

PRE-CONCENTRATION OF TIN ORES IN CENTRIFUGAL  
FIELDS USING FERROSILICON AS HEAVY MEDIUM

By Antonio Salas C. and Teodoro Iriarte R.\*

ABSTRACT

A low grade tin ore from the Sink and Float plant at Siglo XX, COMIBOL, has been submitted to a mineral dressing process in cylindrical hydrocyclons, using ferrosilicon as the heavy medium of separation.

The following variables were studied: the apex diameter, angle of inclination of the cyclon, feed density, feed pressure, grain size.

Tin pre-concentrates from 1.18 to 5.78% Sn purity, recoveries of 52.06 to 73.99%, and efficiencies of 47.77 to 72.17% were obtained. Tin in tailings run from 0.12 to 0.17% when using -20 +28 mesh (Tyler). The content of tin in the feed ore was 0.42% Sn.

The efficiency is even greater when finer particle sizes are used. Pre-concentrates with 10.74% Sn and 18.45% Sn were obtained in the operation when using particle sizes of -35 +48 mesh and -65 +100 mesh respectively.

---

\*Profesores de la Universidad Boliviana Tecnica de Oruro - Bolivia.

DUNDA

-114-

PRECONCENTRACION DE MENAS ESTANIFERAS  
EN CAMPOS CENTRIFUGOS MEDIANTE PULPAS  
PESADAS DE FERROSILICIO

Por Antonio Salas C. y Teodoro Iriarte R.

RESUMEN

Una mena de estaño de baja ley procedente de la Planta Sink & Float de Siglo XX, perteneciente a la Empresa Minera Cata<sub>v</sub>i-COMIBOL, ha sido sometida a un proceso de preconcentración en ciclones cilíndricos, utilizando ferrosilicio como medio pesado de separación.

Se ha estudiado como variables la influencia del diámetro del apex, inclinación del ciclón, densidad de alimentación, presión de alimentación y el tamaño de grano, determinándose las condiciones óptimas de tratamiento en escala de laboratorio.

Se obtuvieron, preconcentrados de mineral de estaño desde 1.18 hasta 5.78% Sn, con recuperaciones de 52.06 a 73.99%, eficiencias de 47.77 a 72.17%, eliminando colas con leyes desde 0.12 hasta 0.17% Sn para tamaño de grano de -20 +28 mallas "Tyler" de 0.42% Sn en la alimentación.

Para granos más finos el proceso es aún más eficiente, ya que si se alimentan fracciones de -35 +48 mallas o de -65 +100 mallas, las leyes de los preconcentrados son de 10.74% Sn y 18.45% Sn respectivamente.

## 1.- INTRODUCCION

Antiguamente la minería boliviana ha explotado minerales de estaño de alta ley y su concentración fué lograda generalmente por métodos gravimétricos. Debido al agotamiento paulatino de los yacimientos estañíferos las leyes de estaño son cada vez más bajas y el grado de enclavadura cada vez más fino, siendo necesario en muchos casos una etapa de preconcentración para su posterior tratamiento.

La preconcentración resulta ser hoy una necesidad en las plantas industriales, bajo dos exigencias fundamentales:

- a) Leyes muy bajas en los minerales de cabeza.
- b) Limitaciones en la capacidad de tratamiento de las plantas instaladas.

Este aspecto ya fué ensayado en Bolivia, como una idea revolucionaria en la década de 1940 con el empleo del proceso de preconcentración en "Sink and Float" (1), colocando a nuestro país entre los de más alta tecnología en el tratamiento de menas estañíferas en aquella época. El proceso de Sink & Float consiste en la separación de un elemento del resto del material que constituye la ganga, en un medio llamado pulpa que tiene una densidad intermedia entre ambas fracciones, en éste medio las partículas de menor densidad flotan, constituyendo las "colas o tailings" y aquellas que son más pesadas se hunden formando el preconcentrado. Hoy en día éste proceso en algunos casos ya no resuelve el problema, poniendo a algunas empresas como la de Catavi, al margen de la rentabilidad, debido a que la diseminación es

más fina y se requeriría una molienda mayor a fin de mejorar la liberación, pero en estas condiciones la Sink & Float no responde al proceso ya que no puede aplicarse eficazmente a granos inferiores a 1/4".

