

ISSN 2070-836X

APORTE SANTIAGUINO

Revista de Investigación

Volumen 5 n.º 1, enero – junio 2012

*Ciencia,
cultura,
tecnología
e innovación*



Huaraz, Perú



ARTÍCULOS ORIGINALES

Resistencias y costos unitarios de concretos elaborados con agregado grueso, piedra partida y canto rodado de la cantera Tacllán. [Resistance and costs unit of concrete produced with thick broken stone coarse aggregate and boulder from the quarry Tacllán].....	9
<i>Victor Raúl Villegas Zamora, Miguel Ronald Corrales Picardo</i>	
Modelos de las Intensidades – Duraciones y Frecuencias de las Tormentas en la estación Meteorológica Yanacancha San Marcos (Huari – Ancash). [Models of Intensity – Duration and Frequency of the Storms in Yanacancha Meteorology Station(Huari – Ancash)].....	14
<i>Toribio Marcos Reyes Rodríguez</i>	
Aplicación de técnicas difusas en las metodologías matriciales de la evaluación de impacto ambiental. [Application of fuzzy techniques in the matrix methodologies of environmental impact assessment].....	19
<i>Pedro Valladares Jara</i>	
Elaboración de instrumentos basados en el aprendizaje social para el proceso de extensión de educación ambiental en el ámbito de la comunidad campesina de Cátac, Ancash Perú, 2011. [Development of instruments based on social learning for the extension process of environmental education in the area of rural community Cátac, Ancash Perú, 2011]......	28
<i>Eladio Guillermo Tuya Castillo, Heraclio Fernando Castillo Picón, Jerónimo Víctor Manrique, Rosa Rodríguez Anaya</i>	
Evaluación del contenido de Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc en los suelos fluvisoles del Callejón de Huaylas entre los 1800 y 3 700 msnm, Ancash, Perú, 2011. [Evaluation of copper, iron, manganese and zinc content in the fluvisols of Callejón de Huaylas between 1800 and 3700 m.o.l, Ancash, Perú, 2011]......	36
<i>Juan F. Barreto R. y Gelar I. Huaytalla T.</i>	
Efecto de la pobreza en la degradación de los recursos naturales focales del Parque Nacional Huascarán. [Effect of poverty in the degradation of natural resources focus Huascarán National Park] ..	43
<i>Francisco Huerta B., Denis Mendoza R.</i>	
El lugar antropológico como variable fundamental para el desarrollo de la identidad cultural. [The anthropological place like fundamental variable for the development of cultural identity].	53
<i>Jorge Brower B.</i>	
Segregación en aves insectívoras con base en la morfometría del pico y la longitud total. [Segregation in insectivorous birds based on morphometry beak and the total length]	60
<i>César Chávez-Villavicencio, Carolina Sáenz-Bolaños y Manuel Spínola-Parallada</i>	

Proceso metalúrgico alternativo para la minería aurífera artesanal. [Alternative process for metallurgical artisanal gold mining].	68
<i>Vidal Aramburú R; Julián Pérez F; Pablo Núñez J; Ángel Azañero O; Sósimo Fernández S; Pedro Gagliuffi E; Pilar Áviles M; Sally Sedano A; Carlos Rivera R; Luis Sánchez Q.</i>	
Situación actual e importancia de las comunidades macrotérmicas y/o xerofíticas de la zona de Cupisnique. La Libertad, Perú, 2010. [Current status and importance of macrothermal and/or xerophytic communities in the area of Cupisnique. La Libertad, Peru, 2010].	74
<i>Freddy Mejia Coico, José Mostacero L., Luis Taramona R., Fernando Castillo P., José Vera R.</i>	
Modernización y festividades religiosas en la zona andina de Huaraz: el caso de Cóyllur, Paria y Unchus. [Modernization and religious festivities in Huaraz's andean zone: cases Coyllur, Paria and Unchus].	86
<i>Guillermo Gomero C., Dany Paredes A, José Yovera S.</i>	
El Decreto Legislativo N° 882 y la desnaturalización de la Universidad. [Article on the denigration of University Education].	94
<i>José Clemente Flores Barboza</i>	

25

Proceso metalúrgico alternativo para la minería aurífera artesanal

Alternative process for metallurgical artisanal gold mining

Vidal Aramburú R^{1a}; Julián Pérez F^{2b}; Pablo Núñez J^{1a}; Ángel Azañero O^{1a}; Sósimo Fernández S^{1a}; Pedro Gagliuffi E^{1a}; Pilar Áviles M^{1a}; Sally Sedano A^{1a}; Carlos Rivera R^{1a}; Luis Sánchez Q^{1a}.

RESUMEN

La muestra de estudio es mineral refractario con ley de 19.31 g/TM proporcionado por los mineros artesanales de Yangas, provincia de Canta, departamento de Lima.

