

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA,
MINERA Y METALURGICA**



***Recuperación de Cobre de Minerales
Oxidados en la Mina Condestable***

INFORME DE INGENIERIA

Para optar el título profesional de
INGENIERO METALURGISTA

Eloy Mario Perez Bonifacio

**LIMA - PERU
1994**

RECUPERACION DE COBRE DE MINERALES OXIDADOS EN LA MINA CONDESTABLE

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO 1.- ASPECTOS GENERALES

- 1.1.- Ubicación geográfica
- 1.2.- Historia de la mina
- 1.3.- Geología
- 1.4.- Mina
- 1.5.- Planta Concentradora
- 1.6.- Producción histórica

CAPITULO 2.- TECNOLOGIA

- 2.1.- Estudio de materia prima
 - 2.1.1.- Composición mineralógica
 - 2.1.2.- Reserva y ley promedio del mineral
 - 2.1.3.- Densidad del mineral
- 2.2.- Fundamentos de la lixiviación
 - 2.2.1.- Generalidades
 - 2.2.2.- Termodinámica y cinética
 - 2.2.3.- Lixiviación de oxidos de Cobre
 - 2.2.4.- Métodos de lixiviación
 - 2.2.5.- Agentes de lixiviación
 - 2.2.6.- Efecto de aglomerado y curado
 - 2.2.7.- Lixiviación en película delgada
- 2.3.- Fundamentos de la cementación
 - 2.3.1.- Generalidades
 - 2.3.2.- Equipos para cementación

2.4.- Trabajo experimental

2.4.1.- Análisis granulométrico

2.4.2.- Lixiviación ácida a nivel de
vasos

2.4.3.- Lixiviación ácida a nivel de
columnas.

CAPITULO 3.- INGENIERIA

3.1.- Parámetros de diseño

3.2.- Diseño y selección de equipos

3.3.- Descripción del proceso

3.4.- Diagrama de flujo

3.5.- Balance de materia

CAPITULO 4.- EVALUACION ECONOMICA

4.1.- Inversiones

4.2.- Producción

4.3.- Costo de producción

4.4.- Análisis económica

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

En la mina Condestable se cuenta con 350,000 TMS de mineral oxidado con una ley de 1.67% de Cu total, 1.15% de Cu oxidado, producto de la explotación de tajo abierto RESURRECCION siendo depositados en los stocks desde el año 1,978. El año de 1,988 se decidió iniciar los estudios para la recuperación del cobre de los minerales oxidados por el sistema de HEAP LEACHING (LIXIVIACION EN PILAS) y obtener como producto final cemento de cobre con 85% de Cu, por la inversión inicial alta en la actualidad no es posible la alternativa de obtener cátodos de cobre.

Como conclusión de todo lo anterior, se construyó la planta para recuperar cobre de todos los minerales oxidados, se inició las operaciones como prueba en Junio de 1,993. La planta consta de : chancado, Aglomerado, Lixiviación y Precipitación de cobre.

CAPITULO I

CONSIDERACIONES GENERALES

1.1.- UBICACION GEOGRAFICA

La mina Condestable, productora de concentrados de cobre se encuentra ubicada en el Departamento de Lima, Provincia de Cañete, Distrito de Mala, en el paraje Bujama Alta a 4 Km de carretera afirmada saliendo del kilómetro 89.5 de la panamericana sur. El área corresponde a las primeras estribaciones andinas, con alturas que oscilan entre 100 y 450 metros sobre el nivel del mar, sus coordenadas geográficas son 76°35' longitud oeste y 12°42' latitud sur.

1.2.- HISTORIA DE LA MINA

La mina ha sido trabajada por óxidos a pequeña escala por el Sr. G. Vanini, antes de 1960.

En Julio de 1961, se iniciaron los trabajos de reconocimiento geológico por la Nippon Mining Co.

En Agosto de 1961, se firma un contrato de exploración con esta empresa extranjera.

El 14 de Noviembre de 1962, se formó la Compañía Minera Condestable S.A.

En Julio de 1964, comenzó la explotación de éste yacimiento a razón de 300 TM/Día y 2.5% Cu.

En Agosto de 1969 se amplió la capacidad de la Planta Concentradora a 600 TM/Día.

El 29 de Enero de 1976, la Nippon Mining Co. dona la mina Condestable al Gobierno Peruano por intermedio del Ministerio de Energía y Minas.

En Noviembre de 1977, se iniciaron los trabajos de desbroce del tajo abierto "RESURRECCION", llegando a producir las primeras TM de mineral en Noviembre de 1978.

En Setiembre de 1981, se amplió la capacidad de la Planta Concentradora a 1,100 TM/Día.

Finalmente, en Diciembre de 1986, se amplía nuevamente la capacidad de la Planta Concentradora a 1,350 TM/Día.

1.3.- GEOLOGIA

Geología Regional

Las tres partes del área de nuestras concesiones están cubiertas por rocas sedimentarias y volcánica sedimentarias depositadas en ambiente marino, el resto lo forman intrusivos: granodiorita-tonalita y dolerita.

Metamorfismo Local.- En general, podemos decir que el metamorfismo está limitado a los contactos de rocas intrusivas con sedimentos y rocas volcánicas, se

manifiesta por la presencia de hornfels dentro de una aureola de alteración.

Metasomatismo.- Se manifiesta por la presencia de abundante actinolita, tremolita y calcita, principalmente en los sedimentos calcáreos (calizas y lutitas). Esta zona es la de mayor interés para la explotación.

Estructura.- Las rocas sedimentarias han sido falladas e intrusionadas por cuerpos igneos irregulares. El rumbo de los estratos divide al yacimiento Condestable en dos áreas productivas importantes. La primera situada al techo de la gran falla Condestable; formada por los yacimientos A-AN-E y E'. La segunda situada al piso formado por los yacimientos B-C y un sistema de vetas angostas.

Geología del Depósito

El yacimiento metálico Condestable es epigenético formado por reemplazamiento metasomático de sedimentos calcáreos de la "formación Chilca".

La mineralización se encuentra dentro de un aureola de alteración asociada al intrusivo diorítico dactico y controlada por los sistemas de fallamiento pre-mineral.

Estructura del Yacimiento.- La mineralización se encuentra dentro de capas y/o mantos favorables que han sido alterados por metamorfismo y metasomatismo.

Mineralogía.- El mineral primario principal y de interés económico es la chalcopirita, en menor

cantidad se encuentra la covelita y calcosina como minerales secundarios.

Como minerales de ganga se presentan: Magnetita, pirita, pirrotita, actinolita, sílice, calcita, cuarzo, etc.

Controles de la Mineralización.- Los principales rasgos geológicos que han influido en la concentración de minerales son: Lito-estratigráfico y estructural

1.4.- EXPLOTACION

En la actualidad la operación es solamente minado subterráneo, el minado a cielo abierto está paralizado.

Su método de explotación es de cámaras y pilares empleando el sistema convencional (con rieles) y el sistema mecanizado (sin rieles). El sistema mecanizado es de mayor importancia.

1.5.- PLANTA CONCENTRADORA

La concentración de los minerales de Condestable se efectúa por el método de flotación, por tratarse de minerales básicamente sulfurados.

La composición mineralógica esta constituida predominantemente de chalcopirita y pirita con presencia en pequeña escala covelita, pirrotita, malaquita, crisocola, cuprita y limonita, con roca encajante de actinolita, magnetita y calcita.

La ley promedio de cobre es de 1.30% Cu Total y 0.05% Cu Oxido.

CHANCADO: El objetivo es obtener un producto triturado a - 7 mm. a razón de 75 TM/Hora.

MOLIENDA: Los dos molinos Kurimoto procesan a razón de 15 TM/Hora c/u. y el molino Comeesa 24 TMS/Hora. El producto molido para flotación tiene 55% - 200M.

FLOTACION: La densidad de la pulpa en flotación es de 1,280 gr/lt., el PH 11.5 en Cleaner 12.

Reactivos : A-238 : 5 gr/TM
 Z-11 : 20 gr/TM
 Z-6 : 25 gr/TM
 A.Pino: 12 gr/TM

Recuperación: 89%

Ley de concentrado: 26%.

ESPESADO Y FILTRADO: El objetivo es de eliminar el máximo contenido de agua al concentrado.

Densidad de pulpa del concentrado en flotación: 1,300 gr/lt.

Porcentaje de agua en concentrado filtrado: 11%.

ALMACENAMIENTO DE RELAVE: Las partículas gruesas se descargan al borde de la cancha de relave levantando muro de contención, y los finos al fondo, el agua decantada se recupera para incorporar al agua de tratamiento de la Planta concentradora.

1.6.- SERVICIOS GENERALES

Los servicios generales que se reciben son:

Talleres para mantenimiento mecánico, eléctrico, laboratorio químico, almacén general, energía

eléctrica y suministro de agua.

La energía eléctrica es alimentada de la línea de electrolima. también se cuenta con cuatro grupos electrógenos de 600 KW c/u. para emergencia.

El suministro de agua procede de 2 pozos tubulares y su equipo de bombeo situados a unos 3.5 Km. de distancia y una diferencia de nivel de 200 metros.

1.7.- PRODUCCION HISTORICA

Se tiene la producción desde el año de 1976.

Ver cuadro

AÑO	T.M.S. TRATADAS	% Cu LEY	CONCENTRADO PRODUCIDO	T.M.S. Cu. FINO
1976	123,467	1.69	7,747.700	1,986.496
1977	148,947	1.59	8,770.300	2,213.842
1978	155,171	1.35	7,633.100	1,948.629
1979	199,950	1.36	8,933.800	2,308.074
1980	202,700	1.24	8,218.100	2,161.141
1981	220,616	1.32	9,330.100	2,413.993
1982	303,099	1.27	12,368.800	3,161.282
1983	328,203	1.29	13,649.000	3,549.910
1984	348,750	1.26	14,342.088	3,734.041
1985	349,100	1.28	14,560.504	3,780.455
1986	329,370	1.25	13,759.901	3,442.232
1987	377,156	1.24	15,234.162	3,845.753
1988	303,910	1.20	11,600.663	3,012.026
1989	357,644	1.17	13,508.340	3,481.851
1990	363,610	1.11	13,364.284	3,339.128
1991	408,510	1.13	15,657.592	3,952.291
1992	346,390	1.29	15,406.991	3,975.317

CAPITULO II

TECNOLOGIA

2.1.- ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA

2.1.1.- COMPOSICION MINERALOGICA

En la zona de oxidación existen: malaquita, Crisocola, atacamita, azurita, hematita, limonita, estas zonas alteradas tienen una profundización de 15 a 20 metros, la hematita se encuentra diseminada en las rocas volcánicas de superficie, junto a la clorita, actinolita y epidota.

Se distinguen los siguientes tipos de minerales chalcopirita, pirita, magnetita, calcosina, covelita, calcita y otros de menor grado.

2.1.2.- RESERVA Y LEY PROMEDIO DEL MINERAL

Mineral del desbroce de capas superficiales de óxidos, para llegar a los sulfuros primario en tajo abierto.

Ensayo químico

Cu Total	1.67%
Cu Oxido	1.15%
Cu Sulf.	0.48%

Fe	18.80%	
Ca ²⁺	2.0 %	
S	1.6 %	
INS.	48.2 %	
Au	0.25 g/TM	
Ag	10.0 g/TM	
Pb	265	ppm
Zn	580	ppm
Mn	750	ppm
As	100	ppm
Sb	45	ppm

2.1.3.- GRAVEDAD ESPECIFICA Y DENSIDAD APARENTE DEL MINERAL

G.E. : 2.9 gr/cc
D. AP. 1.65 TM/m³

2.2.- FUNDAMENTOS DE LA LIXIVIACION

2.2.1.- GENERALIDADES

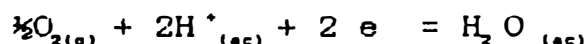
Los procesos hidrometalúrgicos están jugando un rol cada vez más importancia en la metalurgia extractiva de minerales de baja ley y metales raros. Hay muchas razones para este creciente interés: los procesos hidrometalúrgicos están relativamente libres de polución, especialmente con respecto a la polución del aire; los procesos hidrometalúrgicos permiten el tratamiento de minerales de baja ley o materiales de desperdicios de minas que no pueden ser económicamente tratadas por molienda, fundición y refinación convencio-

nal; los procesos hidrometalúrgicos permiten el minado y tratamiento de pequeños depósitos de minerales; los procesos hidrometalúrgicos son usualmente más baratos en costos de capital que las fundiciones; y las operaciones hidrometalúrgicas son relativamente más fáciles de controlar.

