



LA GEOMETALURGIA: UNA EXCELENTE HERRAMIENTA MULTIDISCIPLINARIA PARA LA VINCULACIÓN UNIVERSIDAD-INDUSTRIA

*EFRÉN PÉREZ SEGURA, JOSÉ CARLOS GASPAR, FRANCISCO BROWN

La geometalurgia es una herramienta que involucra a especialistas en el campo de la geología, la microscopía, la minería y la metalurgia extractiva para optimizar los procesos de explotación y beneficio de los minerales. Dicha herramienta ha tomado auge en el mundo en los últimos años, gracias a la comprensión de que las menas son combinaciones de minerales, no de elementos químicos y, puesto que todos los procesos tratan con minerales, son las características fisicoquímicas de éstos las que determinan las condiciones de un proceso de recuperación industrial. Considerando que la industria minera en México ha jugado un importante papel en el desarrollo nacional, que no existen en nuestro país laboratorios de investigación o de servicios que trabajen la geometalurgia y que la Universidad de Sonora cuenta con los especialistas necesarios para abordar este campo con éxito, se propone la conformación de un equipo humano que se vincule a la industria con este tipo de servicios.

DR. EFRÉN PÉREZ SEGURA
Universidad de Sonora, Departamento
de Geología
Correo: efrempese@yahoo.com

DR. JOSÉ CARLOS GASPAR
SERGEO – Serviços Geológicos et
Representações-Ltda.
Correo: gaspar@empresasergo.com.br

DR. FRANCISCO BROWN
Universidad de Sonora, Departamento
de Polímeros y Materiales
Correo: fbrown@guaymas.uson.mx

*Autor para correspondencia: Efrén Pérez Segura
Correo electrónico: efrempese@yahoo.com
Recibido: 5 de marzo de 2013
Aceptado: 11 de abril de 2013
ISSN: 2007-4530





INTRODUCCIÓN

A pesar de que desde hace mucho tiempo se conoce sobre la aplicación de la mineralogía a los procesos industriales (1), éste y otros aspectos de las rocas mineralizadas han sido resumidos en un ingenioso término acuñado en los últimos años: la geometalurgia (2, 3, 4).

La geometalurgia es una herramienta que integra información geológica, minera, metalúrgica y económica, para maximizar el valor actual neto de una mina, al mismo tiempo que se minimiza el riesgo operativo y técnico (5). Puesto que parte de la geometalurgia consiste en la caracterización de los minerales de mena y ganga, esto enlaza la variabilidad mineralógica y las texturas del depósito con un modelo de bloques en tres dimensiones (3D) y la relaciona con los costos. Lo anterior permite tener en cuenta la variabilidad de la mena en las previsiones de calidad y producción, en el diseño de la infraestructura y en el diagrama de flujo a lo largo de la vida productiva de una mina. La geometalurgia ha tomado gran auge en los últimos años y ha reivindicado a la geología económica en el sentido de que revaloriza su influencia en la ingeniería de procesos. El mayor trabajo de investigación en geometalurgia se hace actualmente en algunas universidades australianas, donde se cuentan numerosas tesis de doctorado sobre este tema, incluyendo el desarrollo de *software* especializado del tipo de *Mineral Liberation Analyzer* (MLA) adaptado al microscopio electrónico de barrido (MEB-EDS).

BASES DE LA GEOMETALURGIA

La importancia de la geometalurgia basa su principio en la comprensión de que las menas son combinaciones de minerales, no de elementos químicos y, puesto que todos los procesos tratan con minerales, son las características fisicoquímicas de éstos las que determinan las condiciones de un proceso de recuperación industrial. De una manera

más específica, a continuación se mencionan algunas de las bases que sustentan la geometalurgia:

- Las menas son combinaciones de minerales. Son entonces las características de éstos las que determinan las condiciones de los procesos industriales. La determinación y control de procesos basada sólo en una química general puede ser engañosa.

- Los depósitos minerales están formados por más de un tipo de mena.

