



Microfracturamiento producido por el Explosivo y el aumento de la disolución del Metal en una Mena oxidada de Cobre

Héctor Mario Fribla G.¹

1 Departamento de Ingeniería de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Atacama, Chile
E-mail: mfribla@plata.uda.cl

Resumen

El efecto de la cantidad de explosivos es investigada con el objeto de conocer cuál es la influencia de la voladura con respecto a la cinética de la lixiviación de un mineral oxidado, y cuál es la recuperación del metal que contiene. La mayor cantidad de explosivos permite obtener un mayor microfracturamiento que permite una lixiviación más eficiente. Este microfracturamiento se conoce a través de medir la superficie específica del mineral, permitiendo conocer cuál es la acción de la onda explosiva. Se extraen tres muestras de mineral oxidado de Cu de leyes diferentes, y se efectuaron pruebas de lixiviación columnar. Los resultados de la cinética de la lixiviación y de la recuperación del metal fueron positivos, es decir, aumentaron cuando aumentó la superficie específica o la cantidad de explosivo

Palabras claves: Microfracturamiento, lixiviación, superficie específica

Abstract

The effect of the quantity of explosives is investigated with the purpose to know which is the influence of the explosive with regard to the kinetic of the leaching of a mineral one oxidized, and which is the recovery of the metal that contains. The greater quantity of explosives permits to obtain a greater one microfracturing that permits a lixiviation more efficient. This microfracturing knows himself through measuring the specific surface of the mineral, permitting to know which is the action of the explosive wave. Three samples of mineral oxidized of Cu are extracted, and tests were performed of lixiviation columnar. The results of the kinetic of the lixiviation and of the recovery of the metal they were positive, that is to say, they enlarged when enlarged the specific surface or the quantity of explosive key

1. Introducción

El propósito primario de las operaciones unitarias en una mina, como son la perforación y la voladura, es fracturar las menas y rocas sólidas y preparar el material para la excavación y el transporte.

El antiguo paradigma de bajar los costos de perforación y voladura ya ha sido derribado y reemplazado por el nuevo paradigma de aceptación de un mayor costo de la voladura si, al final, integrando los costos de la conminución, el costo total es más bajo. Pero ahora aparece un nuevo paradigma, que establece que lo óptimo en la operación de voladura, es aquel que optimiza el costo total o la ganancia total, considerando además de la conminución el proceso mismo de transformación a producto final. Esto es válido para los casos de las minas que tienen procesos que permiten obtener el producto comercial directamente de la mena, sin pasar por el proceso de fundición y refinación. Estamos hablando de los procesos LX/EX/SW para el caso de menas oxidadas de Cu y para el caso de la cianuración de minerales de Au.

El presente trabajo tiene que ver con los resultados de una investigación para determinar el efecto que tiene el explosivo sobre la futura disolución del metal de un mineral oxidado de Cu, en el proceso de lixiviación, y que se relaciona con el párrafo anterior.

Con el objeto de llevar a cabo la investigación, se extrajeron muestras de mineral oxidado que, a ojo desnudo, parecían homogéneas. Estas se extrajeron de la Mina Socavón Rampa de la Compañía Minera Punta del Cobre S.A. de la localidad de Tierra Amarilla, Copiapó, Tercera Región, Chile.

2. Base teórica

Todas las rocas, exceptuando algunos ejemplos aislados de poco interés práctico, son porosas. Los poros en muchos tipos de roca, algunas calizas y areniscas por ejemplo, son de carácter distintivo obvio. En otras rocas, la fase porosa solo puede ser vista bajo un microscopio óptico o electrónico: un granito o una cuarcita, aparentemente sólido a ojo desnudo, muestra bajo un examen

cuidadoso, un conjunto de grietas las cuales producen una porosidad de alrededor del 1%. Aún simples cristales, excepto esas de la calidad de gemas, típicamente tienen una pequeña porosidad, pero medible. Hablamos de microgrietas abarcando microgrietas y microporos.

Las microgrietas en una muestra son un producto de su historia mecánica, termal y química, y las características de una muestra pueden ser completamente diferentes de otra, aún cuando se tomen en áreas cercanas. La diferencias en la fase porosa de las rocas son importantes, ya que la porosidad tiene un efecto importante en ciertas propiedades de la roca.