Un proceso hidrometalúrgico puede ser dividido generalmente en tres operaciones unitarias principales; es decir, lixiviación del metal deseado en la solución, concentración y purificación de la solución impregnado y, finalmente recuperación del metal. Los procesos de lixiviación comprenden la disolución del valor metálico de una materia prima en una solución acuosa con agentes químicos apropiados en un espacio limitado.

2.2.2.- TERMODINAMICA Y CINETICA DE LIXIVIACION

La termodinámica de las reacciones de lixiviación son mejor ilustrados por el uso de los diagramas Eh-pH, conocidos como los diagramas de Pourbaix. Por ejemplo el diagrama Eh-pH para los sistemas de las Figs. 1, 2 y 3, las especies disueltas deben existir dentro de los dos límites de estabilidad del agua, por ejemplo, el límite superior de estabilidad del agua es descrito por la siguiente reacción:



$$E = 1.228 - 0.0591 \text{ pH} + 0.0147 \log PO_2$$

El límite inferior de la estabilidad del agua es descrito por reacción de evolución del hidrógeno:

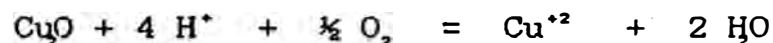


$$E = - 0.0591 \text{ pH} - 0.0295 \log P \text{ H}_2$$

Para estabilizar especies disueltas cerca del límite superior de la estabilidad del agua, se requiere un ambiente oxidante; para estabilizar especies disueltas cerca del límite inferior de la estabilidad del agua, se requiere un ambiente reductor.

Del análisis del diagrama Eh-pH para el sistema Cu-H₂O-O₂-S-CO₂, el ión cúprico, Cu⁺², y el ión cuprita, Cu₂O, son iones estables en medios ácidos y medios alcalinos fuertes, respectivamente.

El óxido de cobre (II) que es estable en un pH neutro es fácilmente soluble en soluciones ácidas o soluciones alcalinas fuertes. El cobre metálico y sulfuros de cobre y óxido de cobre (I) requieren no solamente un ácido o alcalino fuerte sino también un agente oxidante, por ejemplo:



Aunque el diagrama Eh-pH para cada conjunto metálico es único, puede establecerse generalmente que: La mayoría de los óxidos metálicos básicos cuando están en su estado de oxidación más alto son alcalinos fuertes;

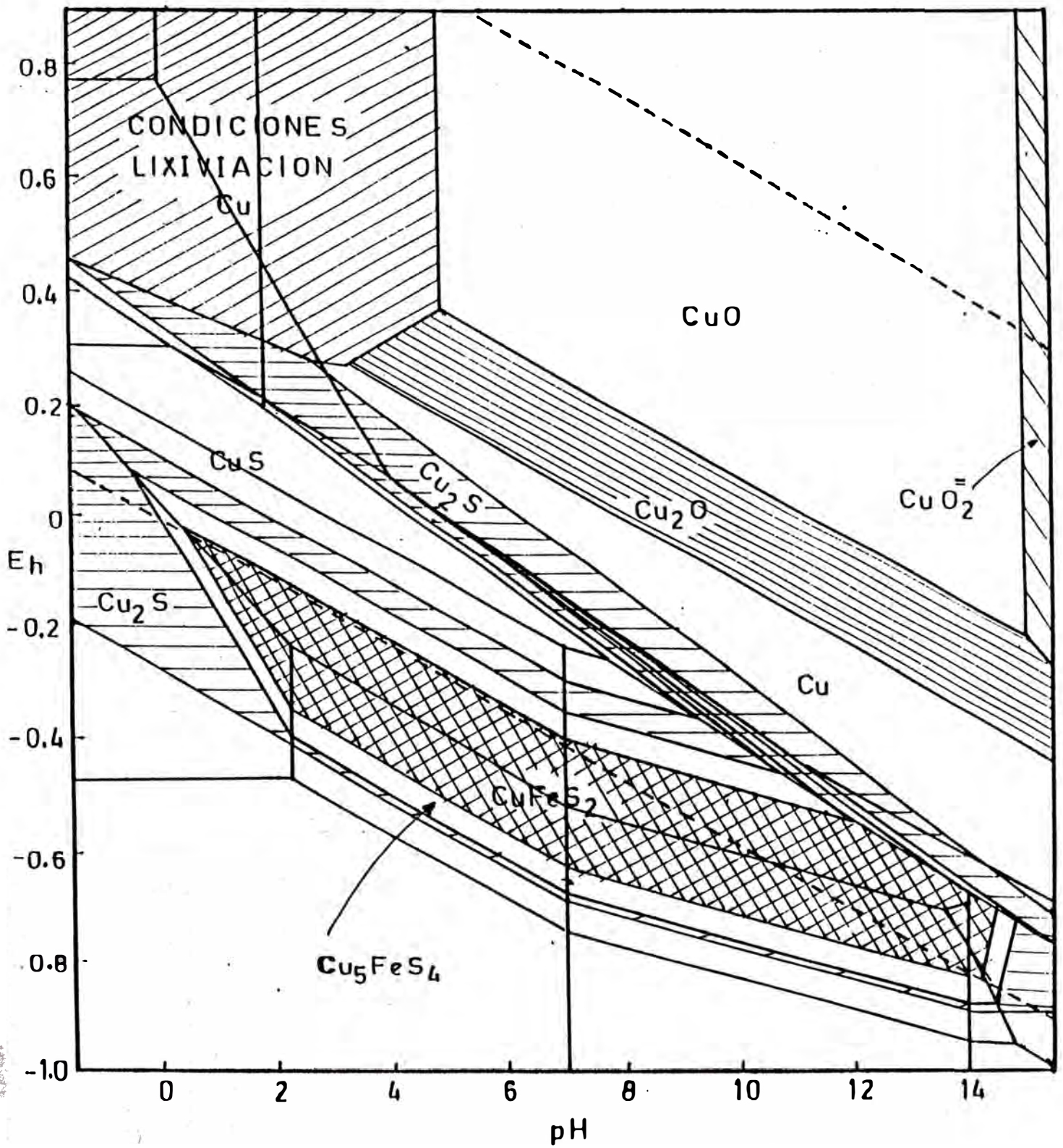


Figura
 Compuestos terciario en el diagrama Cu-Fe-S-H₂O

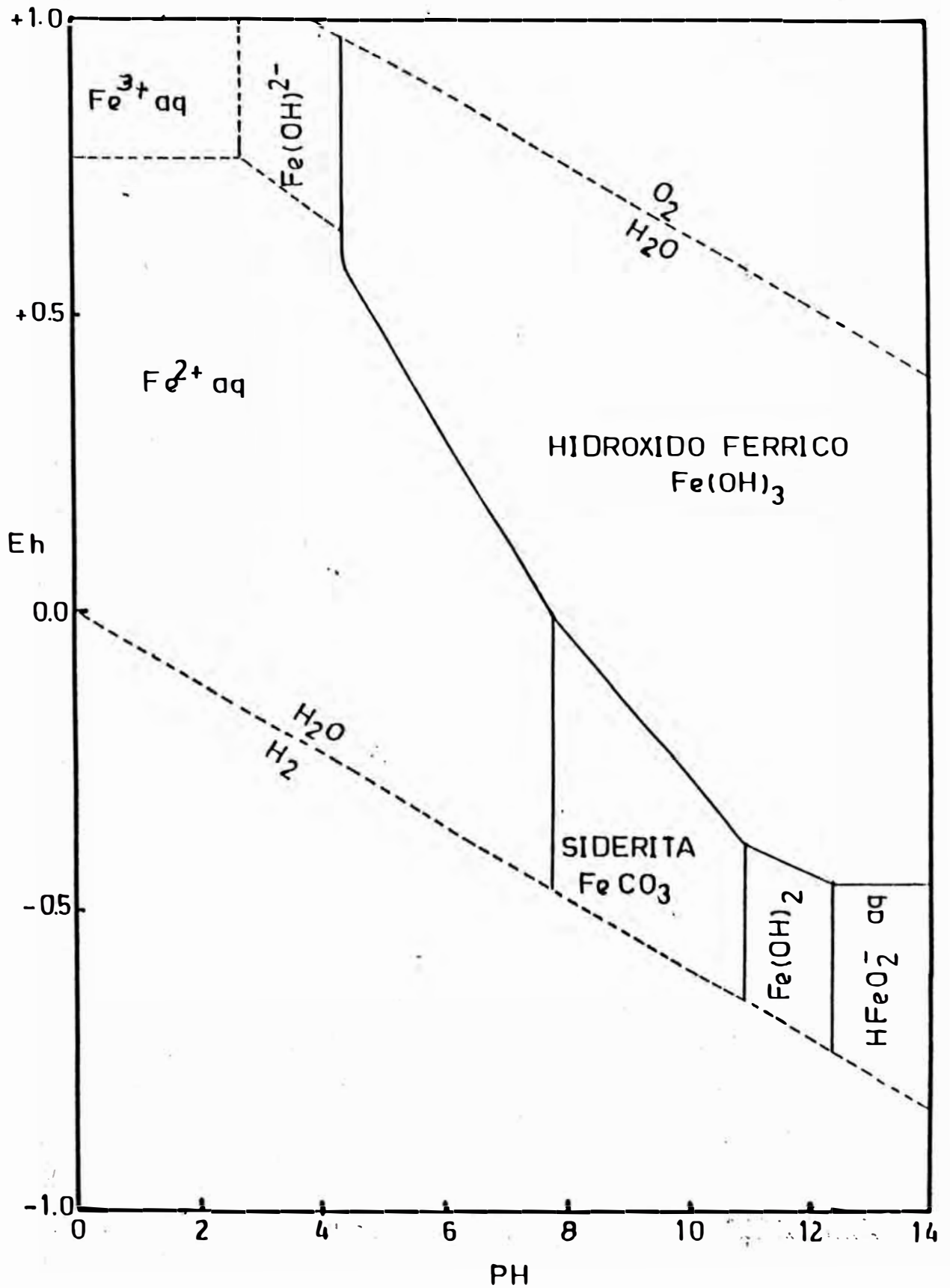


FIGURA 3 DIAGRAMA Eh-PH MOSTRANDO LA RELACION ENTRE LAS ESPECIES DE HIDROXIDO DE FIERRO METASTABLES Y SIDERITA A 25°C Y 1 ATM DE PRESION TOTAL.

Concentración de especies disueltas 10^{-6} M.

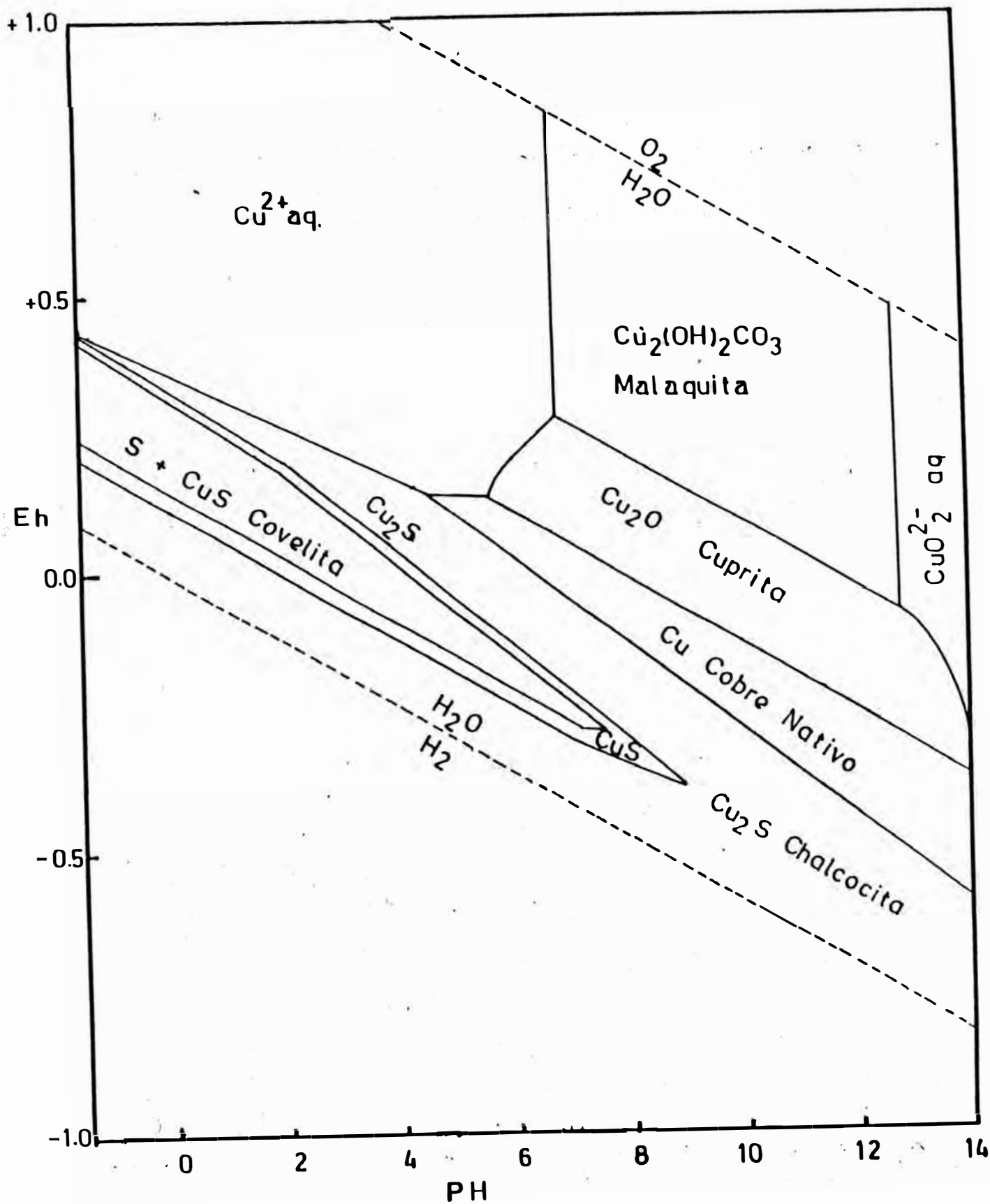


Figura. 2 Diagrama Eh-PH para el sistema Cu-H₂O-O₂-S-CO₂

y la mayoría de los metales, óxidos metálicos en sus estados de oxidación más bajos, y sulfuros metálicos no solamente requieren reactivos ácidos o reactivos alcalinos fuertes sino también agentes oxidantes para su disolución.

