un esfuerzo conjunto entre el Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM) y la Universidad de Utah, E.E.U.U., se revela como una promisoriosa tecnología de concentración ultrarápida. Entre sus principales propiedades destacan su alta capacidad específica de tratamiento y su notable habilidad para la recuperación de partículas finas mineralizadas.

A diferencia de las celdas convencionales, en las cuales el tiempo medio de residencia requerido asciende a varios minutos, la columna centrífuga, también referida por su inventor como el "Air-Sparged Hydrocyclone (AHS)", requiere de sólo fracciones de segundo para producir resultados metalúrgicos globales comparables.

El presente artículo tiene por objeto resumir los avances logrados a la fecha en ensayos piloto, realizados bajo una gran diversidad de condiciones experimentales, con columnas de 2" y 4" de diámetro, operando a una tasa de tratamiento cercana a 1 y 10 TMS/hr, respectivamente. Ello equivale a aproximadamente 500 TMS/día/pie³ de columna. Este último indicador excede por más de dos órdenes de magnitud a los valores de capacidad específica de tratamiento observados con celdas de flotación convencionales. (Fuente: CIMM y 36 Convención del Instituto de Ingenieros de minas de Chile -Juan Reyes P., Investigador del CIMM; Jaime E. Sepúlveda, Jefe de Proyectos del CIMM y Jan D. Miller, Profesor de metalúrgica de la Universidad de Utah).

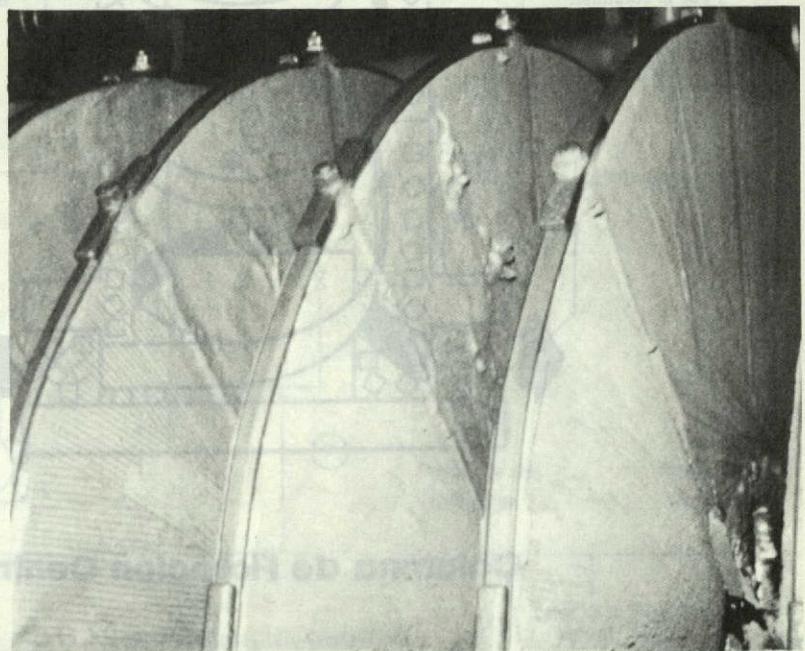
La concentración de minerales por flotación se base en la hidrofobicidad controlada de las partículas mineralizadas. En la práctica convencional, las partículas hidrofóbicas son colectadas por burbujas de aire y transferidas a una fase espuma en la parte superior del reactor o celda.

La efectividad de la separación y la cinética con la cual ésta se desarrolla quedan determinadas por la frecuencia y eficiencia de los múltiples eventos de colisión entre partículas y burbujas. La alta turbulencia imperante en celdas convencionales de flotación conlleva una baja probabilidad de colisión y adhesión, especialmente en el caso de las partículas más finas; lo cual hace necesario disponer de tiempos medios de contactación o residencia relativamente prolongados a fin de alcanzar niveles de separación aceptables. Por otra parte, se ha repeti-

damente demostrado la conveniencia de producir burbujas del menor tamaño posible para la eficiente recuperación de partículas finas.