La caracterización mineralógica de la muestra tiene minerales de: Oro, Calcopirita, Covelita, Calcosita, Esfalerita, Pirita, Arsenopirita, Magnetita, Hematita, Goethita, Rutilo y Gangas como se indica en tabla 1. Los minerales de mayor volumen son: Gangas, Pirita y Calcopirita, el oro es de 17 micras.

Se efectuaron pruebas metalúrgicas con el concentrador centrífugo Knelson con 5 Kgs. de muestra, fuerza de gravedad de 60 G's, presión de agua 3 psi y granulometrías de: 52.25%, 60.66%, 67.13% y 74.64% - 200 malla. La mejor prueba es con 67.13% - 200 malla, obteniéndose 300.20 g/TM de concentrado, 33.66% recuperación y 51.59 de radio de concentración (tabla 2).

En prueba de Cianuración a 24 horas, 300 RPM., 74.64% - 200 malla la recuperación de oro fue de 70.02%, consumo de 1.62 y 9.76 Kg/TM de cianuro y cal (tabla 3).

A 87.25% - 200 malla, 48 horas, 500 RPM., la recuperación es de 81.06%, 2.52 y 11.05 Kg/TM de cianuro y cal (tabla 4).

Palabras claves: Refractario, cianuración, mercurio, knelson.

ABSTRACT

The study sample is refractory ore grading 19.31 g / TM provided by artisanal miners Yangas province of Canta, Lima.

The mineralogy of the sample has minerals: Gold, Chalcopirite, covellite, Chalcocite, Sphalerite, Pyrite, arsenopyrite, magnetite, hematite, goethite, rutile and bargains as shown in Table 1. The minerals of greatest volume are: Bargains, Pyrite and Chalcopirite, gold is 17 microns.

Metallurgical tests were performed with the Knelson centrifugal concentrator with 5 kg of sample, gravitational force of 60 G's, 3 psi water pressure and particle sizes of: 52.25%, 60.66%, 67.13% and 74.64% - 200 mesh. The best test is with 67.13% - 200 mesh, yielding 300.20 g / MT of concentrate, 33.66% and 51.59 radio recovery concentration (Table 2).

As proof of cyanidation to 24 hours, 300 rpm. 74.64% - 200 mesh gold recovery was 70.02%, 1.62 and 9.76 consumption Kg / MT of cyanide and lime (Table 3).

A 87.25% - 200 mesh, 48 hours, 500 rpm., Recovery is 81.06%, 2.52 and 11.05 kg / MT of cyanide and lime (Table 4).

Key words: Refractory, cyanidation, mercury, knelson.

¹ FIGMMG-Universidad Nacional Mayor de San Marcos. ²Facultad de Ingeniería de Minas-Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo..

^a Ing. Metalúrgico, ^b Ing. de Minas

INTRODUCCIÓN

La minería artesanal empieza su desarrollo antes de 1988, explotando minerales de oro y cobre principalmente en las provincias de Palpa y Nazca (Ica), Lucanas y Parinacochas (Ayacucho), Caravelí, Condesuyos y Camaná (Arequipa), donde existían pequeños grupos de mineros informales, que en forma itinerante se desplazaban por diversos lugares del batolito costanero en la denominada “faja aurífera Nazca-Ocoña”.

A partir de 1989, como consecuencia de una serie de problemas sociales y económicos, se generó la actividad minera artesanal informal. A la fecha, aún no se superó el problema de empleo y por la coyuntura de altos precios internacionales del oro, la actividad minero artesanal se ha incrementado; pero con pocos avances en el proceso de formalización (Villachica, 1994).

En la minería artesanal las vetas que se explotan son del tipo “Rosario”, en forma de lentes inconexos tanto verticalmente como horizontalmente, de poca potencia. En la explotación se utiliza el minado selectivo (“circado” de vetas), que consiste en perforación, voladura y extracción de la roca que se encuentra debajo de la veta. El contenido mineral se extrae con sumo cuidado con punta, sin utilizar explosivos para evitar su dilución (Orozco, 2009).

El “pallaqueo” o selección constituye una técnica complementaria al minado selectivo y lo realizan generalmente mujeres (OIT, 2009)

En cuanto al procesamiento el mineral extraído es molido y amalgamado en quimbaletes (molinos de piedra). Concluida la molienda y amalgamación se separa la “amalgama” del resto del material (relave) y se procede a “refogar” para obtener el oro refogado. Los relaves de este proceso constituyen cabeza para las plantas de cianuración (Nuñez, 2008)

En los aspectos ambientales, las áreas de operación de la minería artesanal se desarrollan mayormente en zonas desérticas con escasa agua, flora y fauna por lo que las actividades extractivas (explotación) no originan impactos ambientales de importancia; en el procesamiento de minerales en quimbaletes se

usa mercurio en el proceso de molienda-amalgamación y posteriormente se quema la amalgama (Canseco, 1978). También se dan por el procesamiento, en pozas de cianuración que en su mayoría se han implementado sin ningún criterio técnico ambiental y sin autorización por las autoridades pertinentes (Nuñez, 2008).

