

TESIS
FARIAS



TESIS
PROFESIONAL
1934

FGA
1934
-1

UNAM



15

TESIS-BCCT



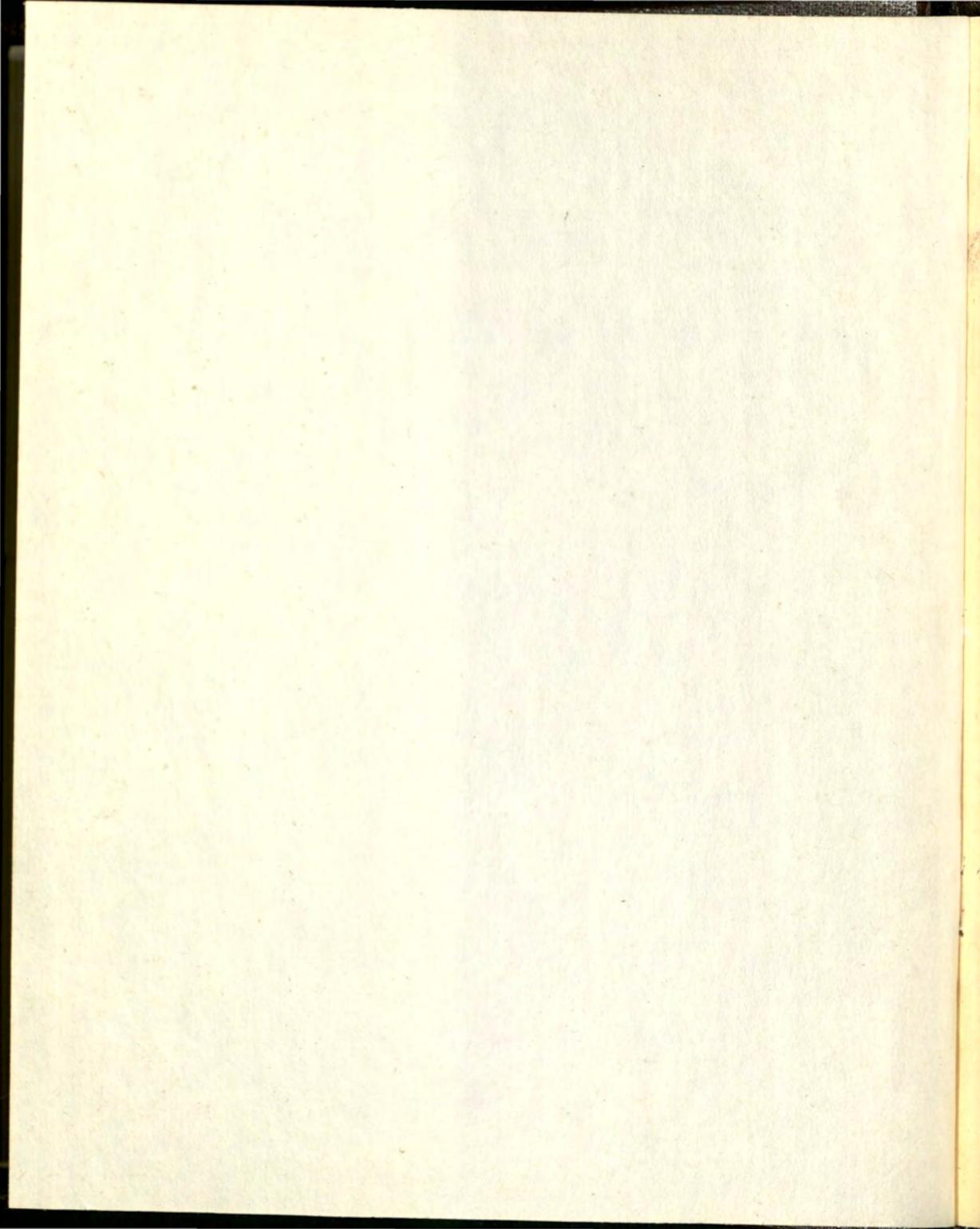
T-15





INSTITUTO DE GEOLOGIA
BIBLIOTECA

I-38
15



CLASSIFIED BY: [REDACTED]
DATE: [REDACTED]
AUTHORITY: [REDACTED]
FOUO: [REDACTED]
PROCESSED BY: [REDACTED]

MEMORANDUM FOR THE DIRECTOR

FROM: [REDACTED]

SUBJECT: [REDACTED]



DATE: [REDACTED]

BY: [REDACTED]

CLASIF. FDA-1934 I-1
ADQUIS. I-38
FECHA enero 2008
PROCED. _____

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. 82
Facultad de Ciencias e Industrias Químicas

ESTUDIO METALURGICO DE UN

MINERAL DE COBRE.

T E S I S

presentada en su
Examen de Quími-
co Metalurgista-
y Ensayador por-
el alumno



BIBLIOTECA

Alfredo Farías de la Garza.

México, D.F.
1 9 3 4

15

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Ciencias e Industrias Químicas

429.4
Fabe

ESTUDIO METALÚRGICO DE UN
MINERAL DE COBRE.

1934

TESIS

presentada al Examen de Grado
de Licenciatura en Metalurgia
y Minería por el alumno



Alfredo Torres de la Garza.

México, D.F.
1934

A mis queridos padres.

PROGRAMA.

Introducción.-

I.- Estudio Mineralógico.-

II.- Estudio Analítico.-

III.- Estudio Metalúrgico.-

IV.- Pruebas de Lixiviación en el Laboratorio.-

V.- Precipitación. A mis hermanos.

Resumen.

CONCLUSIONES.

A mis Maestros
y Compañeros.

251

A mis queridos padres.

ESTADOS UNIDOS

A mis hermanas.

A mis Maestros
y Compañeros.

100

PROGRAMA.

Introducción.-

I.- Estudio Mineralógico.-

II.- Estudio Analítico.-

III.- Estudio Metalúrgico.-

IV.- Pruebas de Lexiviación en el Laboratorio.-

V.- Precipitantes.-

Resumen.

CONCLUSIONES.

PROGRAMA

Introducción

I.- Estudio Microquímico

II.- Estudio Analítico

III.- Estudio Metalúrgico

IV.- Pruebas de Identificación en el Laboratorio

V.- Precipitaciones

Resumen

CONCLUSIONES

ESTUDIO MINERALÓGICO

INTRODUCCION.

La minería en nuestro país no le ha dado la importancia que se merece al beneficio - de los minerales de baja ley de cobre; no obstante que existen en la actualidad diversos procedimientos que abaratan tanto el -- costo de la instalación de la Planta como - el beneficio en sí.-

Habiendo recibido del Estado de Guerrero un lote de minerales que por el análisis resultó ser bajo en cobre; aproveché esto - para hacer un estudio metalúrgico del mismo, escogiendo el procedimiento más económico y eficiente para el caso.-

INTRODUCCION.

La minería en nuestro país no ha dado
- importancia que se merece al beneficio
de las minas de plata de cobre; no
obstante que existen en la actualidad
- procedimientos que abarcan tanto el
costo de la instalación de la Planta como
- el beneficio en sí.

Habiendo recibido del Estado de Querétaro
to un lote de minas que por el análisis
resultó ser rico en cobre, se decidió
para hacer un estudio preliminar del mismo
- accionando el procedimiento más económico y
eficiente para el caso.

El estudio de las minas
- se realizó en el mes de
- febrero de 1911.
- El costo del estudio
- fue de \$ 100.00.
- El costo de la instalación
- de la planta es de \$ 100.00.
- El costo de la explotación
- es de \$ 100.00.
- El beneficio neto es de \$ 100.00.

ESTUDIO MINERALOGICO.

ESTUDIO MINERALOGICO

Chalcocita.- Cu_2S .

Bornita.- $Cu_3FeS_3 = Cu_2S. CuS. FeS$.

Chalcopyrita.- $CuFeS_2$

Cuprita.- Cu_2O

Crisocola.- $CuO. SiO_2. H_2O$

Malaquita.- $CuCO_3. Cu(OH)_2$

Cuarzo.- SiO_2

Pirita.- FeS_2

Limonita.- $Fe_2O_3. nH_2O$

Hematita.- Fe_2O_3

Los métodos seguidos para el análisis químico de las muestras de minerales se refieren a la técnica de los autores citados.

A. H. LEW.- Technical Methods of Ore Analysis.
W. W. SCOTT.- Standard Methods of Chemical Analysis.

Para el estudio de los minerales solamente algunos de los datos del análisis total son de utilidad, y ha sido necesario determinar algunos en forma de compuesto para poder trabajar la Planta de Extracción podiendo saber el porcentaje de Cu. en cada muestra mineralógica.- Los resultados obtenidos están los obtenidos de la muestra de los minerales de la zona.

ESTUDIO MINERALOGICO

Chalcocita - Cu₂S

Bornita - Cu₅FeS₄ = Cu₂FeS₂ + Cu₃FeS₂

Chalcopirita - Cu₅FeS₄

Cuprita - Cu₂O

Cristocoba - Cu₂SiO₃

Melaconita - Cu₂(OH)₂CO₃

Carro - SiO₂

Prusa - FeS

Ammonita - Fe₂O₃ · nH₂O

Hematita - Fe₂O₃

Limonita - Fe₂O₃ · nH₂O

Malachita - Cu₂(OH)₂CO₃

ESTUDIO ANALITICO.