Como es imposible prescindir de la preconcentración, ya que ello significaría disminuir la producción o de lo contrario la necesidad de construir nuevos ingenios, duplicando o triplicando la capacidad de los actuales para conseguir la misma producción, se impone el estudio de nuevas técnicas de preconcentración que al igual que en los años 1941-1949 sean una vez más la salvación de algunas empresas, como Catavi por ejemplo.

Para ello se piensa emplear ciclones que trabajando en medios pesados y con carga clasificada preconcentren el estufa en el "underflow" y eliminen material estéril por el "overflow".

## 2. OBJETIVO

Los hidrociclones son aparatos que se emplean para clasificar una carga en dos productos que difieren por su granulometría; si se alimentase carga clasificada en estrechas fracciones granulométricas no sería posible una clasificación por tamaños pero si por densidades, sobre todo si se emplea un medio pesado (por ejemplo una pulpa de ferrosilicio) de densidad intermedia entre los granos estériles o livianos y los elementos pesados.

Objeto de este estudio es utilizar los hidrociclones no como clasificadores sino como un aparato de preconcentración

con medio pesado; éste método que dió resultados favorables en otros casos (2, 3, 4, 5) tiene la particularidad de utilizar por primera vez un hidrociclón cilíndrico que se estudia paralelamente en nuestro departamento (6). Como variables del proceso se estudiaron las siguientes:

- a) Diámetro del apex.
- b) Inclinação del ciclón.
- c) Densidad de alimentación.
- d) Presión de alimentación.
- e) Tamaño de grano.

### 3. EXPERIMENTACION

#### MATERIAL

Para el presente estudio se ha empleado la carga de alimentación a la Planta de Sink & Float de Siglo XX, perteneciente a la Empresa Minera Catavi-COMIBOL. La casiterita se encuentra asociada en mayor proporción con cuarzo y turmalina, le sigue en importancia la piritita y otros elementos de menor abundancia.

El material pesado empleado para preparar la pulpa, fué el ferrosilicio ( $\text{FeSi}$ , p.e. 6.8-6.9) de -325 mallas.

#### EQUIPO

En el Laboratorio Metalúrgico de la Facultad de Tecnología, se ha montado un equipo completo para realizar las diferentes pruebas como se ilustra en la figura 1.

El mineral y la pulpa pesada han sido agitados en un tanque de 80 litros, el cual fué conectado con el ciclón cilíndrico.

drico de 4 pulgadas mediante una bomba Vacseal de  $1\frac{1}{2}$ " y un motor de 5 HP.

El ciclón cilíndrico empleado en éste estudio, tiene las siguientes características:

Diámetro del ciclón cilíndrico	4"
Diámetro del vortex	$1\frac{1}{2}$ "
Diámetro del vortex finder	1"
Diámetro del apex	$5/8"$ , $3/4"$ , $7/8"$
Sección de la tobera de alimentación	$2" \times 3/4"$ .

#### INDICES DE EVALUACION

Para evaluar los resultados de los diferentes análisis en líquidos pesados y las pruebas en pulpa pesada, se han empleado los siguientes índices:

1. Recuperación en el producto pesado, calculado por la fórmula:

$$R = \frac{kK}{fF}$$

donde:

kK = fino en el producto pesado

fF = fino en la alimentación.

2. Eficiencia en el producto pesado, cuya expresión es la siguiente:

$$E = \frac{\%R - \%P}{1 - \frac{LK}{LT}}$$

donde:

%R = % Recuperación

%P = % Peso

LK = ley en metal del producto pesado

LT = ley teórica en metal del mineral puro (78.76% Sn).

