

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**OPTIMIZACIÓN DE LA EVACUACION DE ESPUMAS  
EN LA FLOTACION DE COBRE, EN CELDAS  
MECANICAS**

**INFORME DE SUFICIENCIA  
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
METALURGISTA**

PRESENTADO POR:  
EDER JORGE PAREDES ESPINAL

**LIMA – PERU**

**2011**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo esta dedicado a mis padres Jorge y Nury por el apoyo constante y sacrificado y a mi esposa Evelyn por su apoyo sincero.

## RESUMEN

El área superficial en una celda mecánica de flotación es muy importante, ya que es la parte de acumulación de espumas ricas en mineral y si no se concentra la cantidad mínima de burbujas para evacuar, la evacuación no se efectuara.

La evacuación de las espumas de una celda de flotación representa la eficiencia de una celda al recuperar elementos valiosos.

La propuesta es reducir en un % el área superficial para juntar y forzar a las burbujas a evacuar las espumas, ya que se acumulara una cantidad adecuada de burbujas.

Los reductores de área tendrán los siguientes beneficios:

- Aumentar la recuperación de mineral valioso.
- Aumentar las leyes de los concentrados.
- Disminución en la carga circulante del circuito de flotación.
- Disminuir el exceso de reactivos y utilizar lo necesario, ya que no se forzara a la flotación con la adición de exceso de reactivos(espumante)
- Volver a la celda más eficiente.

## INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	5
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	7
1.1. Objetivo General	7
1.2. Justificación	7
1.3. Bases Teóricas de Flotación	8
1.3.1. Flotación	8
CAPITULO II: EVALUACION DE REDUCTORES DE AREA EN CELDAS CUADRADAS	14
2.1. Maquinas que maximizan la evacuación de espumas cargadas en la flotación	14
CAPITULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO DE CELDA CUADRADA MECÁNICA A NIVEL LABORATORIO	20
3.1. Diagnostico del funcionamiento de una Celda Cuadrada	20
3.2. Propuesta de la implementación del Reductor de Área Superficial de la celda	21
3.3. Lógica: Propuesta Reductor de Área	22
3.4. Procedimiento de las pruebas de flotación	23
3.5. Datos iniciales de la flotación con reductores cuadradas	26

3.6. Resultados de los Reductores cuadrados	27
---	----

#### CAPITULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO DE CELDAS CIRCULARES

MECÁNICA A NIVEL LABORATORIO	30
4.1. Diagnostico del funcionamiento de una Celda Circular	30
4.2. Propuesta de la implementación del Reductor de Área Superficial de la celda	31
4.3. Lógica: Propuesta Reductor de Área	32
4.4. Procedimiento de las pruebas de flotación	33
4.5. Datos iniciales de la flotación con reductores circulares	36
4.6. Resultados de los reductores circulares	37
CONCLUSIONES	42
BIBLIOGRAFIA	44

#### ANEXO

## INTRODUCCIÓN

La evacuación de las espumas de una celda de flotación representa la eficiencia de una celda al recuperar elementos valiosos.

La propuesta es reducir en un determinado porcentaje el área superficial para juntar y forzar a las burbujas a evacuar las espumas, ya que se acumulara una cantidad adecuada de burbujas.

Los reductores de área circulares en celdas circulares tienen los siguientes beneficios:

- Aumentar la recuperación de mineral valioso.
- Se mantiene constante el contenido de fierro en la flotación, al forzar se evacua mas insolubles, esto hace que disminuya la ley de cobre.
- Disminución en la carga circulante de fierro en el circuito de flotación
- Disminuir el exceso de reactivos y utilizar lo necesario, ya que no se forzara a la flotación con la adición de exceso de reactivos (espumante)
- Hacer que la celda sea más eficiente en la evacuación.

Los reductores de área circulares tienen la siguiente desventaja:

- Las leyes de los concentrados disminuye, debido a que se fuerza la evacuación de burbujas.

Con los reductores cuadrados en celdas cuadradas se tiene distorsiones y el efecto de evacuación no se ve muy claro. El reductor de área para cada celda se tiene que determinar de acuerdo a las leyes del mineral.

## **CAPITULO I**

### **ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1. Objetivo General**

Demostrar como el área superficial influye en la evacuación de las espumas en la flotación de cobre utilizando celdas cuadradas ó circulares. Se encontrará áreas que son más eficientes que otras en la evacuación y esto repercute en la calidad de concentrado y recuperación de cobre.

#### **1.2. Justificación**

- Las celdas circulares muchas veces adolecen de una deficiente remoción de espumas. Principalmente en la zona central. Se forman las espumas, las espumas están cargadas, pero no evacuan.
- Un factor que no es tomado en cuenta, es la eficiencia en la remoción de espuma.
- El diseño de la celda circular con una sola canaleta de descarga de concentrados, ya sea en la canaleta interna o externa, es muy poco para una eficiente remoción de espumas.

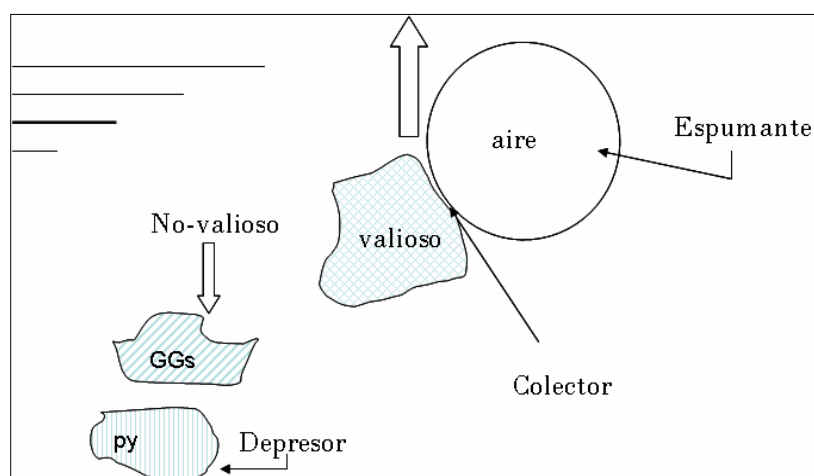


- La espuma al no ser removida de la superficie y al cargarse mucho suelta su carga. Esto es particularmente cierto para la espuma de minerales de alta densidad, como la calcopirita o la galena.

### 1.3. Bases Teóricas de Flotación

#### 1.3.1. Flotación

La flotación es un proceso físico-químico usado para la separación de sólidos finamente divididos. La separación de estos sólidos (no similares) es efectuada por la adherencia selectiva de la superficie de la partícula a una burbuja de aire ó a un líquido, cualquiera que sea el caso. La adherencia de la partícula a la fase gaseosa ó a la líquida es en la mayoría de los casos, ayudada grandemente por una modificación de la superficie de la partícula, hecha por reactivos químicos activos sobre superficies (surfactantes).



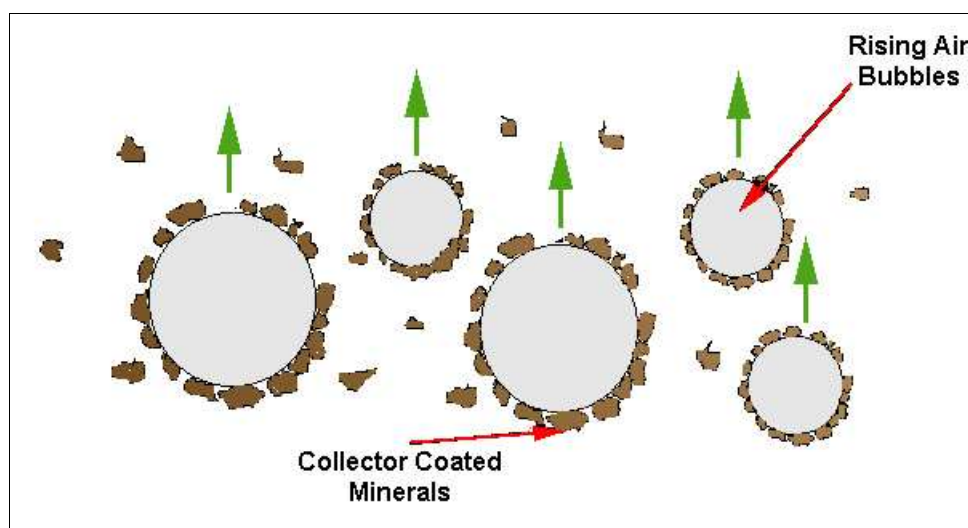
**Figura N° 1.1:** El fenómeno de la flotación de mineral valioso y la depresión del no valioso (ganga)

### Flotación por espuma

En el proceso de flotación, se obtiene adhesión entre las superficies de las partículas minerales recubiertas y las burbujas de aire, las cuales se hallan subiendo a través de la pulpa. La burbuja provee suficiente flotabilidad, para originar que las partículas suban y formen una espuma razonablemente estable, que pueda ser extraída por despumación.

### Formación de burbujas mineralizadas

La adherencia de las partículas minerales a las burbujas de aire, es la base del proceso de flotación por espumas. Todas las operaciones tales como la cominución, clasificación por tamaños, tratamiento con reactivos, agitación de la pulpa en una celda de flotación, etc; se efectúan con el propósito de producir las condiciones adecuadas para la rápida, selectiva y fuerte adherencia de una partícula mineral a una burbuja de aire.



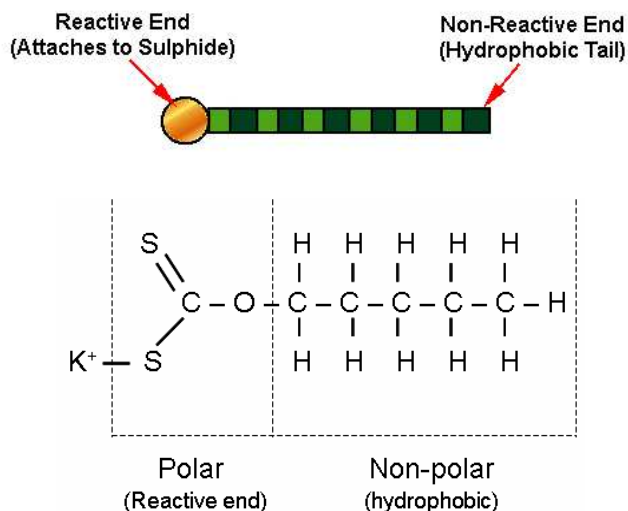
**Figura N° 1.2:** El colector cumple la función de hacer flotable el valioso y la burbuja es el medio de transporte para ascender.

La adhesión de las burbujas en flotación, se obtiene mediante dos métodos: primero las partículas se ponen en contacto con burbujas que ya se encuentran formadas en la pulpa y segundo, las burbujas de gas se precipitan de la solución sobre la superficie de las partículas.

Ambos procesos se pueden estudiar por métodos termodinámicos y cinéticos, mediante el método termodinámico, se puede estimar si es o no posible una mineralización de burbujas y los métodos cinéticos, se puede usar para establecer la naturaleza y velocidad del proceso.