Para escoger el procedimiento metalúrgico a que se debe someter el mineral se analizaron varios lotes, según la Tabla adjunta y tomando una parte equivalente de cada uno se procedió a mezclarlos y hacer el análisis correspondiente.-

Los lotes # 1 y # 2 son de material superficial, siendo el # 1 de material oxidado, y el # 2 de material sulfurado.-

El material del lote # 3 es de mineral inalterado y duro.

El lote # 4 es de mineral sumamente alterado por la acción de la intemperie, produciendo en gran cantidad material muy fino y lodos colcides.-

Los minerales de los lotes # 5 y # 6 son de material alterado como el del # 4.-

Los minerales de los lotes # 7, 8 y 9 son como los de los # 1 y 2.-

Hay que tomar en cuenta para los datos finales que en un mineral con 2% de metales, la variación de 0.01% en las colas hace una diferencia de 0.05% en el porcentaje de extracción y que estos errores pueden provenir de la toma de muestra y del análisis químico.-

Los métodos seguidos para el análisis químico de los minerales se efectuaron de acuerdo con la técnica de los siguientes autores:

A. H. LOW.- Technical Methods of Ore Analysis.-

W. W. SCOTT.- Standard Methods of Chemical Analysis.-

Para el estudio del mineral solamente algunos de los datos del análisis total nos serán de utilidad, y habrá necesidad de determinar algunos en forma de compuesto para que al trabajar la Planta de Lixiviación podamos saber el porcentaje de Cu. en cada forma mineralógica.- Los resultados siguientes fueron los obtenidos de la mezcla de los minerales de los lo-

tes:

Total	Cobre como:			Insolu- ble.	Fe	CaO	S.
	Soluble en ác.	Cu ₂ S	Cu Fe S ₂				
1.33	0.08	1.09	0.16	92.98	1.80	0.53	1.40

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE MINERALES DE COBRE EN SUS DISTINTAS FORMAS.

Determinación de Cu. en minerales oxidados.- Se pesan 2-gramos del mineral finamente pulverizado, se pasa a una ma- --
traz; el Fe. metálico se separa con un imán, se le agregan --
50 c.c. de una solución (al 5% en peso) de H₂SO₄ de SO₂.- La-
mezcla se lexivía por una hora a la temperatura de laborato--
rio, agitándose de vez en cuando.- Se filtra lavándose el re-
siduo y el filtro cuatro o cinco veces con agua caliente.- El
filtrado se hierve hasta que haya sido expulsado el SO₂ (vein-
te minutos) y el Cu. en solución se determina por el método -
standard.-

Determinación de Cu. en Chalcocita.- El residuo en el pa-
pel: filtro de la filtración del método anterior se lava ba--
jándolo a un matraz con la menor cantidad de agua posible, se
lleva la solución a 40 c.c. y se le agregan 3.2 gramos de - -
NaCN (la solución de lexivación de NaCN contiene 8% de NaCN)
Se lexivía durante siete minutos a 80° C., agitándose de vez-
en cuando; se filtra; el residuo y el papel filtro se lavam -
cuatro o cinco veces con agua caliente, agregándose al filtra-
do cuatro gramos de Bisulfato de Sodio, diez c.c. de H₂SO₄ --
concentrado, y diez c.c. de HNO₃ concentrado., se hierve esta
solución durante quince minutos, tapando con un vidrio de re-
loj el matraz.- Se quita al cabo de los quince minutos y se -
lleva a humos blancos de ácido sulfúrico.- Se deja enfriar y-
se le agregan cinco c.c. de HNO₃ y se vuelve a llevar a humos

S.	Cao	Te	Inasly me.	Cobre como:			Total en ac.
				On Te 22	On Te 22	On Te 22	
1.40	0.23	1.30	22.22	1.02	0.12	1.33	0.08

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE MINERALES DE COBRE EN
SUS DIFERENTES FORMAS.

Determinación de Cu. en minerales oxidados. - Se pesan 2-3 gramos del mineral finamente pulverizado, se pasa a una tarraza; el Cu. resultante se separa con un ácido, se le agregan 20 c.c. de una solución (al 2% en peso) de H₂O₂ de 20% - la mezcla se lavaría por una hora a la temperatura de laboratorio, agitándose de vez en cuando. - Se filtra lavándose el residuo y el filtro cuatro o cinco veces con agua caliente. - El filtrado se hierve hasta que haya sido expulsado el 50% (volumen) de H₂O. en solución se determina por el método estándar.

Determinación de Cu. en Chalcocita. - El residuo en el papel filtro de la filtración del método anterior se lava por completo a un matraz con la mayor cantidad de agua posible, se lava la solución a 40 c.c. y se le agregan 2-3 gramos de NaOH. La solución de lavadura de NaOH contiene 5% de NaOH. Se lavaría durante cinco minutos a 80° C., agitándose de vez en cuando; se filtra; el residuo y el papel filtro se lavan cuatro o cinco veces con agua caliente, agregándose al filtrado cuatro gramos de Bisulfito de Sodio, 20 c.c. de H₂O₂ concentrado, y diez c.c. de HNO₃ concentrado. Se hierve esta solución durante cinco minutos, tapando con un vidrio de reloj el matraz. - Se quita el cabo de los cinco minutos y se lleva a un matraz de vidrio alcohólico. - Se deja enfriar y se le agregan cinco c.c. de HNO₃ y se vuelve a hervir a un matraz.

blancos para desalojar todo el NaCN.- Se determina el Cu. por el método standard.-

Determinación de Cu. en Chalcopirita.- El papel filtro y el residuo del análisis anterior se calcinan y se pasan a un matraz donde se disuelven en diez c.c. de HNO_3 concentrado, se lleva a sequedad, se deja enfriar y se le agregan dos c.c. de H_2SO_4 y se lleva a humos blancos, se enfría, se diluye y se determina el Cu. por el método standard.-

Determinación de Cu. Total.- De 0.5 a 3 gramos de mineral finamente pulverizado se pasan a un matraz, se le agregan 3 c.c. de agua (unas gotas de agua de bromo si el mineral es muy sulfurado) más 10 c.c. de HNO_3 , se lleva a sequedad completa, se deja enfriar y se le agregan 2 c.c. de H_2SO_4 y se evapora a humos blancos, se enfría y se diluye con 30 c.c. de agua, se calienta hasta que las sales solubles estén en solución, determinándose el Cu. por el método standard.-

Nota.- Cuando el mineral tiene un alto porcentaje de óxido de Fe., se ataca primero con 5 c.c. de HCl, se hierve y se evapora a pequeño volumen, se le agrega HNO_3 y se sigue la --marcha.--

ANALISIS DE LAS SOLUCIONES.

Esta parte puede ir después del tratamiento por el método de lexivación, pero al exponer los métodos analíticos para el control de los minerales, cabe exponer los métodos para el control de las soluciones de lexivación.-

Acido Sulfúrico Libre.- La determinación de Acido Sulfúrico Libre en soluciones que contienen Fe. al estado férrico y Cu., requiere separarlos para poder obtener un punto final exacto.- Esto se lleva a cabo calentando la muestra (5 a 25 c.c.) hasta ebullición, agregándole aproximadamente 5 c.c. de una solución al 50% de KI.- Una vez fría, se diluye la solución a 50 c.c., y el yoduro cuproso que se formó, se separa por medio de la filtración, y si se encuentra en cantidades grandes que hagan que la solución aparezca lechosa, el filtro

placas para deslizar todo el NaOH. Se determina el Ca por el método estándar. -

Determinación de Ca en Dicalcificas - El papel filtro y el residuo del análisis anterior se calcinan y se pesan a un-
 matras donde se disuelven en diez c.c. de HNO₃ concentrado, se
 lleva a sequedad, se deja entrar y se le agregan dos c.c. de
 H₂SO₄ y se lleva a nuevas placas, se entra se diluye y se -
 determina el Ca por el método estándar. -

Determinación de Ca Total - De 0.5 a 3 gramos de minor-
 zantes pulverizados se pesan a un matras, se le agregan
 3 c.c. de agua (para que se quite el exceso de H₂O) y se
 lleva a sequedad con-
 trolada, se deja entrar y se le agregan 2 c.c. de H₂SO₄ y se -
 evapora a nuevas placas, se entra y se diluye con 30 c.c. de
 agua, se colienta hasta que las sales blancas estén en solu-
 ción, determinándose el Ca por el método estándar. -

Nota - Cuando el mineral tiene un alto porcentaje de óxi-
 do de Fe, se trata primero con 5 c.c. de HCl, se filtra y se
 evapora a pedregno volumen, se le agrega HNO₃ y se sigue la
 marcha. -

ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

Esta parte queda in dependiente del tratamiento por el método
 de la valoración, pero al exponer los métodos analíticos pa-
 ra el control de las soluciones, cabe exponer los métodos para
 el control de las soluciones de la valoración. -

Adós Sulfitico Libre - La determinación de Adós Sulfitico
 libre en soluciones que contienen un ácido fuerte
 y Os₂ se hacen por el método de la valoración. -
 Este se lleva a cabo calentando la muestra (3 a 5 c.c.)
 hasta ebullición, se agregan aproximadamente 5 c.c. de
 una solución al 50% de KI. Una vez fría se diluye la solu-
 ción a 50 c.c., y el yodo que se forma, se separa -
 por medio de la extracción, y al ser encontrada en cantidades
 grandes que hacen que la solución aparezca turbia, el líquido

es lavado y se le agrega de una solución de Tiosulfato de Sodio, hasta que el yodo libre apenas desaparezca, e inmediatamente se comienza a titular con una solución de Na_2CO_3 Normal, usándose Methyl Orange como indicador.- La función del KI es reducir el Fe. al estado ferroso y precipitar el Cu., no haciendo ningún efecto en el ácido libre.- El yodo liberado se elimina por el Tiosulfato.-

Fe. Total.- El total de Fe. se determina por reducción de sulfato Férrico usando una lámina de aluminio en presencia de 5 c.c. de H_2SO_4 y de unas gotas de HCl.- Teniendo el volumen como a 75 c.c. cuando la reducción esté terminada, se decanta la solución a través de un embudo con tapón de algodón y se titula con una solución N/10 de Permanganato.-

Fe. como Compuesto Ferroso.- El Fe.' es determinado directamente en la solución una vez que se le ha agregado 5 c.c. de H_2SO_4 , titulándose con una solución N/10 de Permanganato.-

Fe. como Compuesto Férrico.- El Fe.' se determina por diferencia del Fe.' del Fe. Total.-

de lavado de la muestra de una solución de Tiosulfato de So-
dio, hasta que el agua libre de azufre sea casi nula, e inmediata-
mente se centrifuga a 1500 r.p.m. con una solución de H₂O₂ 3%.
Después de lavar con agua destilada, se centrifuga a 1500 r.p.m.
con una solución de H₂O₂ 3%. El agua libre de azufre se elimina por el Tiosulfato.

