

DESARROLLO DE DOS NUEVOS PROTOTIPOS DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ - MÉXICO

Ing. Marco Aladín Zapata Velázquez
Ing. Jaime Zapata Velázquez

Facultad de Ingeniería e Instituto de Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
Av. Manuel Nava # 8, zona universitaria, San Luis Potosí S.L.P. 78210 México. mzapata@uaslp.mx

RESUMEN

*Con el objetivo de reducir los costos de operación y mejorar el proceso de flotación utilizado en la industria Minero-metalúrgica en la recuperación de los minerales de valor económico, desde hace aproximadamente 8 años se esta trabajando en el Instituto de Metalurgia y en la Facultad de Ingeniería de la UASLP, con el apoyo del sector industrial, en el desarrollo de una máquina de flotación que opere con ventajas económicas con respecto a las máquinas de flotación de tecnología extranjera y que actualmente son las utilizadas en este proceso. El propósito de las máquinas de flotación es de lograr el contacto de pequeñas partículas sólidas en suspensión en el agua, con burbujas de aire inyectadas al medio. En los equipos actuales esto se logra con rigurosa agitación o con flujos a contracorriente que requieren mecanismos impulsores, grandes estructuras y sistemas de control sofisticados de alta inversión y costos de operación. En las máquinas propuestas denominadas **celda convencional MAZ** y **celda vertical MAZ**, se crean cortinas de burbujas transversales al flujo de las partículas sólidas en suspensión, aumentando las probabilidades del contacto en un medio de mínima turbulencia y fricción y sin la necesidad de mecanismos impulsores ni de grandes estructuras ni costosos equipos de control. En comparaciones directas a nivel piloto se han obtenido en la mayoría de los casos mejores resultados.*

1. INTRODUCCIÓN

Aunque existen muchos diseños diferentes de máquinas de flotación, todas tienen la función de hacer que las partículas con superficie hidrófoba entren en contacto y se adhieran a las burbujas de aire para que sean elevadas hasta la superficie y se mantengan en la espuma hasta que sean removidas.

Para lograr esta función, una máquina de flotación debe:

1. Mantener todas las partículas en suspensión.
2. Dispersar pequeñas burbujas de aire en el seno de la suspensión.
3. Promover el contacto partícula - burbuja.
4. Mantener condiciones tranquilas en la interfaz suspensión - espuma.
5. Reducir lo más posible turbulencias en el seno de la suspensión.

6. Evitar el ascenso de partículas indeseadas por arrastre mecánico de las burbujas.
7. Permitir la extracción de la espuma cargada.

Con el objetivo de lograr alcanzar estos requerimientos se han inventado muchos tipos de máquinas de flotación. Todas las máquinas de flotación pueden considerarse comprendidas en dos categorías básicas; las máquinas de flotación mecánicas y las máquinas de flotación neumáticas.

Las máquinas de flotación mecánicas cuentan con un impulsor que gira dentro de un recipiente rectangular o cilíndrico que cuenta con deflectores y cuyo diseño varía entre los diferentes tipos de máquinas. El impulsor es un mecanismo que gira a velocidad controlada y también de diferentes diseños, cerca del impulsor se coloca un mecanismo dispersor para que en conjunto se origine el suficiente mezclado que dé origen al contacto partícula - burbuja. El aire que genera las burbujas puede suministrarse a través de la flecha del impulsor o puede ser succionado con un diseño

apropiado del impulsor, a través de un tubo vertical situado en torno a la flecha.

Estas máquinas generan una región de gran turbulencia pero es indispensable que generen también una zona de relativa tranquilidad adyacente a la capa de espuma para que las partículas adheridas a las burbujas no sean desprendidas por los flujos turbulentos. En la figura 1, se muestra el fundamento de operación de una celda mecánica.

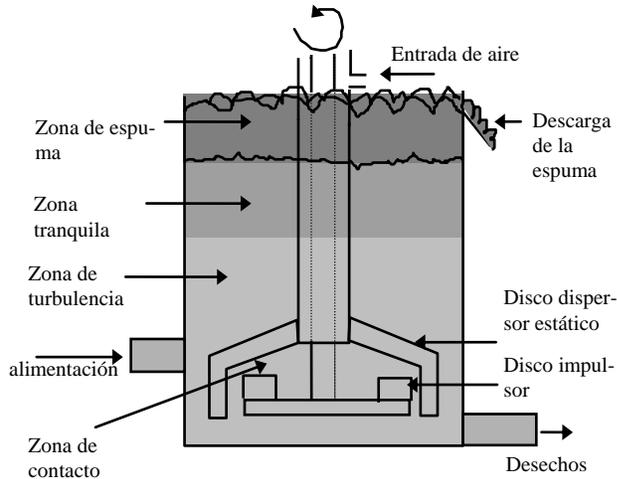


Figura 1. Fundamento de operación de una celda de flotación mecánica.