### **Colectores**

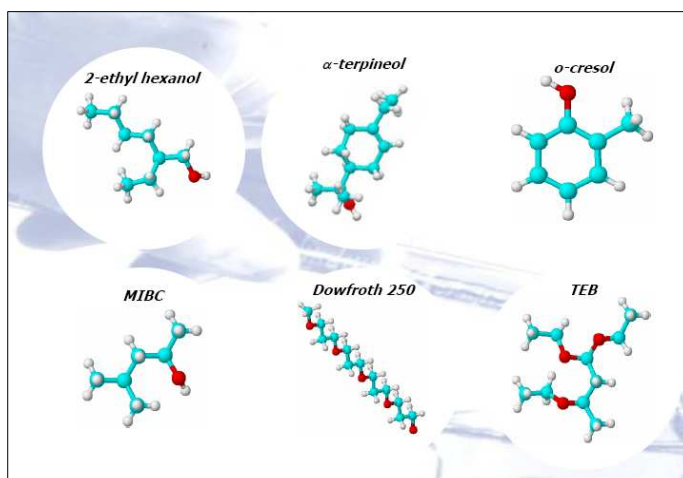
Los colectores son sustancias que se usan en flotación para convertir a determinados minerales, repelentes al agua por lo general, los colectores son sustancias orgánicas. Los minerales se vuelven repelentes al agua, debido a la absorción de iones o moléculas del colector, sobre la superficie mineral. Bajo estas condiciones, el nivel de energía de la superficie del mineral hidratado (humedecido con agua) se reduce a un punto donde es posible la formación de un perímetro de contacto de tres fases, al adherirse la partícula mineral a una burbuja.



**Figura N° 1.3:** El colector tiene 2 partes, la parte polar que es la se adhiere al valioso y la parte no polar que hace que el conjunto valioso-colector sea hidrofóbico (flotable)

### Espumantes

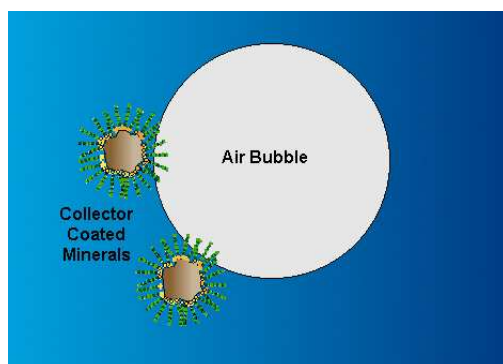
Los espumantes son sustancias activas sobre las superficies, que por concentrarse en la interfase aire-agua, ayudan a mantener las burbujas de aire dispersadas y previenen su coalescencia o unión. Los agentes espumantes incrementan la estabilidad de las espumas de flotación decrecimiento la energía libre superficial de la burbuja.



**Figura N° 1.4:** Algunos espumantes con sus estructuras químicas.

### Acción del Espumante

Cuando la superficie de una partícula mineral ha sido convertida repelente al agua, por acción de un colector; la estabilidad de la adherencia de la adherencia de la burbuja, depende de la eficiencia del espumante. Los espumantes son sustancias orgánicas heteropolaes, activas sobre la superficie y que pueden ser absorbidas sobre una interfase aire-agua.



**Figura N° 1.5:** El colector hace que el mineral valioso flote y a la vez se adhiere a la burbuja de aire que se forma por el espumante



**Figura N° 1.6:** La espuma mineralizada evacua por el labio de la celda mecánica, recuperando el mineral valioso, en este caso esfalerita (ZnS)

### Selección de espumantes

La selección del espumante es una tarea muy importante en optimizar la flotación, ya que se requiere burbujas de tamaño homogéneo y de un cierto tamaño. Hace que la evacuación sea óptima.

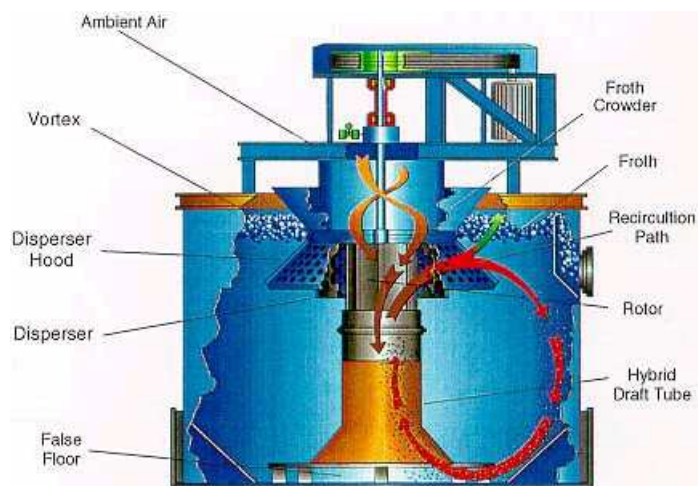


**Figura N° 1.7:** Diferentes tamaños de burbujas, generados por diferentes espumantes, se encuentra el espumante mas optimo.

## CAPITULO II

### EVALUACION DE REDUCTORES DE AREA EN CELDAS CUADRADAS

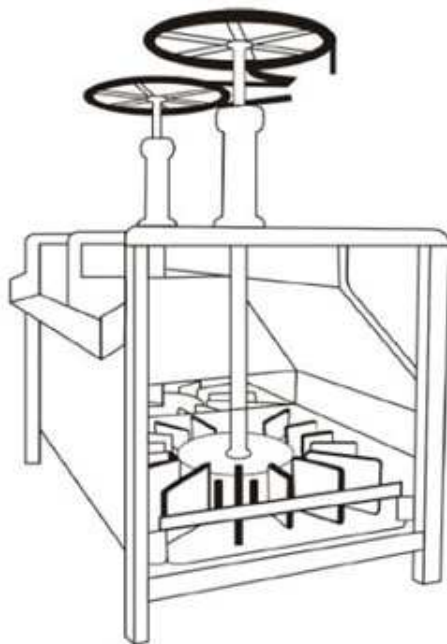
#### 2.1. Maquinas que maximizan la evacuación de espumas cargadas en la flotación



**Figura N° 2.1:** La celda de flotación con sus partes y sistema de operación

#### AGITAIR

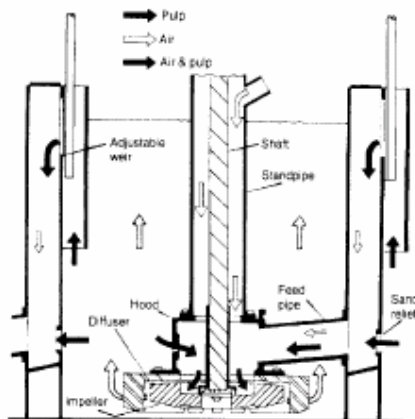
Estas maquinas están muy protegidas por planchas estabilizadoras que rodean al impulsor. Normalmente el aire soplado ingresa a una presión de 1- 2 PSI, descendiendo por el hueco de la funda del eje de impulsor.



**Figura N° 2.2:** Celda de flotación Agitair

### DENVER

Ofrece fundamentalmente dos tipos de diseño. Tanque libre o flujo abierto y diseño celda a celda que significa operar en circuito de varias celdas. En este último caso pueden ser autoaireantes y con posibilidades de control de niveles de pulpa en cada celda, también el control de espumas.



**Figura N° 2.3:** Celda de flotación Denver



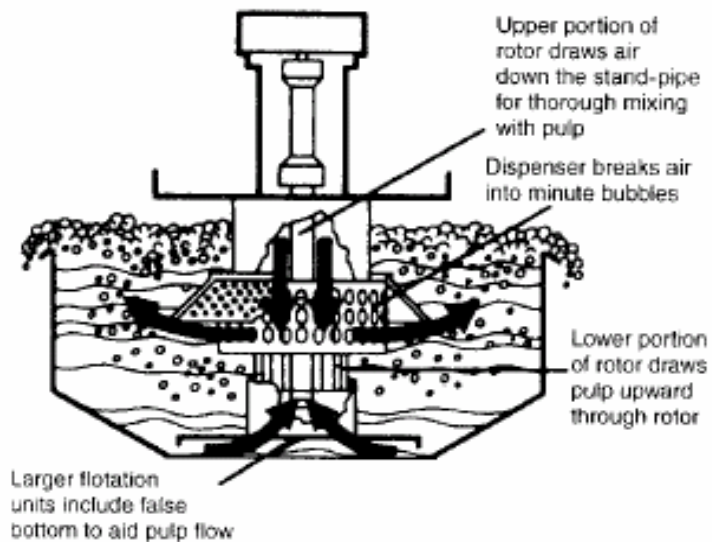
### **OUTOKUMPO**

Este tipo de celdas tiene la novedad del diseño del impulsor, que aprovecha según sus fabricantes, mejor las condiciones hidrodinámicas de su geometría característica. El aire se insufla hacia abajo por la funda del eje de impulsor, saliendo por un impulsor de turbina de hoja plana ubicado de modo relativamente profundo.

El perfil exterior curvado de las paletas de la última turbina está diseñado para equilibrar las mayores presiones hidrostáticas mediante fuerzas enteramente dinámicas de modo que todo el ancho del ancho del impulsor dispense activamente el aire.

### **WENCO**

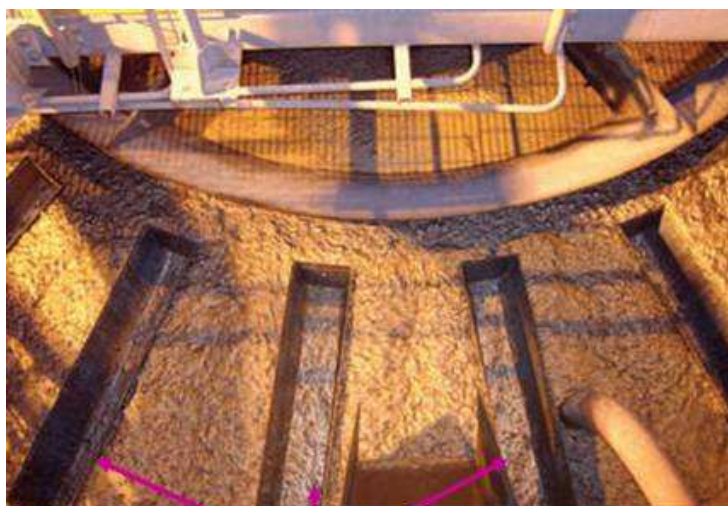
Inicialmente se conocieron como celdas “Fagergren”. Actualmente son auto aireadas modificando su diseño con una combinación fundamental de dos piezas denominado “rotor – dispersor de estrella”, con lo que se logra una mejor recirculación interna de la pulpa, asimismo se simplifica el mantenimiento mecánico.



**Figura N° 2.4:** Celda de flotación Wenco

### CELDAS FL SMIDTH

Utilizan reductores de área



Canaletas internas Radiales

**Figura N° 2.5:** Celda circular FL Smidth en operación con canaletas radiales internas de evacuación.

## CELDAS RCS

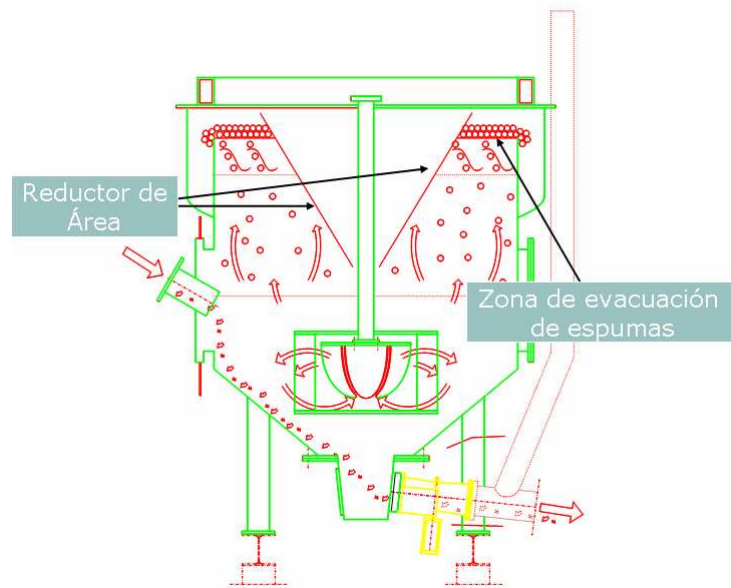


**Figura N° 2.6:** Celda RCS con canaletas internas para la evacuación

Utilizan los reductores de área, en la figura N° 2.6 se aprecia que los reductores de área se utilizan como canaletes de evacuación de las espumas de flotación. Este sistema no es muy eficiente.