Fe. Total. - El total de Fe. se determina por reducción-
de sulfato férrico usando una solución de aluminio en presencia
de 5 c.c. de H₂SO₄ y de una gota de HCl. - Teniendo el
volumen como a 75 c.c. cuando la reducción está terminada,
se decanta la solución a través de un embudo con tapón de al-
godón y se titula con una solución N/10 de Permanganato.

Fe. como Oxidato Férrico. - El Fe. se determinado di-
rectamente en la solución una vez que se ha separado el
c.c. de H₂SO₄, titulándose con una solución N/10 de Permanganato.

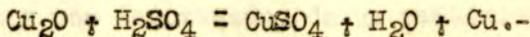
Fe. como Oxidato Férrico. - El Fe. se determina por
diferencia del Fe. Total.

III.

ESTUDIO METALURGICO.

Los resultados del análisis dan un por ciento de Cu. muy bajo, y por el estudio mineralógico se ve que se encuentran los compuestos de Cu., tanto al estado de óxido como al de Sulfuros y Silicatos.- Por el procedimiento de lexivación con Sulfato Férrico acidulada, se pondrán en solución todos los compuestos de Cu. menos el que se encuentra en forma de Chalcopirita, que está en un 0.18% del total, y al mismo tiempo se reduce la maquinaria para su beneficio.-

Facilidad de Lexiviación de varios Minerales de Cu.- Tomando en cuenta el actual método de Lexiviación de minerales de cobre, se debe fijar uno en la facilidad con que varios de los minerales de Cu. se disuelven en los disolventes comerciales.- Como veremos más adelante el tipo de lexivación y la naturaleza del lexivante en donde los dos afectan los aspectos químicos al disolver ciertos minerales.- Es bien sabido que el Sulfato de Cobre puede disolverse en el agua, -- que el sulfato básico, carbonatos, muchos silicatos y el óxido cúprico, son todos solubles en el H_2SO_4 diluido, y que la Cuprita (Cu_2O) dá la mitad de su Cu. al ácido sulfúrico solo, según la reacción:

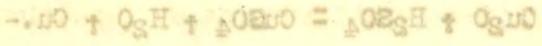


La porción insoluble queda como Cu. metálico finamente dividido, solamente al dejarse mucho tiempo en contacto con el ácido, se disolverá en caso de tener oxígeno o alguna -- sustancia oxidante.- El Cu. nativo es soluble en H_2SO_4 en presencia de una sustancia oxidante.- Oxidantes también son requeridos para la lexivación directa de los sulfuros de -- Cu.- Con la excepción de la Chalcopirita, los sulfuros comunes son atacados por una solución de sulfato férrico.- Con la Chalcocita (Cu_2S) la acción es regularmente acelerada -- hasta que la mitad del Cu. se ha disuelto; desde este momento decrece debido a que un producto similar a la Covelita -- (CuS) es primeramente formado, su acción siendo menos rápida

ESTUDIO METALURGICO.

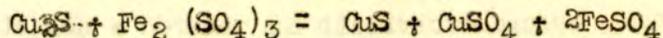
Los resultados del analisis del sulfato de Cu. muy
 bajo, y por el estudio mineralogico se ve que se encuentran
 los compuestos de Cu., tanto el estado de oxido como el de
 Sulfuro y Sulfatos. - Por el procedimiento de lixiviacion
 con Sulfato Ferrico saturado, se pueden en solucion todas
 los compuestos de Cu. menos el que se encuentra en forma de
 Chalcopirita, que esta en un 0.1% del total, y al mismo
 tiempo se reduce la magnesia para su beneficio.

Facilidad de lixiviacion de vertes minerales de Cu. - To
 mando en cuenta el actual metodo de lixiviacion de minerales
 de cobre, se debe fijar uno en la facilidad con que vertes
 de los minerales de Cu. se disuelven en los disolventes co-
 munes. - Como veremos mas adelante el tipo de lixiviacion
 y la naturaleza del lixivante en donde los dos efectos co-
 ncurran para facilitar el disolver ciertos minerales. - Se debe
 fijar que el Sulfato de Cobre puede disolverse en el agua,
 que el sulfato basico, carbonato, arsenato, y el oxido
 de cobre, son todos solubles en el H₂SO₄ diluido, y que la
 Gunita (Cu₂O) de la mitad de su Cu. el acido sulfurico solo
 según la reaccion:

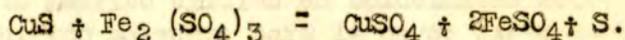


La porcion insoluble queda como Cu. metalico finamente
 dividido, solamente se detiene mucho tiempo en contacto con
 el acido, se disuelve en caso de tener oxigeno o algun
 sustancia oxidante. - El Cu. nativo es soluble en H₂SO₄ en
 presencia de una sustancia oxidante. - Oxidantes tambien son
 requeridos para la lixiviacion directa de los sulfuros de
 Cu. - Con la excepcion de la Chalcopirita, los sulfuros comu-
 nes son atacados por una solucion de sulfato ferrico. - Con
 la Chalcoita (Cu₂S) la accion es regularmente acelerada
 hasta que la mitad del Cu. se ha disuelto, desde este momen-
 to adelante debido a que un producto similar a la Gunita
 (Cu₂O) es primeramente formado, su accion siendo menos rapida

sobre el Sulfato Férrico.- Las reacciones probables son las siguientes:



y



Para la completa disolución de la Chalcopirita, una -- parte de Cu. requiere 1.757 en peso de Fe. (férrico).-

Lexiviación por medio del Amoniaco.- Ha sido aplicado favorablemente al Cu. nativo y a los Carbonatos, los que están en forma de Silicatos requieren antes una tostación reductora.-

Procedimiento de Tostación y Lexiviación.- Este imprime un gasto un tanto fuerte debido a la construcción del -- horno y su manutención, dando los resultados siguientes:

Tostación Clorurante (10% de NaCl) con azufre, da un rendimiento de 77.6% en minerales oxidados.-

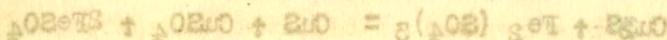
Tostación clorurante (sin azufre) de minerales sulfurados, da un rendimiento total de 88.8% con 15% de Na Cl.-

Tostación Clorurante con 5% de NaCl de dos partes de -- mineral sulfurado y una de oxidado, da un rendimiento de -- 85.5%.-

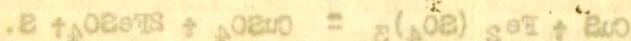
Otro inconveniente de este método, es que una parte del producto se volatiliza habiendo necesidad de instalar Casa de Humos donde se recogerá éste en mayor proporción que el que se ha transformado en mineral soluble.-

Lexiviación con Sulfato Férrico Acidulado.- Ultimamente se han estado haciendo estudios extensos sobre la aplicación de métodos de lexiviación a minerales depositados en -- pequeñas cantidades con baja graduación de Cu.- Una de las principales dificultades ha sido obtener un solvente de estos minerales.- Otra dificultad ha sido el alto costo ini--

sobre el sulfato férrico. -- Las reacciones propuestas son las siguientes:



v



Para la completa disolución de la Galioespinita, una parte de Cu. requiere 1.757 en peso de Fe. (férrico).

Leixivación por medio del Amoníaco -- Ha sido explicado favorablemente al Cu. nativo y a los Carbonatos, los que se dan en forma de Silicatos requieren antes una tostación preliminar.

Procedimiento de Tostación y Leixivación -- Este método es un gasto un tanto fuerte debido a la construcción del horno y su mantenimiento, dando los resultados siguientes:

Tostación Cloruro (10% de NaCl) con azufre, da un rendimiento de 77.6% en minerales oxidados.

Tostación Cloruro (sin azufre) de minerales sulfurosos, da un rendimiento total de 88.6% con 1.5% de NaCl.

Tostación Cloruro con 5% de NaCl de dos partes de mineral sulfuroso y una de oxidado, da un rendimiento de 88.6%.

Otro inconveniente de este método, es que una parte del producto se volatiliza haciendo necesaria la instalar Gasas de Huma donde se recogerá esta en mayor proporción que el que se ha transformado en mineral soluble.