Aunque las máquinas de flotación mecánicas son las más utilizadas en la industria minero-metalúrgica, tienen importantes desventajas como son:

TABLA 1. Principales desventajas de las celdas de flotación mecánicas.

- Forman zonas de gran turbulencia dentro de la celda.
- La abrasión y desgaste son muy grandes.
- Alto consumo de energía (con respecto a las neumáticas).
- Altos costos de mantenimiento.
- Riesgos de paros inesperados.
- Originan partículas muy pequeñas por la acción de la fuerte fricción.
- Requiere de tiempos prolongados para la flotación.
- Dificultad para la flexibilidad del circuito.
- Problemas de embancamientos y derrame de los productos.

Sin embargo, aún con estas desventajas, es la que proporciona mejores resultados metalúrgicos en cuanto a la recuperación de las partículas de valor.

Las máquinas de flotación neumáticas utilizan aire comprimido tanto para la aireación como para la agitación, esto propicia la necesidad de grandes volúmenes de aire con altas presiones de aplicación, como no cuentan con sistemas de agitación ni dispersión, deben utilizarse generadores de burbujas que proporcionen un tamaño adecuado de burbujas y aunque tienen varias ventajas, también tienen serias desventajas con respecto a las mecánicas como son :

TABLA 2. Ventajas y desventajas de las celdas neumáticas.

<p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No tienen partes en movimiento • Construcción más sencilla • Bajos costos de mantenimiento. • Bajo consumo de energía. • Más fácil entendimiento de su operación. • Ocupa poco espacio de piso • Mayor capacidad.
<p>DESVENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Constante obstrucción de los generadores de burbujas. • Requiere de grandes cantidades de aire comprimido. • Problemas en el control de la operación. • Se forman zonas donde no hay burbujas de aire. • Mayor riesgo de asentamiento de las partículas. • Poca fuerza para la adhesión partícula-burbuja. • Necesita de agua de lavado. • No se observa el nivel de la interfaz espuma-suspensión. • La presión es muy elevada en el fondo de la celda. • Requiere de estructuras y edificios altos. • Requiere de equipo de control sofisticado.

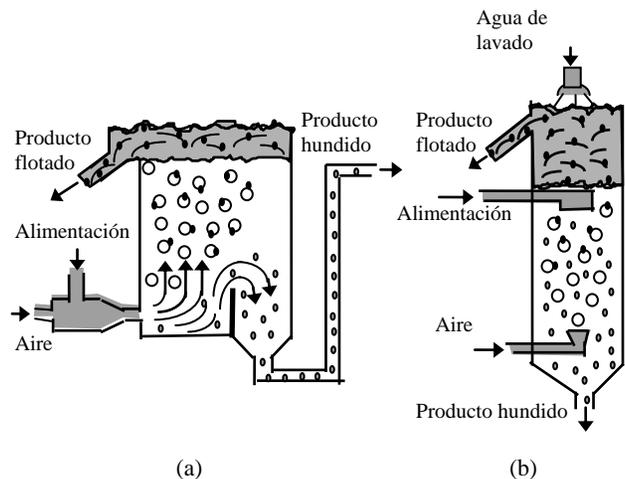


Figura 2. Principales modelos de celdas neumáticas a) Davcra y b) Columna

De estas desventajas tal vez la más importante es la de que se encuentren grandes zonas donde no hay presencia de burbujas, debido al flujo preferencial de las burbujas y sólidos, y a la rápida obstrucción de los generadores de burbujas por estar en contacto directo con el material. En los últimos años la celda neumática más utilizada es la columna de flotación.

2. DESARROLLO DE LA CELDA CONVENCIONAL MAZ

El principio fundamental de las celdas de flotación MAZ es el de crear cortinas de burbujas de aire transversales al flujo de la suspensión partículas sólidas - agua, para que se realice el contacto, el ascenso hasta la superficie y formación de la espuma cargada, en un medio rápido y de mínima turbulencia.