## CELDAS OUTOKUMPU QUE UTILIZAN LOS REDUCTORES DE ÁREA

En la figura N° 2.7 se aprecia el funcionamiento de una celda de flotación OK-Skim Air y como utilizan el reductor de área para concentrar las espumas, también es ayudado por el sistema de formación de burbujas de aire que es dirigido hacia afuera del eje.



**Figura N° 2.7:** Celda OK-Skim Air

**CAPITULO III**

**DESARROLLO DEL PROYECTO DE CELDA CUADRADA MECÁNICA A**

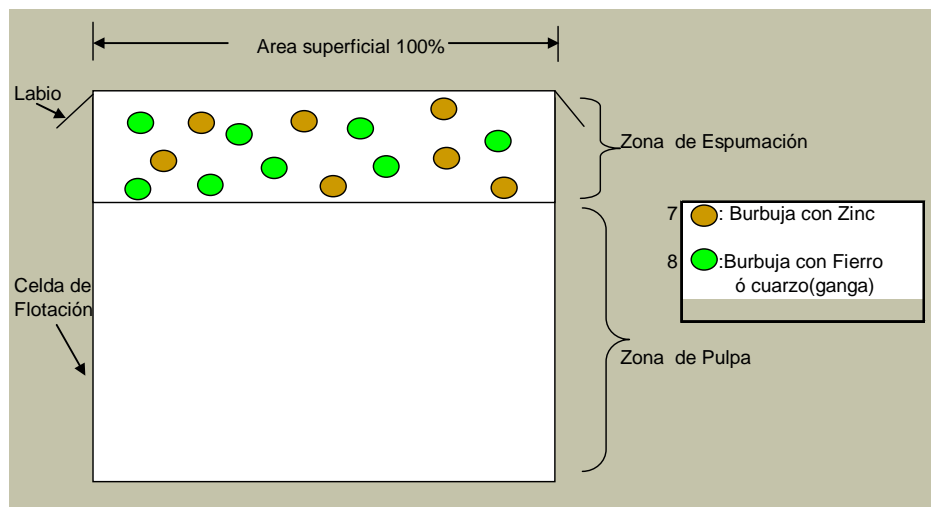
**NIVEL LABORATORIO**

**3.1 Diagnóstico del funcionamiento de una Celda Cuadrada**

Si en un celda con área superficial(A), tengo 7 (burbuja-partícula) de zinc y la celda para que evacue necesita 15 burbujas.

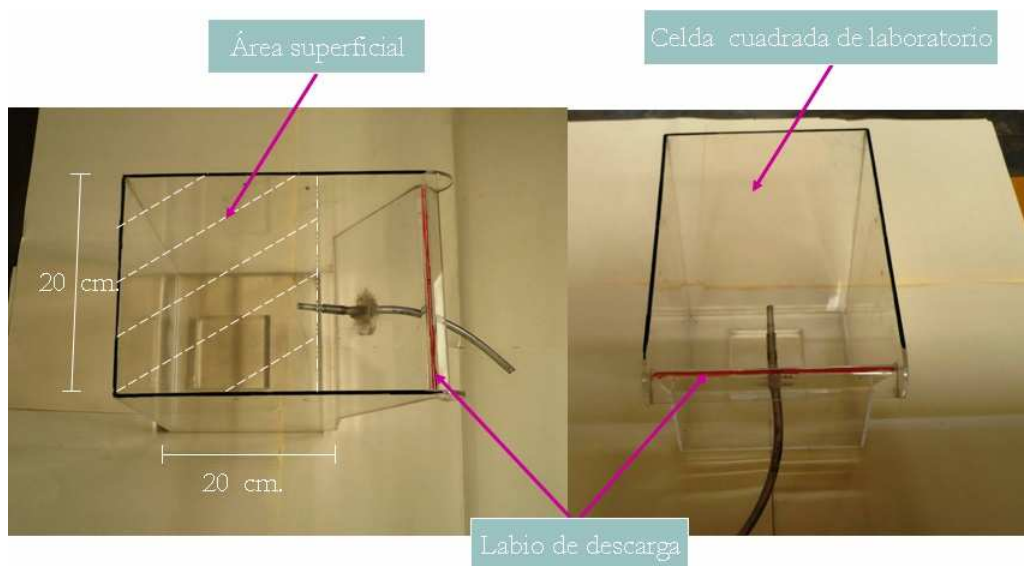
Entonces lo que hace en la práctica es forzar para completar más de 15 burbujas, se fuerza de la siguiente manera:

- Aumentar reactivos en la celda
- Disminuir la altura de espumas
- Con esto se soluciona el problema, pero trae consigo una mala selectividad en la flotación y problemas posteriores como aumento en la carga circulante en ese circuito de flotación y disminución de leyes de concentrado y posibles relaves altos.



**Figura N° 3.1:** Flotación en una celda mecánica

### 3.2 Propuesta de la implementación del Reductor de Área Superficial de la celda



**Figura N° 3.2:** Descripción de la celda de flotación

- Se propone reducir el área superficial, donde se acumulan las espumas cargadas con mineral.

- Al reducir el área se consigue aumentar la concentración de espumas con respecto al área superficial de la celda y la evacuación de las espumas cargadas mejora.
- Mejorada la evacuación, se consigue una mejor recuperación de los elementos metálicos.
- Se consigue aumentar la longitud de labio de descarga de espumas en toda el área superficial de la celda, colocando mayor cantidad de reductores de área, de tal forma que las espumas formadas están ya muy cerca del labio por donde deben de salir.
- Se propone, en la medida de lo razonable, minimizar la relación (volumen de celda/longitud de labio de descarga).

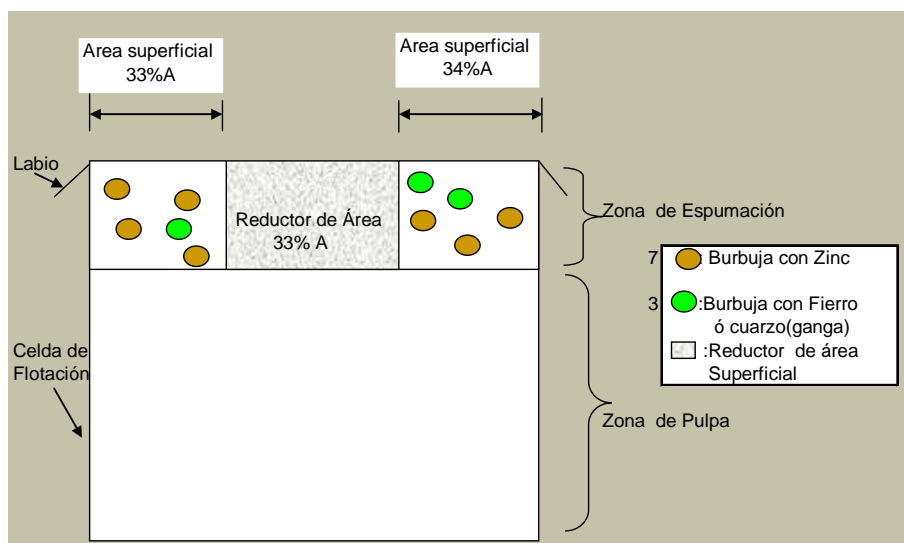
### 3.3 Lógica: Propuesta Reductor de Área

Si tengo una celda con área superficial(A), la idea sería disminuir esta área por ejemplo un 33% que tomaría un reductor de área y solo nos quedaría un 67% de área superficial y por proporción para evacuar la misma celda ya no necesitaría 15 burbujas si no sería de la siguiente manera.

15 burbujas-partículas → 100% A (área superficial)

X → 67 % A (área superficial)

Entonces ahora solo necesito 10 burbujas cargadas. De las cuales tendría 7 burbujas de Zinc y solo 3 burbujas de Ganga y ya no 8 burbujas como en el diagnostico. Esto está representado en la siguiente figura.



**Figura N° 3.3:** Flotación en la celda mecánica con la adición del reductor.

### 3.4 Procedimiento de las pruebas de flotación

1. Se tiene el mineral de cabeza con las siguientes datos

**Tabla N° 3.1:** Ley de cabeza

Ítem	% Cu	% Fe	G.E (gr/cc)
Mineral	<b>2.1</b>	<b>11</b>	2.7

2. Triturar el mineral y obtener el producto 100% –malla 10.
3. Mediante pruebas de moliendabilidad se determinara el tiempo óptimo de molienda.

**Tabla N° 3.2:** Moliendabilidad

Tiempo de molienda (min)	19
% - m 200 (75um)	55%



4. Realizando pruebas de flotación se determinara el tiempo óptimo de flotación y dosificación de reactivos.

**Tabla N° 3.3:** Tiempo de flotación

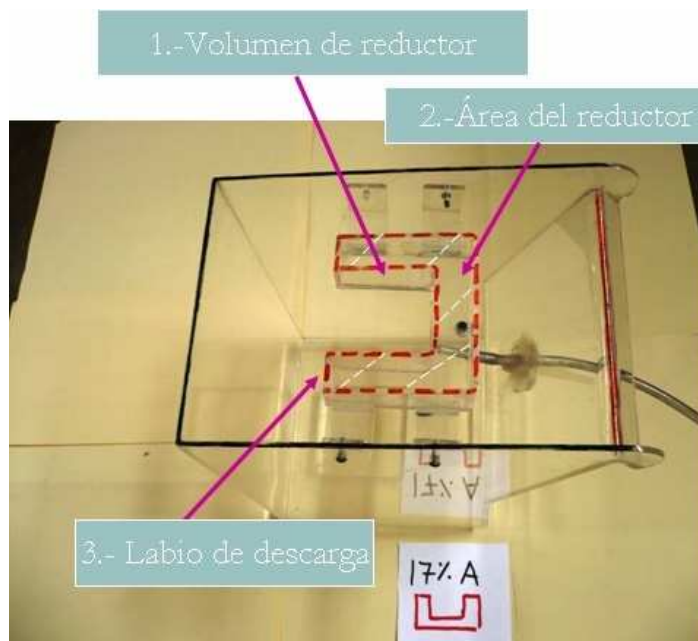
Tiempo (min)	% Recup. Cu
0	0
4	86.3
6	90.8
8	90.6

**Tabla N° 3.4:** Balance metalúrgico de la flotación estándar

		Leyes		Recuperaciones	
Producto	Peso(gr)	% Cu	% Fe	% Cu	% Fe
Cabeza	1000	2.1	11.9	100	100
Bulk	118.9	14.7	29.6	90.8	33.9
Relave	880.8	0.2	7.8	9.2	66.1
Cab. Calc.	999.7	1.9	10.4	100.0	100.0
<b>Tiempo : 6 minutos de Flotación</b>					

Se observa que a partir de 6 minutos se tiene una recuperación de 90 % de cobre, el tiempo de flotación es 6 minutos

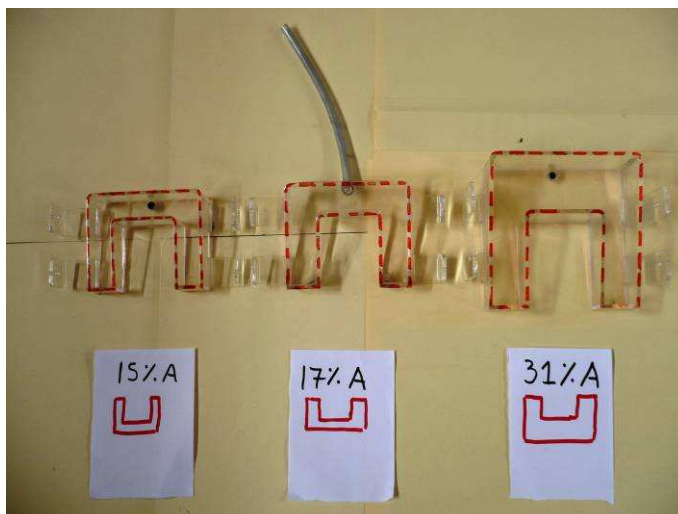
5. Se construirá un reductor de área para colocar en la celda cuadrada y se determinara el área superficial a reducir que será la más óptima.