Leixivación con Sulfato Férrico Acuoso -- Últimamente se han estado haciendo estudios extensos sobre la aplicación de métodos de leixivación a minerales depositados en pequeñas cantidades con baja producción de Cu. Una de las principales dificultades ha sido obtener un solvente de los minerales. -- Otro dificultad ha sido el alto costo del

cial de la planta y el tipo cuidadoso del mecanismo que se necesita para llevar a su fin el ciclo de lexivación.-

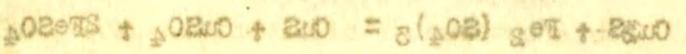
Se ha llegado a obtener un disolvente barato y eficiente que llene las necesidades de una planta pequeña.- Se sabe que el Sulfato Férrico diluido en solución de ácido sulfúrico es un magnífico solvente para la mayor parte de los minerales de Cu., como: Chalcocita, Bornita, y las formas oxidadas, pero no para la Chalcopirita y ciertos silicatos.-

La preparación del solvente es obtenida de productos -- sulfurosos, y el precipitante que es el Fierro Esponjoso (de bido a que en el futuro escaseará el fierro metálico de desecho).- El hecho de que por su estructura física se preste el Fierro Esponjoso a manejarse mecánicamente, lo hace muy cómodo para este sistema de beneficio.-

Los métodos de lexivación se han estudiado también, habiéndose efectuado pruebas con Drenaje Abierto y por el método de Rociar, que eliminan la presión hidrostática en los -- tanques, y que bajo condiciones propias reduce las tendencias a "canalizar" y a "gotear", que con frecuencia se encuentran.- El sistema de Drenaje Abierto da por resultado -- que la permeabilidad de la carga puede ser aumentada por -- "aglomeración" donde los "finos" se hacen que cubran a las partículas gruesas, facilitando así el paso de la solución lexivante por el mineral en presencia de bastante mineral "fino" para causar el "taponamiento" y la "canalización" por otros métodos.- Este método permite la lexivación de minerales con una gran cantidad de "lodos" en menor tiempo que por los métodos generales en que el mineral se "anega" con la solución.-

Una planta muy pequeña de lexivación no puede sostener los gastos de una Planta de Ácido Sulfúrico.- El Sulfato Férrico no se obtiene como subproducto, sino que se tiene que hacer en el sistema de lexivación, como por la oxidación -- anódica y requiere una instalación costosa.- Soluciones de Sulfato Férrico en solución ácida producida por el método de Bióxido de Azufre, pueden ser usadas donde se desee la acción acelerada en el mineral.-

sobre el Sulfato Férrico. -- Las reacciones propuestas son las siguientes:



Para la completa disolución de la Galioespirita, una parte de Cu. requiere 1.757 en peso de Fe. (Férrico).

Leixivación por medio del Amoníaco -- He sido aplicado favorablemente al Cu. nativo y a los Carbonatos, los que se han en forma de Sulfatos reducidos antes una tostación reducida.

Procedimiento de Tostación y Leixivación -- Este método me ha dado un tanto mejor debido a la conservación del hierro y al mantenimiento, dando los resultados siguientes:

Tostación Clorante (10% de NaCl) con azufre, da un rendimiento de 77.6% en minerales oxidados.

Tostación clorante (sin azufre) de minerales sulfurosos, da un rendimiento total de 88.6% con 1.5% de NaCl.

Tostación Clorante con 3% de NaCl de las partes de mineral sulfuroso y una de oxidado, da un rendimiento de 85.3%.

Otro inconveniente de este método, es que una parte del producto se volatiliza haciendo necesario de instalar Gasas de Hunda donde se recogerá este en mayor proporción que el que se ha transformado en mineral soluble.

Leixivación con Sulfato Férrico Acidulado -- Últimamente se han estado haciendo estudios extensos sobre la aplicación de métodos de leixivación a minerales depositados en pedregales con baja gradación de Cu. -- Una de las principales dificultades ha sido obtener un solvente de los minerales. -- Otra dificultad ha sido el alto costo del

DESCRIPCION DEL PROCESO.

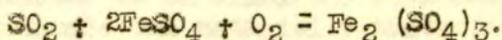
I.- El Sulfato Férrico y el Acido Sulfúrico son producidos por la auto-oxidación de Sulfato Ferroso y Bióxido de Azufre en presencia del aire.- El Sulfato Ferroso se obtiene de las soluciones agotadas, y el Bióxido de Azufre de la Piritita, Azufre, o de los gases de la Tostación de Minerales Sulfurados.- La reacción comienza, primero oxidando al fierro, y luego genera ácido sulfúrico.- El uso de una Celda de regeneración que expelle el gas en forma de pequeñas burbujas ha dado muy buenos resultados.-

II.- La mayor parte de los minerales de cobre como Chalcocita, Bornita y las formas oxidadas, son amenas a la lexi--viación con el Sulfato Férrico Acidulado.- Chalcopyrita y --ciertos silicatos no se disuelven en el reactivo.-

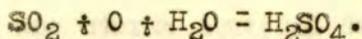
III.- Regeneración del solvente.-

IV.- Precipitación por medio del Fierro Esponjoso.-

Regeneración del Solvente.- La producción de la solución de Sulfato Férrico acidulada, sea en cualquier clase de aparato, se puede decir que es la auto-oxidación del Bióxido de --Azufre y Sulfato Ferroso en presencia del aire según las siguientes reacciones:



Si el procedimiento se lleva propiamente y controlándose, la oxidación del fierro se lleva hasta alcanzar un 90%, en -- donde empieza la producción del Acido Sulfúrico.- Aunque puede haber unas reacciones intermedias, la reacción del producto final se puede presentar así:



La concentración del Acido Sulfúrico puede ser llevada a cabo después de que se ha oxidado el fierro al por ciento que se necesita para la lexiación del Cu.- El requisito necesi-

DESCRIPCION DEL PROCESO.

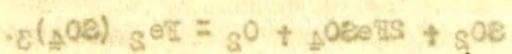
I.- El Sulfato Férrico y el Ácido Sulfúrico son producidos por la auto-oxidación de Sulfato Férrico y Bóxido de Hierro en presencia del aire. El Sulfato Férrico se obtiene de las soluciones acuosas, y el Bóxido de Hierro de las filtraciones de las casas de la Tostación de Minerales Sulfurados. La reacción comienza, primero oxidando el hierro, y luego genera ácido sulfúrico. El uso de una caída de regeneración que expone el gas en forma de pequeñas burbujas de agua muy buenas resultadas.

II.- La mayor parte de los minerales de cobre como Chalcocita, Bornita y las formas oxidadas, son empujados a la lección con el Sulfato Férrico Acidulado. Chalcocita y ciertos sulfatos no se disuelven en el reactivo.

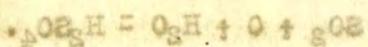
III.- Regeneración del solvente.

IV.- Precipitación por medio del Hierro Saponoso.

Regeneración del Solvente. - La producción de la solución de Sulfato Férrico acidulado, sea en cualquier clase de aparato, se puede hacer que sea la auto-oxidación del Bóxido de Hierro y Sulfato Férrico en presencia del aire según las siguientes reacciones:



Si el procedimiento se lleva propiamente y controlándose la oxidación del hierro se lleva hasta el punto en que cuando empieza la producción del Ácido Sulfúrico. Aunque puede haber unas reacciones intermedias, la reacción del producto final se puede presentar así:



La concentración del Ácido Sulfúrico puede ser llevada a cabo después de que se ha oxidado el hierro al período que se necesita para la lección del Cu. El período necesario

rio para llevar a cabo las reacciones deseadas, es tener la solución en contacto con el gas en tales condiciones que tanto el Oxígeno como el SO_2 , puedan ser absorbidos.- Como el SO_2 es relativamente más soluble en el agua que el Oxígeno y el SO_2 tiende a funcionar como reductor, ha sido necesario usar aparatos en que se haga pasar el gas en pequeñas burbujas como de un m.m. de diámetro para que de resultados satisfactorios.- Usándose para el caso una celda con el fondo poroso, ya sea una tela de lana u otro medio.- El SO_2 puede ser obtenido para el reactivo, de la Piritita de las "Colas" de alguna planta de concentración o usándose Azufre cuando convenga.-

SISTEMAS DE LEXIVIACION POR PERCOLACION.

I.- El mecanismo de la lexiviación por percolación, comparando las extracciones por el método de Anegamiento y el de Drenaje Abierto, dá por resultado que si el mineral es anegado, la solución ocupa los intersticios entre las partículas, donde en el método de Drenaje Abierto, la solución se encuentra en pequeñas capas alrededor de ellas dejando entre una y otra huecos.- En condiciones iguales se han obtenido mayores extracciones por el sistema de Drenaje Abierto.-

II.- En una lexiviación común por el sistema de Anegamiento el grado de trituración permitido es limitado por el aumento de Finos que causa la canalización dando extracciones bajas.- Este factor se ha eliminado últimamente por la clasificación por tamaño del material y tratamiento por separado del material fino.- Los datos anteriores han dado por resultado que el efecto de los Finos se reduzcan por la aglomeración de la carga antes de lexiviar por el método de Anegamiento o por el de Drenaje Abierto; por lo tanto eliminando tratamientos separados en casos que de otra manera se harían necesarios.-

III.- Devolviendo una cierta cantidad de la solución agotada de Sulfato Ferroso al circuito de lexiviación y agregando una cantidad grande de Acido Libre, hasta satisfacer la oxidación, el Fe^{++} es regenerado en las condiciones del sistema de Drenaje Abierto y los sulfuros de cobre pueden --

rio para llevar a cabo las operaciones deseadas, es tener la solución en contacto con el gas en tales condiciones que tan to el Oxígeno como el SO_2 , puedan ser absorbidos. -- Como el SO_2 es relativamente más soluble en el agua que el Oxígeno y el SO_2 tiende a funcionar como reactivo, ha sido necesario usar agitadores en que se haga pasar el gas en pedruzcos por las como de un m.m. de diámetro para que de resistidos satis factorios. -- Usándose para el caso una celda con el fondo poroso, ya sea una tela de lana u otro medio. -- El SO_2 puede ser obtenido para el reactivo, de la Pirita de las "Colas" de alguna planta de concentración o usándose Azufre cuando con venga.