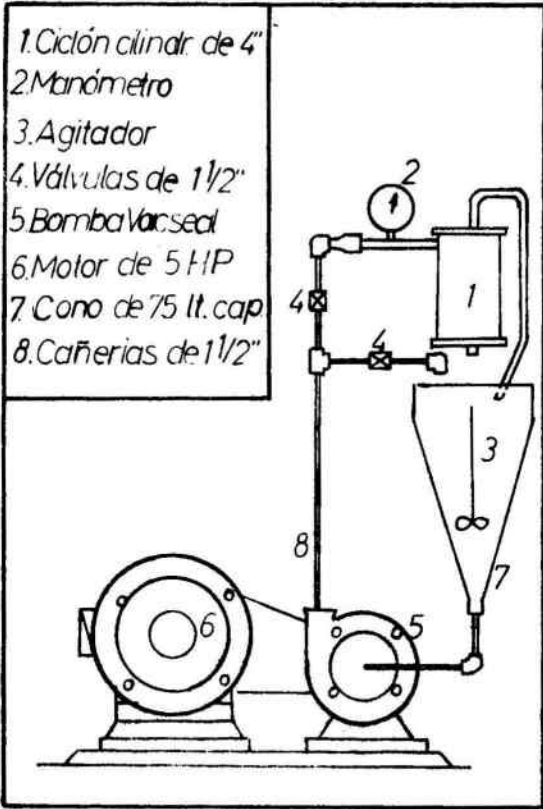


Fig. 1.- Esquema del equipo empleado.

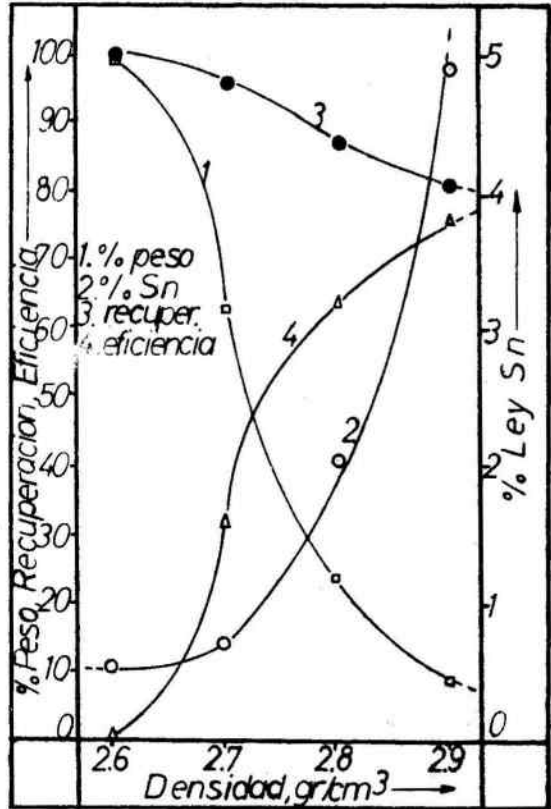


Fig. 2.- Análisis en líquidos pesados  
 Tamaño de grano -20 +28 M.

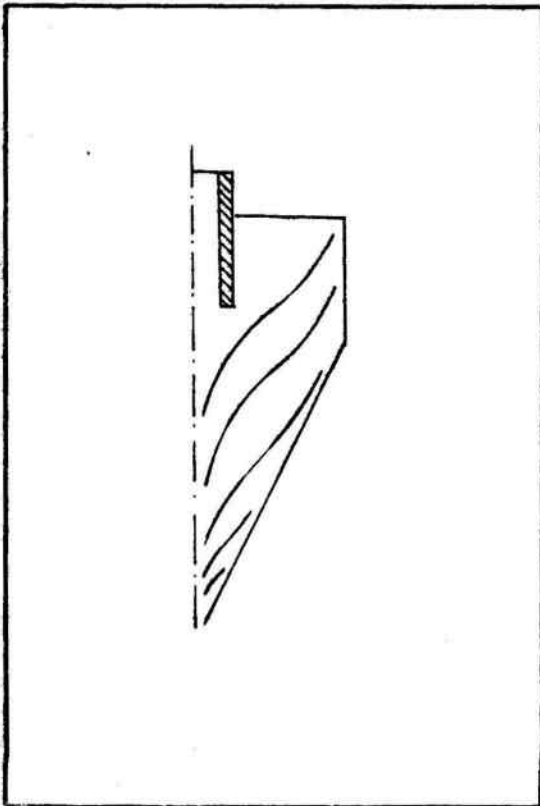


Fig. 3.- Zona de densidades en el interior de un ciclón.