Siendo el interés del estudio saber lo que pasa con las microgrietas por efecto de los explosivos, examinaremos la base teórica básica que explican el crecimiento de éstas.

A.A. Griffith estudió la fractura frágil bajos esfuerzos en tensión, empezando por suponer que un material frágil contiene una población de grietas finas que producen concentraciones de tensiones de suficiente magnitud para superar la resistencia cohesiva en regiones localizadas, aún cuando la tensión nominal estuviese muy por debajo del valor teórico. Cuando una de las grietas se extiende para producir una fractura frágil, se produce un aumento del área de las superficies de las dos caras de la grieta. Esto exige energía para vencer a la fuerza de cohesión de los átomos o, dicho de otra forma, requiere un aumento de la energía superficial. El manantial de energía necesaria se encuentra en la energía de deformación elástica, que se libera cuando la grieta se extiende. Griffith estableció el siguiente criterio para la propagación de una grieta: Una grieta puede propagarse cuando la disminución de la energía elástica es al menos igual a la energía necesaria para formar las nuevas superficies de grieta. Estableció que para que se propague una grieta en un material frágil como función del largo de la grieta es:

$$\sigma = \left(\frac{2E\gamma}{\pi c} \right)^{\frac{1}{2}} = \text{Esfuerzo de tensión}$$

Donde:

$2c$ = largo de la grieta

E = Módulo de elasticidad

γ = Energía superficial

Ashby y Hallam.- Esta sección tiene que ver con el crecimiento de las grietas en compresión de grietas pre-existentes. Su conducta depende de la presión de confinamiento, como se muestra en la Figura 1. La compresión simple o radial mostrada en (a) y (d), causa unas pocas grietas que se propagan y combinan para dar fallamiento sobre planos paralelos al esfuerzo compresivo máximo (Slabbing).

Una presión de confinamiento modesta evita este ilimitado crecimiento de las grietas, el fallamiento ocurre entonces por la interacción de grietas para dar una falla de corte macroscópica mostrada en (b). Las presiones de confinamiento más grandes limita el crecimiento de grietas individuales aún más lejos, y la muestra se deforma en un modo pseudo-dúctil con deformaciones en gran escala, formado por muchas microgrietas muy cortas distribuidas homogéneamente, mostrado en (c).

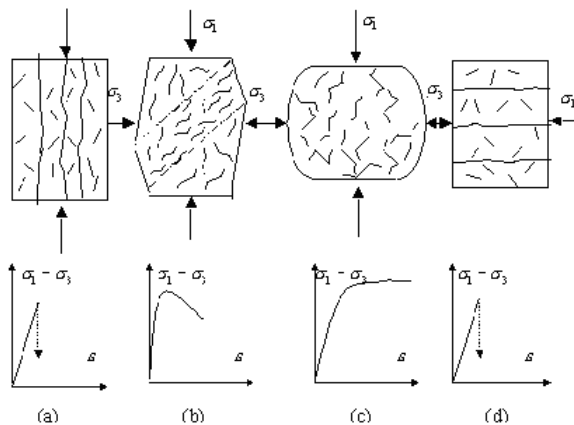


Figura 1: Modos de fractura en compresión

El crecimiento de una microgrieta bajo un ambiente compresivo se puede ver en la Figura 2, donde se observa que se producen las llamadas grietas "aladas" que se ubican en forma paralela a los esfuerzos principales, y las grietas secundarias que son coplanares con la dirección de la grieta. El largo de la grieta es $2a$. El largo de la grieta alada l . El