SISTEMAS DE LEXIVACION POR PERCOLACION.

I. -- El mecanismo de la lexivación por percolación, con parando las extracciones por el método de Anagimato y el de Prenaje Abierto, da por resultado que si el mineral es Anagimato, la solución ocupa los intersticios entre las partículas, donde en el método de Prenaje Abierto, la solución se encuentra en pedruzcos espaciales alrededor de ellas de tanto entre una y otra huecos. -- En condiciones iguales se han obtenido mayores extracciones por el sistema de Prenaje Abierto.

II. -- En una lexivación común por el sistema de Anagimato el grado de trituración permitido es limitado por el aumento de finos que causa la generalización dando extracciones más bajas. -- Este factor se ha eliminado satisfactoriamente por la clasificación por tamaño del material y tratamiento por separado del material fino. -- Los datos anteriores son dados por resultado que el efecto de los finos se reduce por la clasificación de la carga antes de lexivar por el método de Anagimato o por el de Prenaje Abierto; por lo tanto eliminando de tratamientos separados en casos que de otra manera se harían necesarios.

III. -- Desviando una cierta cantidad de la solución agotada de Sulfito Ferroso al circuito de lexivación y agregando una cantidad grande de Acido Libre, hasta saturar la solución, el Fe⁺⁺ es regenerado en las condiciones del sistema de Prenaje Abierto y los sulfuros de cobre pueden

ser lexiados sin ningún otro método para producir el Sulfa to Férrico.- Sin embargo, el tiempo que se necesita para esto es considerable debido a que la oxidación atmosférica es muy lenta.-

Conceptos Fundamentales.- La lexiación por percolación por cualquiera de los dos métodos es posible.- En un caso el mineral está sumergido en la fase solución y en el otro el Drenaje Libre, tendiendo la solución a formar una película delgada alrededor de la superficie del mineral.- Se ha creído generalmente que con anegar continuamente el mineral se obtienen rápidamente los valores del mineral.-

El mecanismo actual de la lexiación por percolación-- se puede hacer más factible considerando una partícula áspera de mineral teniendo valores en su interior con grietas o poros de dimensiones capilares conectadas con la superficie, para lexiviar esa partícula las soluciones deberán penetrar y permear el interior por los tubos capilares; que reaccionen con el mineral y luego sean desalojadas por la solución nueva.- Este procedimiento implica pasaje de la solución, ya sea de un lado al otro, o entrada y salida de la partícula, siendo el paso de la solución por los tubos capilares lo que se tarda la lexiación.- Consecuentemente, la circulación de la solución aumenta los efectos de la difusión natural.-

En el sistema de lexiación por Anegamiento, que emplea el sistema de inmersión constante, se vé que la solución lexiante ocupa los intersticios entre las partículas de mineral siguiendo con más facilidad entre las partículas gruesas.-

Lexiación por Drenaje Abierto.- El sistema de lexiación del Drenaje Abierto no necesariamente emplea tanques -- con los lados ajustados debido a que la salida está constantemente abierta y así se elimina la presión hidrostática.- La solución gotea desde la parte superior hasta la inferior y si las condiciones son propiamente controladas estará como una película sobre las partículas de mineral.- Bajo estas -- circunstancias, entonces, toda la solución deberá hacer contacto con el mineral si los intersticios entre las partícu--

ser lavadas sin ningún otro medio para producir el agua
to férrico. Sin embargo, el tiempo que se necesita para es-
to es considerable debido a que la oxidación atmosférica es
muy lenta.

Conceptos Fundamentales. - La lavación por percolación
tiene por objeto lavar los minerales de los que se trata
en el mineral que está sustruido en la fase solución y en el
otro de la fase sólida, teniendo la solución a formar una
línea de flujo alrededor de la superficie del mineral. Se
ha creído generalmente que con mayor continuamente el mine-
ral se obtienen rápidamente los valores del mineral.

El mecanismo actual de la lavación por percolación
se puede hacer más fácil considerando una partícula espe-
cial de mineral teniendo valores en su interior con cristales
poros de dimensiones capilares con la superficie.
Para lavar las partículas las soluciones deberán penetrar
y permanecer en el interior por los tipos capilares; que resaca-
nan con el mineral y luego sean desalojadas por la solución
nueva. Este procedimiento implica pasaje de la solución y
sea de un lado a otro, o entrada y salida de la partícula,
aún el paso de la solución por los tipos capilares lo que
se tarda la lavación. - Consecuentemente, la circulación
de la solución aumenta los efectos de la difusión natural.

En el sistema de lavación por percolación, que em-
plea el sistema de circulación constante, se ve que la solu-
ción lavante ocupa los intersticios entre las partículas
de mineral siguiendo con más facilidad entre las partículas
gruesas.

Lavación por Prensa Hidráulica. - El sistema de lavación
en el sistema de prensa hidráulica necesariamente emplea tanques
con los lados ajustados debido a que la salida está constan-
temente abierta y así se elimina la presión hidráulica.
La solución fluye desde la parte superior hasta la inferior
y si las condiciones son propiamente controladas estará como
una película sobre las partículas de mineral. - Bajo estas
circunstancias, entonces, será la solución deberá pasar con-
tacto con el mineral si los intersticios entre las partículas

las han permanecido abiertas y el interior de la carga no se ha anegado.-

El período largo de contacto y la extracción incompleta generalmente asociada con esta clase de trabajo puede haber sido debido a los fragmentos de tamaño considerable a que este método había sido generalmente aplicado.-

La aceleración del método de Drenaje Abierto ha sido corregida en los últimos tiempos, al triturar más finamente el mineral, eliminando así la necesidad de humedecer y secar el mineral, lo que antes caracterizaba este tratamiento y usando soluciones más concentradas que dan un aumento de "acción solvente".- Para hacer bien la lexivación por este método deberá hacerse una buena distribución de la solución sobre la superficie del mineral y que la solución no pase por los intersticios, sino que haga contacto directo con las partículas sin anegarlas.- Sin embargo, la gravedad tiende a causar una corriente de la solución directamente al fondo desde el punto de aplicación, aún en presencia de una carga de permeabilidad variable.- La propiedad cohesiva del agua hace un papel importante en este caso.- Es un requisito indispensable en el sistema de Drenaje Abierto distribuir uniformemente la solución.

Efectos de los Finos en la Lexivación.- El grado óptimo de trituración para la lexivación es determinado metalúrgicamente por el resultado de dos factores:- (a) Aumento de la relación de extracción con la disminución del tamaño de la partícula, debido a la mayor superficie expuesta a la solución.- (b) Disminución en extracción total al ser triturado más finamente el mineral, debido al aumento de taponamiento efectuado por los Finos, que retardan el acceso uniforme de la solución a la carga y que hace que se formen canales.-

Se ha visto que triturando un mineral al tamaño máximo de 1 cm. el grado mínimo se determina por la cantidad de Finos que produce.- Cuando la carga no es uniforme con respecto al tamaño de las partículas hay una tendencia a fluir desigual, haciendo canales y dejando las partes donde predominan los Finos solamente parcialmente lexivados.- El resultado ha sido que se ideen métodos para cargar uniformemente, y la dis

las han permanecido estables y el interior de la carga no se ha cambiado.

El período largo de contacto y la extracción incompleta generalmente asociada con estas clases de carga puede haber sido debido a los tratamientos de tamaño considerable a que se le aplicó.

La aceleración del método de Drenaje Abierto ha sido considerable en los últimos tiempos, al tratar mas finamente el mineral, eliminando así la necesidad de humedecer y secar el mineral, lo que entre otras características este tratamiento y cuando soluciones más concentradas que dan un aumento de "acción solvente". -- Para hacer bien la lexicación por este método debe haberse una buena distribución de la solución sobre la superficie del mineral y que la solución no pase por las partículas, sino que haga contacto directo con las partículas sin energías. -- Sin embargo, la gravedad tiende a causar una corriente de la solución directamente al fondo desde el punto de aplicación, aun en presencia de una carga de permeabilidad variable. -- La propiedad capilar del agua hace un papel importante en este caso. -- En un estudio independiente en el tema de Drenaje Abierto distribuir uniformemente la solución.

Efectos de los tipos en la lexicación. -- El grado de distribución para la lexicación es determinado en términos de la cantidad de los factores: (a) -- el tamaño de la partícula debido a la mayor superficie expuesta a la solución. -- (b) -- el tamaño total de la superficie de lexicación debido al mineral, debido al aumento de la superficie de lexicación por los tipos, que retienen el exceso uniforme de la solución a la carga y que producen se forman canales.