MATERIAL Y MÉTODOS

• Materiales

Molino de bolas
Concentrador Knelson
Agitador con hélice
Balanza analítica
Estufa eléctrica
Mallas

• Reactivos

Cianuro de sodio
Nitrato de plata
Ácido oxálico
Cal

- **Método.** El método de investigación fue experimental, se realizó en los laboratorios de Ingeniería Metalúrgica e Ingeniería Geológica de la UNMSM.

El tipo de estudio es explicativo. La población de muestra fue de 5 Kg., de mineral refractario con ley de 19.31 g/TM proporcionado por los mineros artesanales de Yangas, provincia de Canta, departamento de Lima.

El muestreo fue realizado con un sistema de muestreo por puntos; los instrumentos de recolección de datos fueron la base de la información bibliográfica sobre el tema a investigar y algunos antecedentes de la recuperación del oro de los minerales refractarios a fin de sustituir el proceso de amalgamación que usa mercurio, por un proceso metalúrgico alternativo gravimétrico-centrifugación y cianuración previo análisis de costo beneficio y la contaminación ambiental.

En el siguiente cuadro se insertan los minerales observados y los que han intervenido en el análisis modal (tabla 1).

RESULTADOS

Pruebas metalúrgicas experimentales

■ Pruebas Metalúrgicas con el Concentrador Knelson (Tabla 2) Condiciones de la Prueba:

Peso muestra	:	5000 g
Fuerza de Gravedad	:	60 G's
Granulometría	:	67.13% - 200 malla
Presión agua	:	3 psi

■ Pruebas Metalúrgicas de Cianuración de los Relaves del Concentrador Knelson (Tabla 3) Condiciones de la Prueba:

Peso muestra	:	500 g
Relación L/S	:	2/1
Granulometría	:	74.64% - 200 malla
Tiempo de Cianuración	:	24 hrs
pH	:	10.5
Agitación	:	300 RPM
Consumo NaCN	:	1.62 Kg/TM
Consumo CaO	:	9.76 Kg/TM

■ Pruebas Metalúrgicas de Cianuración de los Relaves – Remolido (Tabla 4) Condiciones de la Prueba:

Peso muestra	:	500 g
Relación L/S	:	2/1
Granulometría	:	87.25% - 200 malla
Tiempo de Cianuración	:	48 hrs
pH	:	10.5
Agitación	:	500 RPM
Consumo NaCN	:	2.52 Kg/TM

Consumo CaO
11.05 Kg/T

DISCUSIÓN

- La muestra de mineral estudiado procede de la minería artesanal y es refractario, porque no pueden comercializar ni procesar con la amalgamación, porque se obtiene bajas recuperaciones de oro.
- La ley promedio del mineral de cabeza es 19.31 g/TM, teniendo en cuenta la cabeza calculada.
- La caracterización de la muestra nos indica la presencia de los siguientes minerales: oro, calcopirita, covellita, calcosita, esfalerita, pirita, arsenopirita, magnetita, hematita, goethita, rutilo y gangas, como podemos observar en la tabla N° 1.
- En la figura N° 1, encontramos partículas entrelazadas de oro con calcopirita y pirita, el tamaño más grande de oro es 17 micras, el resto del oro debe estar dentro de las especies

mineralógicas de los minerales sulfurados. Esto hace que el mineral sea refractario.

- La mejor prueba seleccionada con el concentrador Knelson es con granulometría de 67.13% - 200 malla, obteniéndose 300.20 g/TM de concentrado, 33.66% de recuperación y 51.59 de radio de concentración (Tabla 2).
- Los concentradores Knelson son capaces de recuperar partículas liberadas ultrafinas y hacer separaciones de alta calidad utilizando grandes campos centrífugos y trabajan solamente con agua, pero mucho depende de las características del mineral.
- La mejor prueba de cianuración de los relaves del concentrador Knelson, con la muestra sin remoler, con 24 horas de cianuración y 300 RPM de agitación, es 70.02% de recuperación de oro (Tabla 3).
- Remoliendo a una granulometría de 87.25% - 200 malla, 48 horas de cianuración y 500 RPM

de agitación, se llega a una recuperación de oro de 81.06% con consumo de cianuro de 2.52 Kg /TM (Tabla 4).