La consideración de estas limitaciones, inherentes a la tecnología convencional, condujo al concepto de la columna de flotación centrífuga, también referida como "Air-Sparged Hydrocyclone (ASH)", por su inventor J.D. Miller de la Universidad de Utah, EE.UU. (1,2). Como se indica en la Figura 1, la columna centrífuga de flotación, en su actual nivel de desarrollo, consta de tres elementos básicos de diseño:

- Un cabezal de hidrociclón convencional en su extremo superior.
- Un manto cilíndrico de doble pared; la interior porosa y la través de la cual se inyecta aire a presión.
- Un dispositivo anular de descarga en su extremo inferior.



De esta manera, la pulpa alimentada tangencialmente a través del cabezal genera un intenso campo centrífugo de fuerzas. El aire inyectado a través de la pared porosa se disgrega en un alto número de microburbujas que, por la acción de la fuerza centrífuga, se concentra en torno al eje central de la columna. Por el mismo mecanismo, las partículas de mineral son impulsadas radialmente hacia la periferia de la columna impactando repetidamente la pared porosa. En esta corta trayectoria, las partículas hidrofóbicas experimentan múltiples oportunidades de colisionar con diferentes burbujas de aire, adherirse a éstas y ser consecuentemente arrastradas hacia la fase interior de espuma. El pedestal de espuma, elemento cilíndrico posicionado coaxialmente en el extremo inferior de la unidad, obliga a que dicha espuma abandone la columna como concentrado a través de la boquilla superior de rebalse. Las partículas hidrofílicas que permanecen en la fase

pulpa son descargadas como relave a través del espacio anular configurado entre la pared interior de la columna y el pedestal de espuma. En síntesis, a diferencia de la flotación columnar donde los eventos de colisión partícula/burbuja ocurren por la simple acción de la gravedad, en el nuevo diseño aquí descrito, tales colisiones ocurren de la fuerza centrífuga, varias veces más intensa. De ahí el notable aumento en la cinética misma del proceso de flotación, tal como se discute en las secciones siguientes.

Estudios preliminares a escala laboratorio, han permitido demostrar la factibilidad técnica de lograr separaciones aceptables mediante esta nueva tecnología aplicada al tratamiento de una gran variedad de especies minerales; entre ellas cobre (3,4,5); carbón (6,7) y oro.

Desde fines de 1982, el Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, CIMM, en virtud de un convenio con la Universidad de

Utah, está participando activamente en el desarrollo de esta novedosa tecnología, a través de un extenso programa de investigación a escala piloto orientado principalmente a la flotación de minerales sulfurados de cobre.

EQUIPOS E INSTALACIONES

La Figura 2 detalla los elementos principales de la unidad de prueba equipada por CIMM para la evaluación metalúrgica, a escala piloto, de la columna centrífuga de flotación. Dada la alta capacidad de tratamiento de esta unidad, su operación en continuo por períodos prolongados de tiempo sólo fue posible gracias a la gentil colaboración de la Cía. Minera Disputada de Las Condes S.A. quien autorizara a este grupo de investigadores a desviar y experimentar con una pequeña fracción del flujo de alimentación a la flotación primaria en Planta San Francisco.

