

# HYDROFLOAT®: UNA NUEVA TECNOLOGÍA ECO- EFICIENTE PARA EL PROCESAMIENTO DE ORO

**J. Concha**<sup>1</sup>

**L. Christodoulou**<sup>2</sup>

**E. Wasmund**<sup>3</sup>

Eriez Flotation Division

## RESUMEN

En el 2012, Mineros S.A. es la mayor productora de oro de Colombia, se embarcó en un proyecto para eliminar el mercurio de todas sus operaciones. En la actualidad Mineros S.A., ya no emplea mercurio en sus procesos productivos. El mercurio ha sido reemplazado por equipos gravimétricos (mesas, Falcon, Knelson, etc.). Sin embargo, se ha encontrado que dichos equipos no son eficientes para recuperar las partículas finas y laminares de oro libre, generando relaves con contenidos de oro entre 5 g/t - 47 g/t.

Mineros S.A. contactó a Eriez Flotation para evaluar un proceso alternativo limpio que permita recuperar oro de los relaves gravimétricos. Para realizar dicho estudio se utilizó la tecnología de flotación Eriez - HydroFloat®. Los resultados obtenidos en pruebas escala laboratorio y piloto han mostrado que el HydroFloat® puede tener recuperaciones del 95% Au en promedio y concentrados con leyes hasta de 87,669 g/t Au. Estos hallazgos indican que el HydroFloat® podría ser una alternativa para eliminar el mercurio en el procesamiento del oro aluvial.

## INTRODUCCIÓN

Mineros S.A. es la mayor productora de oro en Colombia. El 2012 produjo alrededor de 120,000 onzas de oro. Esta producción provino de sus dos operaciones: Operación aluvial y su mina subterránea. Ambas operaciones están ubicadas en la provincia de El Bagre, Antioquia, Colombia.

Mineros S.A. no solamente es conocida por ser la mayor productora de oro en Colombia, sino por ser una Empresa Social y Ambientalmente Responsable. En el 2011, fue reconocida por la Secretaría de Minas de la Gobernación de Antioquia y la Corporación Calidad con el premio Minería Responsable. Como parte de su política ambiental, a inicios del 2012, Mineros S.A., se embarcó en un proyecto ambicioso denominado "No Mercurio". El proyecto No Mercurio tenía como objetivo eliminar por completo el uso de mercurio dentro de todos sus procesos productivos.

En la actualidad, Mineros ya ha eliminado el mercurio de sus operaciones. Emplea una combinación de equipos gravimétricos para hacer la concentración. Sin embargo, han observado que los relaves del proceso gravimétrico contiene valores de oro significativos, valores que variaban entre 5 g/t – 47 g/t Au.

El 2012 Mineros S.A. contactó a Eriez para realizar pruebas de flotación con el objetivo de optimizar la recuperación de oro, específicamente para recuperar los valores que los equipos gravimétricos no pueden recuperar. Para este fin, Eriez Flotation realizó pruebas en escala laboratorio en su Centro de Investigación (Erie, Pensilvania, Estados Unidos). Estas pruebas mostraron resultados prometedores, lo que condujo a que se realicen dos campañas de pruebas piloto en la planta de Beneficio de Mineros S.A. (El Bagre, Antioquia, Colombia). Los resultados de dichas pruebas serán presentados en este trabajo.

- 1. Deputy Managing Director, EFD | Peru**  
jconcha@eriez.com
- 2. Senior Process Engineer, EFD | USA**  
lchristodoulou@eriez.com
- 3. Global Managing Director, EFD | Canada**  
ewasmund@eriez.com

## CARACTERÍSTICAS DEL MINERAL

Los equipos gravimétricos utilizados en la planta de Beneficio de Mineros no son eficientes en la recuperación de ciertas partículas, como por ejemplo el oro libre fino y algunas partículas de oro libre laminares que presentan características flotabilidad natural. Por esta razón Mineros S.A. buscó un proceso alternativo limpio, que permitiera recuperar el oro de los relaves del proceso gravimétrico. El proceso alternativo seleccionado fue flotación.