**Figura N° 3.4:** Partes del reductor cuadrado instalado en la celda

**Tabla N° 3.5:** Dimensiones de los reductores cuadrados

Longitud Labio (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )
20	0	0
78	231	15
82	261	17
99	825	31



**Figura N° 3.5:** Reductores con diferentes áreas

6. Sabiendo el área a reducir se determinara que tipo de reductor de área es el más adecuada (forma geométrica del reductor), lo mismo se realizara para la celda circular.
7. Luego se determinara si el reductor de área bajo qué condiciones funciona mejor, como reductor de área

### 3.5. Datos iniciales de la flotación con reductores cuadradas

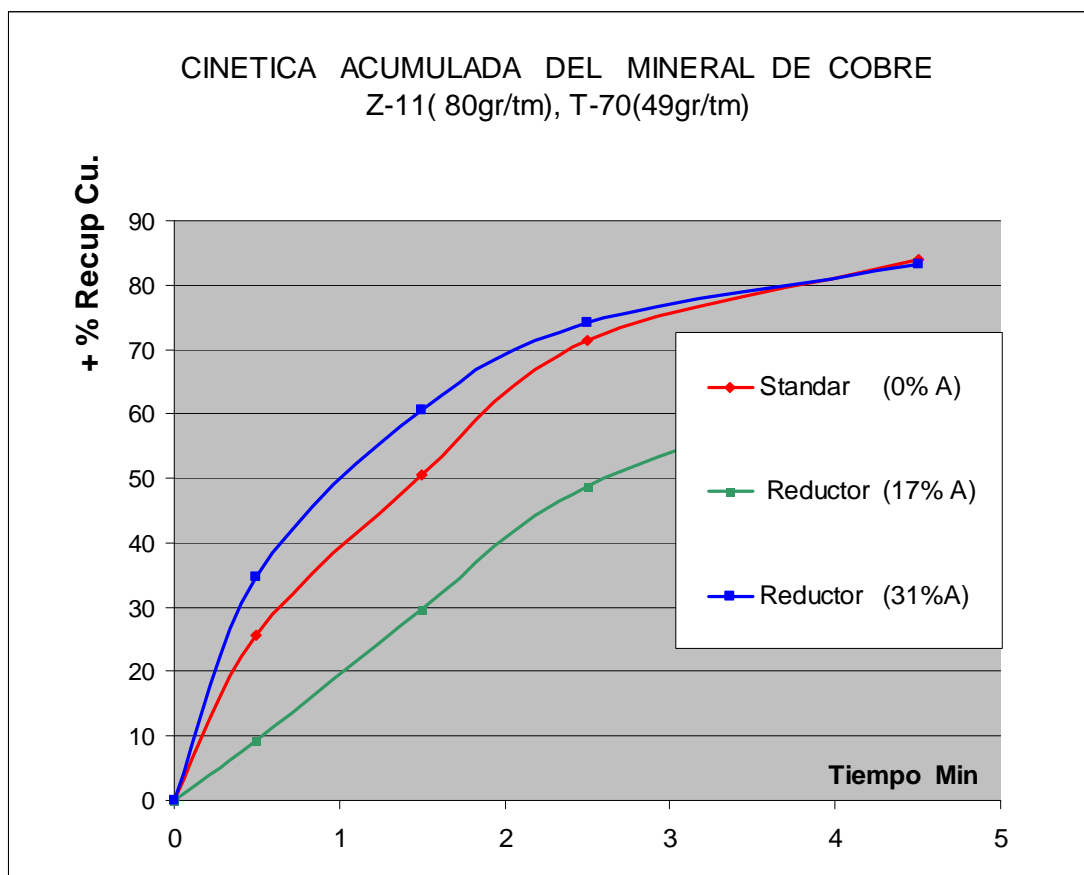
**Tabla N° 3.6:** Esquema de flotación

Producto	Tiempo Parcial (Min)	Tiempo Acumulado (Min)	Xantato Z-11 gr/Tm	Espumante T - 70 gr/Tm
Acondicionamiento	1.0	1.0	54	15
Flotación Bulk 01	0.5	1.5	0	12
Flotación Bulk 02	1.0	2.5	0	9
Flotación Bulk 03	1.0	3.5	26	12
Flotación Bulk 04	2.0	5.5	0	0
<b>Total</b>			<b>80</b>	<b>49</b>

### 3.6. Resultados de los Reductores cuadrados

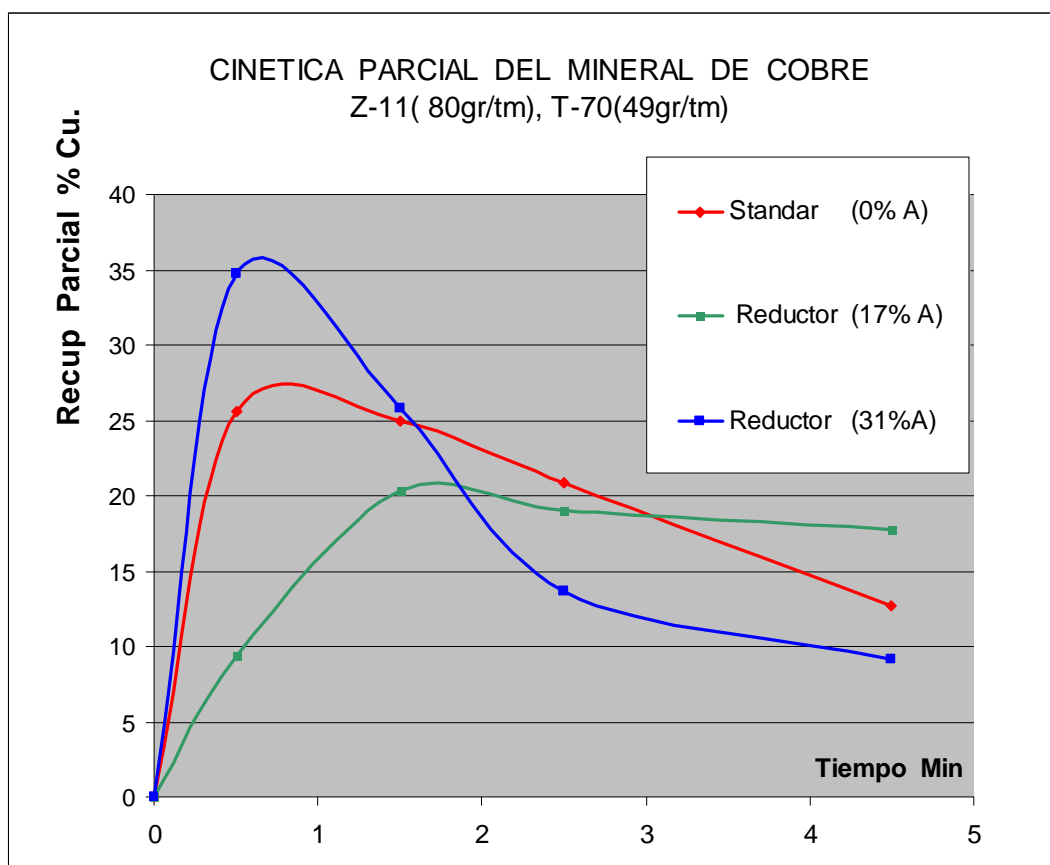
**Tabla N° 3.7:** Resultados metalúrgicos con reductores de área.

Conc. %Cu	Recup. %Cu	Xantato Z - 11 gr/Tm	Espumante T - 70 gr/Tm	Reductor #	Área Reductor cm <sup>2</sup>	Longitud Labio Reduc. cm	Volumen Reductor cm <sup>3</sup>
18.9	84.0	80	49	Estándar	0	20	0
19.7	66.4	80	49	R-1	17	82	261
14.7	83.3	80	49	R-2	31	99	825



**Figura N° 3.6:** Cinética de flotación acumulada

- Se aprecia que el reductor con 31% área tiene mejor cinética de flotación, respecto al estándar que no tiene reductor.



**Figura N° 3.7:** Cinética de flotación parcial

- Se aprecia que el reductor con 31% área tiene mejor cinética parcial, respecto al estándar que no tiene reductor. Considerando la misma dosis de xantato (Z11) y espumante (T-70).

**Apreciación**

1. Se aprecia que el reductor que tiene 31% de Área superficial recupera mas cobre los primeros minutos que la celda sin reductor. La ley del concentrado de cobre baja al utilizar reductor de área, se genera una mala evacuación, burbujas de diferentes tamaños.
2. Los reductores de área en celdas cuadradas interfieren aumentando la recuperación de Cu, la ley del concentrado de Cu baja, pero no se observa un colchón de espumas uniforme (diferente tamaño de burbuja).

**CAPITULO IV**

**DESARROLLO DEL PROYECTO DE CELDAS CIRCULARES MECÁNICA**

**A NIVEL LABORATORIO**

**4.1. Diagnostico del funcionamiento de una Celda Circular**

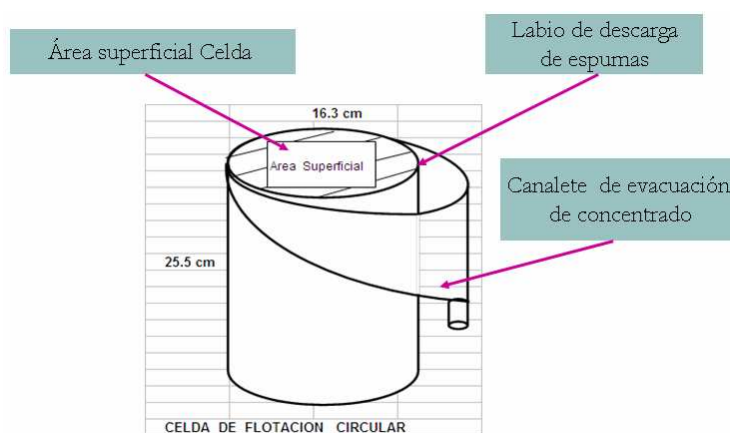
De igual manera que en la celda cuadrada, la celda circular adolece de una evacuación en la parte central, mayormente las burbujas están cargadas y sin movimiento.

Para ayudar a la evacuación se hace lo siguiente:

- Aumenta espumante en la celda
- Disminuir la altura de espumas
- Con esto se soluciona el problema, pero trae consigo una mala selectividad en la flotación y problemas posteriores como aumento en la carga circulante en ese circuito de flotación y disminución de leyes de concentrado y posibles relaves altos.

#### 4.2. Propuesta de la implementación del Reductor de Área Superficial de la celda

- Se propone reducir el área superficial, donde se acumulan las espumas cargadas con mineral.



**Figura N° 4.1:** Descripción de la celda de flotación circular

- Al reducir el área se consigue aumentar la concentración de espumas con respecto al área superficial de la celda y la evacuación de las espumas cargadas mejora.
- Ya mejorada la evacuación, se consigue una mejor recuperación de los elementos metálicos.
- Se consigue aumentar la longitud de labio de descarga de espumas en toda el área superficial de la celda, Colocando mayor cantidad de reductores de área, de tal forma que las espumas formadas están ya muy cerca del labio por donde deben de salir.



