

12. LIXIVIACION DE MINERALES DE EXOTICA¹

F. J. G. Ugarte²

A. Teodoro

1. Apresentado ao II ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINERIOS E HIDROMETALURGIA - COPPE/UFRJ
2. Ingeniero Consultor de Minmetal (Minería y Metalurgia Consultores); Professor Departamento de Minas, Univ. de Chile; Professor Univ. de Concepción.

Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais

COPPE / UFRJ

1. Introducción

El mineral de Exótica está ubicado en la provincia de Antofagasta en la parte norte, desértica, de Chile. Está prácticamente adyacente a Chuquicamata a una altura de 2.500 metros sobre el nivel del mar. Este yacimiento pertenece a la Compañía Minera Exótica, empresa estatal de la Gran Minería del Cobre. Posee una reserva aproximada de 150 millones de toneladas de mineral oxidado de Cu, con una ley promedio de 1,5%.

La explotación se programó para una producción diaria de mineral de 30.000 toneladas, de las cuales originalmente se esperaba extraer 315 toneladas de cobre fino por día, haciendo uso de la antigua planta de lixiviación por percolación de Chuquicamata.

Desgraciadamente las metas de producción desde un comienzo no pudieron ser cumplidas debido a los problemas metalúrgicos presentados por los minerales de Exótica.

Para solucionar estos problemas se han realizado numerosos estudios que analizaremos a continuación. Veremos también las alternativas posibles de tratamiento y el proceso finalmente elegido, que consiste en una primera etapa, en la construcción de una planta de lixiviación por agitación de 1.200 ton./día, de carácter experimental, en base a la cual se definirá la planta definitiva.

2. Antecedentes

2.1. Mineralogía del Yacimiento

El problema de la recuperación de cobre del yacimiento de Exótica está íntimamente ligado al grado de alteración de los minerales presentes. Estos minerales han sido clasificados en tres tipos metalúrgicos, de acuerdo a su grado de alteración (producción de finos):

- Tipo 1 - Roca fresca no alterada. Mineral aceptable para percolación.
- Tipo 2 - Roca medianamente alterada. Parcialmente aceptable para percolación; este tipo metalúrgico es el menos común.
- Tipo 3 - Roca alterada. Es inaceptable para percolación. Un gran porcentaje está constituido por arcillas y micas.

En cada uno de estos 3 tipos pueden presentarse varias asociaciones de mineral y ganga. Los 3 tipos presentan un total de 16 asociaciones diferentes agrupadas de la siguiente forma:

Tipo 1

- C - 1 Es una diorita de grano fino que contiene crisocola y otros silicatos con proporciones variables de Cu, Zn y Fe (Copper pitch). Además esta asociación presenta óxidos de Mn que contienen Cu íntimamente ligado (Copper-wad). El copper-pitch y el copper-wad se presentan en venillas con yeso y limonita.
- C - 2 Asociación similar al C-1, pero con un mayor contenido de copper-pitch.
- C - 5 Es una anfibolita de grano medio a grueso, con impregnaciones de crisocola en feldespatos. También presenta copper-pitch y copper-wad en venillas con yeso y limonita.
- C - 8 Es una asociación de granodiorita de grano grueso, con los minerales de Cu anteriormente nombrados.
- C - 9 Asociación similar a la C-8 predominando el copper-wad y copper-pitch.
- C - 12 Esta asociación es una grava cementada conteniendo atacamita como cemento. El copper-wad y la limonita son escasos también se presenta yeso en el cemento.
- C - 13 Asociación similar a la anterior predominando el copper-wad sobre la atacamita.
- C - 14 También es una grava cementada conteniendo crisocola en el cemento y en forma de venillas, además de copper-pitch y atacamita.

De todas estas asociaciones, las más importantes son la C-1, C-5, C-8 y C-12.

El Tipo metalúrgico 1 comprende alrededor del 70% del yacimiento.

Tipo 2

- C - 3 Es una diorita de grano fino que contiene copper-wad y atacamita en venillas. El yeso es escaso y se presenta en fracturas, también se encuentra limonita.
- C - 4 Es una asociación similar a la anterior, pero conteniendo más atacamita. Es una asociación escasa.

C - 7 Es una anfibolita de grano grueso, que contiene copper-wad y atacamita en venillas y diseminado, también contiene limonita.

Tipo 3

C - 6 Es una anfibolita de grano medio a grueso, que contiene copper-wad en venillas y diseminado. La atacamita es escasa.

C - 10 Es un granito de grano grueso, contiene atacamita diseminada siendo el copper-wad escaso.

C - 11 Es una granodiorita de grano grueso que contiene copper-wad en venillas y diseminado, también contiene atacamita y limonita.

C - 16 Es una grava alterada en la que predomina el copper-wad. Es la más importante asociación del tipo 3, constituyendo 2/3 de él. El otro tercio lo constituye prácticamente la Asociación C-11.

El tipo metalúrgico 3 comprende alrededor de 25% del yacimiento.