- Los minerales de ganga son mucho más abundantes que los de mena. Estos minerales pueden determinar, por ellos mismos, condiciones de procesos de minado, quebrado, molienda, flotación, etcétera.

- En algunas menas el metal importante ocurre en más de un mineral. Los minerales tienden a presentar diferente comportamiento durante los procesos; las recuperaciones de un elemento pueden ser diferentes para diferentes minerales. Por otra parte, es el tipo de mineral de mena recuperado el que determina por ejemplo, la ley de un concentrado que alimenta a una fundición.

- No reconocer las aseveraciones previas, implica problemas en los procesos (*i.e.* baja recuperación). De donde las mezclas de menas de diferentes unidades geometalúrgicas, pueden ser la solución adecuada durante la vida de una mina.

- El modelo geometalúrgico es el resultado del conocimiento global del depósito mineral en lo referente a su mineralogía, química, comportamiento a los procesos y recuperación. Esto significa que no deberían ocurrir sorpresas significativas durante la vida de una mina.

INFORMACIÓN QUE PUEDE APORTAR LA GEOMETALURGIA

Toda la información que se deriva de un estudio geometalúrgico se puede utilizar en procesos relacionados con la evaluación de recursos, los métodos de explotación y

los métodos de beneficio de un mineral. A continuación se mencionan algunas de estas posibilidades de información:

- Relación de especies minerales, características texturales entre ellas, y leyes (Figuras 1 y 2).
- Relaciones entre minerales de mena y ganga.
- Concentración de elementos deseables o indeseables durante un proceso.
- Dureza del material (facilidad de molienda).
- Conocimiento de la mejor malla de liberación de las partículas minerales (Figura 3).
- Recuperación metalúrgica.
- Características de productos de desecho (terreros y jales de plantas de beneficio, escorias y polvos de fundiciones).
- Relaciones de la mena con el consumo de reactivos.
- Facilidades para la perforación durante la explotación o exploración.
- Facilidades para la fragmentación durante la explotación.
- Características de productos de fundición.

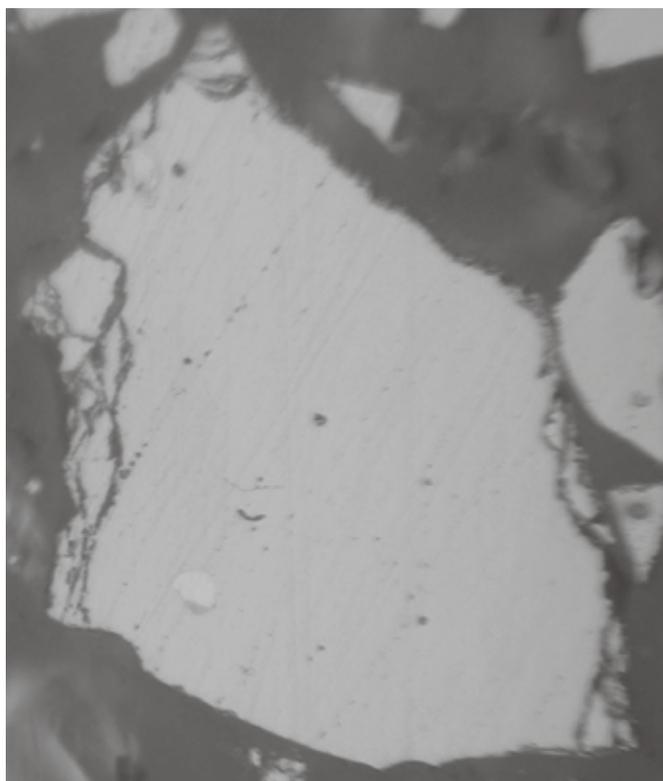


Figura 1. Concentrado de pirita. Fotografía al microscopio minerográfico mostrando la inclusión de un telururo de oro (flecha) en un grano de pirita. El tipo de mineral y su textura, plantea problemas en la recuperación del oro. El grano mide aproximadamente 0.15 mm. Foto: Efrén Pérez Segura.

