

## RECUPERACIÓN DE ORO GRUESO EN CONCENTRADOR CENTRÍFUGO KNELSON

L. Valderrama<sup>1</sup>, M. Santander<sup>1</sup>, J. Ossandon<sup>1</sup>, D. Olguín<sup>2</sup>

(1) Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, Avenida Copayapu 485, Copiapó, Chile.

(2) Gerencia de Planta, Empresa Nacional de Minería, Copiapó, Chile

luis.valderrama@uda.cl

### RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en un concentrador centrífugo Knelson de 3" con muestras de las diferentes plantas de ENAMI. Las muestras fueron molidas 100% bajo la malla 20. El análisis mineralógico indicó que el oro se encuentra en micro inclusiones en pirita, cuarzo y limonita, también en forma de granos pequeño liberados, salvo algunos de dimensiones mayores ( $120 \times 90 \mu\text{m}$ ), siendo las principales asociaciones cuarzo-oro y limonita-oro. Los resultados de las pruebas realizadas muestran que se puede obtener concentrados con leyes de  $304,2 \text{ gt}^{-1}$  y recuperaciones de 80,9 %. Los análisis granulométricos de las muestras indican que al disminuir la granulometría del mineral, aumenta la ley de oro en el concentrado y la recuperación. También se analizó el efecto de la presión de agua, estableciéndose que un aumento de la contrapresión produce una disminución en la ley de oro y en la recuperación.

**Palabras claves:** Knelson, gravimétrica, oro grueso.

### ABSTRACT

This work was conducted in a 3 inches Knelson centrifugal concentrator with samples of the different ENAMI's plants. The samples were ground 100 % under 20 mesh. Mineralogical analysis indicated that the gold is found in micro inclusions in pyrites, quartz and limonite, also as small grains released, but some of larger sizes ( $120 \times 90 \mu\text{m}$ ); the main associations correspond to quartz-gold and limonite-gold. Results of tests show that they can be concentrated with grade of  $304.2 \text{ gt}^{-1}$  and recoveries of 80.9 %. Particle size analyzes of the samples indicated that decreasing the particle size of the ore, grade and recovery of gold in the concentrate increases. Also was analyzed the effect of water pressure, establishing that an increase in back pressure causes a decrease in the grade and gold recovery.

**Keywords:** Knelson, gravimetry, coarse gold

## 1. INTRODUCCIÓN

El oro se encuentra en la naturaleza con muy pocas excepciones como metal nativo, se presenta en filones de rocas auríferas, asociado a otros metales y en forma de polvo o de gránulos redondeados o achatados conocidos como pepitas, en depósitos de arena y en lechos fluviales [1].

La densidad elevada del oro ( $15,3 \text{ kgL}^{-1}$  a  $19,3 \text{ kgL}^{-1}$  dependiendo de la cantidad de otros metales asociados), hace posible aplicar tratamientos basados en la concentración gravitacional. El carácter hidrofóbico de la superficie del oro nativo permite su recuperación por flotación. Si el oro se encuentra asociado a menas sulfuradas, se recupera posteriormente a partir de los concentrados obtenidos por flotación. La solubilidad del oro en soluciones alcalinas, débilmente cianuradas es la base de tratamiento hidrometalúrgico más comúnmente aplicado, como es la cianuración. La mojabilidad preferencial del oro por el mercurio, que baja su tensión superficial, permite la combinación de los dos metales que conforman un conjunto de compuestos metálicos, denominado amalgama [2].

La producción mundial de oro durante el 2010 alcanzó un total de 2.500 toneladas métricas de oro fino. El principal productor es China, seguido por Australia y Estados Unidos, siendo nuestro país el que ocupa el décimo cuarto lugar. De las 40 toneladas métricas producidas por Chile, la mayoría proviene de la minería primaria del oro (62%), seguida de la producción de oro como subproducto de la minería del cobre (36%) y de la minería artesanal (2%) [3, 4].

Según Cochilco, el precio del oro en el 2012 se incrementará hasta una cifra récord de US\$ 1.800 - US\$ 2.000 la onza Troy [5].

En los últimos años se han reevaluado los procesos de concentración gravitacional, en relación a los métodos de flotación, principalmente por el incremento de los costos de los reactivos, la simplicidad de los procesos gravimétricos y el impacto producido por los procesos de concentración gravitacional, que es considerablemente

menor en comparación con los procesos de flotación, debido a la ausencia de productos químicos contaminantes. La separación de minerales de tamaños más gruesos tan pronto como se liberan también tienen significativas ventajas para las etapas posteriores del tratamiento, debido a la disminución del área superficial, desaguado más eficiente y la ausencia de reactivos adheridos que puedan interferir con otro procesamiento [6,7].