La cinética de lixiviación juega un rol importante en los procesos hidrometalúrgicos. La Cinética es usualmente lenta y heterogénea. Las reacciones de lixiviación usualmente comprenden procesos consecutivos:

Disolución de reactantes gaseosos en soluciones acuosas.

Transferencia de masa de reactantes a través de una película líquida a la interfase sólido/líquido, los reactantes incluyen ácidos o bases, agentes oxidantes y reductores, y agentes complejantes.

- Transferencia de masa de reactantes a través del producto sólido o material de ganga a la superficie del mineral. El proceso puede ser llevado a cabo por difusión porosa o por difusión del estado sólido dependiendo de la porosidad del producto sólido.
- Reacción interfacial de los reactantes con el mineral. Las reacciones comprenden reacciones de adsorción, reacciones químicas y reacciones electroquímicas.

2.2.3.- LIXIVIACION DE OXIDOS DE COBRE

Aunque muchos esfuerzos de investigación han sido dirigidos a la lixiviación de minerales sulfurados comercialmente la lixiviación de óxidos de cobre es muy importante. El óxido de cobre está usualmente finamente diseminado en el mineral. este es el producto de la degradación de un depósito de sulfuro original. Este tipo de mineral es usualmente de baja ley y no es recomendable para concentración física. Los procesos pirometalúrgicos para el tratamiento de minerales de óxido de cobre no podrían justificar el costo de la operación.

El cobre en la forma de óxidos es fácilmente soluble en soluciones ácidas o alcalinas. Las fuentes de minerales de óxidos de cobre son: relaves de flotación de sulfuros, minerales de baja ley, desecho de mina y concentrados de flotación de óxidos.

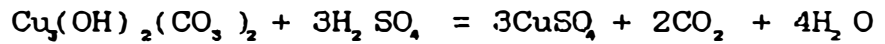
Los minerales de óxidos de cobre principales son azurita, crisocola y malaquita. Cantidades variables de cuprita y tenorita.

El ácido sulfúrico es usado en casi todas las operaciones de lixiviación; el ácido sulfúrico está fácilmente disponible y relativamente bajo costo.

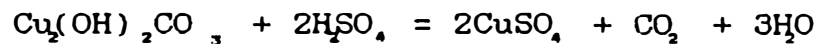
Una ventaja del uso de la técnica de lixiviación del ácido sulfúrico es la facilidad para recuperar el cobre metálico de la solución. El sulfato férrico usualmente existe en la solución de lixiviación de ácido sulfúrico y es frecuentemente el agente oxidante. El ácido sulfúrico puede ser generado por la oxidación de minerales piríticos. Las reac-

ciones de lixiviación para cada mineral específico son:

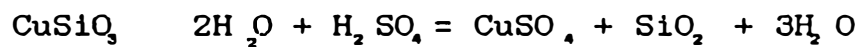
- AZURITA



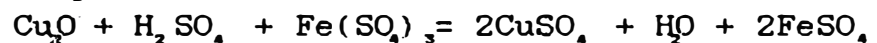
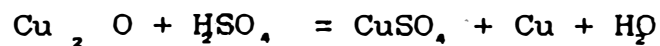
- MALAQUITA



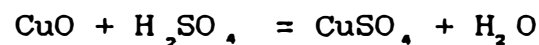
- CRISOCOLA



- CUPRITA



- TENORITA



La recuperación de cobre de licores de lixiviación es realizada casi enteramente por medios de cementación o electrowinning. El cemento de cobre producido por fierro metálico tiene solamente un contenido de cobre de 70%, por lo tanto es necesario una etapa adicional de refinación. Por otro lado, el electrowinning juntamente con S-X producirán un cobre catódico que es comparable al cobre refinado convencional.

2.2.4.- METODOS DE LIXIVIACION

Los métodos tradicionales de lixiviación de cobre a partir de minerales de baja ley, son: lixiviación In-Situ, lixiviación en Dump, lixiviación en Heap, lixiviación en Vats y

lixiviación con agitación. Para cada uno de estos métodos tiene sus propios méritos y rasgos de aplicación que a su vez dependen de la naturaleza del mineral.

LIXIVIACION IN-SITU

Aunque hay un gran potencial para el uso de la técnica de lixiviación in-situ para extraer cobre de depósitos sulfurados profundos, la mayoría de las operaciones actuales han sido aplicadas a la lixiviación de minerales de óxidos y sulfuros de cobre de depósitos de la superficie o cerca de la superficie. Las fuentes son los depósitos de baja ley o las minas fuera de trabajo. Primero la roca tiene que ser fracturada por explosión u otra técnica. La solución de ácido sulfúrico es pesada a través del mineral. La solución impregnada es colectada en la base del cuerpo de mineral.

LIXIVIACION EN DUMP

La lixiviación en Dump es usado para materiales de baja ley y desechos de mina separados de las operaciones de tajo abierto. El material es amontonado en grandes dumps y la solución de ácido sulfúrico es distribuida sobre la superficie y pasada a través de dump. La solución impregnada es colectada en el fondo del dump, y el cobre es recuperado normalmente por métodos de cementación.

LIXIVIACION EN HEAP

La lixiviación en heap es empleada para disolver cobre de minerales de óxido porosos que han sido colocados sobre una superficie preparada. La lixiviación en heap contrasta principalmente con la lixiviación en dump en que la primera usa material de minerales oxidados en vez de materiales de desechos de las minas.

LIXIVIACION EN VAT

La lixiviación en vat es empleada para extraer cobre de minerales oxidados o la mezcla de óxidos sulfuros que contienen más de 0.5 por ciento de cobre soluble en ácido. Este método es usado en lugar de la lixiviación en heap si el material no es poroso y si el chancado es necesario para permitir un contacto adecuado entre la solución de lixiviación y los minerales de cobre. A despecho del incremento de costos necesarios para el chancado y el cernido, existen numerosas ventajas para la lixiviación en vat; recuperación de cobre alta para períodos cortos, baja pérdida de solución impregnada, y alto contenido de cobre en la solución impregnada.

LIXIVIACION POR AGITACION

La lixiviación por agitación comprende de lixiviación rápida de minerales oxidados de cobre de partículas finas (usualmente malla

menos 48). Los minerales sulfurados no son lixiviados durante los períodos de contacto cortos.

RANGOS DE APLICACION Y RESULTADOS	METODOS DE LIXIVIACION			
	EN DUMP	EN HEAP	EN VAT	AGITACION
Ley del mineral	Baja	Baja - Media	Media - Alta	Alta
Tonelaje	Gran	Gran - Mediano	Amplio rango	Amplio rango
Inversión	Mínima	Media	Media - Alta	Alta
Granulometria	Corrido de Mina	Chancado grueso	Chancado medio	Molienda húmeda
Recuperaciones	40 - 50 %	50 - 70 %	70 - 80%	80 - 90 %
Tiempo de tratamiento	Años	Semanas	Días	Horas
Calidad de las Sol.	Diluidas	Diluidas	Concentradas	Medianas
Problemas principales	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperaciones incompleta. - Reprecipitación de Cu y Fe - Evaporación de soluciones diluidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperación incompleta. - Gran área - Canalizaciones - Re-precipitaciones - Evaporación soluciones diluidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperaciones finos. - Inversión - Manejo de minerales. 	<ul style="list-style-type: none"> Molienda - Lavado en contracorriente. - Tanque de relaves - Inversión.

2.2.5.- REACTIVOS DE LIXIVIACION

La selección de un reactivo de lixiviación depende de su disponibilidad, costo, estabilidad, selectividad de producción y generación y la facilidad de recuperación del valor metálico del reactivo de lixiviación.

ACIDOS.- El ácido sulfúrico es el agente de lixiviación más ampliamente usado, especialmente en la industria del cobre. Una razón para esto es que este ácido está fácilmente disponible. El ácido sulfúrico es un subproducto en la mayoría de las funciones. El ácido clorhídrico es usado algunas veces debido a la forma de complejos cloruro-metálico estables.

BASES.- La lixiviación alcalina muestra algunas ventajas sobre la lixiviación ácida. Estas son: más selectiva, menos corrosiva, menos consumo de reactivos para gangas de carbonato. El hidróxido de sodio, cal e hidróxido de amonio están entre los reactivos alcalinos más comúnmente en las industrias de cobalto, níquel y cobre debido a la formación de complejas metal-amina estables. El hidróxido de sodio algunas veces puede ser generado con carbonato de sodio.

AGENTES OXIDANTE.- El aire y el oxígeno son los agentes oxidantes más económicos y más comúnmente empleados. Sin embargo; debido a la baja solubilidad del oxígeno en soluciones acuosas, el ión férrico y el ión cúprico son usados algunas veces como autocatalizadores

en los procesos de lixiviación, por ejemplo el ión férrico o cúprico es usado para disolver valores metálicos. Los iones cuprosos o ferrosos son reoxidados por el oxígeno. Algunos agentes oxidantes químicos tales como el peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio, dióxido de manganeso, clorato de sodio han sido usados, pero la aplicación no ha sido ampliamente adoptada.

AGENTES COMPLEJANTES.- Varios iones metálicos especialmente los metales de transición, forman iones complejos metálicos estables con agentes complejantes, tales como el complejo tetraamínico cobre (II). Los agentes complejantes más comúnmente usados son las sales de cianuro, amoníaco, sales de cloruro, sales de carbonato, etc.

AGENTES REDUCTORES.- Son: gas CO, gas SO₂ y gas H₂

2.2.6.- EFECTO DEL CURADO

El curado es una operación combinada que involucra un aspecto químico, como es el ataque del mineral por ácido sulfúrico concentrado, y un aspecto físico que corresponde a la aglomeración de las partículas por medio de puentes líquidos y fuerzas capilares.

Físicamente, en la etapa de curado el mineral chancado a un tamaño fino, se pone en contacto con agua en un equipo mezclador tradicio-

para reducir la unión entre las partículas del mineral, a través de enlaces con la fase líquida. En este proceso físico las partículas más pequeñas generalmente tienden a adherirse a las partículas más gruesas.

De acuerdo con las actuales teorías de la aglomeración, la cohesión de un aglomerado puede haberse a varios mecanismos. De todos estos posibles casos y sin excluir la posibilidad que coexistan otros mecanismos, los que tienen la mayor importancia para la etapa de curado son las fuerzas interfaciales y las presiones capilares. Este mecanismo de enlace, incluye dos casos extremos, la formación de puentes líquidos puros y la unión de un aglomerado a través de la presión capilar en la superficie, cuando éste está lleno de líquido.

Los tipos de enlaces obtenidos entre estas dos condiciones extremas fueron descritas originalmente por Newitt y Conway-Jones y pueden ser divididos en tres categorías, que dependen de la superficie específica de las partículas, su distribución granulométrica y el contenido de humedad de la mezcla.

Para un conjunto especificado de partículas, estas categorías pueden distinguirse de acuerdo con las siguientes observaciones.

- Si el espacio vacío entre las partículas de mineral está solo parcialmente lleno de líquido, el estado se denomina "PENDULAR" (fig. a). En el estado pendular, las

partículas están unidas gracias a que son mojados por el líquido y las fuerzas de enlace se deben a las tensiones interfaciales en las superficies líquidos-gas.