La culpa proveniente del acon-

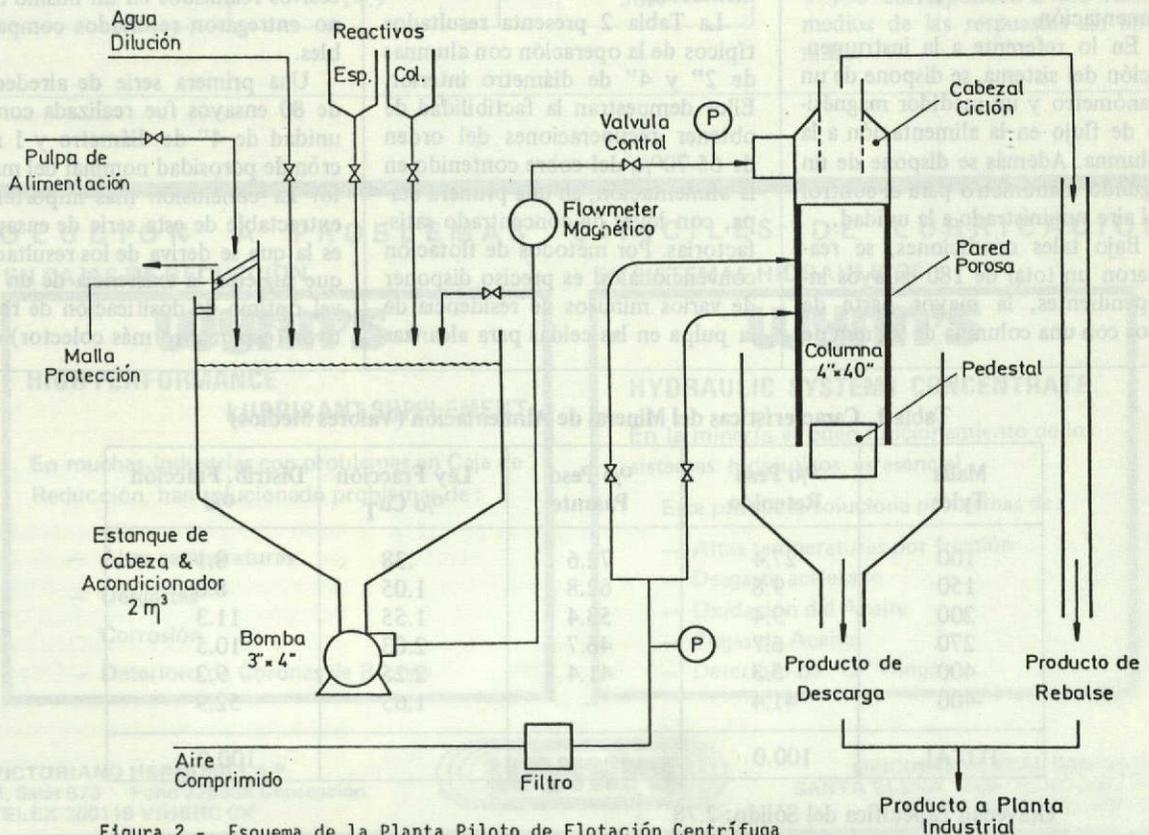


Figura 2.- Esquema de la Planta Piloto de Flotación Centrífuga

dicionador industrial contenía un 35 a 40% de sólidos, espumante DF-250: Alcohol Hexílico = 4:1, 17 - 25 g/ton, y colector Minerec 2044, 7 - 15 g/ton a pH 9.5 - 10.5.

El acondicionador piloto cuenta con un sistema de agua de dilución para ajustar la concentración de sólidos al valor deseado y dosificados para reactivos adicionales. El tiempo de retención en el estanque fue normalmente superior a 5 minutos.

Se dispone de una bomba centrífuga horizontal de 3" x 4", con un sistema de retorno en circuito cerrado en el estanque acondicionador, que permite dosificar a la columna el nivel de flujo de alimentación deseado.

El aire comprimido requerido por la unidad fue extraído directamente de la red industrial y debidamente filtrado.

Los flujos de rebalse (concentrado) y descarga (relave) producidos por la columna fueron retornados al circuito industrial. El diseño de la unidad garantiza la obtención de muestras representativas de cada flujo, incluyendo el de alimentación.

En lo referente a la instrumentación del sistema, se dispone de un manómetro y un medidor magnético de flujo en la alimentación a la columna. Además se dispone de un segundo manómetro para el control del aire suministrado a la unidad.

Bajo tales condiciones, se realizaron un total de 180 ensayos independientes, la mayor parte de ellos con una columna de 96 mm de

diámetro interior por 1000 mm de largo, que permitieron examinar los efectos de una amplia gama de condiciones de operación y diseño; tales como, el caudal de pulpa alimentada, presión de aire, dosificación de reactivos adicionales, diámetro del pedestal, dimensiones de la boquilla de rebalse, porosidad del manto y otras.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se indicara, la totalidad de los ensayos aquí presentados fueron obtenidos con mineral de Los Bronces, perteneciente a la Cía. Minera Disputada de Las Condes S.A. El contenido de cobre durante los ensayos osciló en el rango de 0.8% a 1.25%, siendo calcopirita la principal especie mineralógica. La finiza del mineral de alimentación, molido semiautógenamente, se mantuvo alrededor de 70-80% pasante 100 mallas y 39-47% pasante 400 mallas. La tabla 1 proporciona mayores antecedentes acerca de las características promedio de la alimentación.