2.2. Problemas en el tratamiento actual de los minerales de Exótica.

De acuerdo a la clasificación anterior, solamente el mineral tipo 1 es recomendable de percolar. Sin embargo, incluso con este tipo de mineral se producen problemas de "channeling", debido al contenido de 10% bajo 100 mallas en el mineral chancado a 65% bajo 3/8". Esto ha significado extracciones promedio de 65% en la percolación. Se piensa que una separación de finos majoraría el tratamiento del mineral tipo 1.

Originalmente se intentó introducir a la percolación ciertos porcentajes del tipo 2 y tipo 3 junto con el tipo 1, pero desgraciadamente no se tuvo resultados positivos. Actualmente sólo se trata el mineral tipo 1 por percolación.

Los minerales tipo 2 y tipo 3, que es necesario remover de la mina, han sido acumulados en varios stock-pile, entre los cuales podemos nombrar el botadero n° 4 que contiene, a la fecha, sobre 3.000.000 de toneladas de mineral con leyes sobre 1.6% de Cu. Como veremos más adelante, el mineral tipo 3 presenta el problema adicional de la presencia de cierta cantidad de cobre "insoluble" que hace necesario procesos especiales de lixiviación.

Fuera de los problemas referentes a percolación la mineralogía compleja de los minerales de Exótica ha afectado

también la electrodeposición a partir de las soluciones de la percolación de minerales tipo 1. Estos problemas son causados por la producción, en la lixiviación, de coloides, iones y sólidos en suspensión que hacen bajar enormemente la eficiencia de la corriente eléctrica y producen cátodos de mala calidad.

Se espera que estos problemas se solucionarán mediante una clarificación de las soluciones y una posterior purificación por extracción con solventes. Actualmente se están realizando pruebas en una planta piloto de un galón por minuto y próximamente se terminará la construcción de una de 50 galones por minuto. Ambas plantas han sido diseñadas por Power Gas Ltd. de Inglaterra y usan LIX 64 M como extractante.

2.3. Características del Mineral Tipo 3

Las distintas asociaciones que comprende este tipo de mineral presentan las siguientes características mineralógicas generales:

La ganga del mineral tipo 3 es fundamentalmente arcillosa pudiendo alcanzar hasta un 50% del volumen de la roca. Sus principales constituyentes, en orden de abundancia son: caolín, clorita, montmorillonita, sericita. Otros minerales subordinados son: cuarzo, feldespato y máficos alterados. Los minerales de cobre presentes en este tipo de mineral son principalmente: copper-wad y atacamita. La crisocola es escasa. Además, los análisis químicos arrojan la presencia de cierta cantidad de Cu "insoluble" (0,5%).

En un principio se pensó que el Cu "insoluble" pudiera deberse principalmente al copper-wad, pero si bien es cierto que contribuye en parte, no es componente principal de éste. También se pensó que la presencia de sulfuros de Cu diseminados, de tamaño muy pequeño fueran los responsables de esta insolubilidad. De hecho se ha detectado la presencia de pequeñas partículas de calcopirita y covelina, pero no constituyen más que un máximo de un 0,1%.

Pruebas de lixiviación standard realizadas con las 16 asociaciones de mineral y ganga demostraron que las recuperaciones de Cu dependen más bien del grado de alteración de la ganga que de la especie mineralógica portadora presente.

Estudios mineralógicos sistemáticos realizados con los rípios de las lixivitaciones anteriormente nombradas, han mostrado la presencia de vermiculita, micas hidratadas y montmorillonita en las cuales se ha detectado la mayor parte del Cu insoluble presente en el mineral tipo 3.

Aunque no está claro el origen de la presencia de Cu en las arcillas y micas, se presume que se debe a un inter

cambio iónico ocurrido durante la formación del yacimiento. Este intercambio se ha realizado en tal forma que resulta muy difícil la reextracción sin que tenga que alterarse la red cristalina. Casos similares han sido recientemente expuestos (1).

La explicación dada para la presencia de Cu en arcillas y micas es la siguiente:

Durante la formación del yacimiento las soluciones conteniendo Cu y otros elementos provenientes de los sulfuros primarios, disueltos por la acción combinada de agentes atmosféricos, aguas subterráneas y bacterias presentes, penetraron las rocas no solamente en las fracturas y grietas (donde precipitan minerales del tipo malaquita o brochantita) sino también en los silicatos con estructuras de capas. A esto se le llama impregnación.

La penetración de estas soluciones dentro de los silicatos está controlada por la expansión característica de cada tipo. El fenómeno de "impregnación" no está restringido totalmente a los silicatos y puede por ejemplo presentarse en muchos tipos de limonitas. Además del fenómeno de "impregnación" se cumple en estos casos el fenómeno de intercambio iónico propiamente tal., especialmente en el caso de la montmorillonita.

La crisocola misma puede asimilarse a los silicatos con estructuras de capas; el magnesio, dispuesto entre las capas de sílica y agua, es intercambiable por Cu. Esto explica su gran variación en el contenido de Cu, y la relativa facilidad con la que es extraído mediante lixiviación ácida.

Fuera del problema de recuperación causado por las arcillas, mencionaremos más adelante los problemas presentados en la separación sólido líquido, en la cual las arcillas tipo bentonita, también presentes en el mineral de Exótica, pueden llegar a producir pulpas no decantables.