El alimento para las pruebas de flotación fue los relaves del proceso gravimétrico (mesas, Knelson, Falcon, etc.). Estos relaves son arenas aluviales disgregadas, con tamaños de partículas que varían entre  $>0.15$  mm a  $<2.00$  mm ( $0.150 \times 2.00$  mm).

Los relaves del proceso gravimétrico son clasificados en dos clases: Relaves de bajo tenor, cuya ley varía entre 5 – 10 g/t; y los relaves de alto tenor cuya ley de cabeza varía entre 33 – 47 g/t.

Las pruebas de laboratorio y las pruebas piloto 1 fueron realizadas con el mineral de bajo tenor. Mientras que las pruebas piloto 2 fueron realizados con los dos tipos de mineral. La Figura 1 muestra imágenes de la microscopía óptica realizada al mineral utilizado en las pruebas de laboratorio.

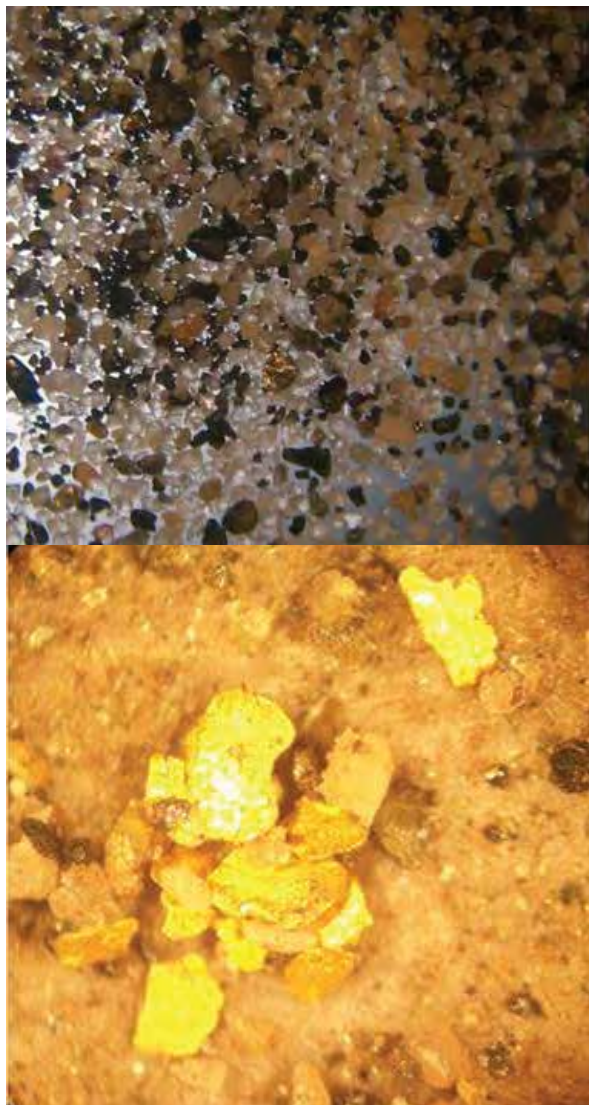
## ERIEZ HYDROFLOAT®

La tecnología seleccionada para hacer las pruebas de flotación fue el Eriez HydroFloat®. Las pruebas de laboratorio fueron realizadas en el HydroFloat® HF-150. Mientras que las pruebas piloto fueron realizadas en el HydroFloat® HF-400. La Figura 2 muestra la instalación de la celda HydroFloat® piloto HF-400 en la planta de beneficio de Mineros S.A.