El desarrollo de la celda de flotación MAZ, ha pasado por varias etapas tanto a nivel laboratorio como a nivel piloto y en cada una se ha comprobado que el método propuesto si tiene factibilidad de ser aplicado con las ventajas que se estimaron desde su invención,

El avance más significativo de la celda fue cuando se utilizó un material poroso como fondo y generador de burbujas por debajo del cual, se inyecta aire a presión para que fluya a través de los poros y al contacto con el flujo de pulpa, genera pequeñas burbujas de aire que ascienden y viajan en la misma dirección, logrando el contacto partícula - burbuja y el posterior ascenso hasta la superficie en un medio relativamente tranquilo (figura 3). Sin embargo, se presentó un problema que no se pudo evitar, la membrana porosa que se utilizó como fondo de la celda MAZ se obstruía fácil y rápidamente reduciendo la eficiencia de la celda.

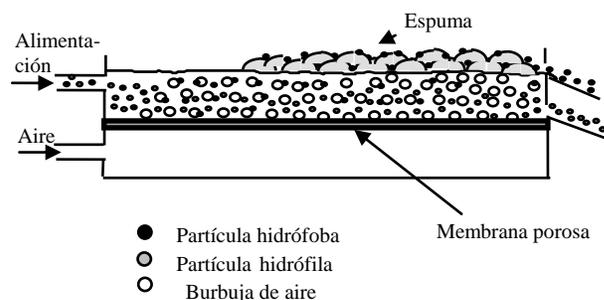


Figura 3. Ilustración de la superficie porosa como fondo y generador de burbujas.

Para tratar de disminuir el efecto de la obstrucción de los poros se probaron diferentes materiales, principalmente telas para filtros y por último una placa de acero inoxidable sinterizada con poros de dos micras. De todos los materiales probados fue la placa de acero la que proporcionó los mejores resultados logrando en algunos casos duplicar la ley del concentrado de las celdas con agitación utilizadas en una de las plantas donde se probó la celda en la etapa primaria. Aunque la recuperación estaba un diez por ciento

por debajo, el tiempo de residencia sobre la celda MAZ era de sólo 10 segundos, por lo que existe la posibilidad de reciclar los productos para aumentar el tiempo de residencia y con ello la recuperación.

Debido a que no se pudo evitar la obstrucción de los poros, se diseñó un nuevo sistema generador e inyector de burbujas desde el fondo de la celda MAZ, que no estuviera en contacto con la pulpa a ser flotada. El nuevo sistema consistía en generar las burbujas en un compartimento colocado por debajo del fondo de la celda y hacer fluir las burbujas por medio de agua con espumante a través de ranuras transversales, formando densas cortinas de burbujas a las que todas las partículas deben atravesar, (figura 4). Con este sistema se evitó la obstrucción de los poros permitiendo operar la celda por tiempos indefinidos, pero la eficiencia de la celda bajó considerablemente por lo que se tuvieron que seguir buscando nuevas alternativas de generar las burbujas conservando el principio fundamental de la celda MAZ.

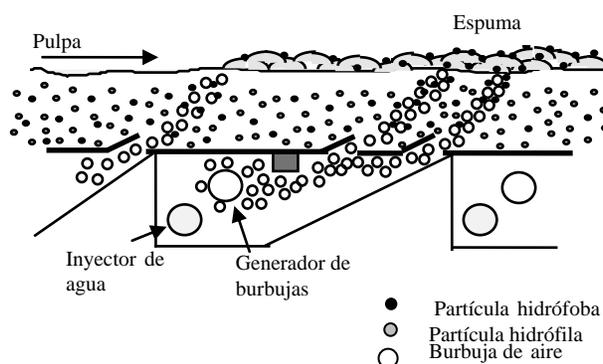


Figura 4. Formación de las cortinas de burbujas con un generador externo

Con la generación de cortinas de burbujas de aire desde el fondo de la celda MAZ, se evitó la obstrucción del generador de burbujas, por lo que se pudo trabajar la celda por tiempos indefinidos. Sin embargo, la eficiencia en la adhesión partícula - burbuja disminuyó considerablemente comparada con el sistema anterior.

El análisis de los dos sistemas utilizados nos llevó a encontrar las principales ventajas y desventajas de cada uno de ellos y partiendo de este análisis se buscó la manera de combinar las mejores ventajas y al mismo tiempo evitar las desventajas. En la tabla 3, se hace un resumen de este análisis.

Utilizando todo el fondo de la celda como generador de burbujas proporciona resultados satisfactorios, mientras que el sistema inyector de burbujas formando cortinas de burbujas permitía operar la celda por tiempos indefinidos, se buscó la manera de aprovechar estas dos ventajas en un nuevo sistema que pueda aplicarse a la celda de flotación MAZ (tabla 3).