esfuerzo de compresión principal se transforma en

$$\sigma_{xx} \text{ y } \sigma_{yy}.$$

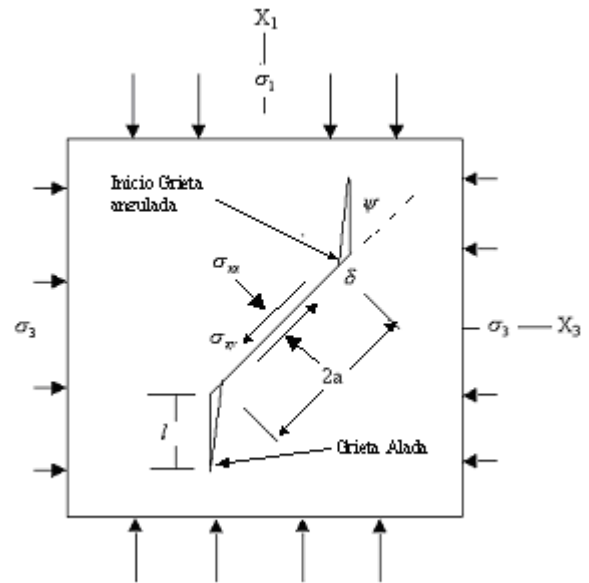


Figura 2: Grietas bajo esfuerzos de compresión

3. Método.

La metodología de la investigación tiene que ver con el tratamiento de las muestras extraídas de la mina Socavón Rampa de Cía. Minera Punta del Cu, de donde se cortaron bloques de prueba de 20x20x20 cm., que a través de una perforación central para la colocación del explosivo, se detonaron usando 2 y 4 gr. de un alto explosivo tipo PETN (Pentolita).

Las pruebas de microtronaduras se realizaron en galería existente en la Mina Escuela de la Universidad, confeccionándose un dispositivo especial para ello. El material fragmentado fue clasificado y luego chancado hasta tener una granulometría 100% bajo $\frac{3}{8}$ de pulgada.

El siguiente proceso tiene que ver con la etapa de simulación de una lixiviación en pilas, para esto se construyó una instalación de 6 columnas de PVC de 10.6 cm. de diámetro y 200 cm de alto, donde se efectuaron las pruebas de lixiviación columnar.

La mayor velocidad de disolución, que tiene que ver con el aumento de

microfracturas del mineral, que es medida a través de la superficie específica

3.1 Hipótesis.

La hipótesis general de trabajo queda planteada de la siguiente manera:

“El uso de una mayor cantidad de explosivos produce un mayor microfracturamiento y velocidad de disolución del metal en los minerales oxidados de Cu, existiendo una correlación positiva entre la mayor cantidad de explosivos (variable independiente) y la mayor velocidad (cinética) de disolución del metal (variable dependiente) ”

El aumento de las microfracturas se medirá por intermedio de un proceso de medición de la superficie específica del mineral, es decir, las superficies opuestas de las microgrietas o microporos, divididas por el peso de la muestra.

3.2 Procedimiento experimental

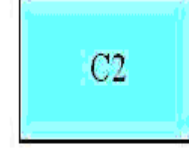
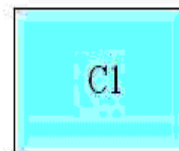
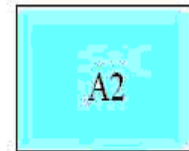
3.2.1 Esquema de investigación

Con el objeto de planificación de la investigación, se confecciona un esquema que muestra las distintas pruebas que se tienen que realizarse durante la investigación. Ver Figura 3. Se toman tres muestras (A,B,C) con dos sujetos cada una, el primer sujeto sirve como caso base o de control y el otro como experimental (igualación de sujetos). Cada una de estas muestras son detonadas con 2 gr de explosivo tipo PETN para las muestras 1 y de 4 gr para las muestras 2.

Como son dos sujetos tipo roca y que contienen minerales oxidados de cobre, y que van a ser sometidos a experiencias de voladura y lixiviación, la variable independiente es la cantidad de explosivo y las variables dependientes van a ser la cantidad de superficie específica (medida del microfracturamiento de la roca provocado por el explosivo), la cinética de la lixiviación y la recuperación de cobre del mineral en el proceso de lixiviación.