El principio de funcionamiento de la celda HydroFloat® ha sido ampliamente discutido por Mankosa Kohmuench (2003), Kohmuench *et. al.* (2007), Kohmuench *et. al.* (2010), y Kohmuench *et. al.* (2013). En el presente trabajo presentaremos un resumen de la operación de esta celda. El HydroFloat® realiza el proceso de concentración basado en la combinación de dos principios:

- Gravimetría: Utiliza la diferencia de densidad aparente de los minerales.
- Flotación: El agregado mineral-burbuja, que se forma por la adhesión selectiva del mineral hidrofóbico en la burbuja de aire.

Para realizar la concentración de un determinado mineral, la celda HydroFloat® utiliza pulsos de agua de fluidización y micro-burbujas de aire.



**FIGURA 1**  
Microfotografías de la muestra de cabeza utilizada en las pruebas de laboratorio.



**FIGURA 2**

Fotografía de la celda piloto Eriez HydroFloat® HF-400 en las instalaciones de Mineros



**FIGURA 3**

Diagrama esquemática de la celda HydroFloat®

La Figura 3 muestra el esquema de la celda HydroFloat®, en el que se pueden identificar dos zonas principales: Una zona superior donde se realiza la separación, y una zona inferior (cono) donde se realiza el desaguado de la pulpa.

La alimentación (pulpa) se realiza por la parte superior, mientras que el agua de fluidización se adiciona a través de una red de tuberías instaladas en la parte inferior alrededor de la sección transversal de la celda. Conjuntamente con el agua de fluidización se alimenta aire (comprimido) de flotación y pequeñas cantidades de espumante. Las partículas del mineral hidrofóbico son transportadas por las burbujas de aire y el agua de fluidización hacia la parte superior de la celda, y son recuperados en la canaleta. El relave es evacuado por la parte inferior de la celda a través de una válvula pinch

La celda HydroFloat® cuenta con las siguientes características:

- Capacidad de procesamiento: 20 t/h-m<sup>2</sup> – 30 t/h-m<sup>2</sup>.
- Consumo de aire de flotación: Es alrededor del 10% del aire consumido por celdas de flotación convencionales.
- Consumo de reactivos: En algunas aplicaciones, después de la instalación del HydroFloat, se ha conseguido reducir el consumo de reactivos (colector) entre 10% - 40%.
- Repuestos: Las celdas convencionales tienen partes móviles internas (rotor & estator), las cuales al estar en contacto con el mineral grueso tienen un alto desgaste por abrasión. La celda HydroFloat® al no tener partes móviles internas no tiene ese problema.
- Tamaño de Partícula en la alimentación: El HydroFloat® está siendo empleado industrialmente para flotar partículas de hasta 3,000 µm (Fosfatos). Para optimizar su performance se recomienda trabajar dentro de una distribución de tamaños de partículas de 1:6.
- Porcentaje de sólidos: La celda HydroFloat® puede trabajar con pulpas con porcentajes de sólidos entre 40% - 80%. Los relaves producidos en el HydroFloat® salen con porcentaje de sólidos semejantes al alimento, esto debido a la zona de desaguado que posee



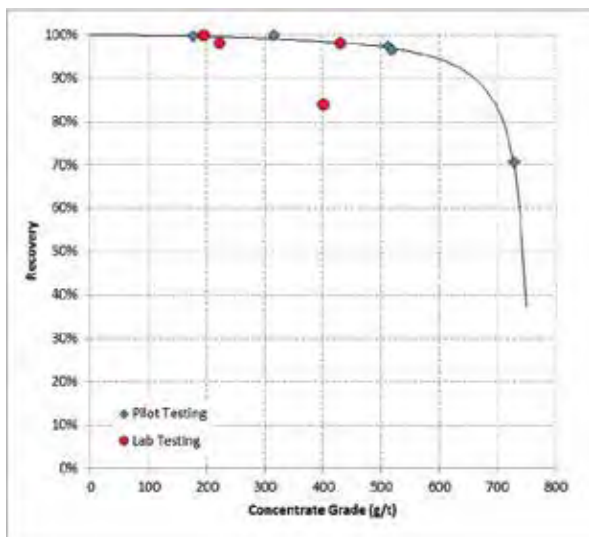
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las primeras pruebas se realizaron en escala laboratorio, donde se encontró que era posible recuperar más del 98% del oro contenido en los relaves del proceso gravimétrico. Observado estos resultados prometedores, Mineros S.A. decidió adquirir un HydroFloat® piloto para hacer pruebas en sus instalaciones en Colombia.