3. *Proposiciones de Tratamientos Metalúrgicos para el Mineral Tipo 3.*

Se han propuesto varios métodos de tratamiento para el mineral tipo 3. Los más importantes son los siguientes:

3.1. *Processo Cucaro (LURGI)*

La base de este proceso es alterar las características de la roca mediante un pretratamiento térmico. Consiste en someter el mineral molido, a una tuesta reductora en hornos

rotatorios, usando 0,5% de petróleo Bunker - C como agente reductor (fig. 1). Mediante este proceso el cobre se reduce a Cu metálico que se lixiviado en un agitador con una solución amoniacal de carbonato de amonio, usando aire como agente oxidante. Luego se separa los sólidos de los líquidos mediante decantación y lavado en contracorriente y la pulpa espesada se hace pasar por columnas donde se recupera el CO_2 y al NH_3 calentando con vapor. La solución rica pasa a una sección de filtración fina y enseguida por las columnas de separación, donde al separar el NH_3 y CO_2 mediante vapor de baja presión, se descompone el complejo cupro-amoniacoal y se precipita carbonato de cobre. Después de separar la materia sólida del líquido, el carbonato de cobre llega a la sección electrolítica donde se disuelve en un electrolito de ácido sulfúrico para ser transformado en cobre catódico. La mezcla de NH_3 , CO_2 y vapor de H_2O de las columnas, pasa a un sistema de absorción en el que se transforma en solución fresca. Mediante este proceso, la LURGI sostiene que puede recuperarse un 82% del cobre total. Pruebas de laboratorio realizadas en Chile con diferentes muestras del mineral no han permitido reproducir estas recuperaciones.

El proceso LURGI, además de su complejidad y altos costos de inversión y operación, tiene el inconveniente del uso de amoníaco, reactivo de alto costo y escaso en Chile.

3.2. Proceso Resín in Pulp. (RIP)

Este proceso consiste en una lixiviación por agitación (en pachucas), usando ácido sulfúrico y con el mineral molido 100% bajo 100 mallas. La pulpa proveniente de la lixiviación se neutraliza y se pone en contacto con resinas sólidas de intercambio iónico. La extracción se realiza en contracorriente usando columnas especiales. Enseguida la resina se eluye con ácido sulfúrico, regenerándose y reproduciéndose un electrolito que se envía al electrowinning. El electrolito gastado vuelve a la lixiviación.

La recuperación alcanzada por este método es del orden de 65%, que sería dado por la lixiviación en pachucas a temperaturas de alrededor de 60°C durante una hora de lixiviación.

Las ventajas de este proceso serían las de evitar la separación sólido-líquido y lavado en contracorriente en espesadores de la pulpa de lixiviación, operaciones difíciles para minerales arcillosos y además puede obtenerse una solución con un nivel de impurezas apto para electrowinning.

Estudios económicos han demostrado que es un proceso de altos costos de inversión y operación. Existen además

problemas técnicos aún sin resolver como ser el bloqueo de la resina en ciertas condiciones de operación.

En general, estos procesos están en una etapa muy incipiente de desarrollo.

3.3. *Proceso de Lixiviación - Precipitación - Flotación.*

Este tratamiento fue también sugerido para evitar la separación sólido-líquido. Desgraciadamente, debido a la gran cantidad de arcilla presente en el mineral, se ha encontrado en el laboratorio que es muy difícil poder obtener leyes aceptables en la flotación del cemento.

Antes de analizar el proceso de Lixiviación Ácida, que es con el que se tratará el mineral tipo 3 en la Planta de 1.200 ton. por día, debemos mencionar algunos otros procesos que se investigan a escala de laboratorio, pero desgraciadamente sin resultados positivos. Tenemos por ejemplo el proceso consistente en un intercambio básico de altas temperaturas, mediante sulfato de sodio o sulfato de potasio en condiciones oxidantes. Tampoco dio los resultados esperados la lixiviación con SO_2 , pues si bien disuelve completamente el copper-wad, no se justifica el uso de este reactivo por su escaso efecto en la recuperación total, debido a la limitada cantidad de este mineral.

4. *Proceso de Lixiviación Ácida por Agitación*

Frente a las alternativas ya nombradas se ha tomado la decisión de usar el proceso de lixiviación ácida por agitación, para lo cual se construye una planta de agitación experimental de 1.200 ton. por día.

Las razones determinantes de esta decisión fueron que se espera una recuperación de alrededor de 65 a 70% del cobre, con costos relativamente bajos de inversión y operación para esta planta experimental.

El bajo costo de inversión se debe a que se cuenta con la mayor parte del equipo necesario para la planta y el costo de operación está favorecido por el consumo relativamente bajo de ácido sulfúrico. Por otra parte, la simplicidad de un proceso de este tipo lo hace especialmente atractivo cuando ya se cuenta con experiencia en plantas similares, como es el caso de Chile.

El proceso de lixiviación ácida por agitación consiste en:

- 4.1 - Lixiviar el mineral tipo 3 con ácido sulfúrico en agitadores mecánicos. Se considera hacer uso de temperatura.
- 4.2 - Separar sólido de líquido mediante un lavado en contracorriente.
- 4.3 - Recuperar el cobre de la solución rica.