- Se propone, en la medida de lo razonable, minimizar la relación (volumen de celda/longitud de labio de descarga).

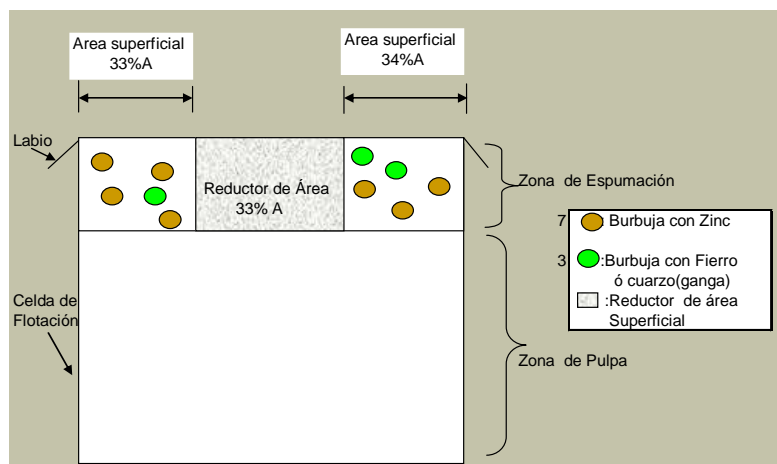
### 4.3. Lógica: Propuesta Reductor de Área

Si tengo una celda con área superficial (A), la idea sería disminuir esta área por ejemplo un 33% que tomaría un reductor de área y solo nos quedaría un 67% de área superficial y por proporción para evacuar la misma celda ya no necesitaría 15 burbujas si no sería de la siguiente manera.

15 burbujas-partículas  $\rightarrow$  100% A (área superficial)

X  $\rightarrow$  67 % A (área superficial)

Entonces ahora solo necesito 10 burbujas cargadas. De las cuales tendría 7 burbujas de Zinc y solo 3 burbujas de Ganga y ya no 8 burbujas como en el diagnostico. Esto está representado en la siguiente figura.



**Figura N° 4.2:** Flotación en la celda mecánica con la adición del reductor

#### 4.4. Procedimiento de las pruebas de flotación

- Se tiene el mineral de cabeza con las siguientes datos:

**Tabla N° 4.1:** Ley de cabeza

Ítem	% Cu	% Fe	G.E (gr/cc)
Mineral	2.1	11	2.7

- Triturar el mineral y obtener el producto 100% –malla 10.
- Mediante pruebas de moliendabilidad se determinara el tiempo óptimo de molienda.

**Tabla N° 4.2:** Moliendabilidad

Tiempo molienda (min)	19
% - m 200(75um)	55%

- Realizando pruebas de flotación se determinara el tiempo óptimo de flotación y dosificación de reactivos, para la celda circular.

**Tabla N° 4.3:** Tiempo de flotación

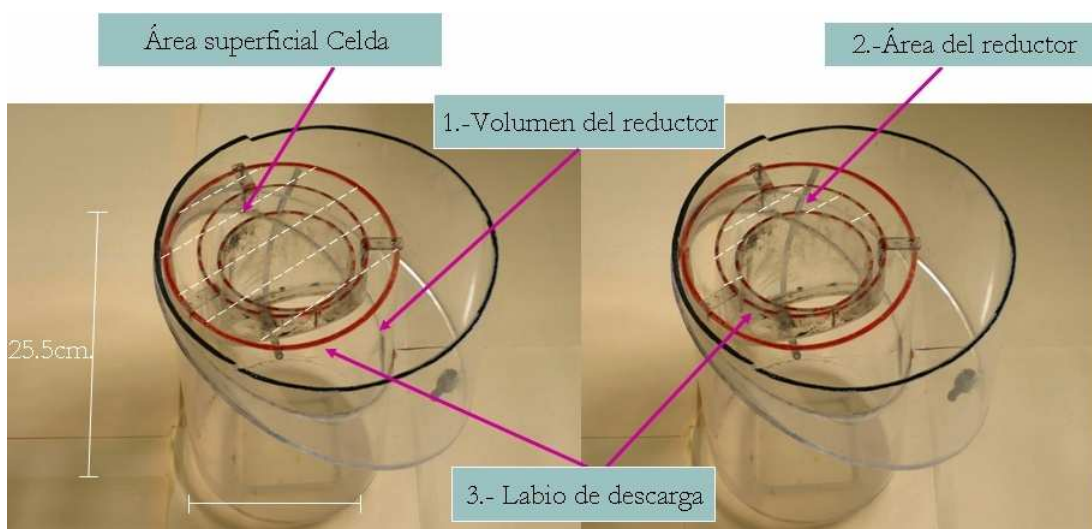
Tiempo (min)	% Recuperación Cu
0	0
5.5	91.4
5.5	91.9
5.5	91.0

**Tabla N° 4.4:** Balance metalúrgico de la flotación estándar

Flotación Estándar		Leyes		Recuperaciones (%)	
Producto	Peso(gr)	% Cu	% Fe	% Cu	% Fe
Cabeza	4000	2.1	11	100	100
Bulk	424	16	33	91	33
Relave	3576.1	0.18	7.76	9	67
Cab. Calc.	4000	1.9	10.4	100	100

Se observa que a partir de 5.5 minutos se tiene una recuperación de 91 % de cobre, el tiempo de flotación es 5.5 minutos

- Se construirá un reductor de área para colocar en la celda cuadrada y se determinara el área superficial a reducir que será la más óptima.

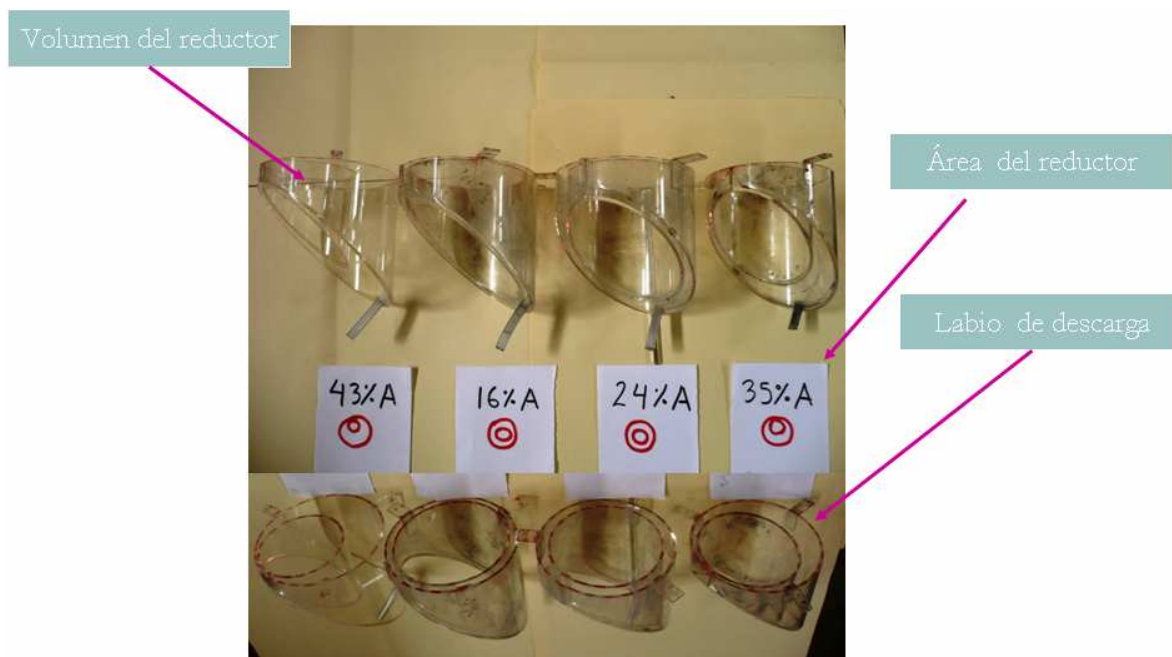
**Figura N° 4.3:** Partes del reductor cuadrado instalado en la celda

**Tabla N° 4.5:** Dimensiones de los reductores circulares

Área cm <sup>2</sup>	Longitud Labio (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )
0	51	0
16	134	214
24	131	303
35	127	403

**Figura N° 4.4:** Reductores con diferentes áreas

- Sabiendo el área a reducir se determinara que tipo de reductor de área es el mas adecuada (forma geométrica del reductor), lo mismo se realizara para la celda circular.
- Luego se determinara si el reductor de área bajo qué condiciones funciona mejor, como reductor de área



**Figura N° 4.5:** Celda circular y sus partes

#### 4.5. Datos iniciales de la flotación con reductores circulares

**Tabla N° 4.6:** Esquema de flotación con 43gr/tm de Espumante

Flotación Estándar Producto	Tiempo Parcial (Min)	Tiempo Acumulado (Min)	Xantato Z-11 (gr/Tm)	Espumante T - 70 (gr/Tm)
Acondicionamiento	1.0	1.0	48	18
Flotación Bulk 01	0.5	1.5	0	6
Flotación Bulk 02	1.0	2.5	16	12
Flotación Bulk 03	1.0	3.5	0	0
Flotación Bulk 04	1.0	4.5	16	6
Flotación Bulk 05	2.0	6.5	0	0
<b>Total</b>			<b>80</b>	<b>43</b>

**Tabla N° 4.7:** Esquema de flotación con 25gr/tm de Espumante

Flotación Estándar	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado	Xantato	Espumante
Producto	(Min)	(Min)	Z-11 (gr/Tm)	T - 70 (gr/Tm)
Acondicionamiento	1.0	1.0	48	12
Flotación Bulk 01	0.5	1.5	0	0
Flotación Bulk 02	1.0	2.5	0	0
Flotación Bulk 03	1.0	3.5	16	6
Flotación Bulk 04	1.0	4.5	16	6
Flotación Bulk 05	2.0	6.5	0	0
<b>Total</b>			<b>80</b>	<b>25</b>

#### 4.6. Resultados de los reductores circulares

**Tabla N° 4.8:** Resultados metalúrgico con reductores de área, manteniendo

Constante el espumante (43gr/tm) y colector (80gr/tm)

				Leyes		Colector	Espumante
Area (%)	Labio (cm)	Volumen (cc)	%Rec Cu	% Cu	% Fe	Z-11 gr Tm	T - 70 gr/Tm
0	51	0	91.4	16.2	32.9	80	43
16	134	214	95.8	9.9	25.7	80	43
24	131	303	93.8	9.2	25.1	80	43
35	127	403	93.7	8.3	23.7	80	43