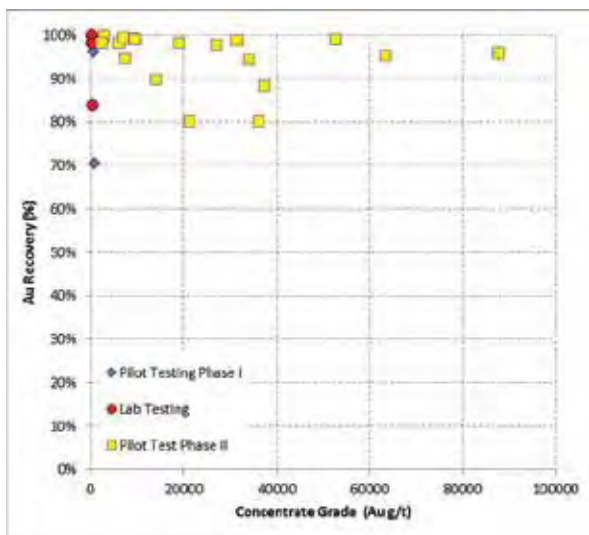
La relación entre la recuperación (% Au) y ley de concentrado (g/t Au) de las pruebas en escala laboratorio y piloto 1 se muestran en la Figura 4. En esta figura se observa que los resultados de la primera fase de las pruebas piloto, reconfirmaron los resultados obtenidos en las pruebas laboratorio. Es decir, en la pruebas piloto 1 se consiguieron recuperaciones mayores a 98% y concentrados con calidades entre 180 g/t hasta 700 g/t.

En las pruebas en laboratorio y pruebas piloto fase 1 se buscó principalmente determinar si la flotación en la celda HydroFloat® podía recuperar más del 95% del oro contenido en los relaves gravimétricos. Luego de confirmar la factibilidad de obtener dichas recuperaciones, Mineros S.A. decidió evaluar el relave gravimétrico de alta ley, y determinar si era posible producir concentrados de mayor calidad (> 5,000 g/t Au). Esto con la finalidad que el concentrado pueda ser fundible.

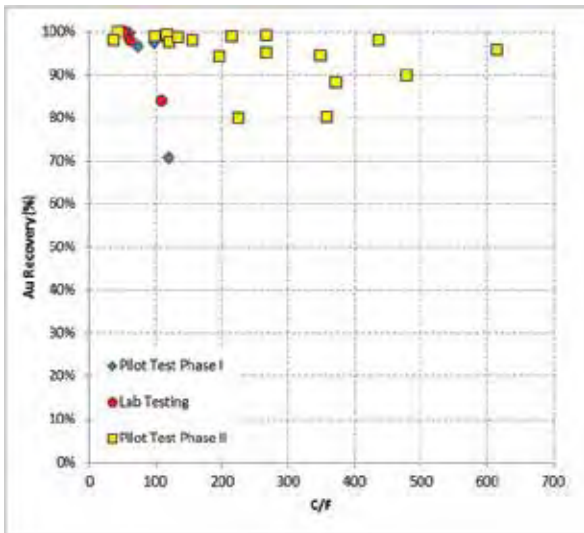
En la segunda campaña de pruebas piloto, el principal objetivo fue generar concentrados de mayor ley. La Figura 5 muestra la relación recuperación de oro vs el ley de concentrados producidos en todas las pruebas, incluido los resultados de la pruebas piloto fase 2. Se observa que en la segunda fase de las pruebas piloto la mayoría de las recuperaciones estuvieron sobre el 90%, obteniéndose recuperaciones de 95% Au en promedio, aunque se obtuvieron varios puntos con recuperaciones mayores a 98%. Además, en la segunda campaña de pruebas piloto se logró producir concentrados mucho más ricos, llegando a obtenerse concentrados con leyes hasta de 87,669 g/t Au.