El concentrador centrífugo knelson, usado en la concentración de minerales de oro, ha mostrado ser un buen equipo porque efectúa una separación con alta eficiencia, posee una elevada capacidad de procesamiento y sus costos de operación y mantención son relativamente bajos. Está compuesto principalmente por un cono truncado de poliuretano que rota a 400 rpm, cuya superficie interna está formada por una serie de rifles anulares horizontales de igual profundidad. La velocidad del movimiento de rotación genera una fuerza centrífuga del orden de 60 g, llevando las partículas de material hacia la periferia, donde las partículas mineralógicas de mayor peso tienen tendencia a entrar en los espacios inter-rifles, mientras que las partículas livianas son transportadas hacia la parte superior externa.

El presente estudio tiene como objetivo aumentar la recuperación del oro en muestras de minerales de diferentes plantas de ENAMI, que se benefician por flotación, utilizando un concentrador Knelson para recuperar el oro grueso y obtener concentrados de alta ley [8, 9].

## 2. METODOLOGIA

Para la realización de este trabajo se utilizaron muestras de minerales de oro, provenientes de las diferentes plantas de la Empresa Nacional de Minería ENAMI, las que fueron homogenizadas a pala, por cono y cuarteo sucesivos, hasta la obtención de muestras representativas. Este material se redujo de tamaño en un chancador en rodillo hasta lograr que el 100% del material pasara la malla 20. Por cuarteos sucesivos se obtuvieron muestras para análisis

granulométrico, químico y mineralógico y paquetes para realizar las pruebas en el Knelson.

El peso específico del mineral se determinó mediante el método del picnómetro. El análisis mineralógico fue realizado en un microscopio electrónico, para identificar los constituyentes del mineral, el grado de liberación y sus asociaciones. El análisis granulométrico fue realizado en una batería de tamices.

Las pruebas de concentración gravitacional se efectuaron en un concentrador Knelson, utilizando concentrado obtenido en una espiral Humphrey.

Se realizaron pruebas preliminares en un concentrador Knelson de laboratorio, para estudiar su funcionamiento y controlar sus variables; ello con el fin de determinar un procedimiento adecuado y para asegurar la repetitividad de los resultados obtenidos.

En el procedimiento aplicado, inicialmente se ajustó el porcentaje de sólido a 25%, luego se ajustó el flujo de alimentación a razón de 200 gramos de mineral por minuto, siendo el tiempo de la prueba de 10 minutos. La pulpa agitada mecánicamente se acondicionó durante 5 minutos antes de ser alimentada al Knelson. Una vez iniciada la prueba se aumentó la velocidad de giro a 1500 rpm, ajustando la contrapresión y el flujo de pulpa. Los concentrados se recolectaron en bandejas y el relave en bidones de 200 litros, los que fueron secados, pesados y pulverizados, para ser enviados al análisis químico.

### 3. RESULTADOS

El peso específico del mineral de oro, determinado mediante el método del picnómetro, entregó valores que variaron desde  $2,73 \text{ kg.L}^{-1}$  hasta valores  $4,1 \text{ kg.L}^{-1}$ , dependiendo de las muestras.

El análisis granulométrico indicó que el 76,6% material se encuentra retenido entre la malla -20 +170, mientras que el 23,4% se encuentra bajo la malla 170. Estos resultados indicarían que es posible que las partículas de

oro estén ocluidas en granos de partículas más gruesas, razón por la cual sería conveniente utilizar una contrapresión mayor a la usada normalmente en la ejecución de estas pruebas.

El análisis mineralógico, realizado en un microscopio electrónico, reveló que las muestras de oro se encuentra en forma de granos liberados de pequeños tamaños; otras muestras presentan oro en forma de granos parcialmente liberados asociados con cuarzo, limonita y también como micro inclusiones en limonita.