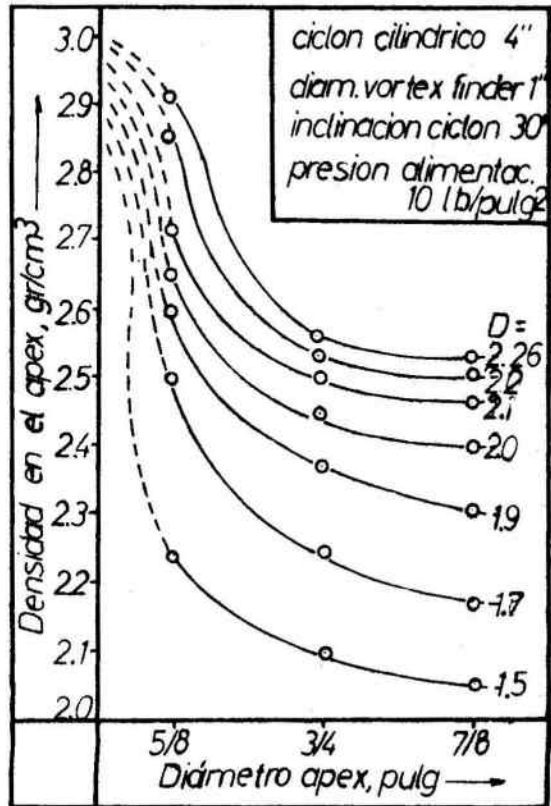


Fig. 4.- Variación de la densidad de una pulpa de FeSi en el apex en función de la densidad de alimentación D y el diámetro del apex.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

En la figura 2, se representa la curva de separación en líquidos pesados para un tamaño de grano de  $-20 + 28$  mallas, éste análisis densimétrico del mineral de Catavi nos muestra que existen condiciones favorables para un proceso de separación por densidades. Si se tomase una densidad de separación de  $2.7 \text{ gr/cm}^3$ , el descarte sería de aproximadamente un 50% con una recuperación del estaño superior al 95%. La elección de otras densidades de separación podrían estar determinadas por factores que escapan a los fines de nuestro estudio, como ser la ley mínima comercial, limitaciones en las capacidades de las instalaciones, etc.

Es difícil describir el comportamiento de las partículas y del medio (fluido o viscoso) dentro de un ciclón, sin embargo existen autores que al referirse a un hidrociclón cilindro-cónico proponen esquemas de flujo y diagramas de fuerzas que explican el comportamiento de las partículas (1); en el caso que nos ocupa es necesario considerar que si se alimenta una fina suspensión de un elemento pesado en forma de pulpa de una densidad determinada, al interior del ciclón se produce una diferenciación del medio, generándose zonas de densidades diferentes como ilustra la figura 3, (2); si esto es evidente, las densidades tanto del overflow como del underflow debieran ser diferentes y estar determinadas por alguna de las variables de operación.

En la figura 4, se puede observar la influencia del diámetro del apex sobre la densidad de la pulpa en la descarga del ciclón cilíndrico para diferentes densidades de pulpa en



la alimentación, de éstos resultados deducimos que:

- Es posible elevar la densidad de la pulpa en el apex, alimentando al ciclón pulpas más diluidas tan sólo con regular la abertura del diámetro del apex.
- Las variaciones de densidad mencionadas, presentan sólo interés para diámetros del apex comprendidos entre  $5/8$  y  $7/8$ " y dentro del rango de densidades estudiado, ya que con valores más altos el volumen de sólidos en el underflow excede la capacidad de evacuación del orificio y densidades inferiores no convienen con los propósitos de éste estudio.

Los resultados anteriores nos confirman que bajo el efecto del campo centrífugo, al interior del ciclón se produce una diferenciación de la pulpa con densidades elevadas en la descarga y reducidas en el overflow; si en estas condiciones se alimenta al ciclón junto a la pulpa granos de igual tamaño pero de diferentes densidades, los de bajo peso específico saldrán por el overflow y los granos pesados se concentrarán en el underflow.

En la Tabla 1, se resumen los resultados logrados con la mena de Siglo XX en función del diámetro del apex, de los cuales deducimos que:

- Al aumentar el diámetro del apex bajan todos los índices de concentración y eficiencia, debido a que disminuye la densidad de la pulpa en la descarga (ver Fig. 4) aproximándose cada vez más a la zona de densidades desfavorables para el tratamiento de la muestra (Fig. 2).
- De los tres diámetros seleccionados para ésta serie de