Si el espacio vacío entre las partículas de mineral está lleno de líquido, formando un aglomerado, (fig. c) las fuerzas interfaciales existen sólo en las superficies de los gránulos y el estado se denomina "CAPILAR". Las fuerzas que mantienen unidas a las partículas dentro de un aglomerado son las presiones negativas que se desarrollan a través de las superficies cóncavas formadas por el líquido que rodea a las partículas.

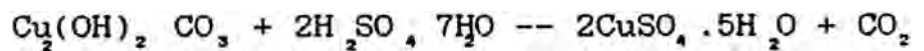
- El estado de transición entre los dos casos anteriores se denomina estado "FINICULAR", (fig. b) en este estado de transición, aún existen huecos dentro de un aglomerado que no está lleno de líquido. Sin embargo, aún en este caso, la fase líquido forma un continuo dentro del aglomerado.
- Finalmente, si la cantidad de humedad excede un valor crítico (fig. d), las superficies cóncavas del estado capilar se transforman en convexas. La expresión negativa de este último caso se hace positiva y desaparecen las fuerzas de unión entre las partículas. El aglomerado se destruye y se forma una suspensión sólido-líquida. La cantidad de agua adicionada en la etapa de curado de la lixiviación es un parámetro crítico debido a las razones

mencionadas anteriormente. En este proceso, el curado debe realizarse de tal forma que las partículas queden unidas a través de los enlaces descritos anteriormente. Pero el mecanismo adhesión apropiado para cada caso será función de las características del mineral y debe ser determinado experimentalmente en conjunto con el efecto químico.

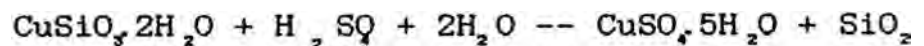
En adición al efecto químico producido en el curado, esto es, la disolución de una gran parte del cobre superficial contenido en las partículas, la etapa de curado provee un material particulado, homogéneo, cohesionado y con una alta permeabilidad, que permite un flujo parejo a través de él en la etapa posterior de la lixiviación propiamente tal.

REACCIONES EN EL CURADO

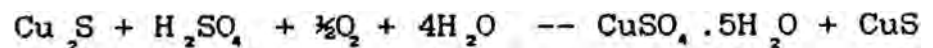
MALAQUITA:

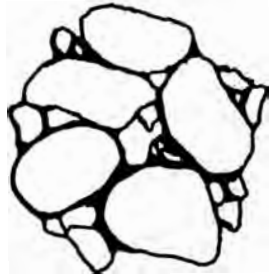


CRISOCOLA:



CALCOSINA:

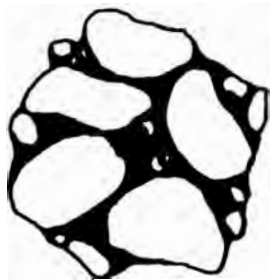




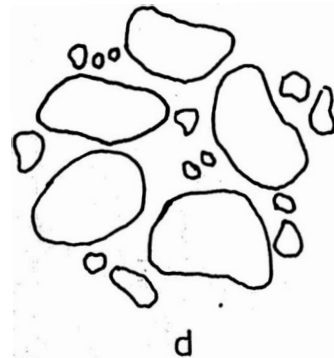
a
estado pendular



b
estado funicular



c
estado capilar



d
suspensión sólido-líquido

FORMACION DE AGLOMERADOS: diferentes estados en
funcion del contenido de liquido.

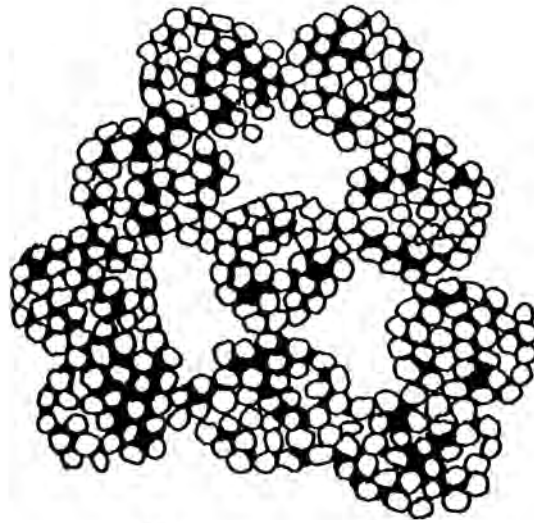


Fig 1A

antes de iniciar la lixiviación
(estado funicular)

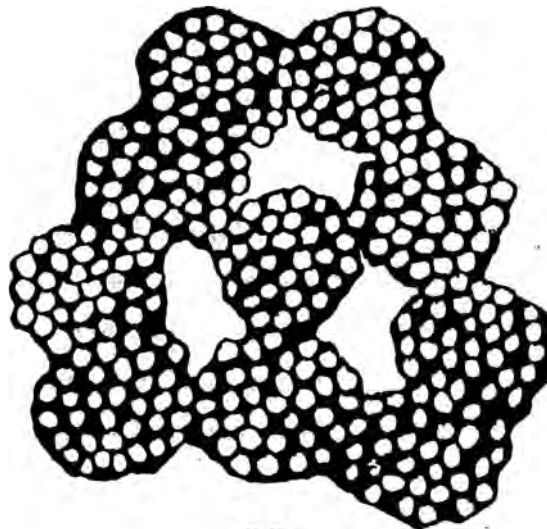


Fig. 2B

durante la lixiviación
(estado capilar)

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS AGLOMERADOS EN
UN LECHO DE LIXIVIACION EN PELICULA DELGADA.

2.2.7.- LIXIVIACION EN PELICULA DELGADA

La lixiviación. por su parte, consiste en regar el mineral previamente curado con una solución ácida y se lleva a cabo por el método conocido como lixiviación en película delgada. (lixiviación lenta) En general, los procesos de lixiviación en lechos de partículas, se pueden dividir en dos grupos: lixiviación sumergida y lixiviación en película delgada. En esta última, la solución es esparcida en la superficie del lecho, a un flujo suficientemente bajo, como para que la solución drene libremente, por acción de la gravedad y sin que llene completamente los intersticios formados por las partículas del mineral. Ejemplo de este procedimiento se encuentra en la lixiviación en pilas, en la lixiviación en botaderos.

En el sistema de lixiviación sumergida, o de lecho inundado, en cambio, las partículas de mineral quedan completamente sumergidas dentro de la solución lixivante, la cual es recirculada en forma forzada a través del lecho, usualmente desde abajo. Este procedimiento se aplica en la lixiviación in-situ y en la lixiviación en bateas de percolación.

Es conveniente destacar en este punto algunas propiedades que dan a la lixiviación en película delgada ciertas ventajas con respecto a la lixiviación en película delgada, a diferencia de la lixiviación sumergida, se realiza en presencia de una fase gaseosa, principalmente aire, que forma parte del

sistema. Esta fase gaseosa ocupa el espacio vacío que dejan las partículas de mineral y el líquido que las rodea. Dado que este espacio está interconectado formando un continuo, existe una gran facilidad para que se produzcan transferencias difusionales o convectivas entre esta fase gaseosa y el líquido que rodea las partículas (fig. 1a y 2a). Este hecho trae al menos dos consecuencias positivas.

En primer lugar, en presencia de reacciones que desprenden gases, tal como la lixiviación de carbonatos, el continuo gaseoso provee un medio de escape natural para ellos, de tal manera que no se hace necesario la formación de burbujas, fenómeno que sucede en la lixiviación sumergida, tiene como inconveniente que representa una resistencia más en el mecanismo de una reacción y, por lo tanto, tiene un efecto negativo sobre la cinética de ésta. Además de esto, una vez que la burbuja se ha formado y ha alcanzado un tamaño suficiente, tiende a escapar hacia arriba, provocando grandes perturbaciones en el lecho las que se traducen finalmente en pérdidas de permeabilidad y de homogeneidad. Por otra parte, en presencia de reacciones que requieren oxígeno como reactante, tal como la lixiviación de algunos minerales sulfurados, la fase gaseosa que está compuesta principalmente de aire provee un excelente medio oxidante, que se encuentra presente a través de todo el lecho y en las cercanías de los centros de reacción.

Otra ventaja de la lixiviación en película delgada se refiere a la capacidad de mantener la estructura original del lecho. En efecto, debido a los bajos flujos empleados, comparados con los de la lixiviación en bateas, el arrastre de partículas, especialmente el material fino, se ve minimizado. Esto significa que durante la lixiviación la permeabilidad original del lecho no se altera, impidiendo la formación de bloques y canalizaciones, las cuales conducirían, a menores recuperaciones de cobre y mejores consumos de ácido por ataque preferencial de éste sobre las impurezas.

Por otra parte, desde un punto cinético, la lixiviación en película delgada también presenta ventajas sobre la lixiviación sumergida, principalmente debido a que, en la primera, la concentración de cobre en la solución se mantiene en todo momento a niveles muy por debajo de esta última. Dado que en ambos procesos la transferencia del cobre hacia la solución es una de las principales etapas del mecanismo de la reacción, su cinética se verá favorecida en cuanto más bajo sea su concentración en la solución. Esto trae como consecuencia, a su vez, el uso de soluciones con menores niveles de ácido, con lo cual el consumo de ácido por la ganga también disminuye.

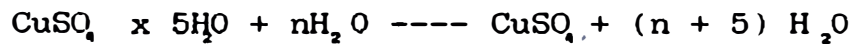
En la lixiviación en película delgada, considerado como proceso unitario, el uso de concentraciones de ácido bajos representa normalmente también una desventaja. Esto, es

particularmente así, sobre todo al inicio de la lixiviación, donde la etapa controlante de la cinética es la reacción química en la superficie de las partículas y no la difusión en el sólido. Esta última comienza a tener mayor importancia a medida que la reacción avanza, momento en que la concentración de ácido tiene un efecto menos marcado en la cinética. Esta desventaja se elimina gracias a la operación preliminar del curado.

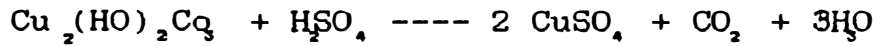
En la etapa de curado, todo el cobre presente en las superficies internas y externas de las partículas es solubilizado con ácido sulfúrico concentrado, en una reacción extremadamente rápida. Este cobre, así como los otros cationes solubilizados, es posteriormente extraído, por transferencia de masas, en las primeras etapas de la lixiviación. Paralelamente a este efecto puramente químico, también en la etapa de curado se produce una aglomeración de las partículas mediante puentes líquidos, debido a la adición de agua, formándose una estructura muy porosa y altamente permeable. Esta estructura granulada permite mantener un flujo muy parejo a través del lecho de tal manera que la solución lixivante actúa en una forma mucho más homogénea que como lo hace en un material sin aglomerar.

Las reacciones en la lixiviación en película delgada son: (Tiempos cortos)

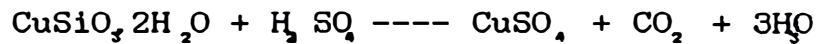
Sulfato de Cobre: (del curado)



MALAQUITA:



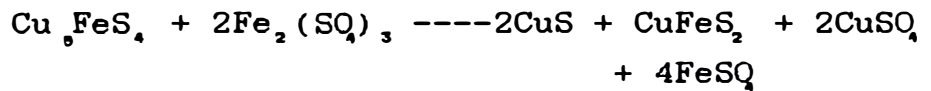
CRISOCOLA:



CALCOSINA:



BORNITA:



2.3.- FUNDAMENTOS DE LA CEMENTACION

2.3.1.- GENERALIDADES

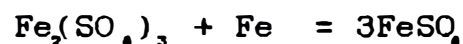
Es un método de tratamiento de bajo costo que hace económicamente viable la extracción de contenidos bajos de cobre de soluciones de lixiviación de escaso valor o de residuos insolubles de soluciones de lavado que pueden contener hasta 0.5 a 2.5 gramos por el litro de cobre.

La chatarra de hierro continúa siendo usada casi universalmente para la cementación del cobre a partir de soluciones diluidas y representa el costo más importante del proceso. La mayor parte de la lámina de acero de calibre delgado, la cual tiene la mayor relación superficie de reacción contra peso, se encuentra laqueada o estañada, y tiene que

quemarse para eliminar la pintura y la soldadura, y cortarse luego en fragmentos, preparación cuyo costo se agrega al del metal. La chatarra pesada es menos conveniente por su menor superficie específica y el alto contenido de carbono. En algunas plantas se usa hierro esponja en vez de chatarra de hierro, y en general se está utilizando en proporción creciente. El consumo de este material es similar al de la chatarra, según el contenido de hierro metálico de ambos materiales.