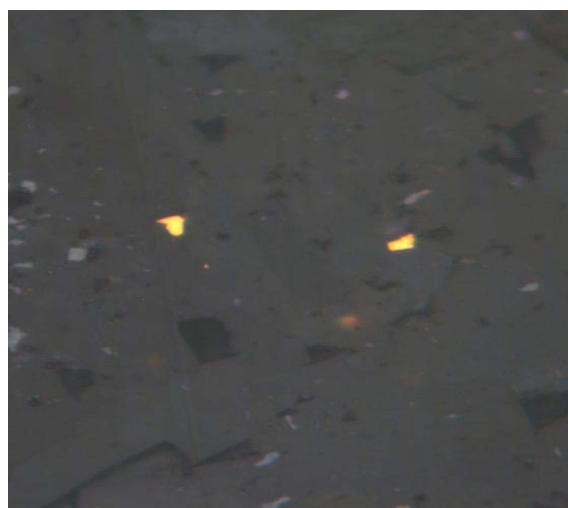


Figura 1. Micro inclusiones de oro en cuarzo de tamaño  $0,2 \mu\text{m}$ .

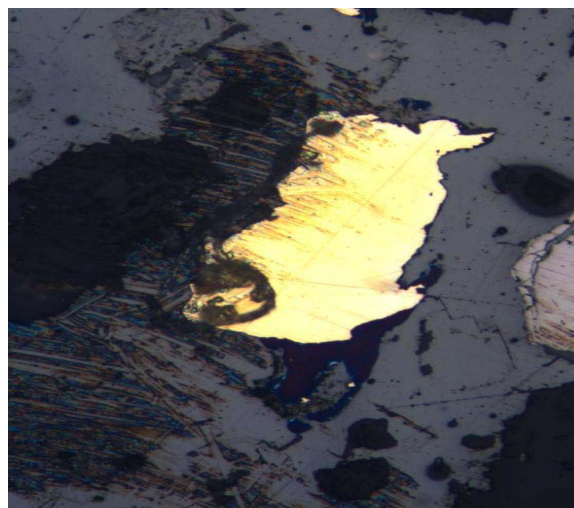


Figura 2. Grano liberado de oro de tamaño rectangular de tamaño de  $50 \times 100 \mu\text{m}$ .

Tal como se observa en las figuras 1 y 2, en las que se muestran partículas de oro, el tamaño de los granos es variable, encontrándose en el rango de 5 a 320 micrómetros. Las asociaciones observadas corresponden principalmente a cuarzo-oro y limonita-oro. En menor proporción se observan asociaciones de pirita-oro, cuarzo-oro y cuarzo-hematita-oro.

La tabla I muestra los resultados obtenidos en el concentrador Knelson, partir de la cual se puede analizar el comportamiento de cada muestra de oro, cuando se mantiene constante la granulometría del mineral y la contrapresión de agua. En ella se observa que la muestra de Taltal 4 presenta la más alta ley de oro ( $304,2 \text{ gt}^{-1}$ ) y una muy buena recuperación de 80,9 %. Probablemente este mineral contiene oro grueso y liberado. La

muestra de Taltal 3 y Matta 1, presentan leyes de oro media, indicando que se concentra bien pero puede faltar liberación o se encuentra bastante fino. La muestras Delta 2A, presenta baja ley de oro y una muy baja recuperación. En base a los resultados obtenidos se puede inferir que la mineralogía del mineral, incluso el tamaño de los granos de oro, influye fuertemente sobre la concentración del oro en el concentrador Knelson.

De igual manera, fueron realizadas prueba de concentración en el Knelson, en las cuales se varió la contrapresión de agua, entre los valores de 21, 30 y 50 Kpa, manteniendo la granulometría de 100 % bajo la malla 70 ASTM. La figura 1 muestra el efecto de la contrapresión en función de la recuperación y ley de oro en el concentrado.

Tabla I - Resultados de las pruebas realizadas en las diferentes muestras de ENAMI.

Muestra	Ley alim. ( $\text{gt}^{-1}$ )	Masa de Conc. (g)	Ley Conc. ( $\text{gt}^{-1}$ )	Recup. (%)
Taltal 1	7,6	75,5	64,9	64,5
Taltal 3	41,1	82,4	197,8	49,6
Taltal 4	56,0	149	304,2	80,9
Matta 1	12,2	92,2	74,3	56,2
Vallenar 7	12,6	97,7	53,7	41,6
Delta 1	6,6	62,8	66,1	62,9
Delta 2A	3,4	67,8	23,4	46,7
Delta 4A	19,8	80,2	87,6	35,5
Delta 4B	21,0	100,0	85,0	40,5
Delta 7	4,9	134,0	29,2	79,9

En dicha figura se observa que tanto la ley de oro en el concentrado como la recuperación disminuyen cuando la contrapresión de agua aumenta en el equipo. Las contrapresiones son probablemente muy altas para permitir una buena recuperación del oro fino contenido en el mineral. Se debe destacar que en pruebas realizadas en tiempos más extensos, una contrapresión mínima es necesaria para asegurar una fluidización del

lecho de partículas en el cono del concentrador.