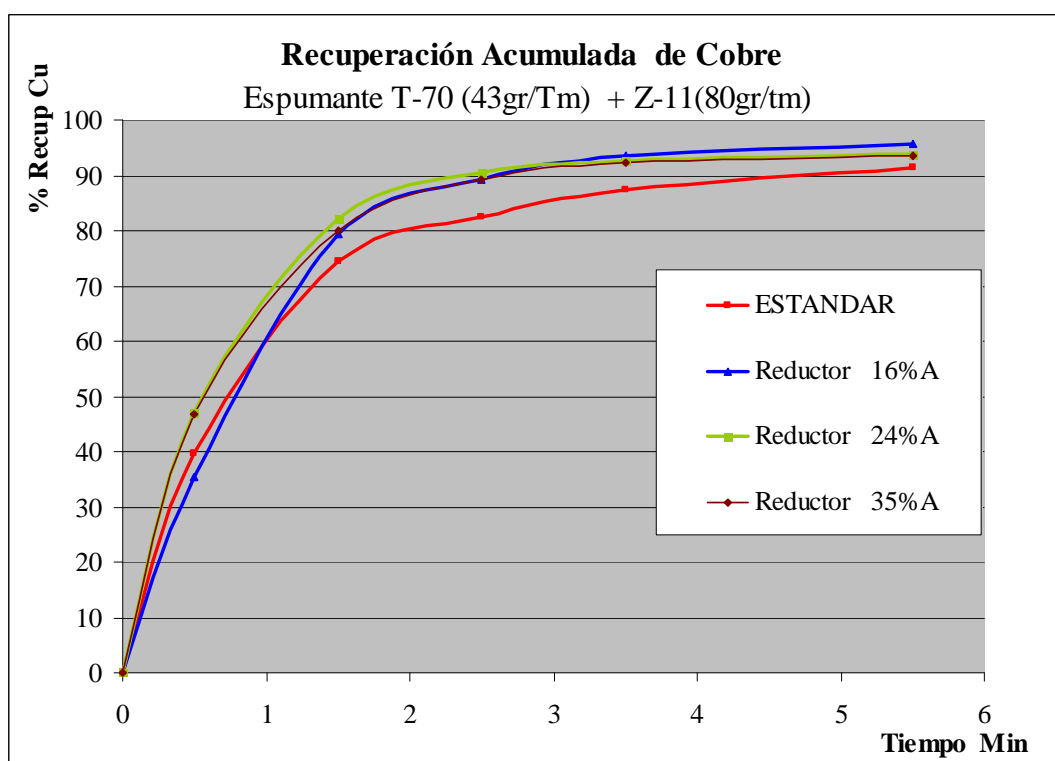
En la tabla anterior se puede apreciar que el área es 16% del reductor

**Tabla N° 4.9:** Resultados metalúrgico con reductores de área, manteniendo

Constante el espumante (25gr/tm) y colector (80gr/tm)

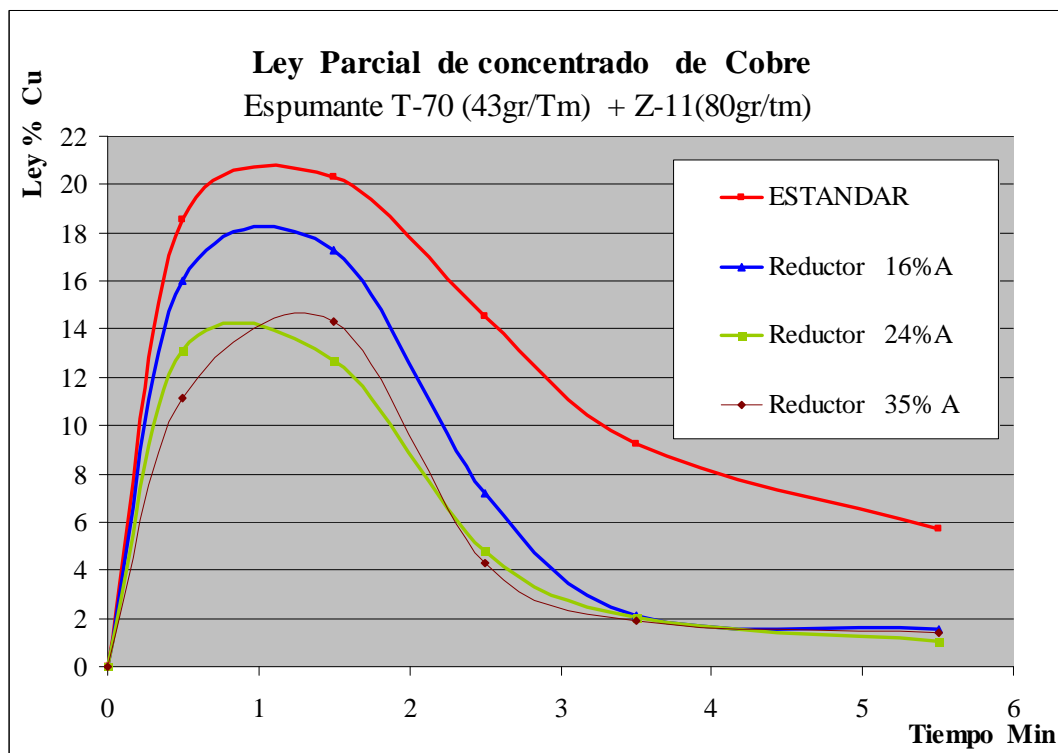
				Leyes		Colector	Espumante
Area (%)	Labio (cm)	Volumen (cc)	%Rec Cu	% Cu	% Fe	Z-11 gr Tm	T - 70 gr/Tm
0	51	0	91.9	18.0	33.8	80	25
16	134	214	89.7	15.2	30.3	80	25
24	131	303	91.8	15.6	32.2	80	25
35	127	403	93.0	11.5	27.5	80	25

- La mayor recuperación(95.8%Cu) se da con un menor volumen(214 cc) de reductor, pero la ley de concentrado baja hasta casi la mitad, para 43gr/Tm de espumante y 80 gr/Tm de colector de dosificación.
- Cuando se baja la dosificación de espumante a 25 gr/Tm la mejor recuperación(93%Cu) es con un mayor volumen(403cc).



**Figura N° 4.6:** Recuperación acumulada de cobre

La recuperación total de cobre aumenta al utilizar un reductor de área. La mayor recuperación de cu, se da cuando se utiliza el reductor con área 17% con 43gr/tm Espumante.

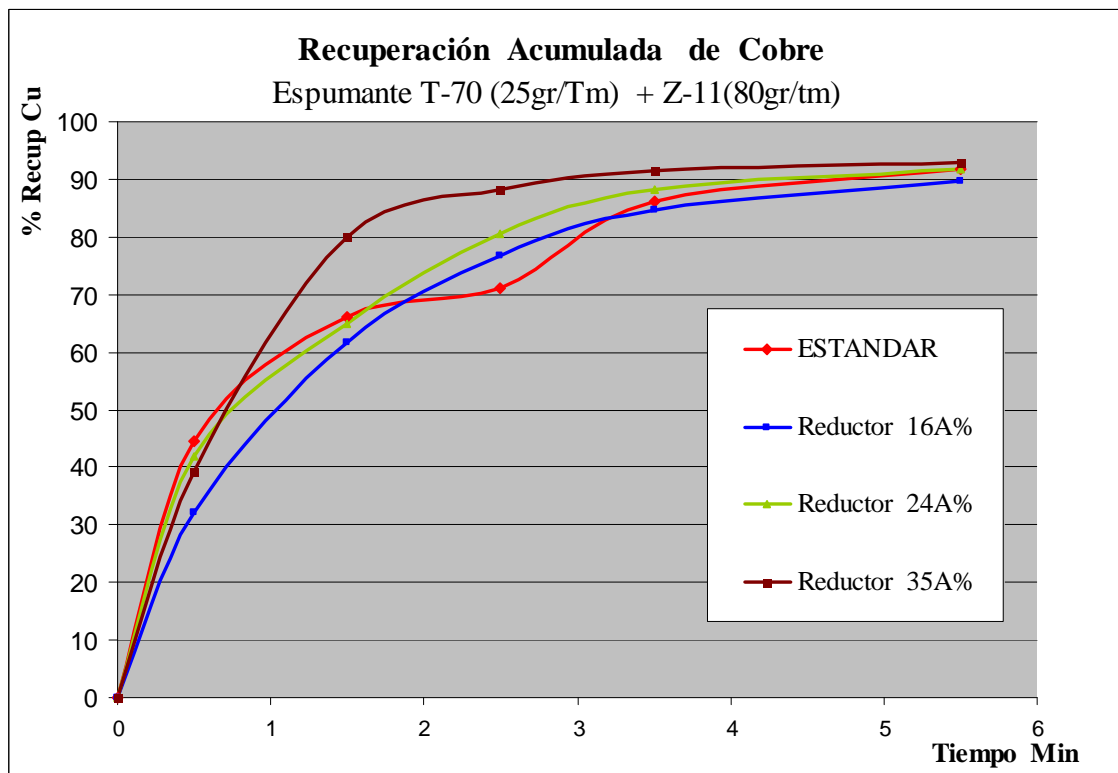


**Figura N° 4.7:** Ley parcial del concentrado de cobre

La ley del concentrado de cobre es mayor en el estándar que en los reductores.

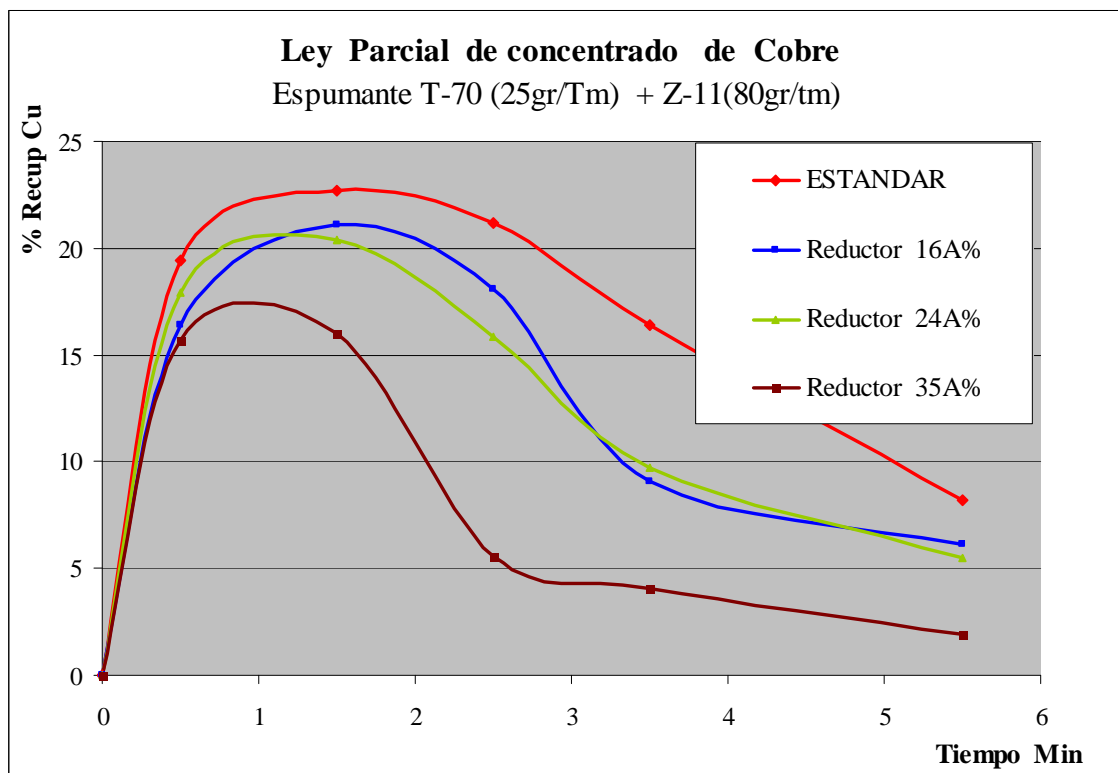
La ley del concentrado de Cu baja al utilizar con los reductores, porque se produce un arrastre de partículas y eso produce que la ley baje del concentrado de Cu.





**Figura N° 4.8:** Recuperación acumulada de Cobre

Cuando se baja la cantidad de espumante a 25gr/TM, la recuperación acumulada de Cu aumenta y la flotación se hace más estable, ya que hay falta de espumante y el reductor de área ayuda a la evacuación.