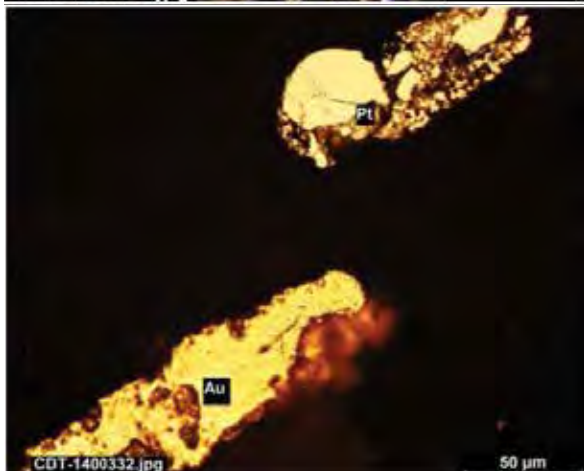
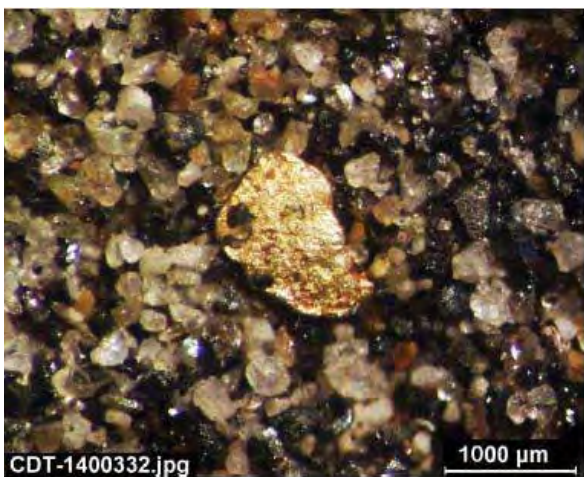
**FIGURA 4**  
Relación entre ley de concentrado (g/t Au) y recuperación (Au %) de las pruebas de laboratorio y pruebas piloto fase 1



**FIGURA 5**  
Relación entre ley de concentrado (g/t Au) y recuperación (Au %) de las pruebas de laboratorio y pruebas piloto fase 1 & fase 2



**FIGURA 6**  
Relación entre ratio de enriquecimiento (C/F) y recuperación (Au %)



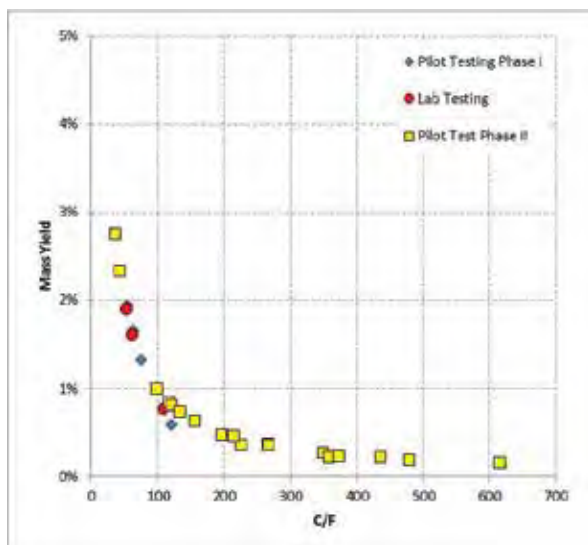
**FIGURA 7**  
Microscopía de los concentrados obtenidos en las pruebas piloto 2