El consumo de chatarra varía considerablemente de una planta a otra, y depende en gran parte del contenido de hierro férrico de las soluciones preñadas. Todo el hierro férrico tiene que reducirse al estado ferroso y gran parte del ácido libre debe consumirse en la reacción antes de que pueda tener lugar la precipitación del cobre.

Las reacciones generales son:



Las cuales ocurren simultáneamente. La cementación del cobre es la única reacción útil, mientras que las otras dos representan una pérdida de hierro innecesaria; así mientras teóricamente una libra de cobre (0.454 kgs) debería ser reemplazada en la solución por 0.89 libras de hierro (0.404 Kgs), en la práctica una proporción satisfactoria para las soluciones que contienen hierro férrico es de

dos libras de chatarra (0.908 Kgs) por libra de cobre precipitado (0.454 Kgs).

La pureza del cobre cementado depende en buen grado de la limpieza de la chatarra de hierro, ya que si está sucia y oxidada, contaminará al cobre cementado. La pureza del cobre determina en dónde pueda agregarse durante el proceso; si el material está muy contaminado se regresa al horno de reverbero de la fundición o al convertidor, y si el precipitado es de alta pureza se le funde en el horno de ánodos para producir ánodos electrolíticos. La mejor chatarra de hierro se agrega en las operaciones finales de la planta de cementación para separar el cobre que aún quede en la solución y disminuir la concentración lo más posible, quedando en la solución unos 60 mg. por litro. Esta solución se recicla al circuito de lixiviación para volver a usar como solución lixivante con alto contenido de ácido.

2.3.2.- EQUIPOS PARA LA CEMENTACION

Se emplean diversos tipos de equipo para la cementación, algunos ya antiguos y otros de desarrollo reciente. Entre los métodos de uso común los conos, los canalones, los canalones en V, los tanques y las celdas, todos trabajan sobre el mismo principio básico, y sólo difiere la forma física de los equipos que se utilizan.

a).- LOS PRECIPITADORES DE TANQUE Y CONO

Desarrollados por la Kennecott Copper, son unos de los precipitadores más recientes y eficientes; dan de 90 a 95% de cobre en el producto, utilizan menos chatarra por libra de cobre precipitado y recuperan el 99% del cobre contenido en las soluciones, el cual es el orden de 0.4 a 4.0 gpl, en un sistema de alta capacidad provisto de controles automáticos y manejo de materiales mecanizado.

El precipitador consiste de un tanque de madera de 4.27 mts. de diámetro y 7.23 mts. de altura, que tiene en el fondo con cono invertido de acero inoxidable de 3.35 mts. de altura. Sobre la parte superior del cono lleva instalada una criba cónica de 1.45 mts. de altura y malla de 1 pulgada, la cual continúa el cono cilíndrico de acero hasta alcanzar la pared del tanque de madera, aproximadamente a dos tercios de la altura del tanque de madera.

El cono se carga con chatarra de hierro cortado en tiras, desestañadas y desprovista de barniz, la solución preñada se bombea por el fondo. A medida que se verifica la cementación, la turbulencia generada por el movimiento de alta velocidad de la solución en el cono deslava el cobre precipitado de la superficie de la chatarra y lo lleva hacia arriba, en donde cae a través de la criba de la parte superior del cono acumulándose en el fondo del tanque de madera para ser separado después. La solución parcialmente descobrizado derrama por la parte superior del tanque y se bombea el

fondo de un segundo precipitador, en donde se repite la operación. El licor agotado de este segundo precipitador se regresa como solución lixiviante.

Un cono procesa alrededor de 11,250 lpm de solución de lixiviación.

b).- LAS CELDAS Y TANQUES

Se utilizan en series de varias unidades (de seis a diez) situadas en desnivel para lograr el flujo por gravedad de la solución de una a otra celda. Estas son de madera o de concreto, protegidos contra ácido, de 2.44 de ancho x 1.52 de profundidad x 3.66 mts. de largo, con una rejilla que detiene a la chatarra de hierro para que no se vaya al fondo de la celda y permita a la vez una buena circulación de la solución. El cobre precipitado se recupera desconectando una celda del circuito y separado por lavado el cobre adherido a la chatarra de hierro con mangueras de alta presión para que pase a través de la criba del fondo y salga por una válvula hacia un tanque de sedimentación o un filtro de vacío. Periódicamente, el cobre asentado en el tanque de sedimentación se extrae, se seca sobre el piso de concreto y se embarca a una fundición. Este producto contiene alrededor de 82% de cobre.

Las primeras dos celdas del circuito reciben siempre la solución preñada con mas alto contenido de valores y en ellas se precipita alrededor del 60% del total de cobre. En el siguiente par de celdas se separa otro 20% del

total y en las celdas últimas se separa el resto. Las celdas más activas deben lavarse con mayor frecuencia y agregarles chatarra de hierro a intervalos más cortos.

c).- LOS CANALONES

Son uno de los medios más antiguos que se emplean para la precipitación, y consiste en canales de forma de artesa, con fondo plano, hechos de concreto protegido contra ácido o de manera; son de 80 cm. de altura x 80 cm. de ancho y hasta de 488 mts. de longitud. Una celosía de madera con aberturas de 1/4 de pulgada se suspende en ellos 42.5 cm. arriba del fondo del canal, y en éste se apila chatarra de hierro. La solución preñada se hace fluir lentamente por gravedad a lo largo del canalón, y puede separarse por cementación hasta el 97 ó 98% del contenido de cobre. Periódicamente se purga el canalón y se separa el cobre cementado de la chatarra mediante mangueras a través de la celosía de madera hasta hacerlo salir por el extremo del canalón, en donde se sedimenta y se separa del agua de lavado. Este cobre cementado se regresa a la fundición, mientras que la solución preñada descubrizada se vuelve a utilizar en el circuito de lixiviación

En los modernos precipitadores de canalón en V se utiliza hierro esponja para precipitar la porción principal del cobre que lleva la solución, y posteriormente se usa chatarra de hierro para cementar el cobre restante de la

solución parcialmente descubrizado. Con este diseño en V, se reducen al mínimo los problemas de formación de torta y taponamiento que se presentaban anteriormente al usar hierro esponja fino.

2.4.- TRABAJO EXPERIMENTAL

2.4.1.- ANALISIS GRANULOMETRICO VALORADA DEL MINERAL A 1".

MALLA	% PESO		ENSAYES		% DISTRIB.	
	PARC.	ACUM.	%Cu	%CuOx	Cu	CuOx
+1/2"	38.0	38.0	1.20	0.88	27.3	29.3
+1/4"	14.8	52.8	1.74	1.08	15.4	14.0
+m10	15.2	68.0	1.72	1.06	15.7	14.1
+m100	14.2	82.2	2.22	1.41	18.9	17.6
-m100	17.8	100.0	2.13	1.60	22.7	25.0

Cab. Calc. 1.67 1.14

Cab. Ensay. 1.70 1.16

2.4.2.- LIXIVIACION ACIDA A NIVEL DE VASOS

SIN CURADO

Peso del mineral: 300 grs. a - m 100

Dilución: 1/2.5

Solución: 750 cc (10 gr. Acido/lt.)

Tiempo de lixiviación: 24 hrs.

Agitación constante.

Mantener la solución a un pH: 1.8

(adicionando ácido sulfúrico)

Resultados:

Recuperación: 85.4%

Consumo de ácido: 76 Kgs. Acido/TM Min.

7.7 Kgs. Acido/Kgs. Cu

CON CURADO

Peso del mineral: 300 grs, a - m 100

Curado: 21 gr. de ácido sulf., conc.

33 cc. de agua

reposo: 24 hrs.

Dilución: 1/2.5

Solución: 750 cc (10 gr. Acido/TM Min.)

Tiempo de lixiviación: 24 hrs.

Agitación constante

Mantener la solución a un pH: 1.8

(adicionando ácido sulfúrico)

Resultados:

Recuperación: 91.5%

Consumo de ácido: 92 Kgs. Acido/TM Min.

8.7 Kgs. Acido/Kgs. Cu

2.4.3.- LIXIVIACION ACIDA A NIVEL DE COLUMNAS

Se evaluó los siguientes parámetros:

Tamaño de partícula: 1/4", 5/8" y 1"

Acido en el curado Kgs./TM Min.: 10, 15, 21 y 30.

Flujo Unitario de riego lt/min.m²: 0.16 y 0.32

Concentración de la solución de riego gr. ácido/lt.: 20 y 40.

Condiciones de Operación:

Peso del mineral: 200 Kgs

Altura de mineral: 1.80 mts.

Densidad aparente del mineral: 1.62 TM/M3

Tiempo de reposo (curado): 24 Hrs.

Tiempo de riego: 30 días.

Resultados:

A mayor adición de ácido en el curado mayor es la extracción de Cu.

A menor tamaño de partícula mayor es la extracción y el consumo de ácido.

A mayor flujo unitario la cinética aumenta y baja la concentración de Cu en la cosecha.

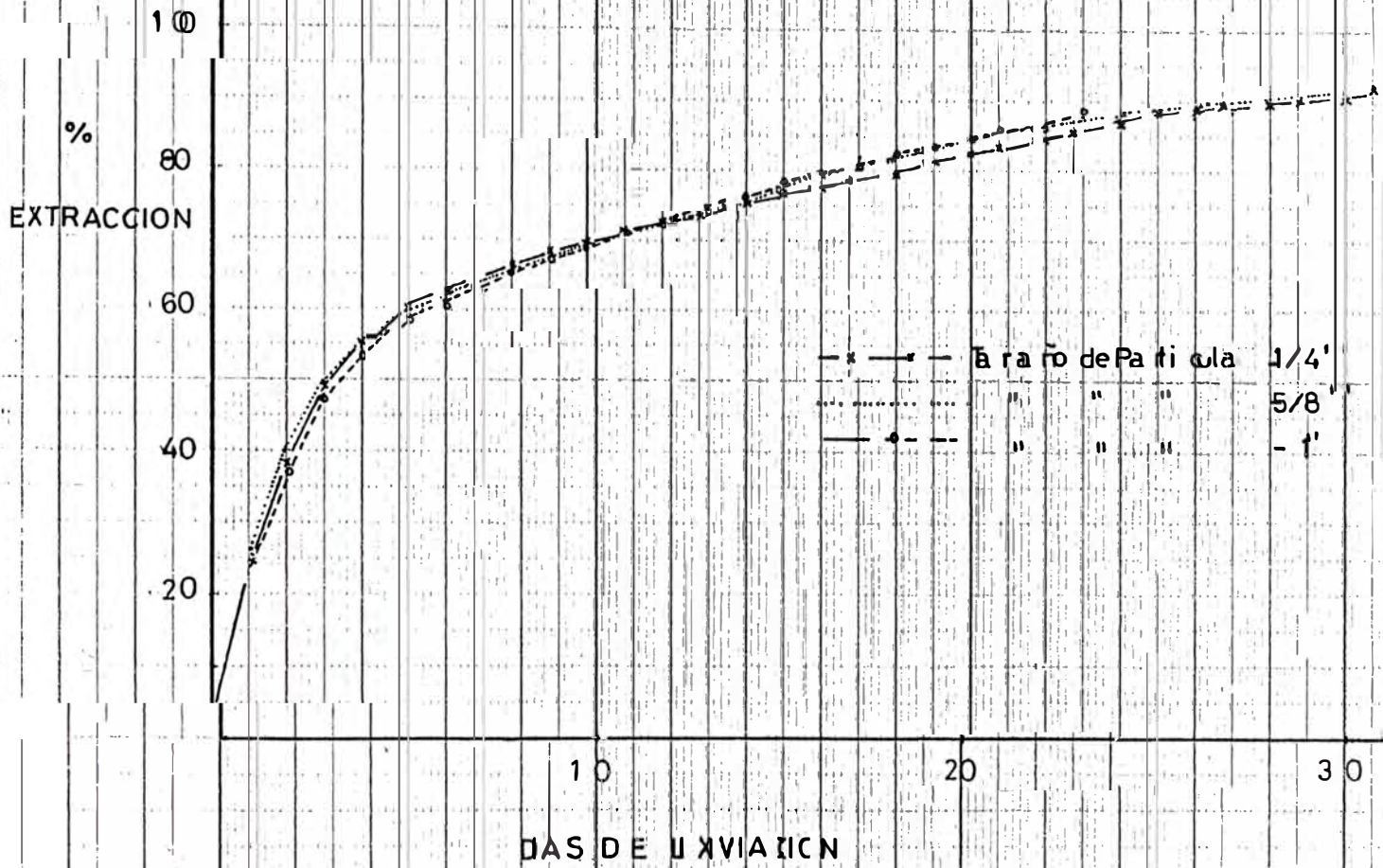
A mayor concentración de ácido en el riego mayor extracción y menor consumo de ácido.