Con el nuevo sistema ya no se utiliza el generador de burbujas externo, por lo que también ya no es necesaria la

adición de agua limpia lo que constituía una gran desventaja; mientras que sí se utiliza la superficie porosa pero ya no en todo el fondo de la celda, sino que se aprovecha las pequeñas cejas por donde se hacían fluir las burbujas por medio de agua, cubriendo la abertura de estas cejas con la superficie porosa. El aire se inyecta en la cámara pasando a través de la superficie porosa y al igual que en el primer modelo al contacto con la pulpa forma las cortinas de burbujas, pero ahora la pulpa ya no está sobre la superficie

porosa, sino que resbala sobre ella al estar colocada de manera inclinada disminuyendo de esta forma la rápida obstrucción de los poros; mientras que las cejas actúan como cascadas de pulpa haciendo que el efecto de asentamiento de las partículas también se vea considerablemente disminuido, permitiendo operar con tamaño de partícula más grande. En la figura 5, se ilustra este sistema.

TABLA 3. Ventajas y desventajas de los dos sistemas generadores de burbujas utilizados

Sistema	Ventajas	Desventajas
Fondo poroso	<ul style="list-style-type: none"> • Un área muy grande de generación de burbujas. • No requiera adición de agua limpia. • Amplias posibilidades del contacto partícula - burbuja • Es un procedimiento muy simple y efectivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy rápida obstrucción (tapado) de los poros. • Tiene que soportar todo el peso de la pulpa • Está en contacto directo con la pulpa • Se tiene que utilizar un material resistente a la corrosión y abrasión.
Inyector de burbujas	<ul style="list-style-type: none"> • El generador de burbujas no está en contacto directo con la pulpa de flotación. • Puede trabajar por tiempo indefinido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia en el contacto mineral - burbuja. • El sistema es más complicado en su construcción y operación.. • Menor área de contacto partícula - burbuja. • Requiere la adición de agua limpia. Y espumante • Aumento en la dilución de la pulpa de flotación

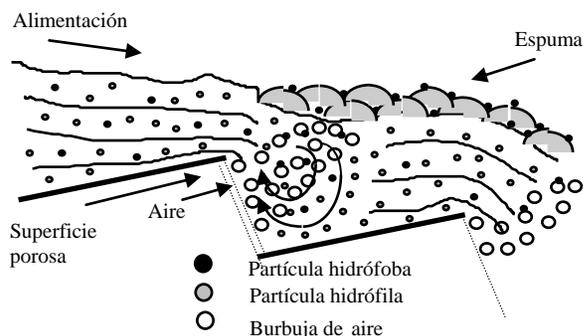


Figura 5. Acción de las cascadas y cortinas de burbujas en el nuevo sistema

En este sistema únicamente se utiliza la superficie porosa en la pared opuesta de las pequeñas cejas por donde fluyen las burbujas con agua, evitando que la superficie porosa soporte todo el peso de la pulpa, mientras que las burbujas se generan únicamente por el deslizamiento del fluido sobre la superficie inclinada, ejerciendo una mínima presión debido a la gravedad, reduciendo de esta manera de forma considerable el efecto de la obstrucción sobre los poros.

La celda convencional MAZ, está en la etapa de su desarrollo a nivel industrial en el procesamiento de los residuos Pb

- Ag de la planta electrolítica de Zn de Industria Minera México S.A. de C.V. y en la flotación de sulfuros de cobre con valores de Au - Ag y con Bi - As como principales contaminantes en la compañía Negociación Minera Santa María de la Paz y Anexas S.A. de C.V.

TABLA 4. Ventajas del nuevo sistema

- No se requiere utilizar agua limpia para hacer fluir las burbujas.
- Se pueden formar todas las cortinas de burbujas que sean necesarias.
- Las cejas elevadas permiten crear cascadas favoreciendo la formación de las burbujas y al mismo tiempo, disminuyen la posibilidad de asentamiento de las partículas sólidas.
- No se ha detectado el efecto de obstrucción de los poros.
- Puede controlarse la presión por secciones en la celda según se requiera.
- Es de construcción simple y económica.
- Es muy fácil de operar y controlar.
- Las labores de mantenimiento son muy sencillas y rápidas.