TABLA 1  
 INFLUENCIA DEL DIÁMETRO DEL APEX

Inclinación del ciclón		30°			
Densidad de alimentación		2.1 gr/cm <sup>3</sup>			
Presión de alimentación		10 lb/pulg <sup>2</sup>			
Tamaño de grano		-20 +28 mallas Tyler			
Diámetro apex, pulg.	Producto	% Peso	% Sn	% Recuperación	% Eficiencia
5/8	Preconc.	5.26	5.24	71.87	70.57
	Colas	94.04	0.13	28.13	
	Cab. Calc.	100.00	0.43	100.00	
3/4	Preconc.	12.15	1.94	69.10	58.41
	Colas	87.85	0.12	30.90	
	Cab. Calc.	100.00	0.34	100.00	
7/8	Preconc.	22.50	1.18	69.55	47.77
	Colas	77.50	0.15	30.45	
	Cab. Calc.	100.00	0.35	100.00	

pruebas, la mayor eficiencia en el proceso se obtiene con un diámetro de 5/8" que para una densidad de pulpa de 2.1 gr/cm<sup>3</sup> a la alimentación permite alcanzar densidades de 2.72 en la descarga, como ésta densidad es ligeramente superior a la del cuarzo (2.56 gr/cm<sup>3</sup>) se eliminan por el overflow solamente granos estériles de cuarzo o aquellas que contengan finas enclavaduras de minerales pesados (pirita y casiterita).

La Tabla 2, muestra la influencia del ángulo de inclinación medido respecto a la vertical, de la cual se constata que:

-Al variar el ángulo del ciclón se modifica la componente de la gravedad dentro del equilibrio dinámico de fuerzas en el ciclón.

TABLA 2

INFLUENCIA DE LA INCLINACION DEL CICLON  
(Angulo respecto a la vertical)

		5/8"			
		2.1 gr/cm <sup>3</sup>			
		10 lb/pulg <sup>2</sup>			
		-20 +28 mallas Tyler			
Inclinación grados	Producto	% Peso	% Sn	% Recuperación	% Eficiencia
0	Preconc.	4.60	4.56	56.40	54.99
	Colas	95.40	0.17	43.60	
	Cab. Calc.	100.00	0.37	100.00	
15	Preconc.	5.25	5.03	62.03	60.66
	Colas	94.75	0.17	37.97	
	Cab. Calc.	100.00	0.42	100.00	
30	Preconc.	5.96	5.24	71.87	70.57
	Colas	94.04	0.13	28.13	
	Cab. Calc.	100.00	0.43	100.00	
45	Preconc.	5.08	5.11	69.50	68.90
	Colas	94.92	0.12	30.50	
	Cab. Calc.	100.00	0.37	100.00	
60	Preconc.	5.44	4.14	66.50	64.48
	Colas	94.56	0.12	33.50	
	Cab. Calc.	100.00	0.34	100.00	
75	Preconc.	5.93	3.80	66.62	63.75
	Colas	94.07	0.12	33.38	
	Cab. Calc.	100.00	0.34	100.00	

Se ha investigado igualmente la influencia de la densidad de la pulpa en la alimentación, ya que como se demostró en la figura 4, variaciones de éste parámetro al mantener los demás constantes modifican la densidad de pulpa en el underflow. En la figura 5 se puede observar que existe mayor eficiencia del proceso para densidades de 2.0 a 2.1 gr/cm<sup>3</sup>

en la pulpa de alimentación. Estos resultados se explican si consideramos que:

-Si se alimentan pulpas de densidades bajas, no se alcanza en el apex una densidad suficiente como para eliminar la ganga estéril; y contrariamente si la densidad en la pulpa de alimentación es muy elevada, se aumenta la densidad de separación en perjuicio del rendimiento de la operación, pues se descargan por el averflow granos mixtos de ganga que contienen casiterita.

-La densidad óptima de 2.0-2,1 gr/cm<sup>3</sup> es función de las características y distribución densimétrica que presenta la mena, ya que en cada caso se precisa de una determinada densidad de separación en la pulpa del underflow.

La presión de alimentación de la pulpa no es una variable de primer orden dentro de un rango normal de trabajo, (Fig. 6) sin embargo al aumentar su valor se incrementa la fuerza centrífuga dentro del ciclón y con ello se espesa más la pulpa en la descarga del apex; la densidad de pulpa sube y con ello se reduce la recuperación del mineral pesado (casiterita); si la presión es muy reducida no se formarán los remolinos clásicos en el ciclón y la pulpa pasará a la descarga sin clasificación.