GRUPO DE CONTROL

GRUPO EXPERIMENTAL



E1

E2

CANTIDAD DE EXPLOSIVO : E1=2gr ; E2=4gr

Figura 3: Esquema investigación

3.2.2. Esquema experimental

Las actividades van desde el muestreo, la detonación de las muestras, sus análisis granulométricos, trituración, y el proceso de lixiviación columnar para obtener la solución rica y los rípios como productos finales. Ver Figura 4

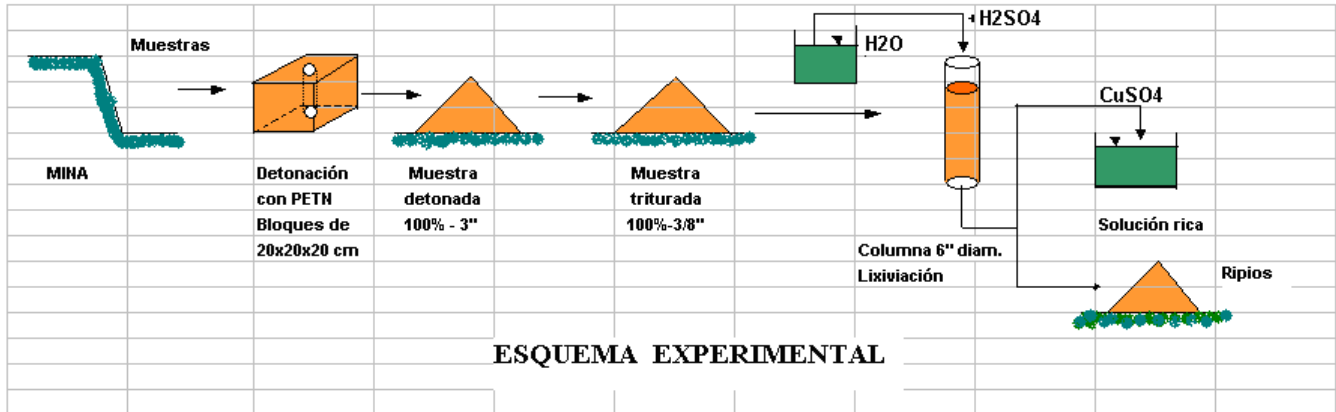


Figura 4. Esquema experimental tratamiento minerales oxidados.

3.2.3. Preparación de las muestras.

Una vez cortados los bloques de prueba y efectuada la detonación, se clasifica el mineral, se tritura posteriormente a 100% bajo 3/8" y se clasifica otra vez. Se realiza entonces una serie de análisis que son los análisis químicos, análisis de superficie específica del material detonado con 2 y 4 gr de explosivo, análisis de densidad aparente, densidad real y humedad. Los bloques de muestra se designan como A1, B1 y C1 y A2, B2 y C2. Se comparan entonces A1 y A2, B1 y B2, y C1 y C2.

3.2.4. Procedimiento de voladura.

Las voladuras de los bloques se efectuaron en el interior de la Mina Escuela de la Universidad de Atacama. La cantidad de explosivo adecuada se insertó en perforación efectuada en cada uno de los bloques, el PETN se unió a una guía negra que posteriormente se le prendió fuego. Con el objeto que las partículas de las voladuras se puedan recoger todas, un depósito de Fe se construyó para evitar pérdidas de mineral. Al resultado voladura se le hizo un análisis granulométrico. Ver Foto 1 y 2.

Muestras	% Cu total alimentación	% Cu soluble alimentación	Consumo de ácido Kg ác/Kg Cu
A ₁	1.11	0.83	25.39
A ₂	1.11	0.83	25.39
B ₁	1.96	0.85	5.2
B ₂	1.96	0.85	5.2
C ₁	0.91	0.22	92.71
C ₂	0.91	0.22	92.71

Tabla 1: Análisis muestras de mineral Cu oxidado



Figura 5.: Colocación del PETN en el centro del block



Figura 6.: Encendido mecha a fuego del bloque.

3.2.5 Medición Superficie Especifica

La medición de la Superficie específica se efectuó antes y después de la voladura, para las tres muestras y para los dos casos de cantidad de explosivos. Ver tabla 2.