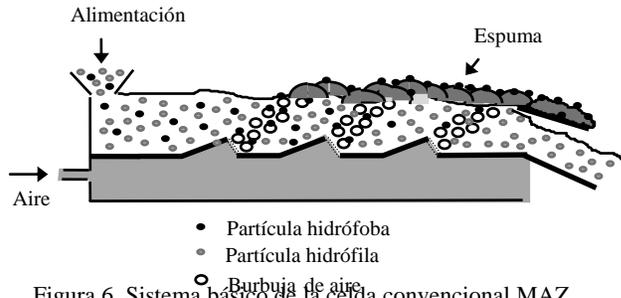


Figura 6. Sistema básico de la celda convencional MAZ

3. DESARROLLO DE LA CELDA VERTICAL MAZ

El establecer el diseño de la celda MAZ, ha requerido de tiempo, una gran cantidad de pruebas, análisis y discusión

de los resultados, rediseño de los prototipos y el apoyo económico que ha brindado el sector industrial, manteniendo siempre el principio fundamental de la celda, hasta llegar al modelo actual designado como la **celda convencional MAZ**, la que se ha probado en diferentes unidades mineras y bajo diferentes condiciones de operación con resultados muy alentadores al compararla con columnas de flotación en la planta de flotación de la electrolítica de Zn de IMMSA ; en la Unidad San Martín de IMMSA y en la compañía Negociación Minera Santa María de la Paz y Anexas S.A., con celdas mecánicas. En estas unidades mineras se mantiene una expectativa muy firme de que la celda convencional MAZ, sea una mejor alternativa en la flotación en espuma de minerales y materiales.

La búsqueda en la mejora de la celda convencional MAZ permitió establecer las ventajas y desventajas que se muestran en la tabla 5.

TABLA 5. Ventajas y desventajas de la celda convencional MAZ

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • No requiere agitación. • No presenta flujos a contracorriente. • Un área muy grande de generación de burbujas. • Amplias posibilidades del contacto partícula - burbuja. • Las cejas elevadas crean cascadas que disminuyen el efecto del asentamiento de las partículas. • Bajo consumo de energía. • Bajos costos de mantenimiento. • Facilidad de operación y control. • Su construcción es muy simple. • Es de alta capacidad. • Es de fácil instalación. • Requiere de poco espacio. • Trabaja con bajas presiones de aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entre mayor sea el tamaño de las partículas procesadas, requiere de una mayor inclinación para evitar su asentamiento. • Al aumentar la inclinación, se incrementa la velocidad del flujo lo que disminuye la eficiencia del contacto partícula - burbuja. • Entre mayor sea la velocidad del flujo de la suspensión aumenta la dificultad en la recuperación de la espuma cargada. • Variaciones en el tamaño de alimentación de las partículas también provoca asentamiento. • El asentamiento de las partículas obstruye al sistema generador de burbujas.

El análisis de estas propiedades y la búsqueda de soluciones, llevó al diseño y origen de la **celda vertical MAZ**.

Debido al aumento en la inclinación al procesar partículas gruesas, se produce un incremento en la velocidad del flujo hasta llegar a un límite donde la eficiencia de la celda convencional resultaba muy baja, se llevó la posición de la celda hasta el punto de que quedara completamente vertical. En esta posición no era posible procesar ningún material pero se pudo considerar que las pequeñas cortinas de burbujas se podían unir para formar una sola cortina de burbujas

si en lugar de emplear la celda como un canal, se cierra para formar un conducto rectangular en posición vertical.

La base para la flotación de minerales y materiales en la **celda vertical MAZ**, es la de crear una sola cortina con una gran cantidad de pequeñas burbujas de aire que fluyen únicamente por la parte central de la celda, las partículas sólidas se hacen fluir en forma descendente pero de una manera tal, que tengan que atravesar la cortina de burbujas en todos los puntos necesarios, esto se logra haciendo que fluyan en forma descendente y zig - zag a contracorriente con las burbujas.

Un análisis de la corriente de los fluidos llevó a considerar la utilización de deflectores tanto en la parte superior para la suspensión, como en la parte inferior, con lo cual se logra que al igual que la suspensión, la capa de burbujas también fluya en zig -zag, pero en una corriente ascendente.

El poner los generadores en la parte central y sobre una misma línea, favorece con la ayuda de los deflectores, evitar la segregación de las partículas sólidas que descienden y de las burbujas que ascienden, esto provoca que el contacto se realice entre dos capas o cortinas de flujos a contracorriente y en zig -zag. En la figura 7, se ilustra este concepto.