Analizaremos a continuación algunos aspectos importantes de estas 3 etapas.

4.1. Lixiviación

Una curva típica de lixiviación del mineral tipo 3 versus tiempo se muestra en la figura 2. Puede verse que la lixiviación es muy rápida en la primera hora, disminuyendo notablemente después de las dos horas.

Se han efectuado numerosas pruebas a escala de laboratorio para estudiar las distintas variables que influyen en la recuperación de Cu. Pudiendo concluirse que la más importante de todas es la temperatura de lixiviación. La figura 3 muestra el efecto de la temperatura en la recuperación de Cu, para las distintas condiciones y muestras de mineral indicadas en la tabla 1. El marcado efecto de la temperatura en la recuperación se debe a las características mineralógicas especiales ya explicadas anteriormente.

Las otras variables como son granulometría, tiempo de lixiviación y dilución, tienen un efecto mucho menos pronunciado sobre la recuperación. Sin embargo, la granulometría, por ejemplo, debe controlarse cuidadosamente para evitar problemas en la sedimentación, como veremos más adelante. El consumo de ácido, siendo una variable importante, va a estar determinado por: la temperatura de operación, la dilución, el tiempo de residencia en la lixiviación y también por la eficiencia del lavado en contracorriente que debe producir un nivel de ácido libre conveniente para la cementación.

Resumiendo podemos decir que las condiciones más adecuadas para la lixiviación son las siguientes:

- Granulometría: 100% - 28 mallas (evitando al máximo fracciones bajo 200 mallas).
- Temperatura : 60°C
- Dilución : 1/1 (en peso)
- Consumo de ácido: alrededor de 45 Kgs./ton. de mineral.

- Tiempo de residencia : 4 horas.
- Agitación : agitadores helicoidales tipo Denver en estanques cilíndricos con baffles.

4.2. Separación Sólido-Líquido

La pulpa proveniente de la lixiviación debe separarse y lavarse en contracorriente mediante espesadores. Debido a las características del mineral tipo 3, este punto es especialmente crítico. El gran contenido de finos de tipo arcilloso lo hacen muy propenso a sedimentaciones deficientes, llegándose en casos de muy alto contenido de finos (sobre 60% bajo 200 mallas) a producirse pulpas tixotrópicas no decantables (3).

Se ha efectuado un estudio de sedimentación de la grava alterada tipo 3 (asociación C - 16) que es el material más difícil de decantar. Los resultados obtenidos demuestran que es imprescindible el control de los finos y el uso de floculantes para tener áreas económicamente adecuadas de espesadores. En este estudio se usó el método de Coe y Clavenger para las pruebas sin floculantes, y el método de Talmage y Fitch (4,5) basado en la teoría de Kynch, para las pulpas floculadas. La figura 4 muestra el efecto de la concentración del floculante SEPARAN MG 700 en la sedimentación.

Los cálculos demuestran que usando concentraciones de floculantes de 20 gr. por toneladas, se puede emplear los espesadores de 100 pies de diámetro con que contará la planta. Las condiciones recomendadas para el lavado son las siguientes: Se usará 6 espesadores de 100 pies de diámetro en contracorriente con una razón de agua de lavado de 2/1. Debido a la importancia de la floculación se usará pequeños mezcladores mecánicos para hacer el contacto sólido-líquido antes de cada espesador, y en estos puntos se adicionará la dosis correspondiente del floculante. En carácter experimental se probará también un circuito de lavado en paralelo con ciclones, para aliviar el trabajo de los espesadores.

4.3. Recuperación del Cu de la Solución Rica.

Para esta etapa se han propuesto 3 alternativas que serán probadas en la planta de 1.200 ton./día. Estas son las siguientes:

4.3.1 - Cementación mediante granallas de arrabio

Este proceso que ha sido desarrollado y patentado en Chile, consiste en usar granallas de arrabio como material cementante para el Cu. La cementación se realiza en precipitadores rotatorios continuos.

Las ventajas de este proceso son:

- Producción de un cemento de Cu muy puro y grueso que permite un refinado a fuego directo para obtener cobre comercial de alto valor.
- Uso de un reactivo de procedencia nacional.
- Gran eficiencia del proceso que permite plantas de tamaño menor que las de cementación con chatarra.

4.3.2 - Cementación con chatarra

La cementación con chatarra correinte está contemplada también usando precipitadores rotatorios que serán los mismos que se usarán con granallas.

4.3.3 - Extracción por solventes más electrowinning

Este método también se considerará debido a su interés y al hecho de que se contará con una planta piloto de 50 galonas por minuto en Chuquicamata y probablemente con una planta comercial para las soluciones provenientes de la percolación del mineral tipo 1.

Si bien es cierto que actualmente hay una tendencia mundial de usar extracción por solvente más electrowinning, por sus ventajas económicas, el proceso de cementación por granallas de arrabio presenta muchos atractivos para las condiciones chilenas que justifican su consideración.