Ver cuadro y gráfica. (EV-1, EV-2, EV-3 y EV-4).

CUADRO DE RESULTADOS

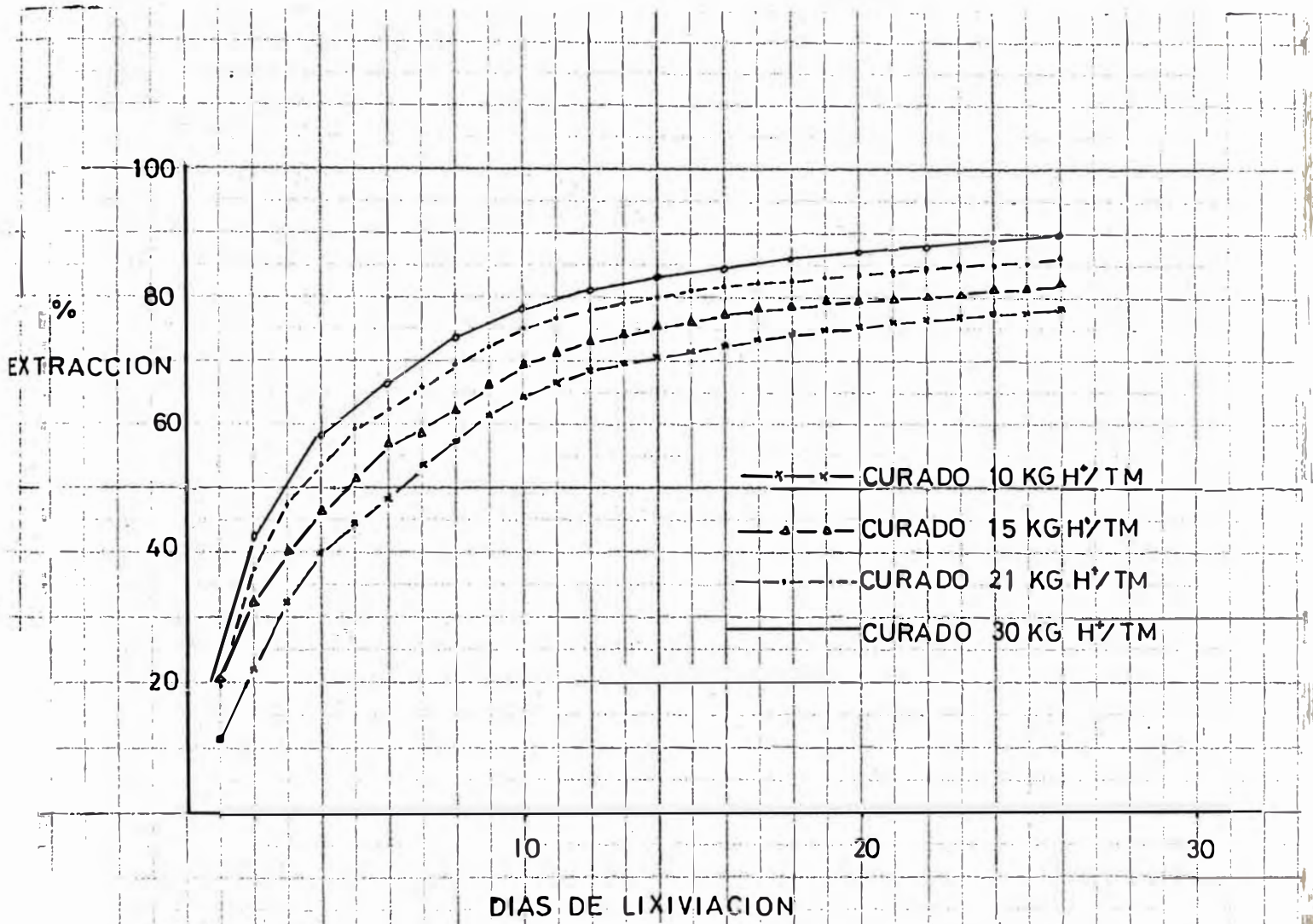
PRUEBA	TAMAÑO MINERAL	ACIDO EN CURADO	CONC. ACIDO EN RIEGO	FLUJO IRRIGACION	% EXT. CuOx	CONSUMO ACIDO	
						Kg/TM _{MIN}	Kg./Kg Cu
1	1/4	30	40	0.16	92.2	102.2	9.6
2	5/8	30	40	0.16	89.8	94.0	9.1
3	1"	30	40	0.16	88.5	92.0	9.0
4	5/8"	30	40	0.32	84.5	90.0	9.3
5	5/8"	30	20	0.16	76.9	69.7	7.6
6	5/8"	21	40	0.16	86.4	89.4	9.0
7	5/8"	15	40	0.16	82.4	76.8	8.1
8	5/8"	10	40	0.16	78.2	76.6	8.5

PRUEBA DE ELUACION EN COLUMNA
E V- 1



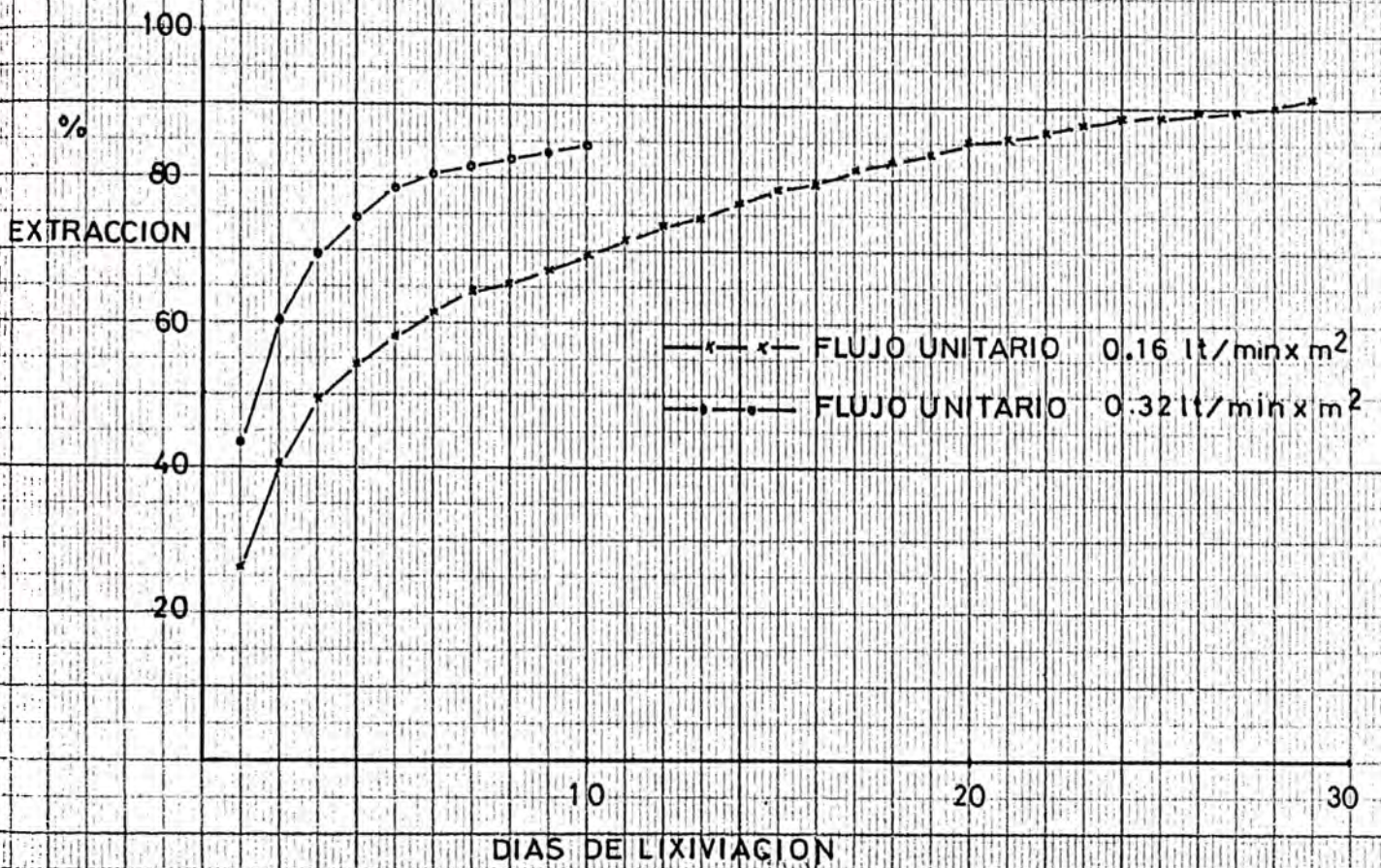
PRUEBA DE LIXIVIACION EN COLUMNA

EV.- 2



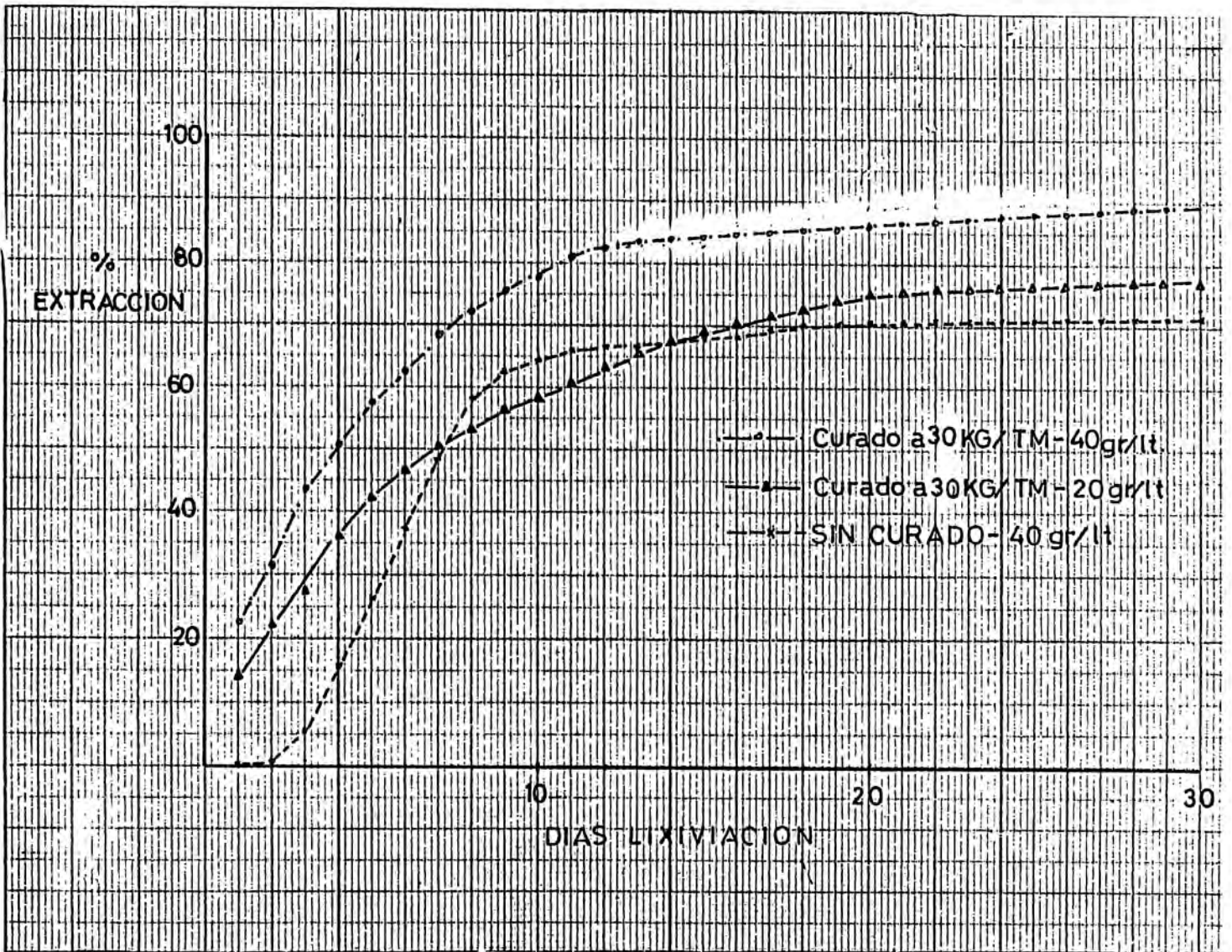
PRUEBA DE LIXIVIACION EN COLUMNA

EV-3



PRUEBA DE LIXIVIACION EN COLUMNA

EV-4



CAPITULO III

INGENIERIA

3.1.- PARAMETROS DE DISEÑO

CHANCADO

Mineral a triturar	TMS/D	252
Período de trituración	HRS/Día	6
Capacidad	TMS/H	42 ✓
Tamaño producto triturado	PULG.	5/8