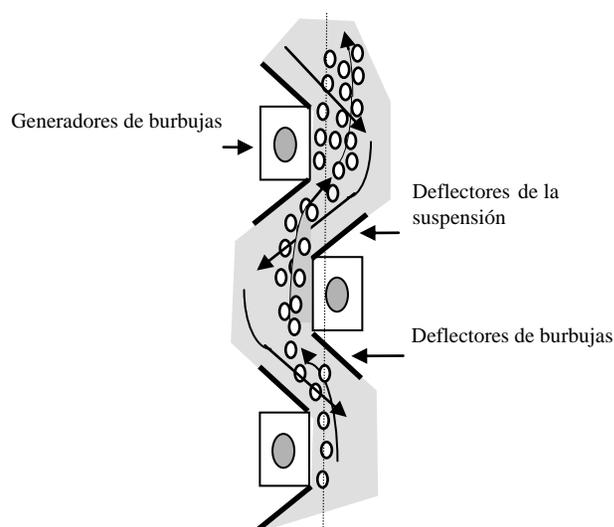


Figura 7. Distribución de los generadores de burbujas y deflectores

3.1 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA CELDA VERTICAL MAZ

Los flujos a contracorriente y en zig zag de dos capas o cortinas de fluidos que se cruzan en varios puntos a través de la altura de la celda, una descendente compuesta por la suspensión líquido - sólidos y la otra ascendente formada por las burbujas de aire, pueden aumentar la probabilidad del contacto partícula burbuja en un medio tranquilo de mínima turbulencia, como se ilustra en la figura 8.

La cantidad de generadores de burbujas es una variable que dependerá del mineral o material a procesar, de esto se desprende que la altura de la celda es una variable que puede ser de algunos decímetros o llegar a varios metros. También es importante señalar que la forma de colocar y de utilizar a los generadores de burbujas puede permitir el reemplazarlos sin la necesidad de detener la operación de la celda.

El ancho de la celda no es un factor muy determinante ya que sólo es el necesario para colocar los generadores de burbujas y los deflectores, para que todas las partículas crucen la cortina en los diferentes puntos.

La longitud de la celda es la que va a determinar su capacidad, ya que lo importante es mantener la capa delgada de pulpa deslizándose en zig -zag para asegurar una mayor probabilidad del contacto, por lo que si se quiere variar la capacidad no es conveniente aumentar la separación entre los generadores de burbujas, pues esto aumenta el grosor de las capas de los fluidos, lo más conveniente es variar la longitud de la celda ya que esto no afectaría sus condiciones de operación, el límite máximo en la longitud será determinado por la capacidad de generar las cortinas de burbujas de manera uniforme a todo lo largo de la celda.

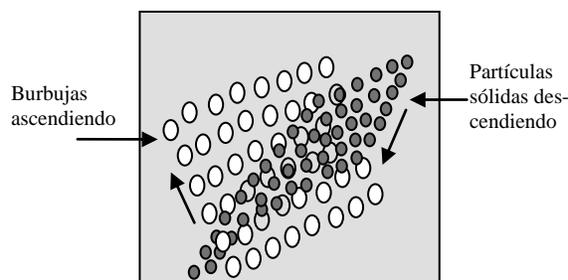


Figura 8. Intersección de la cortina de burbujas ascendiendo y la cortina de partículas sólidas en agua descendiendo.

El espesor de la capa de la suspensión descendiendo entre los generadores va a estar controlado por la distancia entre un generador y otro, ya que entre mayor sea la distancia el espesor de la capa será grande y viceversa. Para lograr una mayor eficiencia el espesor de la capa de suspensión deslizándose entre los deflectores debe ser pequeño, ya que de esta manera disminuye la probabilidad de la segregación y flujos preferenciales de las partículas sólidas y de las burbujas de aire.

Un aspecto muy importante del diseño de la celda es que la posición de los deflectores que hacen al fluido de líquido y sólidos descender en zig -zag, también actúan como soportadores del peso de la columna, disminuyendo la presión hidrostática en el fondo de la celda, permitiendo en su caso, la utilización de celdas de gran altura.

También se ha considerado que el sistema de dos capas o cortinas que fluyen en zig -zag en forma opuesta y cruzando entre sí, evita la disgregación de los constituyentes y propicia un mejor contacto, además de que se disminuye el arrastre mecánico, debido a que las burbujas no cubren toda el área transversal de la celda, lo que permite a los sólidos descender libremente hacia al fondo. Todo esto puede permitir el procesar la mezcla sólidos - líquidos con porcentajes mayores al 20% de sólidos.

Al deslizarse las partículas sobre los deflectores se provoca una concentración gravimétrica en donde las partículas más densas tienden a ir en el fondo, mientras que las más ligeras y pequeñas viajan sobre estas, la concentración gravimétrica va a provocar que al llegar a la cortina de burbujas sean precisamente las gruesas y pesadas las que entren primero

en contacto con las burbujas de aire, favoreciendo su flotación y el efecto va ser más significativo en la parte más alta de la celda donde las partículas que se deslizan del primer deflector se van a encontrar con la cortina más densa de burbujas ya que es la suma de todas las burbujas de cada generador.