De la figura 3 se deduce que una menor contrapresión de agua implica una mayor recuperación. De esta manera, para la menor contrapresión (21 KPa) se obtienen recuperaciones de 62,3 % y una ley de  $13,7 \text{ gt}^{-1}$  de oro.

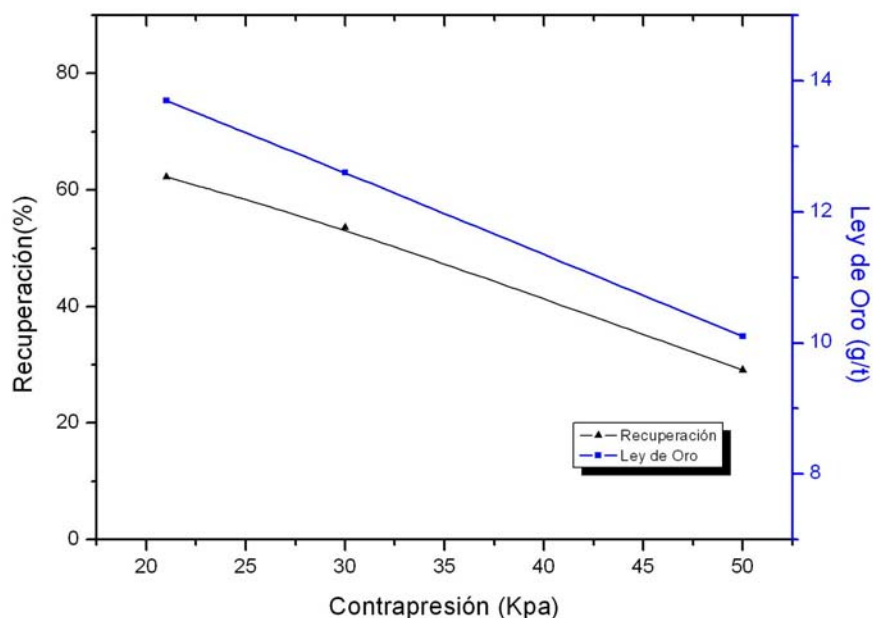


Figura 3. Efecto de la contrapresión en función de la recuperación y ley de oro.

La figura 4 muestra el efecto de la granulometría en función de la recuperación y ley de oro en el concentrado. En ella se observa claramente que se produce un aumento de la recuperación de oro cuando se disminuye la granulometría del material.

Se observa que la recuperación de oro se incrementa desde 49,1 hasta 82,5%, cuando al material se reduce desde una granulometría de 20 mallas a 200 mallas, usando una contrapresión final de 18 Kpa. La ley de oro en el concentrado se incrementa

de la misma forma desde 29,2  $\text{gt}^{-1}$  de oro hasta 88,3  $\text{gt}^{-1}$  de oro.

De acuerdo a los planteamientos anteriores se demuestra que la reducción de la granulometría del mineral permite una mejor liberación del oro contenido en la muestra, lo que conduce a una mejor recuperación y a un mayor enriquecimiento de oro en el concentrado. La granulometría óptima será aquella que se encuentre entre el costo de molienda y el ingreso por la mayor recuperación de oro.