AGLOMERADO

Mineral a aglomerar	TMS/D	252
Período de aglomeración	HRS/Día	5
Capacidad	TMS/H	50
Humedad de mineral	%	6
Acido Sulfúrico en mineral	KGS/TM	30
Tiempo de reposo (Curado)	DIAS	2

LIXIVIACION

Mineral en lixiviación	TMS/MES	6,520
Cu Oxidado en mineral	%	1.15
Cu Fino en mineral	TMS/MES	74.980
Consumo total Acido Sulfúrico	KG/TM _{MIN}	96

Flujo Unitario de riego	LTS/MIN.m ²	0.12
Area de riego c/módulo	m ²	507
Capacidad c/módulo	TMS	1304
Volumen de solución riego	m ³ /MES	11,389
Ciclo de riego total		
- Con solución acidulada	DIAS	26
Concentración Acido en riego	gr Acido/Lt.	378
- Altura de la pila	MTS	1.85
- Densidad aparente	TMS/m ³	1.65
- % Extracción de CuOx	%	81.65
- Cu Fino en solución cosecha	TMS/MES	61.224
- Perdida de agua por evaporación y atrapamiento en el mineral Ripio.	%	12

CEMENTACION

- Volumen de solución cosecha a procesar.	m ³	10,022
- Concentración de Cobre	GR/LT.	6.10
- Concentración de Fe total	GR/LT.	5.70
- Concentración de Fe ⁺⁺	GR/LT	5.20
- Concentración de ácido sulfúrico.	GR/LT	4.20
- Cu fino a procesar	TMS/MES	61.224
- Flujo en cementación	m ³ /HR	13.92
- Eficiencia en cementación	%	98
- Cu fino en cemento de Cu	TMS/MES	60.000
- Cobre en cemento	%	85.0
- Cemento producido	TMS/MES	70.588
- Consumo de chatarra	TM/TM Cu	1.4

RECIRCULACION DE SOLUCION GASTADO

- Volumen	m ³ /MES	10,022
- Concentraciones		
Cu	GR/LT.	0.10
Fe Total	GR/LT.	11.00
Fe ⁺⁺	GR/LT.	0.5
Acido Sulfúrico	GR/LT	1.8

3.2.- DISEÑO Y SELECCION DE EQUIPOS

CHANCADO

ITEM	CANT.	HP	DESCRIPCION
1	1	--	Parrilla estacionaria 12" de abertura.
2	1	--	Winche neumático.
3	1	--	Tolva de concreto para almacenamiento de mineral grueso-180 TM.
4	1	5	Alimentador.
5	1	--	Grizzly - 2"φ abertura
6	1	50	Chancadora de Quijada 15"x24" Otsuka.
7	1	10	Faja transportadora 24"x36 mts.
8	1	10	Zaranda vibratoria 5'x12' Furukawa.
9	1	120	Chancadora cónica 3' Telesmith.
10	1	5	Faja Transportadora 24"x9 mts.
11	1	1	Tolva de concreto y madera para almacenamiento de mineral fino (5/8") 80 TM.

AGLOMERADO

ITEM	CANT.	HP	DESCRIPCION
12	1	--	Echadero de concreto para almacenar mineral fino (5/8")-60 TM.
13	1	50	Tambor aglomerador 1.3 mt ø x 4mt. 8 RPM.
14	1	5	Flujo Transportadora 24"x 9 mts.
15	1	--	Stock pile (para curado) 2,000 TM.

LIXIVIACION

ITEM	CANT.	HP	DESCRIPCION
16	1	--	Tanque metálico para almacenamiento de ácido sulfúrico industrial Cap.90 TM.
17	1	--	Tanque de concreto para recepción H ₂ O. Cap. 6 m ³
18	1	--	Tanque metálico revestido con vinimanta 1 mm. para solución acidulada 37.8 gr/lt.
19	1	--	Tanque de fibra de vidrio para solución acidulada 8 m ³
20	3	--	Canchas de lixiviación impermeabilizadas con vinimanta espesor 1 mm., dividido en 3 módulos de 13x39 mts. c/u. Capacidad c/módulo 1,304 TMS. (Total de módulos 9).
21	36	--	Aspersores Wobler Nº 12
22	700	--	Tubería de polietileno C-10 de 2" ø.
23	400	--	Tubería de polietileno C-10 de 3" ø.
24	140	--	Tubos de PVC de 4" ø para conducción solución cosecha.

25	360	--	Drenaflex 2" ϕ
26	1		Tanque metálico revestido con vinimanta de 1 mm. espesor para almacenamiento solución cosecha. Capacidad 150 m ³ .
27	1		Poza revestido con vinimanta de 1 mm de espesor para almacenamiento solución cosecha. Capacidad 130 m ³

CEMENTACION

ITEM	CANT.	HP	DESCRIPCION
28	4	--	Precipitadores de cobre tipo cono Kennecott, de madera 1.80 mts. ϕ x 3.00 mts.
29	4	--	Tanques de madera captación de solución rico en cobre para bombear al cono precipitador cap. 8 m ³ c/u.
30	4	12	Bombas centrífugas horizontales para bombear solución rico en cobre a los conos precipitadores 4"x 2 ½", 320 GPM (Anti-Acido).
31	6	--	Cochas de sedimentación de cemento de cobre.
32	1	--	Plataforma de secado de cemento de cobre.

33	1	--	Tanque para solución gastado (bajo en cobre) 40 m ³ .
34	1	15	Bomba para recircular solución gastado (bajo en cobre) para la lixiviación 3"x2", 120 GPM.
35	200	--	Tubos de polietileno de 2" ϕ

3.3.- DESCRIPCION DEL PROCESO

Para el tratamiento de las 350,000 Toneladas de Mineral de Cu Oxidado, almacenados en 2 botaderos probado, para ser determinado al mejor proceso para su recuperación.

Las pruebas de lixiviación se llevaron a cabo en los laboratorios de Ingemmet y en la Mina Condestable.

Los Oxidos de cobre en Condestable contiene Cuprita, Crisocola, Azurita y otros, la presencia de Oxidos de Fierro es un factor que eleva el consumo de ácido, pero con el tratamiento del curado, que consiste en el ataque con ácido sulfúrico concentrado, sobre mineral previamente chancado y humedecido, seguido por un período de reposo a "Curado" se logró bajar el consumo de ácido.

La recuperación del cobre se realizará con las siguientes etapas:

- Chancado: -5/8"

Curado: Con ácido sulfúrico concentrado 30% del consumo total, sobre el mineral humedecido a 6% H₂O y reposo de 48 horas.

- Lixiviación: Acumulado a 1.85 mts. de altura por un periodo de 28 días de riego y 2 días de lavado, para obtener de 6.10 gr/lt de Cu 2-3 gr/lt ácido de solución cosecha.
- La precipitación de Cu, en conos precipitadores tipo Kennocott con chatarra de Fe.

CHANCADO

Consta de dos etapas primaria y secundaria en circuito abierto y producirse aproximadamente 80% 5/8".

El mineral almacenado en los botaderos serán empujados con un tractor D-6 así la tolva de gruesos 180 TM. que se encuentra debajo del botadero y también se llenara dicha tolva con un winche neumático.

La luz de la parrilla en la tolva de gruesos es de 8", está tolva descargará por dos chuts, hacia una tolva metálica, de la cual alimentará con una faja transportadora de 30" x 2.30 mts. un Grizzly de 2"Ø abertura, el producto + 2" ingresará a la chancadora de Quijada Otsuka 15"x24" con 2" de abertura en la descarga.

El producto de la chancadora de Quijada y el -2" del Grizzly descargará sobre una faja transportadora 24" x 36 mts. la cual decargará en la Zaranda Vibratoria Furukawa 5' x 12' de un piso con abertura de la malla 5/8" x 3/4".

El oversize (+5/8") de la Zaranda Vibratoria ingresará a la chancadora Cónica Telesmith de 3' con abertura de descarga de 1/2", el producto de esta chancadora y Undersize (-5/8) de la Zaranda serán

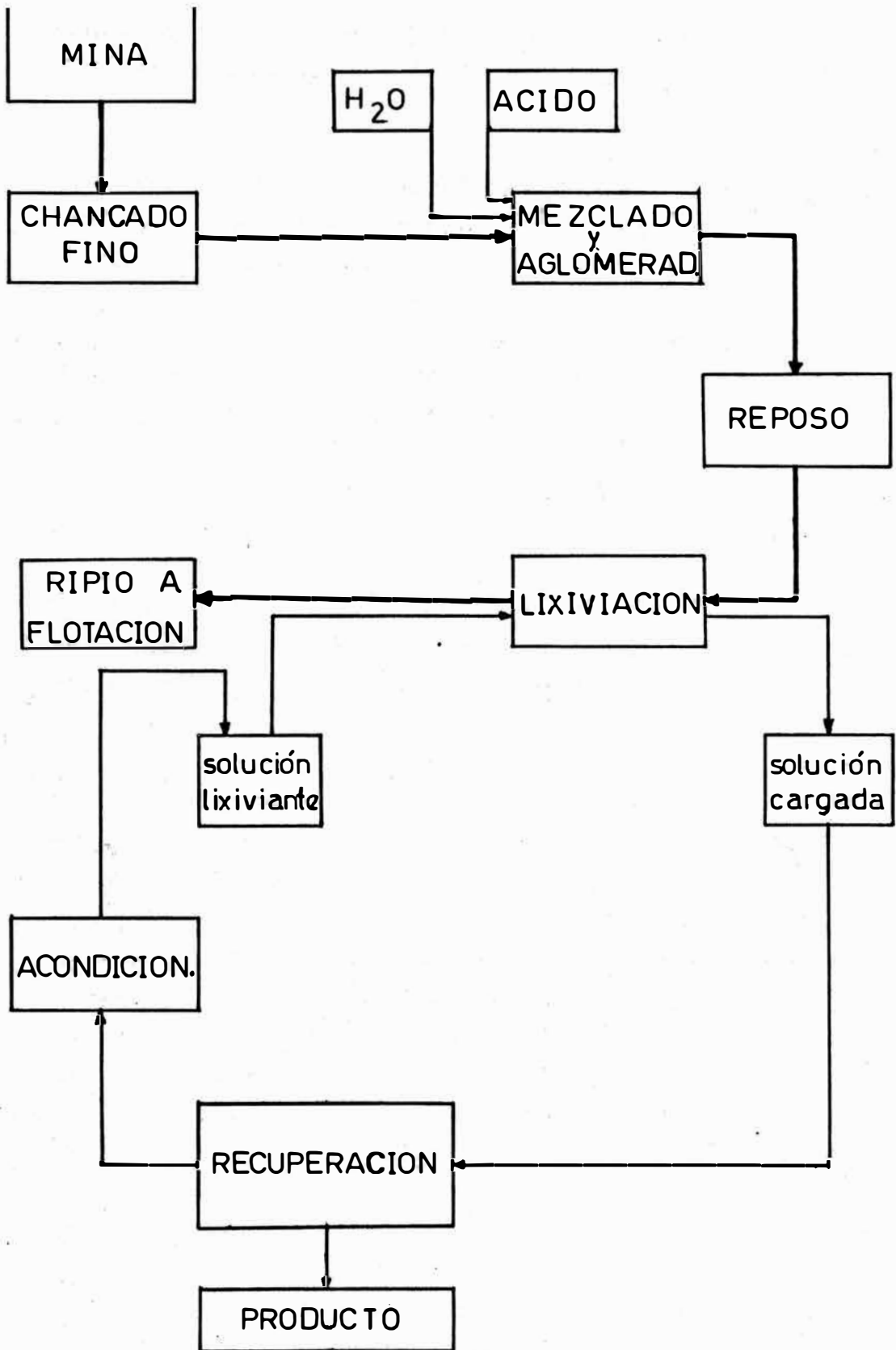


DIAGRAMA DEL PROCESO ELEGIDO

transportado por una faja transportadora N^o 2 de 24" x 9 mts. hasta una tolva de Finos de 80 TM. Capacidad.

El mineral chancado será transportado aun hechadera (cerca a los Pads) para su posterior aglomerado con ácido sulfúrico y H₂O.

La capacidad de chancado es de 42 TM/hora, por lo tanto se trabaja 6 hrs. como mínimo por día para tratar 252 TM/ Día de mineral.

AGLOMERACION

El mineral chancado a \pm 80% - 5/8 es recepcionado en un hechadero, de la cual es alimentado al tambor aglomerador con 6° de inclinación, 8 RPM y revestido con jebe.