3.2 ALIMENTACIÓN Y DESCARGA DE LOS PRODUCTOS

Un aspecto muy importante en el diseño de la celda vertical MAZ, es el de lograr que la alimentación de la suspensión líquidos - sólidos, la generación de las burbujas, la descarga del producto flotado, la descarga del producto hundido y el nivel de las interfaces sea simple y fácil de controlar.

Para ello, se consideró que es más conveniente hacer la alimentación de la suspensión y la descarga del producto flotado por la parte superior de la celda, pero para evitar la interferencia entre los dos flujos, uno que entra y otro que sale, además de tener la alternativa de poder ver continuamente y sin necesidad de equipo costoso de control, el nivel de la suspensión y por consiguiente conocer el nivel exacto de la interfaz líquido - espuma, se dividió la parte superior de la celda en dos conductos, uno exclusivo para la alimentación de la suspensión donde no exista la presencia de espuma, y otro exclusivo para la descarga del producto flotado en el que se puede colocar de ser necesario una exprea de agua limpiadora, otra ventaja de este sistema es el de hacer los dos conductos con una altura diferente, el conducto de la alimentación con menor altura y el conducto de la descarga del producto flotado con una mayor altura, la cual incluso, puede tener la cara de la descarga de altura variable con lo cual puede variar también la altura de la zona de espuma según sea conveniente, con esto en un caso dado que el flujo de la alimentación llegue a ser mayor que el flujo de las descargas, la suspensión desbordaría por el conducto más bajo y nunca llegaría a desbordar por la descarga del flotado. En la figura 9, se ilustra este concepto.

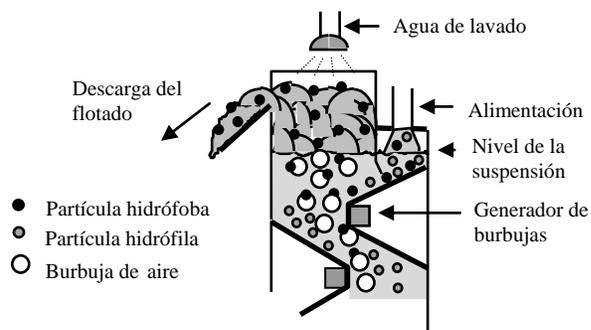


Figura 9. Método para la alimentación y la descarga del producto flotado

La descarga del producto hundido puede hacerse a través de uno o varios conductos colocados en la parte baja de la celda. La forma rectangular permite colocar varios conductos a lo largo de la parte alargada del rectángulo, pudiendo

hacer la descarga por uno de ellos mientras los otros permanecen en disposición para el caso de que se tape el conducto de descarga o descargar en varios de ellos al mismo tiempo según convenga. Otra alternativa es la de utilizar una compuerta elevadora que puede tener la longitud necesaria para disminuir la probabilidad de que se tape y en el caso de que esto suceda, puede elevarse la compuerta para desembancar la salida. En la figura 10, se ilustran estos conceptos.

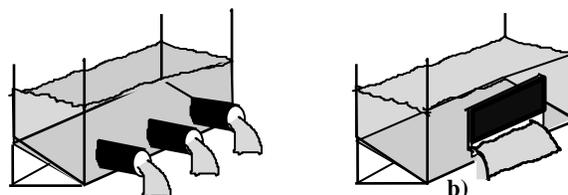


Figura 10. Métodos para la descarga del producto hundido a) por medio de varios conductos ó b) por una compuerta corrediza.

Como la alimentación de las partículas sólidas en agua y la descarga de la espuma pueden hacerse en la parte superior y en conductos separados, el control de los niveles es relativamente sencillo, mientras que los jales después de atravesar varias veces la cortina de burbujas, se extraen por el fondo también de manera muy simple. En la figura 11, se muestra en su totalidad el fundamento de la operación de la celda vertical MAZ.

5. CONCLUSIONES

Las pruebas a escala piloto de la **celda convencional MAZ** en las compañías mineras de la región, han demostrado que el sistema diseñado para lograr aumentar la probabilidad del contacto entre las burbujas de aire y las partículas sólidas en un medio acuoso, si tiene factibilidad de aplicación con ventajas sobre las celdas actualmente utilizadas, pues además del mayor contacto de las partículas hidrófobas, disminuye la adhesión de las partículas hidrófilas obteniéndose concentrados con menores impurezas. Así como ser un sistema más simple, económico y eficiente. Actualmente ya se tiene el primer prototipo de la celda **vertical MAZ**, donde se puede apreciar que el fundamento de su operación presenta amplias posibilidades de lograr la flotación de las partículas hidrófobas de manera más eficiente, lo que ha causado una buena impresión en varias empresas por lo que ya han autorizado el probar la celda en sus instalaciones aún en sus primeras etapas de desarrollo, como es el caso de la compañía Negociación Minera Santa María de la Paz y Anexas S.A. de C.V. en donde prácticamente se estrenó la celda vertical MAZ, con resultados muy satisfactorios, también las plantas de flotación de la electrolítica de Zinc de IMMSA y en la de Materias Primas Minerales de San José S.A, por la posibilidad de mejorar su producto y disminuir los costos de operación.