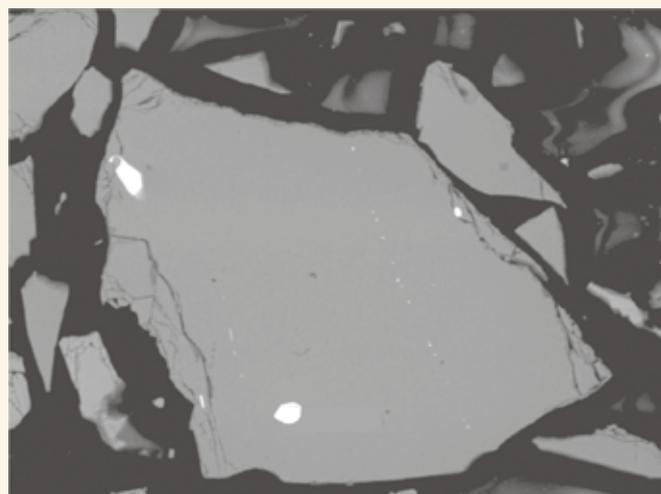


Figura 2. Imagen al microscopio electrónico de barrido (MEB) del mismo grano de pirita de la foto de la figura 1. Se observa la misma inclusión de telururo de oro y otras de la misma composición no observadas al microscopio minerográfico, algunas siguiendo el plano de cruceo de la pirita. La composición del mineral es de Te (66 %) y Au (34 %). Foto y análisis: Francisco Brown.

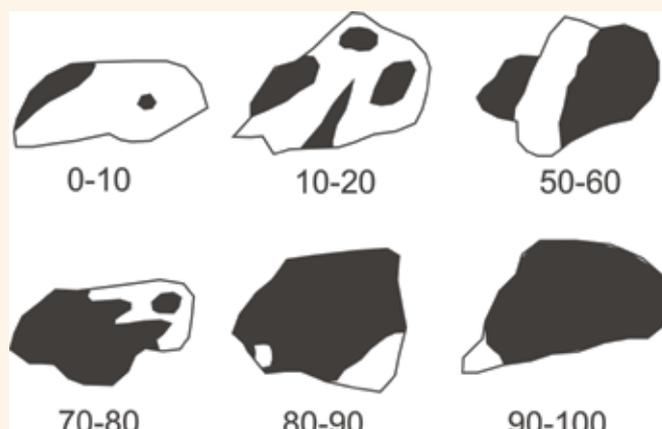


Figura 3. Diferentes grados de liberación de una partícula (negro). Los números representan el por ciento de mineral de interés en la partícula. Figura tomada de Petruk (6), modificada.

TÉCNICAS DE TRABAJO

Se considera que para la explotación y beneficio de minerales deben definirse unidades metalúrgicas que no forzosamente corresponden a los tipos litológicos o de alteración que se conocen en un yacimiento dado. La definición de una unidad geometalúrgica se debe hacer de común acuerdo entre el geólogo, el ingeniero de minas y el ingeniero metalurgista y depende del tipo de roca, de alteración, de la mineralogía de mena y ganga y de la morfología y texturas minerales. Por su importancia, una

unidad geometalúrgica debe representar por lo menos un 5 o 10% del volumen de recursos económicos explotables. Todos los datos de un estudio geometalúrgico se pueden introducir como variables geoestadísticas en el *software* especializado de las minas conocido genéricamente como “el modelo”. En “el modelo” se fundamenta el plan de minado y las variables geometalúrgicas se pueden traducir en cálculos económicos por bloques, desde antes de que el mineral sea enviado a una planta de beneficio.