El proceso de preconcentración en campo centrífugo mediante pulpas pesadas depende fundamentalmente del grado de liberación de la muestra como puede verificarse en la Tabla 3, donde se registran recuperaciones y eficiencias mayores para granos de -35 +48 ó -65 +100 mallas Tyler.

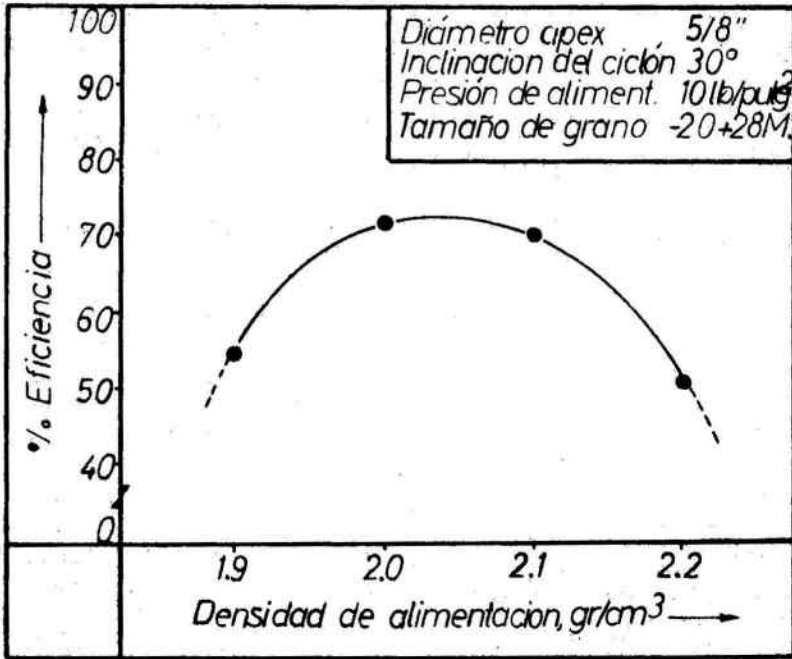


Fig. 5.-Influencia de la densidad de alimentación

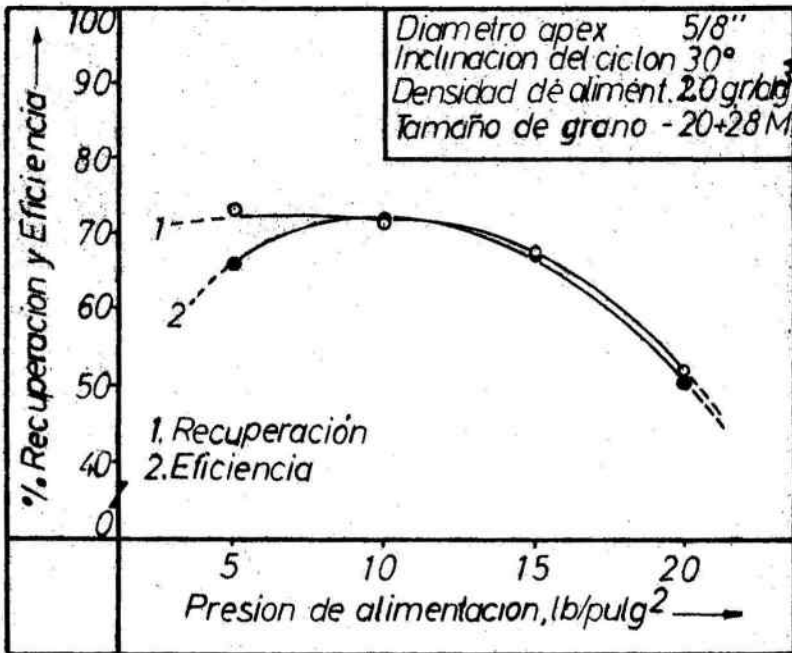


Fig. 6.-Influencia de la presión de alimentación

TABLA 3  
INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE GRANO

		5/8"		30°		2.0 gr/cm <sup>3</sup>		10 lb/pulg <sup>2</sup>	
Diámetro del apex									
Inclinación del ciclón									
Densidad de alimentación									
Presión de alimentación									
Tamaño de grano, mallas Tyler	Producto	% Peso	% Sn	% Recuper.	% Eficienc.	Grado de liberación de SnO <sub>2</sub>			
-20 +28	Preconc.	5.06	5.78	71.97	72.17	35			
	Colas	94.94	0.12	28.03					
	Cab. Calc.	100.00	0.41	100.00					
-35 +48	Preconc.	12.00	10.71	87.46	87.34	70			
	Colas	88.00	0.21	12.54					
	Cab. Calc.	100.00	1.47	100.00					
-65 +100	Preconc.	14.31	18.45	73.40	77.14	87			
	Colas	85.69	1.00	26.60					
	Cab. Calc.	100.00	3.60	100.00					