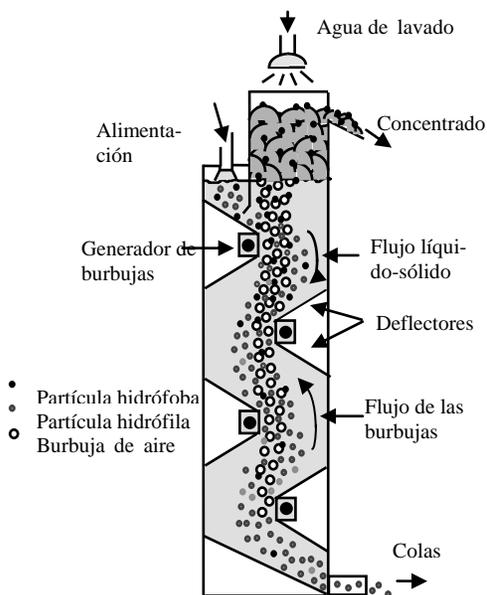


Figura 11. Fundamento del método de la celda vertical MAZ

BIBLIOGRAFÍA

- B. A. Wills; "Tecnología de procesamiento de minerales", versión en Español por LIMUSA S.A. de C.V. México 1994.
- Pierre Blazy; "El beneficio de los minerales", versión en español por Rocas y Minerales, España,
- Mular Bhappu; "Diseño de plantas de proceso de minerales", segunda edición, versión en español por Rocas y Minerales, España. 1985.
- Zapata V. M. A., Zapata V. J. y Torres V. H., "Diseño de un nuevo prototipo de celda de flotación de minerales en espuma para reducir los costos de operación". Memoria del tercer congreso nacional de vinculación. Estrategias para el impulso de la vinculación Universi-

dad-Empresas. ANUIS. Enero de 1997, Cuernavaca Mor. México.

- Zapata V. J., Zapata V. M. A., Flores S. P., Castro L. S. A. y López G. M. "Desarrollo a escala piloto de la celda de flotación MAZ en la flotación de los residuos Pb - Ag, de la electrolítica de Zinc de IMMSA". Memoria del IX Encuentro sobre procesamiento de minerales. Instituto de Metalurgia de la UASLP. Agosto de 1998. San Luis Potosí, México.
- Zapata V.M.A., Zapata V. J., Castro L. S. y Flores S. P. "Aumento en la eficiencia de la celda de flotación MAZ con un nuevo sistema generador e inyector de burbujas a nivel piloto en la planta de flotación de la electrolítica de Zn de IMMSA". Memoria de la XXIII Convención nacional de minería, Encuentro III milenio, AIMMGM, Octubre de 1999, Acapulco, México.
- Zapata V.M.A., Zapata V.J., Flores S.P., Castro L.S. y Medina C.F. "Avances en el diseño de la celda de flotación MAZ y su comportamiento en la flotación de sulfuros". Memoria del XI Congreso internacional de metalurgia extractiva, Universidad de Sonora. Mayo del 2001, Hermosillo, México.
- Zapata V.M.A. "Celda vertical MAZ nuevo método y prototipo para aumentar la probabilidad del contacto partícula-burbuja en un medio rápido y de mínima turbulencia". Memoria de la XXIV Convención internacional de la AIMMGM. Octubre del 2001 Acapulco, México.
- Zapata V. J., Zapata V.M.A., y Flores S. P. "Evaluación a nivel piloto de la celda de flotación MAZ en negociación minera Santa María de la Paz y Anexas S. A. de C. V.". Memoria de la XXIV Convención Internacional de la AIMMGM, Octubre de 2001. Acapulco, México.
- Zapata V. J., Zapata V. M.A. y Flores S. P. "La celda de flotación MAZ, en las unidades de San Martín y Charcas del grupo México". Memoria del XI Encuentro sobre Procesamiento de Minerales. Instituto de Metalurgia de la UASLP. Agosto del 2002; San Luis Potosí, México.