Se ha visto que tratándose el mineral el tamaño máximo de la carga mínima se determina por la cantidad de tipos que produce. -- Cuando la carga es uniforme con respecto al tamaño de las partículas hay una tendencia a fluir desde cual, haciendo canales y dejando las partes donde predominan los tipos solamente parcialmente lexicados. -- El resultado ha sido que se hacen métodos para cargar uniformemente, y la distribución

tribución o eliminación completa de los Finos por clasificación, del sistema de percolación seguido de un tratamiento de separado por agitación.- Este último método es el que más se emplea.-

En el sistema de Drenaje Abierto se vió que entre más grande era la trituración, menor era el grado de permeabilidad de la carga.- Cierta clase de minerales requieren que la solución escurra por la carga a una velocidad determinada -- cuando el tamaño de la partícula es menor de 1 cm. de diámetro.-

Para aumentar el grado de percolación teniendo Finos y tratando de que no haya interferencia en la percolación, se puede hacer de la siguiente manera:- (a) Separación de los lodos.- (b) Disminuyendo el efecto de los Finos por la Aglomeración.-

Aglomeración de las partículas finas y gruesas.- Las partículas gruesas se humedecen y se mezclan con los Finos, adhiriéndose estos a aquellas y se colocan en la parte inferior del tanque; arriba se pone material fino y se empieza a agregar la solución.- (a) La solución pasa entre todos sin disgregar las partículas aglomeradas.- (b) Un fluido transparente se obtiene como resultado sin necesidad de poner filtros en la parte inferior.- (c) Aún en caso de tener mucha cantidad de Finos, la relación de percolación es acelerada.- (d) El sistema de Drenaje Abierto dará mejores resultados de extracción.- (e) Las películas de la solución tienen una afinidad mayor hacia la superficie del mineral y no resulta ninguna presión hidrostática en el fondo o lados del tanque.-

Efectos de la Aglomeración.- Por Aglomeración es corregida la segregación de las partículas gruesas y finas cuando se usa el sistema de Drenaje Abierto o el de Anegado, aumentando este tratamiento la permeabilidad cuando se usa el sistema de Drenaje Abierto.-

Quando el mineral es humedecido y mezclado con los Finos, se aglomera en partículas redondeadas.- Si el drenaje se deja abierto durante la operación de lexivación y la solu-

tribución o eliminación completa de los fines por clasifica-
ción del sistema de percolación según de un tratamiento
de separación por extracción. Este último método es el que más
se emplea.

En el sistema de Prensa Abierta se ve que entre más
grande sea la trituración, menor será el grado de permeabili-
dad de la carga. En ciertos casos de minerales resistentes que la
solución escurre por la carga a una velocidad determinada
cuando el tamaño de la partícula es menor de 1 cm. de diáme-
tro.

Para mantener el grado de percolación teniendo fines y
tratando de que no haya interferencia en la percolación, se
puede haber de la siguiente manera: (a) Separación de los
fines. (b) Manteniendo el efecto de los fines por la ac-
ción.

Alimentación de las partículas fines y gruesas. -- las
partículas gruesas se mezclan con los fines
adquiriéndose estos a espaldas y se colocan en la parte infe-
rior del tambor, arriba se pone material fino y se empieza a
segregar la solución. (a) La solución pasa entre todos sin
disturbar las partículas gruesas. (b) Un fluido también
se obtiene como resultado de la necesidad de poner lí-
tros en la parte inferior. (c) Así en caso de tener mucha
cantidad de fines, la relación de percolación es acelerada.
(d) El sistema de Prensa Abierta da mejores resultados de
extracción. (e) Las películas de la solución tienen una rigi-
didad mayor hasta la superficie del mineral y no resulta rigi-
dada presión hidrostática en el tambor o lados del tambor.

Efectos de la Alimentación. -- Por Alimentación es como
sea la segregación de las partículas gruesas y fines cuando
se usa el sistema de Prensa Abierta o el de Anegado, cuando
también este tratamiento la permeabilidad cuando se usa el sis-
tema de Prensa Abierta.

Cuando el mineral es humedecido y mezclado con los fi-
nos, se alimenta en partículas redondeadas. Si el drenaje se
da de abarato durante la operación de extracción y la ac-
ción.

ción pasa solamente a una velocidad en películas sobre las partículas agregadas y el estado aglomerado se retiene durante la operación, aparentemente debido a la afinidad del líquido por el mineral y la tensión superficial de las películas del líquido que tienden a mantener las partículas aglomeradas juntas.-

La gravedad y la cohesión de la greda hacen que la solución que existe en corriente continua, cubra las partículas y pase entre ellas.- Cuando hay pocos gruesos los finos se aglomeran, pero careciendo de centro sólido son fácilmente comprimidos por el peso de la carga y reducidos a una masa compacta.-

Comparación de Métodos.- En la figura # 1 los "A", "B" y "C" es el sistema de lexicivación por Anegamiento.- Las representadas por "D", "E" y "F" enseñan las condiciones en que la lexicivación por Drenaje Abierto se efectúa.- Las "A" y "D" lo representan completo.- Las "B", "C" y "E" lo representan en aumento para demostrar las diferencias fundamentales de los dos métodos.- La "C" es una ilustración aumentada para enseñar el mecanismo que distingue el método de Drenaje Abierto Aglomerado.-

La figura "A" representa el método común de Anegamiento:-

"a" es el tanque que contiene la carga.-

"b" es la solución lexicivante en la cual la carga está sumergida y que la impregna completamente, incluyendo los huecos formados.-

"c" es una carga de mineral finamente triturado.-

"d" y "e" son los tubos de la solución, ya sea de entrada o de salida, no importando que sea de abajo hacia arriba o viceversa.-

"f" es un fondo poroso que sostiene mecánicamente la carga y que permite el paso de la solución.-

... las partículas que se encuentran en suspensión en el agua...
... las partículas que se encuentran en suspensión en el agua...
... las partículas que se encuentran en suspensión en el agua...

... la gravedad y la cohesión de las partículas...
... la gravedad y la cohesión de las partículas...
... la gravedad y la cohesión de las partículas...

Comentarios de los autores. - En la figura # 1 los "A", "B", "C" y "D" se refieren a las partículas que se encuentran en suspensión en el agua...
... la gravedad y la cohesión de las partículas...
... la gravedad y la cohesión de las partículas...

La figura "A" representa el método de sedimentación...
... la gravedad y la cohesión de las partículas...

"B" es el tiempo que requiere la sedimentación...
... la gravedad y la cohesión de las partículas...
... la gravedad y la cohesión de las partículas...

"C" es una carga de mineral suspendida...
... la gravedad y la cohesión de las partículas...
... la gravedad y la cohesión de las partículas...

"D" es un tiempo por el que se requiere la sedimentación...
... la gravedad y la cohesión de las partículas...

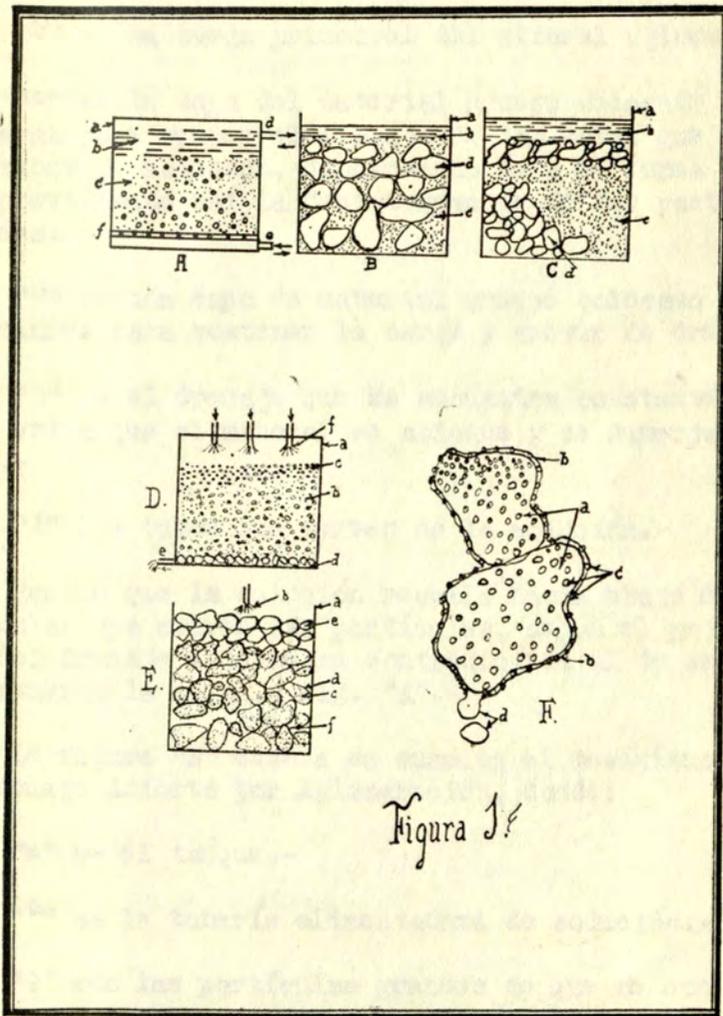
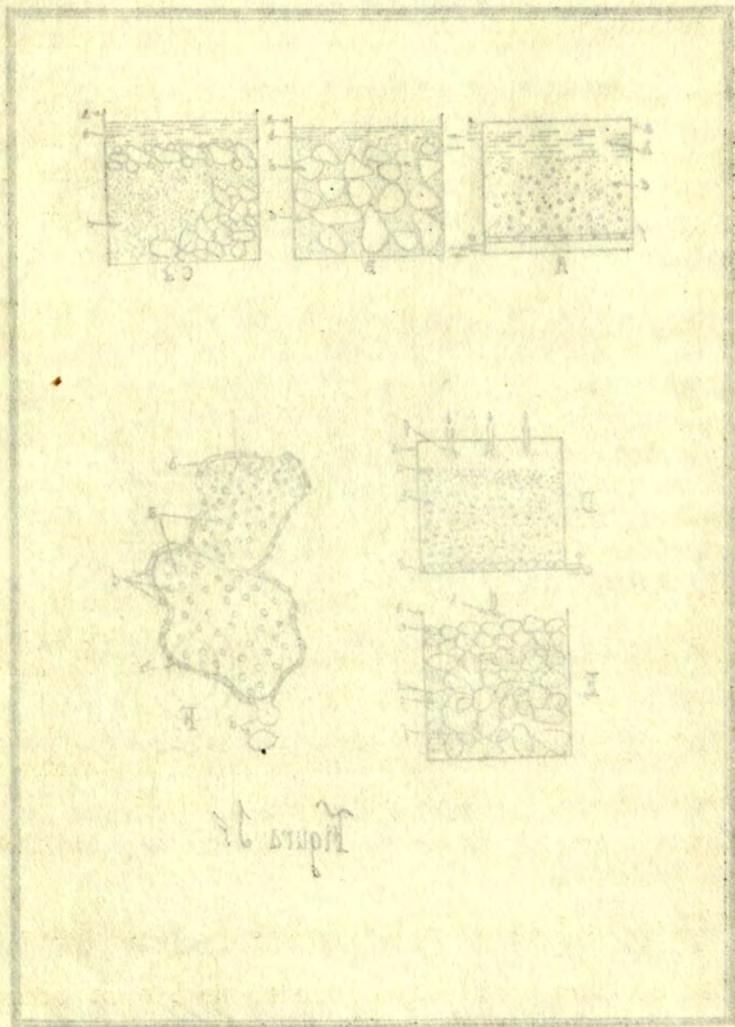