La Tabla 2 presenta resultados típicos de la operación con alumnas de 2" y 4" de diámetro interior. Ellos demuestran la factibilidad de obtener recuperaciones del orden de 65-70% del cobre contenido en la alimentación, en una primera etapa, con leyes de concentrado satisfactorias. Por métodos de flotación convencionales, es preciso disponer de varios minutos de residencia de la pulpa en las celdas para alcanzar

tales resultados; con la columna centrífuga, ello es alcanzable en tan solo fracciones de segundo. Obviamente, los niveles de recuperación indicados podrían ser substancialmente mejorados si se contempla una o dos etapas adicionales de retratamiento sucesivos del flujo de relave descargado por la primera columna.

Una de las mayores dificultades enfrentadas durante el desarrollo del programa de experimentación aquí referido fue la alta variabilidad de las diversas propiedades físicas y mineralógicas determinantes de la flotabilidad del mineral de alimentación. Es así como, por ejemplo, la misma condición experimental ensayada en distintos días de operación entregó resultados significativamente distintos (ver Tabla 3). El mismo efecto es por lo demás observable en los bancos de flotación convencional. Más aún, como se demuestra en la Tabla 3, dicha variabilidad no es atribuible a una posible inestabilidad operacional de la columna ya que repeticiones sucesivas realizadas en un mismo turno entregaron resultados comparables.

Una primera serie de alrededor de 80 ensayos fue realizada con la unidad de 4" de diámetro y 1 micrón de porosidad nominal del manto. La conclusión más importante extractable de esta serie de ensayos es la que se deriva de los resultados que sugieren la existencia de un nivel óptimo de dosificación de reactivos (espumante más colector) del

Tabla 1. Características del Mineral de Alimentación (Valores Medios)

Malla Tyler	% Peso Retenido	% Peso Pasante	Ley Fracción % Cu _T	Distrib. Fracción %
100	27.4	72.6	.38	8.1
150	9.8	62.8	1.05	8.0
200	9.4	53.4	1.55	11.3
270	6.7	46.7	2.03	10.5
400	5.3	41.4	2.25	9.2
-400	41.4	-	1.65	52.9
TOTAL	100.0			100.0

Gravedad Específica del Sólido: 2.78

Tabla 2. Resultados Experimental Representativos del comportamiento Medio de Columnas Centrífugas de 2" y 4" ϕ .

Dimensiones Columna	TMS/hr	Ley de Cobre, %	Distribución de Cobre, %	
2" x 20"	Conc.	0.12	8.83	66.8
	Relave	1.08	0.52	33.2
	Cabeza	1.20	1.40	100.0
4" x 40"	Conc.	0.60	11.90	69.0
	Relave	7.33	0.44	31.0
	Cabeza	7.93	1.31	100.0

Tabla 3. Variabilidad Intrínseca de Resultados a Escala Piloto-

	Ley Concentrado % Cu _T	Recuperación de Cobre, %
Replicados (diferentes días)	12.0	74.7
	12.5	59.3
	18.2	53.8
Replicados (mismo día)	14.3	53.4
	14.9	54.6
	14.9	56.4

orden de 110 g/ton. También fue posible identificar como variables importantes del proceso, la presión de pulpa de alimentación, la presión de aire y el diámetro del pedestal. En consecuencia, se optó por desarrollar dos series adicionales de pruebas cuyas condiciones y resultados se resumen en las Tablas 4 y 5, respectivamente, con el propósito de investigar el efecto de dichas variables en un mayor grado de detalle.

Como una manera de hacer frente a la alta variabilidad intrínseca del mineral de alimentación, cada una de las condiciones definidas en las Tablas 4 ó 5 fue establecida en un mínimo de tres oportunidades, obteniendo en cada ocasión muestras de los flujos pertinentes. Dentro de cada serie de pruebas, cuya duración fue de 3 a 4 días cada una, la secuencia de las distintas condiciones ensayadas fue definida aleatoriamente. Una vez terminada la segunda serie, se procedió a ejecutar la tercera. Los resultados metalúrgicos presentados en las Tablas 4 y 5 corresponden a los valores medios de las respuestas así obtenidas.