Finalmente, antes de pasar a los detalles del diagrama de flujo para la Planta de 1.200 ton/día, debemos mencionar que se efectuó una prueba a escala semi-industrial, con 5.000 toneladas de mineral, en una planta de 500 ton/día de la Compañía Minera Sali Hochschild (Planta DJANCOS; Copiapó, Chile). El balance de esta prueba fue positivo, recuperándose prácticamente el 70% del Cu. Cabe señalar que sólo en parte de la prueba se usó temperatura. En la tabla siguiente se dan las condiciones y resultados más importantes de esta prueba.

TABLA Nº 2

<u>PRUEBA EN PLANTA DJANCOS</u>	
Tonelaje tratado	4.325 toneladas húmedas 4.383 toneladas secas
Leyes	1.13% Cu total 0.81% Cu soluble
Cemento producido	43,47 toneladas secas 79,68% de ley
Porcentaje de recuperación	69,4%
Consumo total de ácido sulfúrico	213,533 ton. 48,7 Kgs. de mineral
Consumo de chatarra	51,96 ton.

5. Diagrama de Flujo para la Planta de 1.200 ton./día

La figura 5 muestra un diagrama de flujo de la Planta de 1.200 ton/día, cuya construcción ya se ha iniciado.

El mineral es traído de los botadores adyacentes mediante camiones y descargado en una tolva primaria de recepción de 250 toneladas. La tolva descarga el mineral sobre un chancador primario Allis Chalmers de 30" x 55", giratorio.

El mineral chancado es transportado mediante correas a un chancado secundario efectuado mediante un cono Symons SH de 5 1/2", enseguida y luego de un muestro, el mineral se almacena en dos acopios de 4.000 toneladas cada uno diseñados especialmente para las características arcillosas del mineral. De estos acopios y siempre por correas transportadoras, el mineral se lleva a un chancado terciario efectuado mediante 1 chancadora giratoria de 4 1/2" (Cono Symons SH). Se contempla una futura ampliación instalando una segunda chancadora de igual característica. El producto resultante se almacena en dos acopios de finos de 1.000 toneladas de capacidad, desde donde es llevado a dos molinos de bolas Marcy de 8 pies por 9 pies; trabajando en circuito cerrado con 2 ciclones Krebs de 20" con rebalse a 28 mallas.

Debemos hacer notar que se está estudiando la incorporación de molinos de lavado tipo Blade-Mill en alguna par

te del circuito que se determinará experimentalmente, para evitar una sobre molienda de finos.

La pulpa producida en los molinos es llevada a 5 estanques agitadores Denver de 18 pies de diámetro por 18 pies de alto dispuestos en serie, en donde es adicionado el ácido sulfúrico. La pulpa lixiviada se hace llegar al circuito de espesadores, compuesto por 6 espesadores de concreto de 100 pies de diámetro con mecanismos Dorr-Oliver controlados automáticamente por medidores de pulpa de rayos gamma. Antes de cada espesador, están dispuestos los estanques mezcladores mencionados anteriormente.

La solución rica del primer espesador se almacena en 2 estanques, desde donde es bombeada a la planta de cementación, cuyos detalles no pueden ser dados a conocer aún por estar la patente del proceso por granallas en trámite.

Los equipos precipitadores serán 8 tambores rotatorios de acero inoxidable, en los que se obtendrá finalmente el cemento de Cu.

Agradecimientos

Deseo expresar mis agradecimientos al Gerente General de la Compañía Minera Exótica, Sr. Roberto Franck, y a la firma consultora, Minería y Metalurgia Consultores, por haber autorizado la presentación de este trabajo. Finalmente, debo mencionar que la mayoría de las pruebas de laboratorio se han realizado en los laboratorios del Departamento de Minas de la Universidad de Chile.