Figura 1



La figura "D" representa el método de Drenaje Abierto por Aglomeración, donde:

"a" es el tanque para la carga.-

"b" es la carga principal del mineral aglomerado.-

"c" es la capa del material grueso colocado arriba de la carga para romper el impacto de las gotas que caen por los tubos de solución, dispersando ésta en forma de película, previniendo así la desintegración de las partículas aglomeradas.-

"d" es una capa de material grueso colocado en el fondo del tanque para sostener la carga y servir de drenaje.-

"e" es el drenaje que se encuentra constantemente abierto y evita que el mineral se anegue y se sumerja en la solución.-

"f" los tubos que surten de la solución.-

Por lo que la solución resbala hacia abajo en pequeñas películas que cubren las partículas, según el principio general del Drenaje Abierto en contradicción al de Anegamiento que sumerge la carga.- Fig. "A".-

La figura "E" enseña en aumento el mecanismo del método de Drenaje Abierto por Aglomeración, donde:

"a" es el tanque.-

"b" es la tubería alimentadora de solución.-

"g" son las partículas grandes de que se compone la carga.-

"d" es el material fino que cubre al grueso por aglomeración.-

"e" es la capa de material grueso colocado arriba de la

La figura "D" representa el método de Drenaje Abierto por Aglomeración, donde:

"a" es el tanque para la carga...
"b" es la carga principal del mineral aglomerado.

"c" es la capa del material grueso colocado arriba de la carga para romper el impacto de las gotas que caen por los tubos de solución, dispersando ésta en forma de película, evitando así la desintegración de las partículas más finas.

"d" es una capa de material grueso colocado en el fondo del tanque para sostener la carga y servir de drenaje.

"e" es el drenaje que se encuentra constantemente abierto y evita que el mineral se ahogue y se acumule en la solución.

"f" los tubos que surten de la solución.

Por lo que la solución resalta hasta el punto en pedregales que cubren las partículas, según el principio general de drenaje abierto en contradicción al de aglomeración que amarga la carga. - Fig. "A".

La figura "E" muestra en aumento el mecanismo del método de Drenaje Abierto por Aglomeración, donde:

"a" es el tanque.

"b" es la tubería alimentadora de solución.

"c" son las partículas gruesas de que se compone la carga.

"d" es el material fino que cubre el grueso por aglomeración.

"e" es la capa de material grueso colocado arriba de la

carga para recibir el choque de la solución.-

"f" es el espacio hueco lleno de aire entre las partículas aglomeradas que permanecen así durante la lexicivación.-

Las figuras "D" y "C" representan el estado en que se encuentran las cargas, aunque hayan sido previamente aglomeradas, viéndose que las partículas finas se disgregan y llenan los huecos, formando canalizaciones y dejando parte del mineral sin lexiviar, debido al anegamiento de toda la carga sumergiéndola en la solución lexicivante.-

La figura "F" enseña en aumento la base principal que diferencia el método de lexicivación por Drenaje Abierto por Aglomeración del de percolación por Anegamiento, como sigue:

"a" representa dos partículas grandes de mineral.-

"c" representa la cubierta de Finos adheridos a la superficie de las partículas grandes por la humedad.-

"b" representa la película de solución que, no sólo cubre las partículas grandes, sino que debido a la gravedad el contenido de la película baja constantemente.- La solución tiene una gran afinidad por las partículas de mineral, tendiendo aparentemente a retenerla en forma de película y las superficies del mineral mojadas, esto dá por resultado, junto con la tensión superficial a adherir los Finos en glóbulos que se mantienen así durante la lexicivación.-

"d" representa que al terminar de cubrir una partícula, la columna se junta y cae en gotas, no encontrándose esto en el método de Anegamiento.-

Lexivación de Gargas Aglomeradas.- Trozos gruesos de cuarzo se colocan en el fondo de la tina para servir de drenaje y la carga aglomerada se voltea sobre ellos, se cubre la parte superior con otro material para que no se desintegre la aglomeración, siendo de tal clase que la solución percole tan rápidamente como se vá agregando.-

17.- para recibir el chorro de la solución.

"2" es el espacio hueco lleno de aire entre las partículas
las aglomeradas que permanecen así durante la lixiviación.

Las figuras "D" y "D'" representan el estado en que se
encuentran las cargas, siempre hay unido previamente aglomera-
ciones, yéndose que las partículas finas se dispersan y las
más los huecos, formando aglomeraciones y dejando parte del
material sin lixiviar, debido al enmascaramiento de toda la carga
suministrándose en la solución lixiviana.

La figura "E" enseña en su momento la fase principal que
diferencia al método de lixiviación por filtrado directo por
aglomeración del de percolación por ascenso, como sigue:

"A" representa dos partículas grandes de mineral.

"B" representa la cubierta de finos adheridos a la su-
perficie de las partículas grandes por la humedad.

"C" representa la película de solución que, no sólo en-
cubre las partículas grandes, sino que debido a la gravedad el
contenido de la película baja constantemente. La solución
tiene una gran afinidad por las partículas de mineral, ten-
diendo aparentemente a retenerlas en forma de película y las
partículas del mineral mojado, esto da por resultado, que
con la formación de la película se adheren los finos en el
los que se encuentran en la lixiviación.

"D" representa que el mineral se cubre con partículas
la columna se junta y cae en gotas, no encontrándose esto en
el método de ascenso.

Lixiviación de gases aglomerados. - Trazos gruesos de
carga se colocan en el fondo de la tina para servir de base
y la carga aglomerada se voltea sobre ella, es cuando
la parte superior con otro material para que no se desmenu-
re la aglomeración, siendo de tal clase que la solución per-
cola tan rápidamente como se va evaporando.

IV.-

PRUEBAS DE LEXIVIACION EN EL LABORATORIO.

Se hicieron pruebas en el Laboratorio de los tres métodos de lexicivación que a continuación se expresan, usando un mineral con el siguiente análisis:-

Cobre Total	1.33%
Cobre como Oxido	0.08%
Cobre como Chalcocita	1.09%
Cobre como Chalcopirita	0.16%

La solución de lexicivación fué hecha con sustancias puras:

Acido Sulfúrico	6.75 grs.
Sulfato Férrico	12.65 grs. (por Lt. de Fe''')

En la figura # 2 "A" es el método de capas horizontales con la percolación de abajo hacia arriba.-

"B" representa el método de aglomeración con la percolación de abajo hacia arriba.-

"C" representa el método de Aglomeración con Drenaje Abierto.-

Su usaron percoladores de vidrio, con tapones de algodón, y a la temperatura del Laboratorio.-

El de lexicivación por Drenaje Abierto se cubrió con -- una capa de cuarzo como de 5 cm. de espesor para distribuir la solución.-

Se pasaron las soluciones por el mineral dos veces al día y se procuró mantener la percolación lo más uniformemen

PRUEBAS DE LIXIVIACION EN EL LABORATORIO.