SOLUCION A PROBLEMAS DIFICILES DE LUBRICACION

EN CAJAS DE REDUCCION

Wynn's

HIGH PERFORMANCE LUBRICANT SUPPLEMENT

En muchas industrias con problemas en Caja de Reducción, han solucionado problemas de:

- Altas temperaturas
- Desgastes
- Corrosión
- Deterioro de Coronas de Bronce

EN SISTEMAS HIDRAULICOS

Wynn's

HYDRAULIC SYSTEMS CONCENTRATE

En la minería el buen funcionamiento de los sistemas hidráulicos, es esencial.

Este producto soluciona problemas de:

- Altas temperaturas por fricción
- Desgaste acelerado
- Oxidación del Aceite
- Fugas de Aceite
- Deterioro de "O" Rings

VICTORIANO HERMOSILLA P.
H. Salas 673 - Fono 225338 Concepción
TELEX 360119 VIHERC CK



OFICINAS VENTAS SANTIAGO
SANTA ELENA 1569 - FONO 5567303
TELEX 340148 VIHERS CK

Tabla 4. Resumen de Condiciones y Resultados Experimentales con Columna Centrífuga de 4". Serie 2 (Valores Medios).

Test No	Presión Aire, psi	Espumante/ Colector, g/ton	Ley Conc. % Cu _T	Recuperación Cobre, %
2-11	21.3	40/70	13.3	64.1
2-12	28.4	40/70	12.6	66.5
2-13	32.7	40/70	11.3	55.6
2-21	21.3	55/55	14.2	62.6
2-22	28.4	55/55	11.9	62.6
2-23	32.7	55/55	11.0	54.4
2-31	21.3	70/40	10.8	62.9
2-32	28.4	70/40	10.6	57.2
2-33	32.7	70/40	11.2	59.5
2-01	21.3	15/7	13.3	29.7
2-02	28.4	15/7	12.5	30.2
2-03	32.7	15/7	10.5	36.3

Porosidad del Manto : 10 micrones

Porc. Sólidos Alim. : 28-31%

Presión de Pulpa : 10 psi

pH : 10.5-11.5

Diámetro Pedestal : 8.4 cm

Tabla 5. Resumen de Condiciones y Resultados Experimentales de Columna Centrífuga de 4". Serie 3 (Valores Medios).

Test No	Presión Pulpa, psi	Diámetro Pedestal, cm	Espumante/ Colector, g/ton	Ley Conc. % Cu _T	Recuperación Cobre, %
3-121	5	8.4	40/70	9.2	57.8
3-122	10	8.4	40/70	8.9	56.1
3-123	15	8.4	40/70	8.5	51.9
3-131	5	8.6	40/70	5.7	68.0
3-132	10	8.6	40/70	5.9	60.2
3-133	15	8.6	40/70	4.7	52.8
3-021	5	8.4	27/10	9.3	32.8
3-022	10	8.4	27/10	9.8	30.5
3-023	15	8.4	27/10	9.9	26.7

Porosidad del Manto : 10 micrones

Porc. Sólidos Alim. : 29-32%

Presión de Aire : 28.4 psi

pH : 9-10

En la Serie 2 se estudió el efecto combinado de la presión de aire y la composición de la mezcla espumante/colector para una dosificación total de 110 g/ton. Los resultados promedio presentados en la Tabla 4 sugieren que una presión de aire no superior a 28 psi y una predominancia del colector por sobre el espumante serían niveles de operación recomendables, siempre que la adición total de estos reactivos se mantenga cercana a los 110 g/ton. Cabe señalar que en la operación indus-

trial existente, dicho consumo es normalmente inferior a 40 g/ton, condición bajo la cual los niveles de recuperación de cobre obtenibles con la columna experimentarían una fuerte reducción a menos de la mitad de los valores máximos hasta ahora alcanzados gracias al incremento de reactivos arriba sugerido (ver Tabla 4).