Columna	Peso muestra	Tiempo análisis min.	Superficie específica m ² /gr
A1	5.81	135	13.8
A2	5.60	180	15.1
B1	5.14	220	3.43
B2	5.15	302	6.49
C1	5.30	145	1.17
C2	5.53	103	1.53

Tabla 2.: Resultados medición Superficie específica

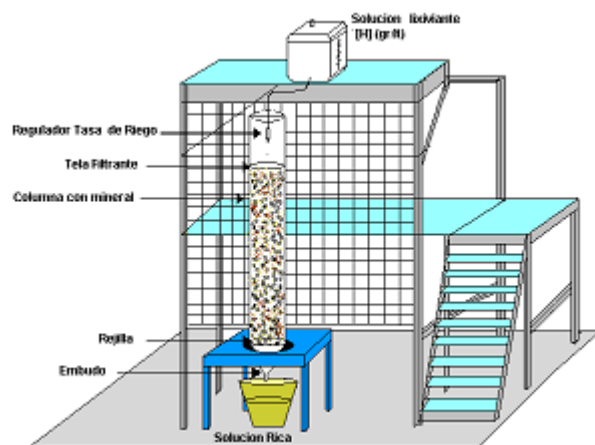


Figura 7.: Montaje columna con mineral

3.2.6. Lixiviación columnar

Las muestras detonadas y trituradas se lixivian en sendas columnas de PVC de 10.6 cm de diámetro y 200 cm de alto. Cada columna por separado tenía su depósito de CuSO₄. En promedio las pruebas duraron aproximado 26 días. Ver Figuras 7 y 8 con la construcción y disposición de las columnas respectivamente



Figura 8: Columnas de lixiviación para las muestras A, B y C

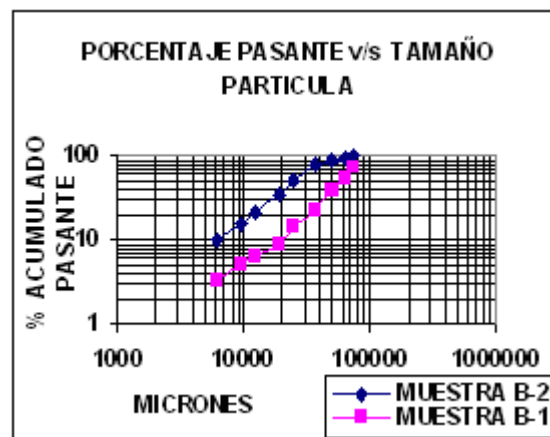


Figura 9.: Distribución granulométrica de muestras B de alimentación

4. Resultados experimentales

Efectuadas las lixiviaciones y con los antecedentes de la cantidad de explosivo usado,

la Cantidad de superficie específica y las recuperaciones de cada una de las experiencias, podemos combinarlas para poder visualizar cual podrian ser las relaciones entre estos parámetros. Solo se mostrarán los resultados de las muestras B.