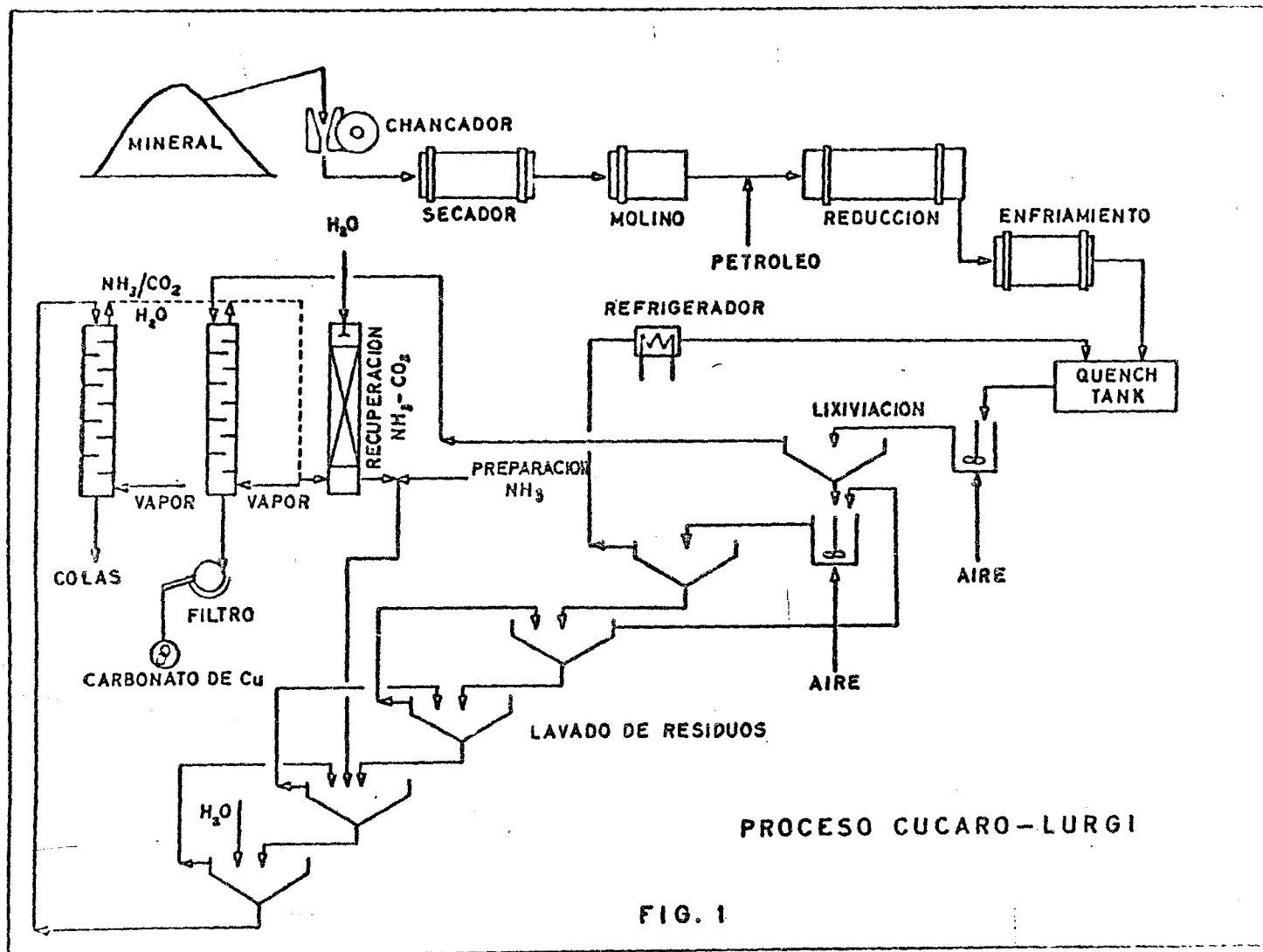
Referencias

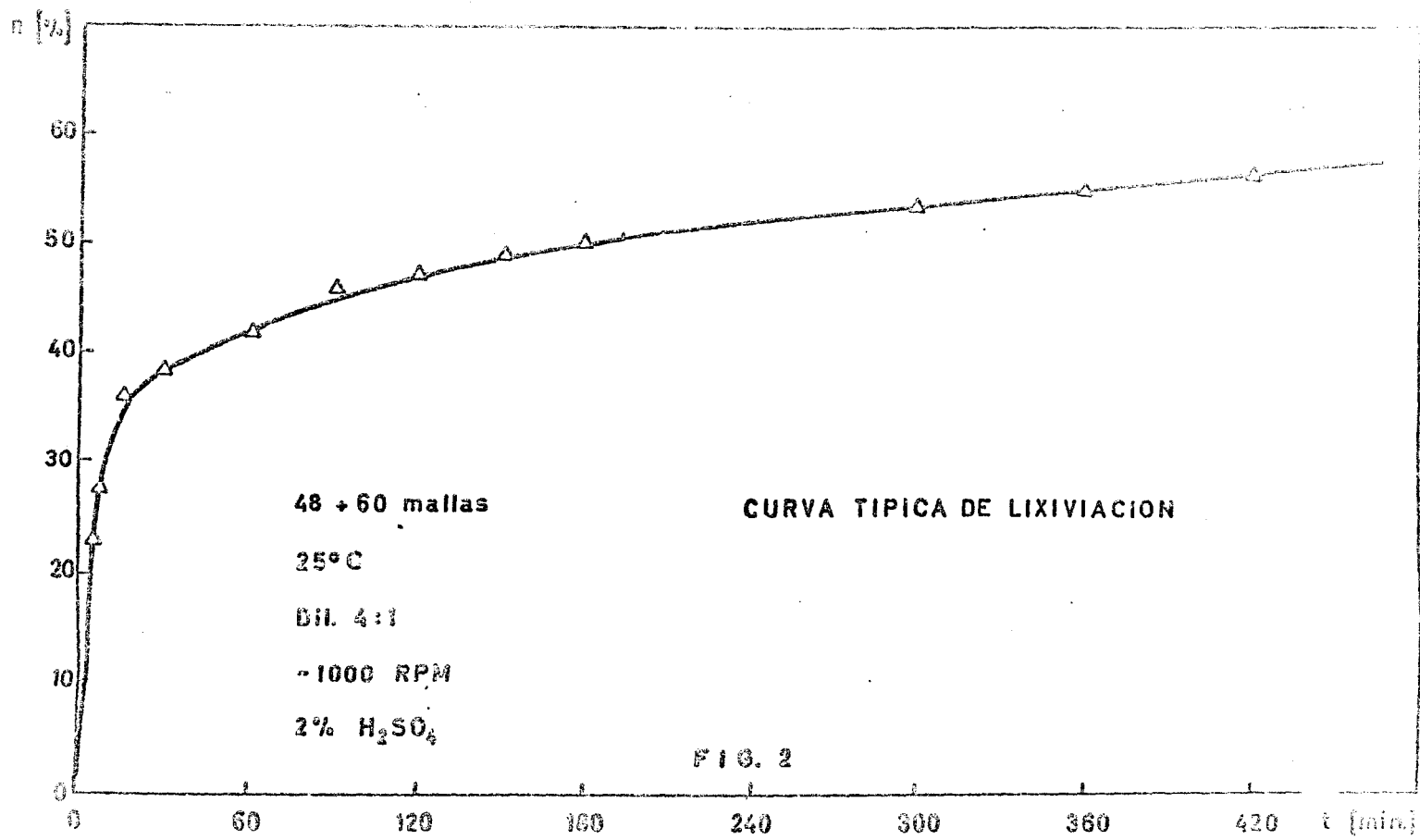
1. Laszlo Dudas, Lerman Maas, Roshan Shappu; Solution Mining Symposium, Chapter 14, Dallas, 1974.
2. Dosterwych-Gastuche, Van M.C. "La Structure de la Chrysocoll". C.R.Acad.Sc. Paris 271, Serie D, 1970.
3. S.Irshai, A. Mitzmager and H.Sandler; Unit Processes in Hydrometallurgy, Ed.M.Wadsworth, 1963.
4. W.P.Talmage and E.B.Fitch; Ind. and Eng. Chem., vol.47, nº 1, January 1955.
5. E.B.Fitch; Chemical Engineering, August 1971.