La producción de concentrados de mayor ley en la segunda fase de pruebas piloto se debió en parte que la ley del alimento fuer mayor en comparación a las pruebas anteriores, pero también se debió a que las condiciones operativas del HydroFloat®, fueron establecidas para obtener mayor selectividad. Esto se ve reflejado en la Figura 6, donde se puede observar que mientras que el mayor ratio de enriquecimiento en las pruebas de laboratorio y piloto 1, fue 100 veces; en las pruebas piloto 2 se lograron obtener ratios de enriquecimiento mayores a 600 veces. Es importante notar que estos altos ratios de enriquecimiento fueron posibles de obtener sin perjudicar la recuperación.

Mineros S.A. realizó una evaluación de microscopía óptica de los concentrados de la segunda campaña de pruebas piloto, ver Figura 7. Se identificó que los concentrados están formados principalmente por minerales como cuarzo, magnetita y circón. La mayoría de las partículas de oro se presenta en forma libre - laminar, alargada, en tamaños que van desde los 0.3 mm hasta 1.0 mm. Además de las partículas de oro libre, se identificaron algunas asociaciones oro/ plata.

Con los concentrados de las pruebas piloto 2, Mineros S.A. realizó pruebas de fundición, determinando que dichos concentrados pueden ser directamente fundidos. Este es un hallazgo muy importante, porque elimina la necesidad de usar otros reactivos y procesos contaminantes, (ej. amalgamación o cianuración) para la producción de oro.

Otro hallazgo importante en las pruebas fue identificar que las altas recuperaciones (>95% Au) son posibles de obtener con *yield (mass pull)* menores al 3%. La Figura 8 muestra la relación ratio de enriquecimiento (C/F) vs *mass yield*. Esta relación es importante porque con ella podemos determinar el punto en la que necesitamos operar para obtener la calidad de concentrado requerido.



**FIGURA 8**  
Relación ratio de concentración (C/F) vs yield

## CONCLUSIONES

Los resultados de las pruebas de laboratorio y piloto mostraron que la celda Eriez HydroFloat® es capaz de recuperar eficientemente las partículas de oro aluvial contenidos en los relaves del proceso gravimétrico (mesas, Falcon, o Knelson). Se ha encontrado que es posible obtener recuperaciones de 95% Au en promedio, y se obtuvieron varios puntos con recuperaciones mayores al 98% Au.

En la segunda campaña de pruebas piloto se logró producir concentrados con leyes hasta de 87,669 g/t Au, y ratios de concentración de hasta 615 veces.

Los resultados de la microscopía de los concentrados del HydroFloat® permitieron identificar que fue posible flotar partículas de oro laminar con tamaños entre 0.3mm a 1.00mm.

La calidad de los concentrados obtenidos en las pruebas piloto fase 2, permitieron que estos sean directamente fundibles.

En resumen se puede decir que la celda HydroFloat® se muestra como una tecnología eficiente y ecológica para la recuperación y concentración del oro libre.

## AGRADECIMIENTO

Eriez Flotation Division agradece a Mineros S.A. por permitir compartir los resultados obtenidos en esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. J Kohmuench, H Thanasekaran and B Seaman, Advances in Coarse Particle Flotation – Copper and Gold, MetPlant 2013.
2. Kohmuench, J. N., Mankosa, M. J., Kennedy, D. G., Yasalonis, J. L., Taylor, G. B., & Luttrell, G. H. (2007). Implementation of the hydrofloat technology at the South Fort Meade Mine. Minerals and Metallurgical Processing, 24(4), 264-270.
3. Mankosa, M. J., & Kohmuench, J. N. (2003). Applications of the hydrofloat air-assisted gravity separator. In Advances in Gravity Concentration Symposium Presented at the 2003 SME Annual Meeting, Society for Mining, Metallurgy and Exploration (pp. 165-178).