Por último, en la Serie 3 se estudió el efecto combinado de la presión de pulpa de alimentación y el diámetro del pedestal de espuma,

con y sin reactivos adicionales, manteniendo la presión de aire en torno a las 28 psi. Como se desprende de los resultados promedio presentados en la Tabla 5, se observó una importante disminución en la calidad del concentrado al incrementar el diámetro del pedestal de 8.4 cm a 8.6 cm, compensado en parte por un sistemático aumento en los niveles de recuperación obtenidos. Al respecto, cabe señalar que el diámetro interior de la columna ensayada es tan solo 9.6 cm. Por

otra parte, de acuerdo a la información experimental resumida en la Tabla 5, aparece levemente ventajoso operar la columna a una presión de alimentación cercana a 5 psi, condición equivalente a una tasa de tratamiento del orden de 6 TMS/hr. Mayores capacidades de procesamiento serían alcanzables a mayores presiones de alimentación con resultados metalúrgicos ligeramente inferiores.

Las leyes de concentrado obtenidas en esta última serie de pruebas fueron, en términos relativos, más bajas que en las campañas anteriores. Es posible que ello sea simplemente consecuencia de una variación en las propiedades de flotabilidad del mineral de alimentación, así como también existe la posibilidad de que el manto poroso ya hubiese estado dañado por la acción localizada del desgaste, tal como se detectara al término de la campaña.

En todo caso, el conjunto de resultados experimentales aquí presentado es concluyente en cuanto a demostrar que la columna centrífuga de flotación, al menos en esta aplicación particular, permite obtener concentrados primarios de cobre con leyes superiores al 10% y niveles de recuperación en el rango de 65-75%, a una tasa específica de tratamiento considerablemente mayor que la alcanzable por métodos convencionales. Tales niveles de recuperación podrían ser ciertamente mejorados al conformar una serie de dos o más columnas en cascada, cada una retratando los relaves de la anterior.

COMENTARIOS FINALES

La columna centrífuga de flotación aparece como una promisoría alternativa a las ya tradicionales celdas agitadas o las más recientes columnas convencionales, no centrífugas. Es claro, sin embargo, que esta nueva tecnología, en su actual nivel de desarrollo, no se encuentra suficientemente depurada para una aplicación comercial masiva.

Uno de los aspectos de importancia, todavía por definir, guarda

relación con el material poroso a emplear en la construcción del manto. En tal sentido, el acero inoxidable sinterizado hasta ahora en uso debe ser necesariamente descartado por razones de costo, aún cuando se de la espuma naturalmente acumulada, se pretende obtener un producto concentrado adicional.

Se contempla también el estudio de la aplicación de columnas centrífugas en circuitos de repaso y limpieza. En general, creemos que esta nueva tecnología es potencialmente aplicada a cada uno de los sistemas donde la flotación convencional ha demostrado ser factible.

Habiendo derivado como una extensión del hidrociclón —de ahí el nombre "Air-Sparged Hydrocyclone" otorgado por su inventor— la columna centrífuga de flotación ha conservado las características que le son propias a estos clasificadores, particularmente la inexistencia de partes móviles y su alta capacidad de tratamiento. Ciertamente, resulta difícil aquilatar el impacto que la eventual adopción generalizada de esta tecnolo-

gía pudiera tener sobre las actuales prácticas de concentración de minerales. A modo de ilustración, baste citar que de acuerdo a los resultados hasta ahora obtenidos, tan solo una línea de dos o tres columnas centrífugas de 20"φ cada una, tendría una capacidad de tratamiento estimada en 30,000 TMS/día.

A la luz de estos antecedentes, el Centro de Investigación Minera y Metalúrgica en convenio con la Universidad de Utah, EE.UU. continuarán sus esfuerzos tendientes a que las proyecciones anteriores sean, en un futuro cercano, una concreta realidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores, a nombre de las perspectivas Instituciones que ellos representan, expresan su más sincera gratitud a la Cía. Minera Disputada de Las Condes S.A. y en particular a los ejecutivos del Area Cordillera sin cuya colaboración no habría sido posible alcanzar los objetivos inicialmente planteados.