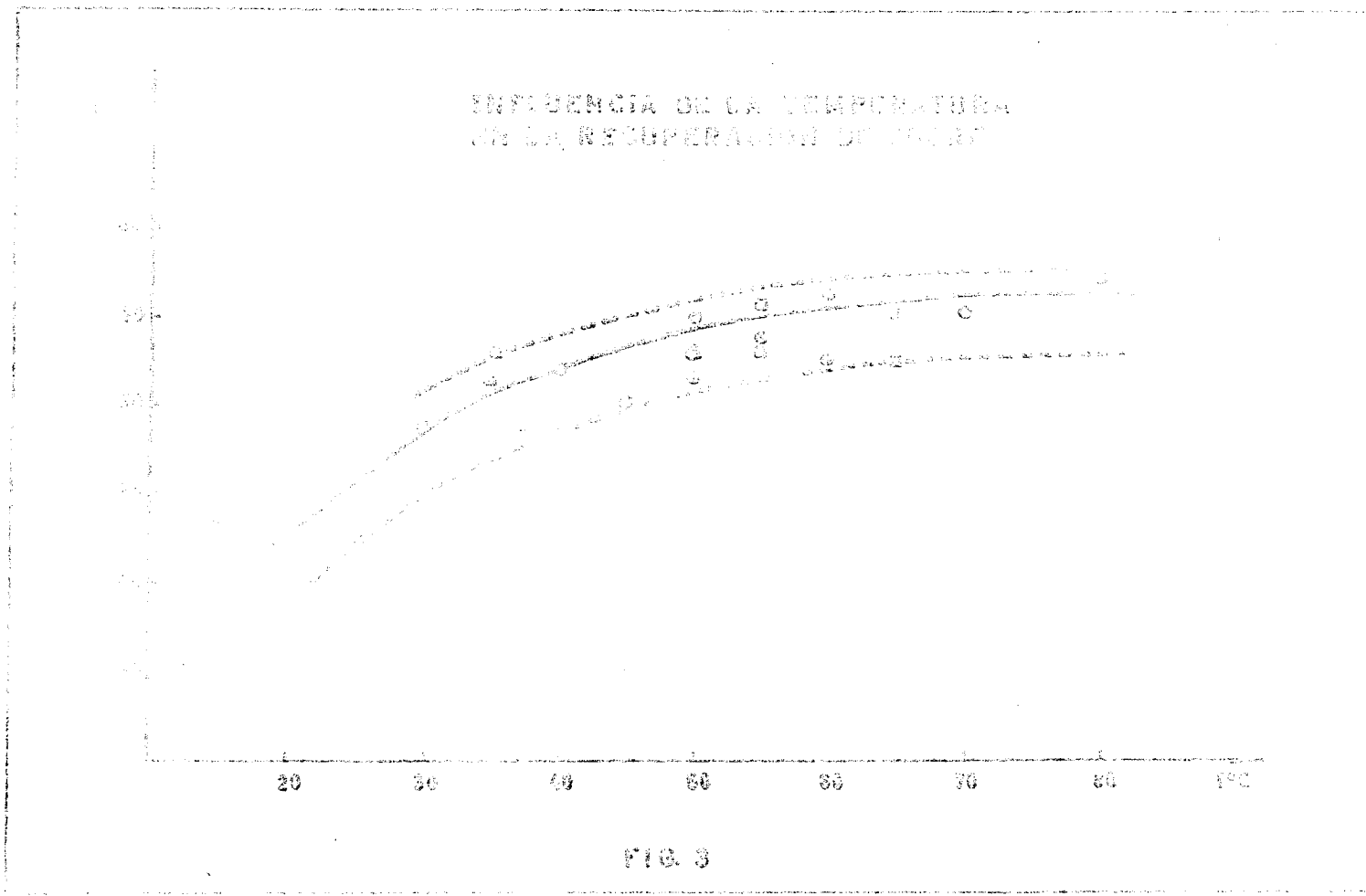
T A B L A 1

DATOS DE LAS PRUEBAS MOSTRADAS EN LA FIGURA 3

	Granulometría	Tiempo (horas)	H ₂ SO ₄ (%)	Dilución	Ley de mineral (%)
○	100% - 35 mallas	6	5	3/1	1.20
●	46% - 200 "	8	-	-	1.20
◉	100% - 100 "	1	-	-	1.79
□	100% - 100 "	6	5	4/1	1.80
▣	100% - 100 "	6	2	1.5/1	1.80
△	100% - 100 "	6	5	1.6/1	1.80
▲	100% - 60 "	6	2	4/1	1.19
▣	100% - 60 "	8	2	3/1	1.77
◉	100% - 100 "	4	3	1/1	1.72
⊙	100% - 60 "	6	2	4/1	1.80







SEDIMENTACION DE MACHAL 100

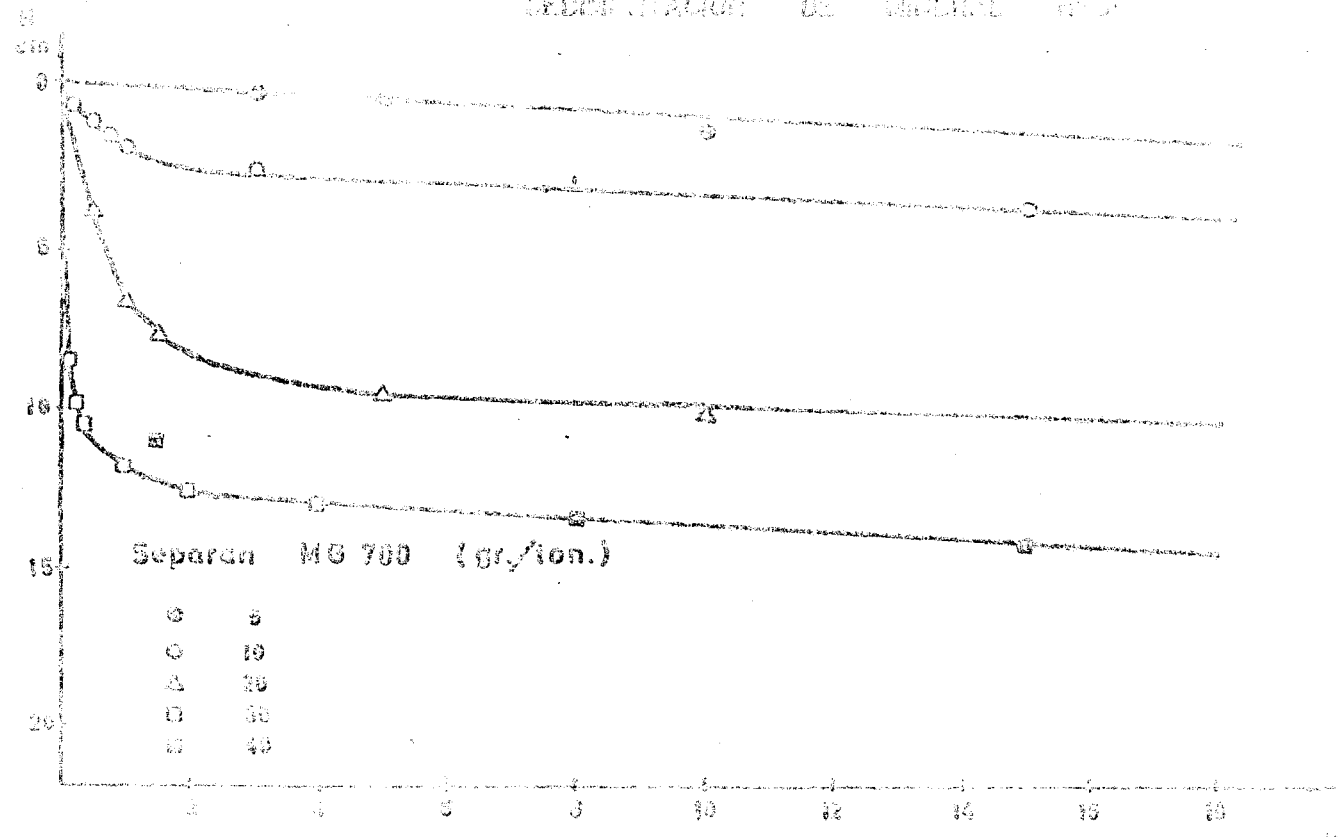


FIG. 4