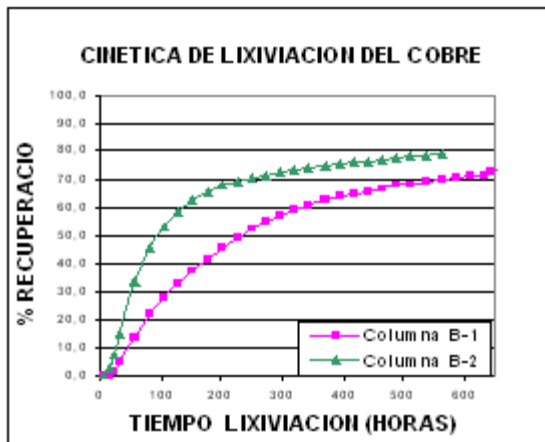


Figura 10.: Cinética de la lixiviación

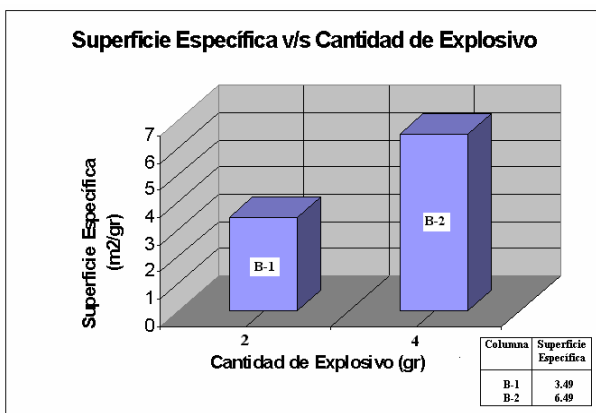


Figura 11.: Comparación superficie específica y cantidad de explosivos

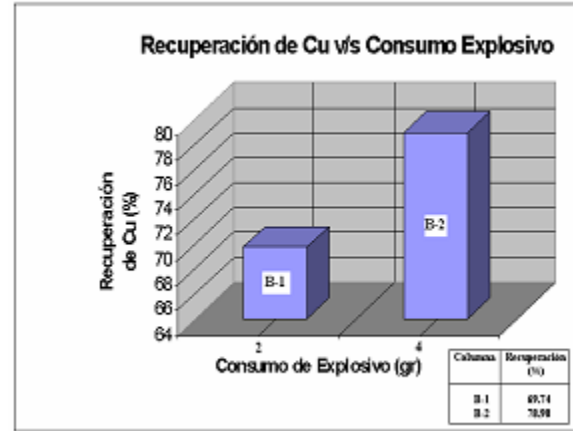


Figura 12.: Comparación Recuperación de Cu / Superficie específica

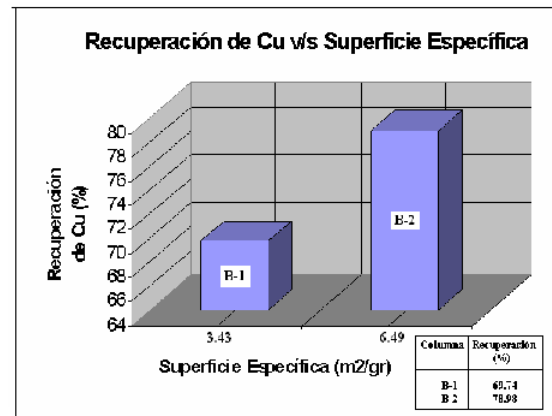


Figura 13: Comparación Recuperación de Cu (%) / consumo de explosivo

5. Conclusiones

El uso de mayor cantidad de explosivos produce en las muestras minerales un aumento de la Superficie Especifica después de la detonación, provocando una mayor cantidad de superficie de contacto por efecto de las microfisuras (microfracturas y microporos) que aumenta la superficie de contacto entre la solución lixivante y el sólido poroso.

El aumento de la Superficie Especifica del mineral, producto del uso de una mayor cantidad de explosivo, produce un aumento de la recuperación del Cu, esto para todas las

muestras que fueron afectadas por 4 gr de explosivos comparado con el uso de 2gr.

Como la mayor recuperación de Cu se produce por el aumento de la Superficie Específica, y este parámetro aumenta por el aumento de la cantidad de explosivo, se concluye que la mayor recuperación de Cu es producto de la cantidad de explosivo.

Los resultados de la investigación nos permite proyectarlos a todo tipo de minerales que sean lixiviables, minerales de cobre solubles en ácido sulfúrico, o minerales de oro solubles en cianuro, etc., así como también los minerales de cobre insoluble extraídos por la acción bacterial.

Agradecimientos

Mis agradecimientos son para la Universidad de Atacama que financió la investigación en un 52% del costo total, y a la Empresa Nacional de explosivos (ENAEEX) con un 48%. El proyecto universitario fue el PI-2000-F1-12 con resolución exenta N° 634.

6. Referencias

J.C Jaeger, N.G.W. Cook (1971): Fundamental of Rock Mechanies. Chapman and Hall Ltd.

Leonard Obert (1973): Rock Mechanies. SME Mining Engineering Handbook Volume 1, pag.6-13/6-34.

Edwin T.Brown, Charles Fairhurst and Evert Hoek, (Editores) (1993): Comprehensive rock engineering Principles. Volume 1. Pergamon press.

José E. Cortés (1996): Relación entre tronadura, microfracturas e incidentes de Bond en Mina Chuquicamata. Tesis de grado Universidad de Atacama de Copiapó.

M.F. Ashby and S.D. Hallam (1986): The failure of brittle solids containing small cracks under compressive stress states. Acta metal. Vol. 34 N°3. Pergamon Press Ltd.