CONCLUSIONES

1. Por los resultados obtenidos de la investigación, se concluye que el concentrador gravimétrico-centrífugo Knelson puede trabajar como una pre-concentración, para recuperar oro libre y grueso para este tipo de mineral. Estos equipos solamente trabajan con agua.
2. Los relaves del concentrador Knelson, tienen que ser remolidos, aumentar el tiempo de lixiviación y agitación, para obtener una recuperación de 81.06%.
3. El proceso metalúrgico estudiado es una alternativa para la minería aurífera artesanal, porque reemplaza al proceso convencional de amalgamación, mejorando la recuperación de oro y evitando el uso del mercurio.
4. El proceso estudiado sirve también para que los mineros artesanales se agrupen y puedan procesar su mineral directamente, mejorando su rentabilidad y puedan formalizarse legalmente.
5. Las variables obtenidas en el presente trabajo de investigación, sirven como base para los estudios a nivel planta piloto.

AGRADECIMIENTO

Agradecer al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica; al Consejo Superior de Investigación; a la Dirección y Coordinación de la Escuela Académico-Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNMSM. También a la Empresa Goldex S.A. Finalmente, a los profesores y alumnos que han colaborado en el desarrollo del Proyecto de Investigación 2010 Con-Con N° 101601061.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Canseco, D.E. 1978. Metalurgia del oro y plata. Lima-Perú. Editorial UNI.
- OIT.2009. Trabajo infantil en minas y canteras-Lima.
- Olinda Orozco, Z. 2009. La Minería Artesanal en el Perú-Lima.
- Victoria Núñez, R. 2008. Gestión Ambiental en la Minería Artesanal-Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo-Lima.
- Villachica, C - Pascó Font, A. 1994. Minería informal aurífera y medio ambiente en Ica y Arequipa. Proyecto realizado por Grade para el AID-MEN - Lima.

Correspondencia:

Vidal Aramburú R
vidalaramburu@hotmail.com

Figuras y tablas

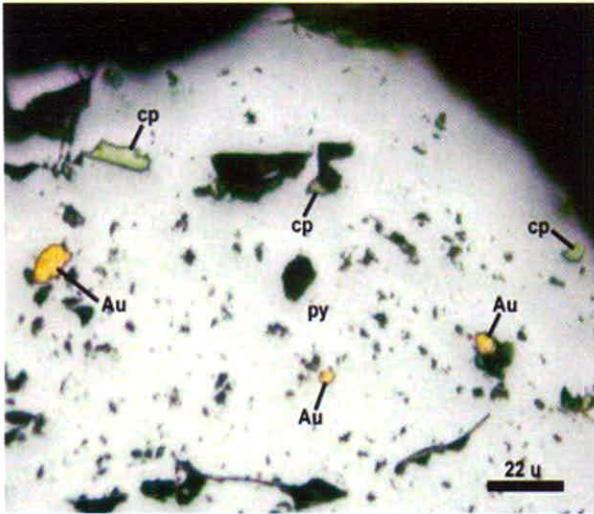


Figura 1. Partículas de oro (Au.) con calcopirita (cp) y pirita (py); nótese los tamaños de los granos de oro (Au), el más grande tiene 17 micras (0.017 mm) de longitud. 400X.



Figura 3. Interior del cono del concentrador Knelson



Figura 2. Operación con el concentrador Knelson



Figura 4. Proceso de Cianuración en el agitador

Tabla 1. Caracterización de la Muestra mediante Análisis Microscópico

Minerales	Formulas	Abreviatura
Oro	Au	Au
Calcopirita	CuFeS ₂	cp
Covellita	CuS	cv
Calcosina	Cu ₂ S	cc
Esfalerita	ZnS	ef
Pirita	FeS ₂	py
Arsenopirita	FeAsS	apy
Magnetita	Fe ₃ O ₄	mt
Hematita	Fe ₂ O ₃	hm
Goethita	FeO.OH	gt
Rutilo	TiO ₂	rt
Gangas		GGs

Tabla 2. Resultados de la Prueba con 67.13% - 200 malla

Componentes	Peso (g)	% Peso	Leyes de Lab.	Contenido	%	Rc.
			Au (g/TM)	Fino Au	Recuperación Au	
Cabeza	000.00	100.00	16.20	16.20	100.00	
Concentrado	6.91	1.94	300.20	5.84	33.66	51.59
Relave	4903.09	98.06	11.70	11.47	66.34	
Cabeza			17.29			

Tabla 3. Resultados de la Cianuración con 74.64% - 200 malla

	Peso (g)	Leyes de Au	Contenido Fino Au	% Au
Cabeza	500.00	15.00	75.00	100.00
Sol. Rica	1000.00	4.46	44.60	70.02
Relave	500.00	3.82	19.10	29.98
Cab. Cal.		12.74		

Tabla 4. Resultados de la Cianuración del Relave Remolido

	Peso (g)	Leyes de Au	Contenido Fino Au	% Au
Cabeza	500.00	15.00	75.00	100.00
Sol. Rica	1000.00	5.07	50.70	81.06
Relave	500.00	2.37	11.85	18.94
Cab. Cal.		12.51		