**Figura N° 4.9:** Recuperación parcial de Cobre

La ley de Cu en el concentrado parcial es mayor sin reductor y con reductor la ley de concentrado de Cu es mayor a menor dosis de espumante (25gr/tm) que a mayor dosis de espumante (43 gr/tm).

## CONCLUSIONES

1. Se puede concluir que el reductor de área, ayuda a la evacuación en una celda y contribuye directamente a disminuir el uso de espumante.
2. Se observa que los reductores aumentan la recuperación de cobre, pero no ayuda en el grado de concentrado de cobre.
3. Una buena estabilidad se da con una área de reductor entre 24 y 35 %, es decir con una mayor recuperación y con grado regular, espumante (25gr/tm)
4. El efecto del reductor de área es recuperar más y a menor grado, en planta concentradora se puede colocar en el rougher y scavenger, para recuperar lo máximo y sin la adición de espumante.
5. En las pruebas se redujo el espumante en 42% y la recuperación se mantuvo bien para un área de reductor mayor a 24%, con menor grado
6. El reductor de área de flotación interfiere en la evacuación de espumas en una celda circular de flotación de Cu, en celdas circulares
7. El reductor de área aumenta la recuperación de Cu, pero el grado del concentrado de Cu decrece, por aumentar la evacuación de espumas

8. Se comprueba que la evacuación está relacionada con la cantidad de espumante adicionado.
9. La ayuda del reductor de área en una mayor recuperación, se aprecia en operación en una celda industrial, FLSmith que se adjunta en el anexo.
10. En la celda FLSmitd se observa que las canaletas internas y los deflectores de mezcla ayudan en incrementar la movilidad de la espuma, decrece el tiempo de residencia, incrementa la recuperación y mejora la estabilidad de la espuma.
11. Se incrementa la movilidad de la espuma
12. Aumenta la recuperación
13. Disminuye el tiempo de residencia
14. Mejora la estabilidad de la espuma
15. Se sugiere evaluar las variables: Ley de la cabeza de mineral, Volumen del reductor ( $\text{cm}^3$ ), Área del reductor ( $\text{cm}^2$ ), Longitud del Labio de la descarga (cm), Cantidad de espumante( $\text{gr/Tm}$ )
16. Para apreciar mejor del experimento se recomienda diseñar una celda a escala semi-industrial, para ver un mejor efecto.
17. Se recomienda probar a escala industrial la colocación de reductores de área en el Rougher y en el banco del ultimo scavenger, ya que en esos puntos el grado decrece un poco pero se gana puntos en la recuperación.
18. Resultaría importante colocar reductores de área en el scavenger para recuperar mas cobre y no aumentar la carga circulante de Fierro.

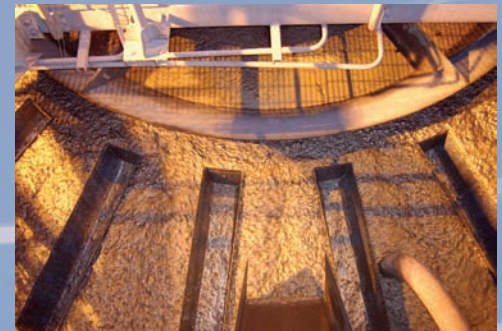
## BIBLIOGRAFIA

1. BOLZICCO, J., CARRERA, J., AYORA, C., CERON, J.C. Y FERNÁNDEZ, I.  
Comportamiento y Evolución de una Barrera Geoquímica Experimental en el  
Río Agrio – Aznalcóllar. Edición 2001, Editorial Labrus – España. Pág. 304-320
2. FL SMIDTH Minerals (Wemco), Metalurgia Superior, Pág. 02-03
3. JOHN M CURRIE (Publicación en ingles), JUAN F. CHIA AQUIJE  
(Publicación traducido al español) Operaciones Unitarias en el Procesamiento de  
Minerales, Diciembre de 1984. Cap. 7, 1-3, Cap. 8-1 y Cap. 9, 1-7
4. JOSE MANZANEDA CABALA, Procesamiento de Minerales, Edición 2001,  
Lima – Perú, Pág. 272-274
5. METSO Minerals, Maquinas de flotación RCS, Pág. 02-03
6. OUTOKUMPO, Manual parte 1, Celda SK-80(Skim Air), Pág. 03

**ANEXO**

FLSMIDTH DORR-OLIVER EIMCO FLOTATION TECHNOLOGY

# ***FLSmidth Dorr-Oliver Eimco Flotation Technology***



***Superior Metallurgy  
Higher Availability***

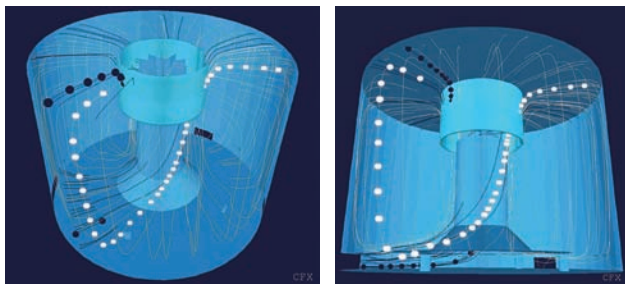
**FLSMIDTH**  
**MINERALS**

# FLSmidth Dorr-Oliver Eimco Flotation

## Enhance your profits using the combined centuries of technical expertise available from FLSmidth Dorr-Oliver Eimco.

Based on sound metallurgical design principles and anchored in the world's most efficient designs, FLSmidth Dorr-Oliver Eimco has combined the expertise of two world leaders, Dorr-Oliver and Eimco to create ultimate flotation technology for process specific solutions. The result is high recovery, which translates into greater efficiency and increased profits.

Every project is custom engineered with application driven design for proper metallurgy: Each cell row is designed to provide the optimum process condition to the match minerals flotation characteristics and particle size distribution.



*Computational fluid dynamic model of SmartCell™ Flotation Machine operation.*

It is a heavy investment in money and time to develop and bring a new cell to market.

FLSmidth Dorr-Oliver Eimco has years of experience and our specialized flotation equipment continues to prove efficient and successful in a variety of applications around the world.

The two factors having the strongest impact on a flotation circuit's financial performance are Metallurgical Recovery and Flotation Cell Availability. Our flotation machines surpass the performance of competing flotation machines in both of these important areas.



## Superior Metallurgy

FLSmidth Dorr-Oliver Eimco flotation machine's metallurgical superiority has been proven in side-by-side comparative tests conducted by major mining companies. Results show that our flotation machines operate on superior grade recovery curves with respect to coarse and fine particle recovery.

The superior performance is related to flotation favorable hydro-dynamics which produce higher active cell volumes, provide longer residence times and complement froth removal.

## Greater Availability

Competing equipment cannot match the availability of our Dorr-Oliver, Eimco and Wemco flotation machines. Our flotation mechanisms can be removed for maintenance without process interruption. Maintenance is minimized cutting down on availability loss due to failure. On our SmartCell models, rotors are located in an elevated position enabling, ease of start-up and reduced rotor and disperser wear relative to competitive machines.





# World's Largest Flotation Cells

257 m<sup>3</sup>



## The Best Flotation Cell Ever Built

- Results exceed metallurgical, hydrodynamic, and mechanical performance of smaller cells
- Side-by-side testing shows superior recovery especially with coarse particle flotation
- 15% lower installed costs than 160 cubic meter cells
- Lower operating and maintenance costs

## Wemco 257m<sup>3</sup> Cell Dimensions

- Cell Diameter — 8.25 m
- Cell Height — 6.14 m
- Rotor Diameter — 1.39 m

*The DOE Wemco® Model No. 250 SmartCell® Unit is the largest size flotation cell in the world. Installed in 2003, it has been in commercial operation in Chile since April, 2004.*

# WEMCO® SmartCell™ Flotation Machines

## WEMCO® SmartCell™ Flotation

Wemco has long been a trusted and proven leader in flotation technology under the FLSmidth Dorr-Oliver Eimco brand.

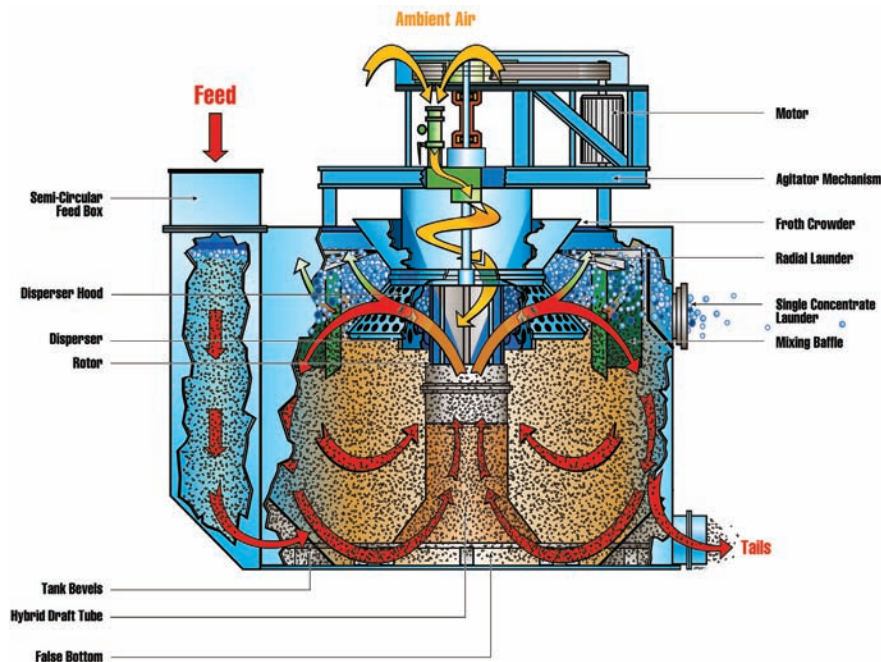
The SmartCell Flotation series combines the proven Wemco mechanism with cylindrical cells to optimize energy input, aeration, and mixing. This configuration reduces pulp turbulence and improves froth stability. Additional standard features include a hybrid draft tube, beveled cell bottom, froth crowder, mixing baffles, and radial launders.

Since the introduction of the SmartCell Flotation Machine in early 1996, most major base metal flotation developments have selected WEMCO SmartCell machines

### 14 Standard Cell Sizes

We provide a wide range of SmartCell sizes from 0.05 m<sup>3</sup> to 250 m<sup>3</sup>.

Application	[m <sup>3</sup> ]	ft <sup>3</sup>
Pilot	0.05	1.8
Scale	0.15	5.3
Production SmartCell™ Flotation Machines	5	180
	10	350
	20	710
	30	1060
	40	1410
	60	2120
	70	2470
	100	3530
	130	4590
	160	5650
	200	7060
250	8830	



### Pilot Units and Testing

The FCTR™ (Floatability Characterization Test Rig), has proven to be very reliable in many AMIRA pilot campaigns and is offered with 0.15 m<sup>3</sup> roughers and 0.075 m<sup>3</sup> cleaners.