En sistema comprende humedecer el mineral en 6% de H₂O el ingreso del tambor (1/3) parte y seguido en la siguiente, L/3 parte del tambor Acido Sulfúrico concentrado con Sprays, con esto se conseguirá que las partículas finas se adhieran a las partículas gruesas que ayudarán la permeabilidad de las pilas y la reacción fuerte del ácido sobre el Cu.

El mineral aglomerado se descargará con una faja a una cancha para un período de reposo o "CURADO" de 48 hrs.

LIXIVIACION

Se realiza por aspersión de soluciones ácidas diluidas sobre el mineral previamente curado.

Las variables más importantes son:

Granulaciones del mineral.

- Las dosificaciones de agua y ácido en el curado.
- El grado de aglomeración de los finos durante el Curado y el consecuente aumento de permeabilidad y altura del lecho del mineral.

El contenido de agentes lixiviantes activos en las soluciones y su subsecuente regeneración.

- El ritmo de regado de soluciones.
- La duración de los ácidos de los ciclos de lixiviación y otros.

Para el transporte, manipuleo del mineral curado y residuo de Lixiviación se realiza con volquetes y cargador frontal.

La lixiviación del mineral curado se realizará en los Pads Impermiabilizados con mantos de PVC, divididos en 9 módulos de 13 mts. ancho y 39 mts. largo c/u, cada producto tendrá una capacidad de 1,300 TMS (6 días de tratamiento), la altura del mineral es de 1.85 mts., de los cuales 5 módulos estarán en riesgo, y los otros en descarga y carguio, quedando listo para el riesgo, cuando un módulo cumple su ciclo de lixiviación.

Cada módulo estará 28 días de riego.

CEMENTACION

La precipitación de Cu con chatarra de Fe se realiza en 4 conos precipitadores tipo Kennecott.

El cemento de Cu se sedimenta en 6 cochas, luego retirado para su posterior secado, en plataformas de concreto.

La solución gastado se recirculara a lixiviación adicionando ácido sulfúrico a 40 gr/lt.

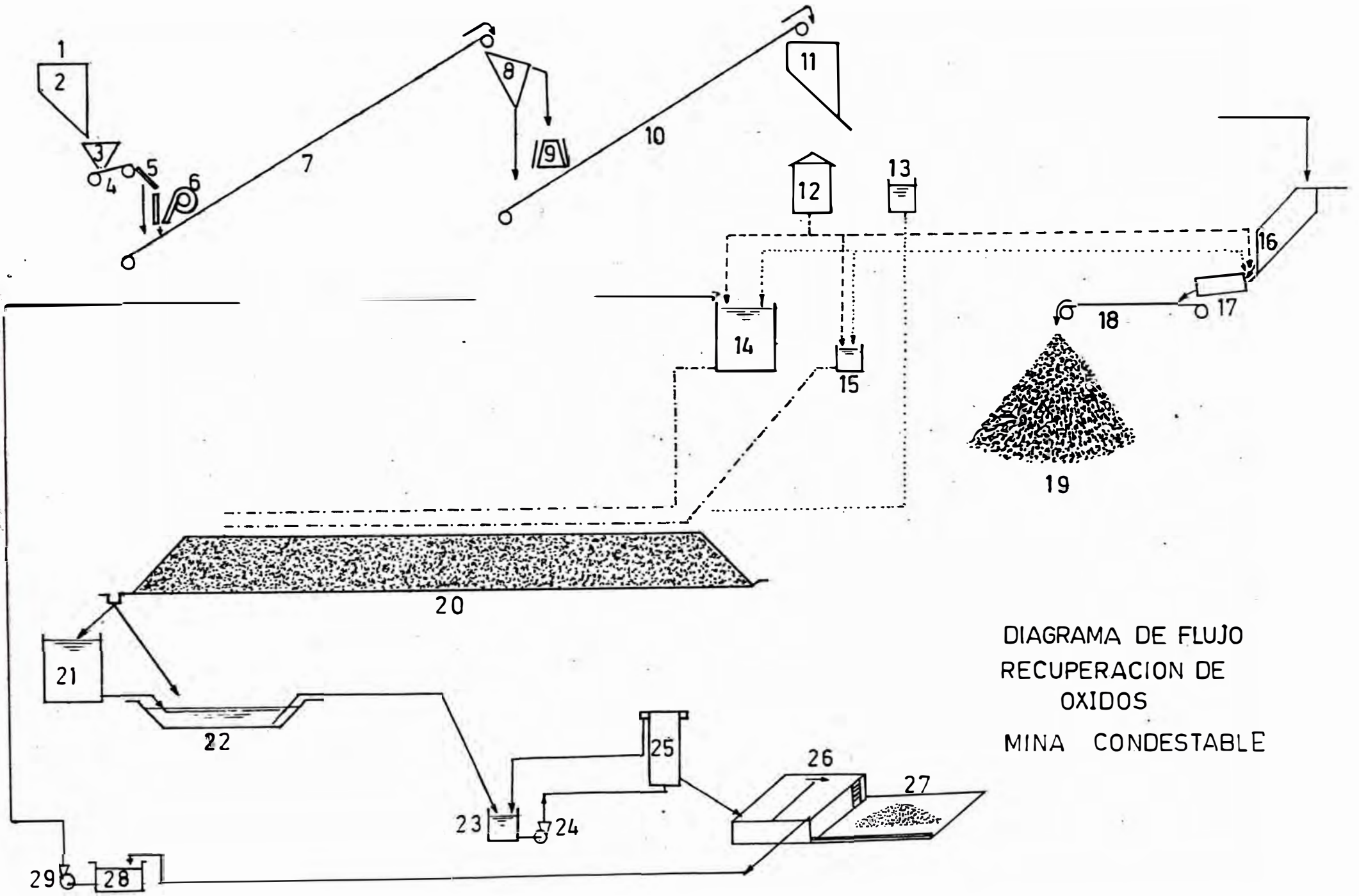


DIAGRAMA DE FLUJO
 RECUPERACION DE
 OXIDOS
 MINA CONDESTABLE

Nº	LEYENDA
1	Parrilla 8" de luz
2	Tolva de gruesos 180 TM.
3	Tolva Metálica Alimentadora.
4	Faja alimentadora 30"x 2.3 mts.
5	Grizzly 2" ø abertura.
6	Chancadora de Quijada 15"x 24" Otsuka.
7	Faja alimentadora 24"x 36 mts.
8	Zaranda vibratoria 5'x 12'
9	Chancadora cónica 3' telesmith.
10	Faja transportadora 24"x 9 mts.
11	Tolva de finos cap. 80 TM.
12	Tanque metálico para almacenamiento de ácido sulfúrico industrial cap. 90 TM.
13	Tanque de concreto recepción de agua cap. 6 m ³ .
14	Tanque metálica revestido con vinimanta para solución acidulada cap. 150 m ³ .
15	Tanque fibra de vidrio para solución acidulada cap. 8 m ³ .
16	Tolva de recepción mineral chancado para aglomeración. Cap. 60 TM.
17	Tambor aglomerador 1.3 mt. ø x 4 mts.
18	Faja transportadora 24" x 9 mts.
19	Stock pile mineral aglomerado.
20	Canchas de lixiviación. Area 4,563 m ²
21	Tanque metálico revestido con vinimanta para solución cosecha. Cap.: 150 m ³
22	Poza revestido con vinimanta para solución cosecha: Cap. 130 m ³ .

LEYENDA	
23	Tanques de recepción de solución cosecha. Cap 8 m ³ .
24	Bombas centrífugas Anti-Acida 4"x2 1/2" (4).
25	Conos precipitadores de 1.8 mts. ø x 3.00 mts de altura (4).
26	Cochas de sedimentación de cemento de Cu.
27	Plataforma de secado de cemento de Cu.
28	Poza de solución gastado, (Recirculación).
29	Bomba Centrífuga Anti-Acida, para solución gastado 3"x2".

3.5.- BALANCE DE MATERIA

1.- LIXIVIACION

RIEGO : (Solución Acidulada)

- Volumen de reposición H ₂ O	456 m ³ /día
- Volumen de solución agotada (Recirculación)	334 m ³ /día
- Conc. de ácido en solución Agotada	1.8 gr/lt.
- Conc. de ácido solución acidulada	39.6 gr/lt.
- Flujo de ácido que ingresa (Fresco)	597.4 Kg/hora
- Conc. de Cu en solución acidulada	0.09 gr/lt.

COSECHA: (Solución rica en Cobre)

- Volumen de solución rica en Cu.	334 m ³ /día
-----------------------------------	-------------------------

- Conc. de ácido en solución rica en Cu. 4.2 gr/lt.
- Conc. de Cu en solución rica 6.1 gr/lt
- Producción de Cu 2.040TM/día.

2.- CEMENTACION

SOLUCION RICA EN Cu.

- Flujo de ingreso 334 m³/día.
- Conc. de Cu. 6.1 gr/lt.
- Conc. de Acido 4.2 gr/lt.

SOLUCION AGOTADA DE Cu.

- Flujo de salida 334 m³/día
- Conc. de Cu 0.10 gr/lt.
- Conc. de H₂SO₄ 1.8 gr/lt.
- Producción de Cu Fino 2000 TM/día.
- Eficiencia 98 %
- Cu en Cemento 85 %
- Producción de cemento de Cu 2.353 TM/día.

CAPITULO IV

EVALUACION ECONOMICA

4.1.- INVERSIONES

Chancado	\$	210,000
Aglomerado		30,000
Lixiviación		140,000
Cementación		120,000
Gastos generales		20,000

TOTAL	\$	520,000

4.2.- PRODUCCION

AÑO	1	2	3	4	5
TRATAMIENTO MINERAL TMS	53,587	75,206	75,206	78,240	78,240
PRODUCTO FINAL CEMENTO DE COBRE TMS	580	814	814	847	847

4.3.- COSTO DE OPERACION

Jornales y sueldos	\$	46,815
Leyes sociales		18,000
Materiales		360,000
Energía eléctrica		10,680
Varios		12,000
Gastos distribuibles		66,000

TOTAL		663,495
		8.22 \$/TM _{MIN}
		0.42 \$/lb Cu.

4.4.- ANALISIS ECONOMICO

PRECIO Cu.	PRECIO H2SO4	TOTAL FLUJO	INVERSIONES DE CAPITAL	TASA DE RENDIMIENTO	VAN
\$/Lb.	\$/TMS	\$/USA	\$/USA	%	15%
1.0	30	2'063,837	520,000	65	1'345,071,429
1.0	50	1'741,549	520,000	52.82	1'132,374,716
1.0	80	1'058,980	520,000	25.43	681,948.7313
0.90	30	1'481,507	520,000	51.01	1'099,902.04
0.90	50	1'370,216	520,000	38.70	887,203.698
0.90	80	662,186	520,000	9.328	414,646.188
0.80	30	1'319,868	520,000	37.44	853,790.63
0.80	50	997,578	520,000	23.37	641,006.37
0.80	80	35,555	520,000	--	38,540.00

CONCLUSIONES

El presente trabajo entrega una visión del desarrollo operación de la planta de recuperación de óxidos en la mina Condestable.

La demora en puesta en marcha las operaciones de la planta fueron el precio del ácido sulfúrico y la baja del precio del cobre.

Se están siguiendo las investigaciones para bajar el consumo de ácido que se encuentra en 8.22 Kgs. de ácido/Kgs de Cu extraído, y el consumo de chatarra que se encuentra en 1.4 TM Fe/TM Cu, ya la solución rica tiene un alto contenido de Fe^{++} .

Este proceso es mas eficiente en términos de costos de operación, de menor requerimiento de energía de no ser contaminantes.

La evaluación económica se realizo para un tratamiento de 5 años de producción, que es del material (mineral) almacenado en los stocks, pero se cuenta con mineral en cierta cantidad no explotada (no se tiene cantidad de reservas).

BIBLIOGRAFIA

- HYDROMETALLURGY: Theory and practice - Cecil A. and Ida Green. Graduate and Professional Center Golden, Colorado.

- REVISTA MINERALES Nº 174, Vol. 41 Lixiviación T.L.: Hidrodinámica del Flujo de soluciones en lechos porosos no saturados.

- HIDROMETALURGIA TOMO I y II: Ph D.H.H. Haung
Ph D.L.G. Twidwell.
Ph D.J.D. Miller

- PROCESO TL : Una Concepción Moderna de la Lixiviación de Minerales.
Esteban M. Domic.

- RESULTADOS TECNICO-ECONOMICOS DE LA OPERACION INDUSTRIAL DEL PROCESO TL EN CHILE.
Esteban M Domic.

- MINING MAGAZINE. NOV. 1991. OVER A CENTURY OF BIOLEACHING COPPER SULPHIDES AT ANDACOLLA - CHILE.