Como toda actividad de investigación que trabaja con muestras, lo más importante es la representatividad de la muestra que, en este caso, debe ser extrapolable a decenas o centenas de miles de toneladas de mineral. Por lo tanto, quienes se involucran en un estudio geometalúrgico participan activamente desde la selección y toma de muestras, hasta un reporte final. Las técnicas de trabajo van desde la escala hectométrica hasta la escala microscópica. Una metodología general involucra los siguientes aspectos:

- Cartografía geológica de detalle en el yacimiento (Reconocimiento de litología, tipos y grados de alteración, tipos y grados de mineralización).
- Descripción detallada de núcleos de barrenos de diamante (Reconocimiento de los mismos parámetros anteriores y selección de tramos para muestreo).
- Muestreo de rocas mineralizadas representativas y de tipos de mineral para compósitos (Con el objeto de definir unidades geometalúrgicas y realizar trabajo de detalle al microscopio).
- Estudio de láminas delgadas y secciones pulidas al microscopio polarizante (Definición de las características mineralógicas, litológicas y texturales al microscopio)
- Estudios de difracción de rayos X, principalmente método Rietveld (Composición de minerales específicos, principalmente arcillas y proporciones generales no identificadas al microscopio petrográfico).
- Estudios al microscopio electrónico de barrido (MEB) con EDS (*Energy Dispersive System*) (Composición específica de los minerales y texturas a esta escala).
- Utilización de un programa informático como MLA (*Mineral Liberation Analyzer*) o equivalente, adaptado al MEB-EDS (Programa que permite un conteo automatizado de partículas por composición y cálculo del grado de liberación de las partículas).
- Reconciliación entre composición química global de muestras y fracciones calculadas con base en las composiciones de los minerales específicos y la composición modal (mineralógica) de la muestra.

POSIBILIDADES DE VINCULACIÓN

La industria minera en México ha jugado un importante papel en el desarrollo nacional y el estado de Sonora se ha consolidado como uno de los estados líderes en producción minera. Por otra parte, la Universidad de Sonora cuenta con personal académico altamente calificado en las áreas de geología económica, ingeniería de minas y metalurgia extractiva. Cuenta también con carreras de licenciatura y de maestría en las mismas áreas y con una infraestructura en laboratorios que incluye microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS), laboratorios de análisis de minerales y *software* para el modelado minero como el que se usa en las minas en explotación. Considerando que no existen en el país laboratorios de investigación o de servicios que realicen trabajos de geometalurgia, se considera que esta disciplina constituye una excelente oportunidad para realizar trabajo multidisciplinario de vinculación con la industria minera. Para esto es necesaria la conformación de un equipo humano que pueda ofertar a la industria este tipo de servicios altamente especializados. La ventaja de este esquema es que ya se cuenta con personal académico especializado, con estudiantes a nivel licenciatura y maestría para realización de tesis y, lo más importante: no es necesaria la adquisición de infraestructura física, ni mucho menos la conformación de un aparato burocrático nuevo.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Pérez Segura, E. (2003). *Contribuciones de la minerografía a los procesos industriales de recuperación de minerales*, Conferencia de ingreso a la Academia de Ingeniería (AI), México, D.F. 28 p.
- 2) Lamberg, P. (2011). *Particles-the bridge between geology and metallurgy*, Conference in Minerals Engineering, Alatalo, J. (ed), Lulea, 978-91-7439-220-3, p. 1-16.
- 3) Hallowell, M. (2009). *Geometallurgy for mine data*, Materials World, 17 (7), p. 48-50.
- 4) Dobby, G., Bennett, C., Bulled, D. and Kosick, G. (2004). *Geometallurgical modeling – The new approach to plant design and production forecasting/planning, and Mine/Mill Optimization*, Proceedings of 36th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, January 20-22, 2004. Ottawa, Canada, Paper 15.
- 5) SGS (2013). Recuperado el 01 de Julio de 2013, de <http://www.sgs.mx/en/Mining/Metallurgy-and-Process-Design/Geometallurgy/Geometallurgy-Framework.aspx>.
- 6) Petruk, W. (2000). *Applied mineralogy in the mining industry*, ELSEVIER, Amsterdam, 268 p.