### Cylindrical Tank Design

- Improves mixing efficiency and air dispersion
- Better surface stability and less pulp turbulence
- Lower capital costs
- Reduced power consumption

### Hybrid Draft Tube & Beveled Tank

- Improves hydrodynamic mixing
- Increases solids suspension
- Improves coarse particle recovery

### Radial Launder & Mixing Baffles

- Increases froth mobility
- Decreases froth residence time
- Increases recovery
- Enhances froth stability



# Advanced & Proven Design

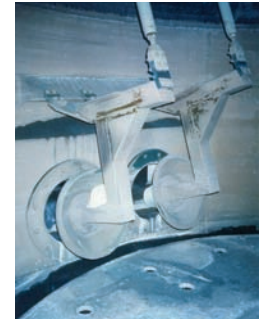


## WEMCO® SmartCell™ Flotation Circuits are Custom Engineered to Meet Your Specific End-User Requirements.

Listed Below is a Sampling of Available Options

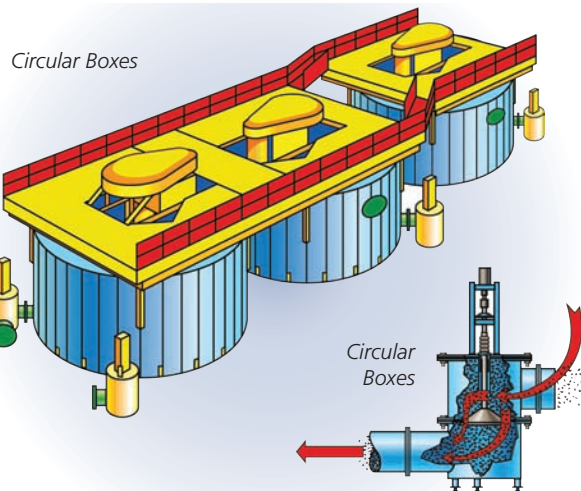
### Connection and Discharge Boxes

We provide the connection and discharge box to meet your needs. The conventional box is preferred for applications where recycle streams are a consideration.



Internally Hinged Dart Valves

The hinged dart valve, internal to the SmartCell flotation tank, provides the lowest cost option, and reduces the flotation footprint by allowing the SmartCell tanks to be spaced flange to flange. The circular box provides a significant availability advantage with respect to unscheduled maintenance and also allows flange-to-flange tank spacing.



Circular Boxes

Circular Boxes

Semi-Supported Tank Bottom on End-User Supplied Supports



### Flat Versus Semi-Supported Tank Bottoms

An important engineering consideration is the support of the flotation cell. We provide both flat and semi-supported options. The flat option is the lowest cost when considering only the price of the cell; however, quite often the semi-supported option provides the lowest overall project cost.

Air Control on Ambient Air Intake



### Air Control

A unique feature of the SmartCell flotation machine is the ability to self-adjust the air input rate to changing slurry conditions. For example, the SmartCell self-aspirating mechanism automatically reduces the air input rate as the slurry percent solids increase. There are applications; however, when metallurgical performance can be improved if this self-adjusting feature is overridden with automatic air control.

### Instrumentation and Control

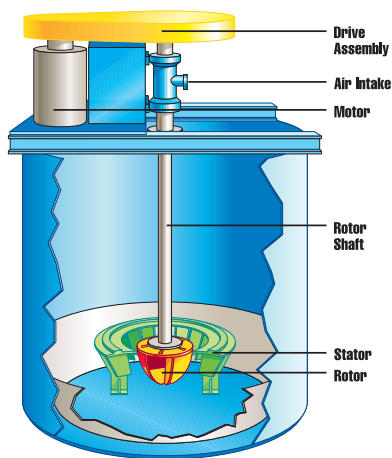
Every SmartCell flotation machine is provided with ultrasonic pulp level control as a standard feature. Advanced instrumentation and adaptive expert systems are available as options.

# Dorr-Oliver® Flotation Cells

## Increased Recovery for Fine and Concentrate Grades

FLSmidth Dorr-Oliver Eimco's advanced flotation technology has been re-engineered from the ground up. Based on sound metallurgical design principles, anchored in the world's most efficient rotor and stator design, Dorr-Oliver flotation cells are the ultimate in process specific solutions.

High recovery is guaranteed as a result of process specific design programs. Energy efficiency is well documented in the highly advanced pumping rotor. Advanced process control allows for simple efficient integration into the modern concentrator.



## Every project is custom engineered with Application Driven Design for proper metallurgy.

Each cell is configured to provide the optimum process condition to match minerals flotation characteristics and particle size distribution. Our application engineers will generate the best solution by optimizing each component of your flotation challenge such as:

- Air flow and pressure
- Rotor speed and size
- Launder design and lip length
- Tank geometry
- Rotor/stator clearance



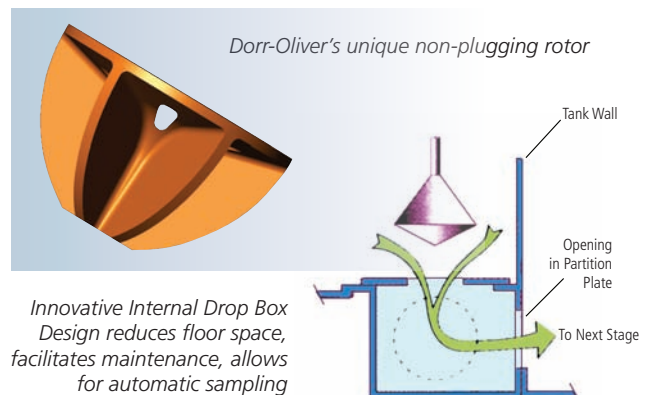
Flash Flote Cell in a Brazilian gold mine

## Flash Flotation

Flash flotation offers a unique opportunity to improve performance in many mineral processing circuits. Successes in metal recovery of the gold, lead, nickel, copper, and platinum group of metals are well documented.

## Rotor and Stator Design

Years of research have led to the most advanced rotor design in the world. The pumping chambers are designed to minimize pumping energy while providing superior air dispersion, one of the keys to better flotation performance. Our stators have been engineered to provide the correct mix of particle momentum, trajectory and recirculation. This advanced technology is available for installation into any flotation machine. Let us show you the benefits!



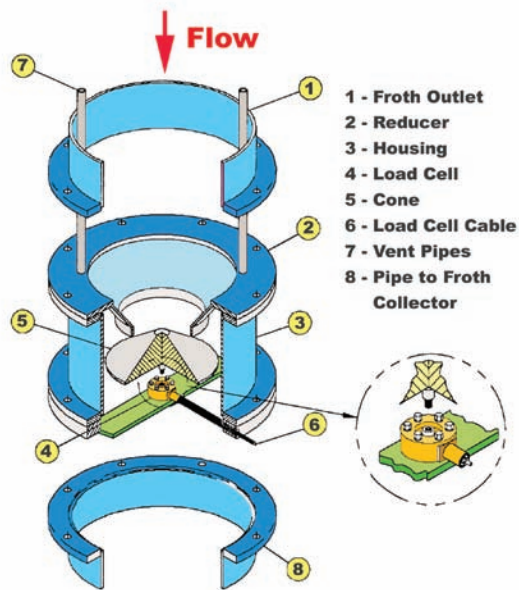


# Dorr-Oliver® Flotation Cell Measurement and Dimensions

## Computer Control



Advanced process control is available for all of our flotation projects, both new and as a retrofit. We also offer consulting services and innovative solutions to flotation process control problems, such as novel Concentrate Mass Flow Measurement.



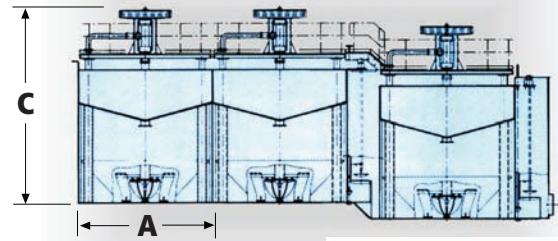
Patented Concentrate Mass Flow Measurement Device

## R & UT Series - Rectangular and U-Shaped Tanks

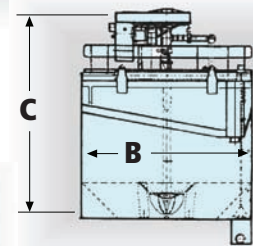
Model*	A(in.) Length	B (in.) Width	C (in.) Height	HP (installed)
DO-1550 UT	157	176	228	60
DO-1350 UT	150	162	228	50
DO-1000 UT	132	152	200	40
DO-600 UT	116	123	180	30
DO-300 UT	90	103	132	15
DO-100 R	60	64	107	7.5
DO-50 R	48	50	94	5
DO-25 R	36	38	81	3
DO-10 R	26	28	70	1.5
DO-1 R	12	13	52	0.75

\*Model designation shows: Active cell volume in ft<sup>3</sup>  
UT=U-shaped Tank

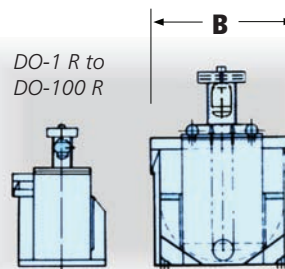
Typical multiple unit installation of large "R & UT Models"



DO-5 RT to DO-200 RT



DO-300 UT to DO-1550 UT



DO-1 R to DO-100 R

Cell tanks on all large Dorr-Oliver flotation cells are truncated, conical bottom, round tanks or U-shaped in cross-section. Corners are eliminated, and the conical bottom or U-shape helps to feed slurry into the pump action of the rotor and prevent short-circuiting.

## RT Series - Round Tank (Roughing Service)

Model*	B (in.) Width	C (in.) Height	HP (installed)
DO-200 RT	301	295	250
DO-160 RT	270	285	200
DO-130 RT	260	270	200
DO-100 RT	237	245	150
DO-70 RT	189	255	100
DO-60 RT	175	250	100
DO-50 RT	175	240	75
DO-40 RT	157	220	60
DO-30 RT	142	200	50
DO-20 RT	126	170	40
DO-10 RT	98	150	20
DO-5 RT	79	136	10

\*Model designation shows: Active cell volume in m<sup>3</sup>  
RT=Round Tank

# Combined Flotation Solutions

## FLSmidth Dorr-Oliver Eimco Hybrid Rows

In the past, mineral producers had to choose between mechanical flotation systems that naturally ingest ambient air and others that require a blower. To meet today's specialized plant requirements, we introduced a flotation circuit that exploits the inherent and unique advantages of the Wemco® self aspirated and Dorr-Oliver® forced air technologies.

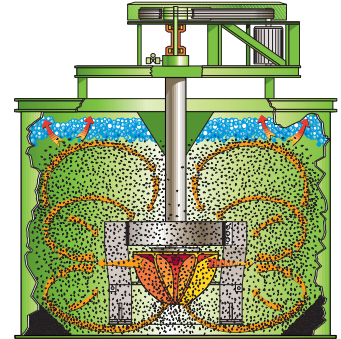


North American concentrator with 150 m<sup>3</sup> Wemco/Dorr Hybrid row. The Dorr-Oliver round tank cell includes many of the features developed for the world-leading Wemco® SmartCell® flotation machines.

The hybrid flotation solution we have developed, means cells with different operating systems can work successfully, side-by-side, maximizing overall plant recovery and final concentrate grades.

Combining flotation cells with markedly different processing actions into a single process bank increases recovery rates. The Wemco design with the agitator near the top of the cells has excelled on coarse particle recovery and the Dorr-Oliver cells excelled on fines and concentrate grade.

On large cells, we have developed a "Universal Tank" that can accommodate either the Wemco induced-air cell or the Dorr-Oliver forced-air cell and are interchangeable. Both cells feature beveled bottoms, support structures, and a common radial launder design. Cell-to-cell connectivity is enhanced by patented, hinged dart valves which eliminate the need for a junction box and enable cells to be positioned closer together.



By supplying customized solutions to its mineral processing partners, FLSmidth Dorr-Oliver Eimco maintains its global industry leadership in the supply of flotation technology with over 53,000 flotation cells delivered to date.



For a complete listing of our equipment and to find a regional contact near you, please visit [www.flsmidthminerals.com](http://www.flsmidthminerals.com)

© Copyright 2007 FLSmidth Group. All rights reserved. Eimco®, Wemco®, Dorr-Oliver® & SmartCell® are proprietary/registered trademarks of FLSmidth Group

**FLSMIDTH**  
**MINERALS**