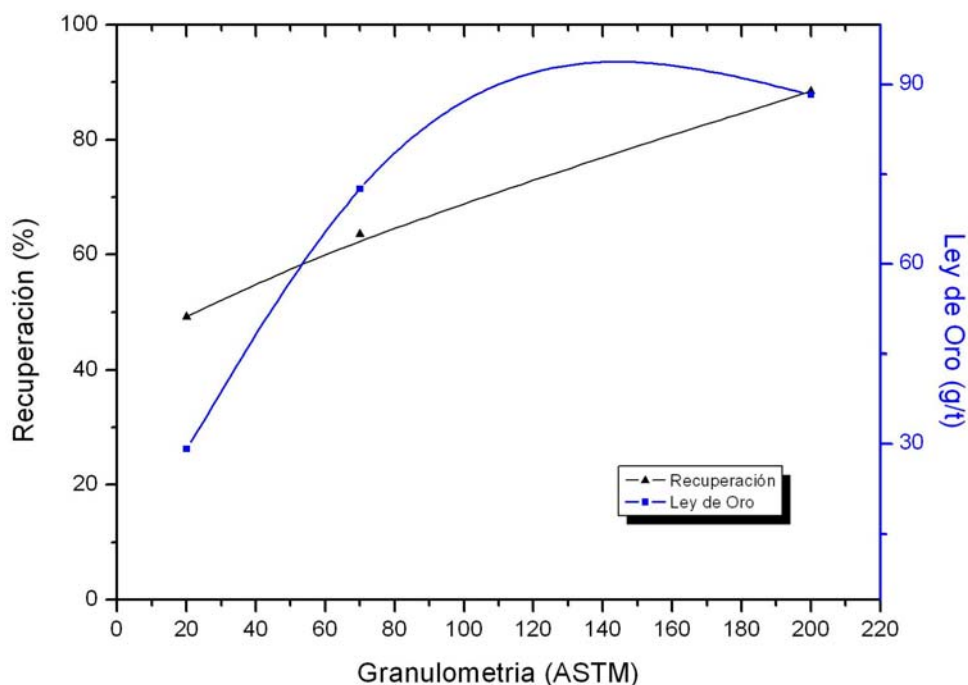


Figura 4. Efecto de la granulometría en función de la recuperación y ley de oro.

Dicho aumento podría deberse al hecho que la reducción de tamaño permite una mejor liberación del oro contenido en la muestra, lo que conduce a una mejor concentración gravitacional. El concentrador Knelson puede concentrar partículas mixtas cuando estas tienen un porcentaje de oro suficiente para dar un peso específico elevado a la partícula, pero es mucho más eficiente con partículas liberadas. De hecho se observó algunas partículas mixtas en los concentrados, lo que indica la falta de liberación, pero también la capacidad del equipo para concentrar parte de estos granos; por otra parte, la reducción de la contrapresión permite la concentración de las partículas de oro más finas, siendo menor la fuerza de la corriente de agua.

#### 4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este estudio es posible presentar las siguientes conclusiones:

- Las diferentes muestras, presentan recuperaciones que varían desde 35,5% hasta 80,9%, con leyes de oro en los concentrados entre 23,4 hasta 304,2  $\text{gt}^{-1}$ . Se puede indicar que el contenido de oro

grueso en la alimentación es la que produce buenos resultados y no la ley de oro total alimentado.

- Una menor contrapresión de agua produce una mayor recuperación de oro, para una contrapresión 21 KPa se obtiene una recuperación de 62,3% y una ley de 13,7  $\text{gt}^{-1}$  de oro.
- La granulometría del mineral es la variable más importante, pues los mejores resultados se logran a una granulometría 100% < 200 mallas, obteniéndose un concentrado con una ley de 88,3  $\text{gt}^{-1}$  y una recuperación de 89%.
- En función de los resultados, se comprueba que la incorporación de un concentrador Knelson en una planta tradicional, antes de la flotación, recuperaría parte del oro grueso no liberado y aumentaría la recuperación global de oro.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] N. Arredondo. Concentración de minerales. Departamento de Metalurgia, Universidad Arturo Prat, Apuntes, Iquique 2007.

[2] J. Ossandon. Concentración gravitacional a minerales de oro de plantas de ENAMI. Trabajo de Titulación. Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, Copiapó 2011.

[3] Mineral Commodity Summaries 2010, U.S. Department of Interior, U.S.G.S. 2010.

[4] SERNAGEOMIN. Anuario de la minería de Chile 2011.

[5] COCHILCO. Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1992-2011.

[6] M. Maggi, C. Vega. Beneficio de un Mineral de Tungsteno de la Región de Atacama mediante concentración

gravitacional y flotación. Trabajo de Titulación. Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, Copiapó 2008.

[7] A. Mella, J. Acevedo. Tentativa de Concentración de Oro desde Relave de Flotación, mediante espiral Humphrey", Trabajo de Titulación. Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, Copiapó 1987.

[8] L. Valderrama. Procesos de Concentración Gravitacional de Minerales. Universidad de Atacama, Apuntes, Copiapó 2003.

[9] IDICTEC. Determinación de la ley en oro grueso de un mineral. Universidad de Atacama, Procedimiento para oro, 2004.