## 5. CONCLUSIONES

1. El nuevo proceso de preconcentración en ciclones cilíndricos para menas estañíferas, utilizando ferrosilicio como medio pesado, es técnicamente posible.
2. El empleo de ciclones cilíndricos, puede ser una solución a los problemas de abrasión y elevados costos de construcción de los ciclones convencionales.
3. Mediante éste proceso se han obtenido en laboratorio, preconcentrados de mineral de estaño desde 5.78 hasta 18.45% Sn, eliminando colas con leyes desde 0.12 hasta 1.00% Sn en un sólo paso, para tamaños de grano de -20 +28 mallas con una ley de cabeza de 0.42% Sn ó -65 +100 mallas con una ley de cabeza de 3.60% Sn respectivamente.

4. La preconcentración de minerales estañíferos en campos e centrifugos mediante pulpas pesadas puede revolucionar el tratamiento de estas menas, ya que en una sola etapa se pueden obtener productos adecuados para la volatilización del estaño a menor costo que la flotación de casiterita y con mayores índices de eficiencia que la concentración gravimétrica convencional, siempre y cuando las características mineralógicas de la mena permitan la aplicabilidad de éste proceso.
5. Una gran ventaja de éste método es que permite obtener un resultado deseado de antemano regulando muy pocas variables susceptibles de ser automatizadas. Nuestros estudios se orientan actualmente en la confección de un modelo matemático del proceso que facilite las operaciones de simulación.
6. Las condiciones óptimas para el tratamiento de la mena de Siglo XX son las siguientes:

Diámetro del apex	5/8"
Angulo de inclinación	30-45° respecto a la vertical
Densidad de alimentación	2.0-2.1 gr/cm <sup>3</sup>
Presión de alimentación	10 lb/pulg <sup>2</sup>
Diámetro del ciclón	4".

#### BIBLIOGRAFIA

1. Cohen, B/, Isherwood, R.I., Principles of dense media separation in hydrocyclones; International Mineral Processing Congress, London, 1960, pg. 573-591.
2. Schubert, H., Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe

Band 11, Leipzig, 1967.

3. Brien, F.B., Pommier, L.W., Results of an investigation of the use of heavy liquids in a cyclone for concentrating values from tin ores; Transactions, December, 1964.
4. Davies, D.S., Dreissen, H.H., Oliver, R.H., Advance in hydrocyclone heavy media separation technology for fine ores; Mineral Processing, Edited by Roberts A., 1965.
5. Plaskin, I.N., Kahjinskaya, G.N., Tomov, T., Ivachenko, G.A., Concentración de minerales de estaño con tetrabromoetano y Control de productos de concentración por métodos radioactivos; Primer Simposio Internacional de Concentración de Minerales de Estaño, Universidad Técnica de Oruro, 1966, pg. 107-114.
6. Nisttahuz, E., Dimensionamiento y estudio de las variables de un ciclón cilíndrico; Tesis de Grado en preparación, Facultad de Tecnología-UBTO, Oruro-Bolivia.
7. Stas, F., The influence of the orifice on the washing characteristics of the hydrocyclone; Progress in Mineral Dressing, Stockholm, 1958, pg.161-185.
8. Krijgsman, C., Leeman, J.N.J., Der Sortierzyklon in Stammbaum der Wasche; Vierter Internationaler Kongress für Steinkohlensaufbereitung, 1962, pg. 149-160.
9. Tarján, G., Der Luftheber Hydrozykhon; Freiburger Forschungshefte, 1963, H.A. 281, pg. 83-98.
10. Driessen, M.G., The Use of Centrifugal Force for Cleaning Fine Coal in Heavy Liquids and Suspensions, with Special Reference to the Cyclone Washer; Journal of the Institute of Fuel 19, 1945, S. 33-45.