Se hicieron pruebas en el laboratorio de los tres métodos de lixiviación que se continúan a expresarse, usando un mineral con el siguiente análisis:-

1.33%	Cobre Total
0.08%	Cobre como Oxido
1.02%	Cobre como Chalcocita
0.16%	Cobre como Chalcopirita

La solución de lixiviación fue hecha con sustancias -

0.75 grs.	Sulfato Sulfúrico
12.55 grs. (por lit. de Fe ⁺⁺⁺)	Sulfato Férrico

En la figura # 2 "A" es el método de capas horizontales con la percolación de abajo hacia arriba.-

"B" representa el método de aglomeración con la percolación de abajo hacia arriba.-

"C" representa el método de aglomeración con drenaje -

Se usaron percoladores de vidrio, con tapones de alambic y a la temperatura del laboratorio.-

El de lixiviación por drenaje abierto se cubrió con una capa de cuarzo como de 5 cm. de espesor para distribuir la solución.-

Se pasaron las soluciones por el mineral dos veces en días y se procuró mantener la percolación lo más uniforme

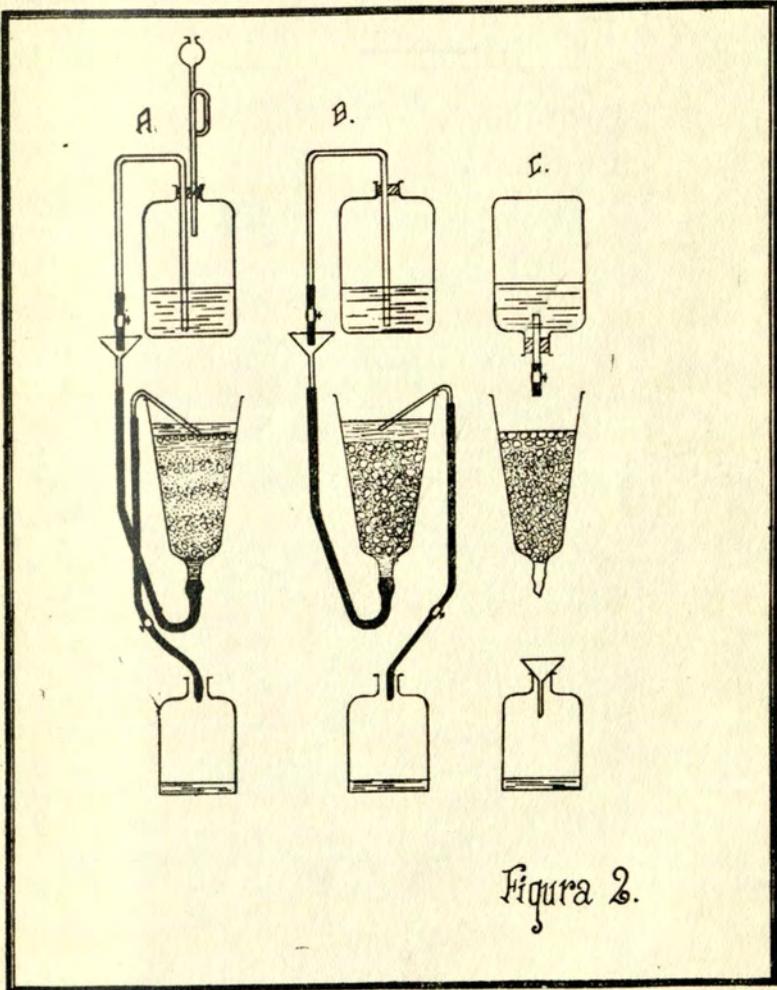
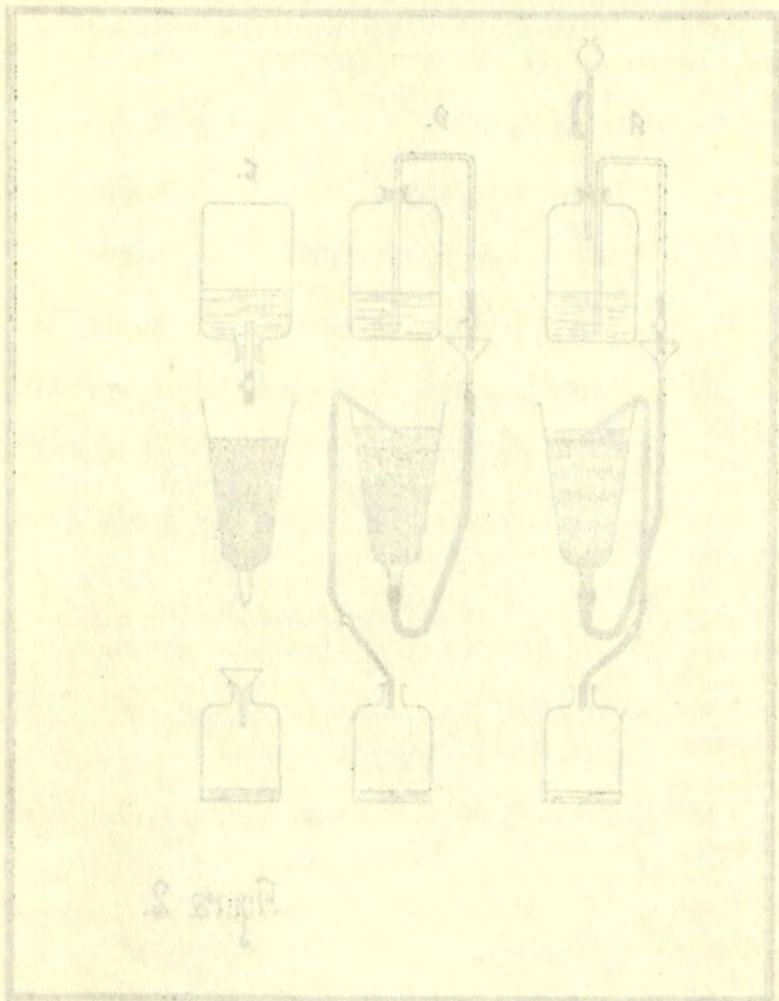


Figura 2.



te posible.-

Por la Tabla # 2 y Gráfica a continuación podrá apreciarse que el sistema de Aglomeración por Drenaje Abierto dió las mejores extracciones.-

| Medida |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1/4 | 1/2 | 3/4 | 1 | 1 1/2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 4.50 | 4.45 | 4.45 | 4.65 | 1.74 | 1.83 | 2.70 | 2.10 | 2.30 | 4.15 |
| 9.50 | 7.49 | 7.48 | 10.50 | 11.00 | 11.18 | 10.08 | 10.95 | 10.90 | 3.22 |
| 12.50 | 11.52 | 12.10 | 13.50 | 13.74 | 13.70 | 13.75 | 13.86 | 13.00 | 15.44 |
| 16.50 | 15.50 | 16.50 | 17.50 | 17.74 | 17.70 | 17.75 | 17.86 | 17.00 | 18.44 |
| 20.50 | 19.50 | 20.50 | 21.50 | 21.74 | 21.70 | 21.75 | 21.86 | 21.00 | 22.44 |
| 24.50 | 23.50 | 24.50 | 25.50 | 25.74 | 25.70 | 25.75 | 25.86 | 25.00 | 26.44 |
| 28.50 | 27.50 | 28.50 | 29.50 | 29.74 | 29.70 | 29.75 | 29.86 | 29.00 | 30.44 |
| 32.50 | 31.50 | 32.50 | 33.50 | 33.74 | 33.70 | 33.75 | 33.86 | 33.00 | 34.44 |
| 36.50 | 35.50 | 36.50 | 37.50 | 37.74 | 37.70 | 37.75 | 37.86 | 37.00 | 38.44 |
| 40.50 | 39.50 | 40.50 | 41.50 | 41.74 | 41.70 | 41.75 | 41.86 | 41.00 | 42.44 |
| 44.50 | 43.50 | 44.50 | 45.50 | 45.74 | 45.70 | 45.75 | 45.86 | 45.00 | 46.44 |
| 48.50 | 47.50 | 48.50 | 49.50 | 49.74 | 49.70 | 49.75 | 49.86 | 49.00 | 50.44 |
| 52.50 | 51.50 | 52.50 | 53.50 | 53.74 | 53.70 | 53.75 | 53.86 | 53.00 | 54.44 |
| 56.50 | 55.50 | 56.50 | 57.50 | 57.74 | 57.70 | 57.75 | 57.86 | 57.00 | 58.44 |
| 60.50 | 59.50 | 60.50 | 61.50 | 61.74 | 61.70 | 61.75 | 61.86 | 61.00 | 62.44 |
| 64.50 | 63.50 | 64.50 | 65.50 | 65.74 | 65.70 | 65.75 | 65.86 | 65.00 | 66.44 |
| 68.50 | 67.50 | 68.50 | 69.50 | 69.74 | 69.70 | 69.75 | 69.86 | 69.00 | 70.44 |
| 72.50 | 71.50 | 72.50 | 73.50 | 73.74 | 73.70 | 73.75 | 73.86 | 73.00 | 74.44 |
| 76.50 | 75.50 | 76.50 | 77.50 | 77.74 | 77.70 | 77.75 | 77.86 | 77.00 | 78.44 |
| 80.50 | 79.50 | 80.50 | 81.50 | 81.74 | 81.70 | 81.75 | 81.86 | 81.00 | 82.44 |
| 84.50 | 83.50 | 84.50 | 85.50 | 85.74 | 85.70 | 85.75 | 85.86 | 85.00 | 86.44 |
| 88.50 | 87.50 | 88.50 | 89.50 | 89.74 | 89.70 | 89.75 | 89.86 | 89.00 | 90.44 |
| 92.50 | 91.50 | 92.50 | 93.50 | 93.74 | 93.70 | 93.75 | 93.86 | 93.00 | 94.44 |
| 96.50 | 95.50 | 96.50 | 97.50 | 97.74 | 97.70 | 97.75 | 97.86 | 97.00 | 98.44 |
| 100.50 | 99.50 | 100.50 | 101.50 | 101.74 | 101.70 | 101.75 | 101.86 | 101.00 | 102.44 |

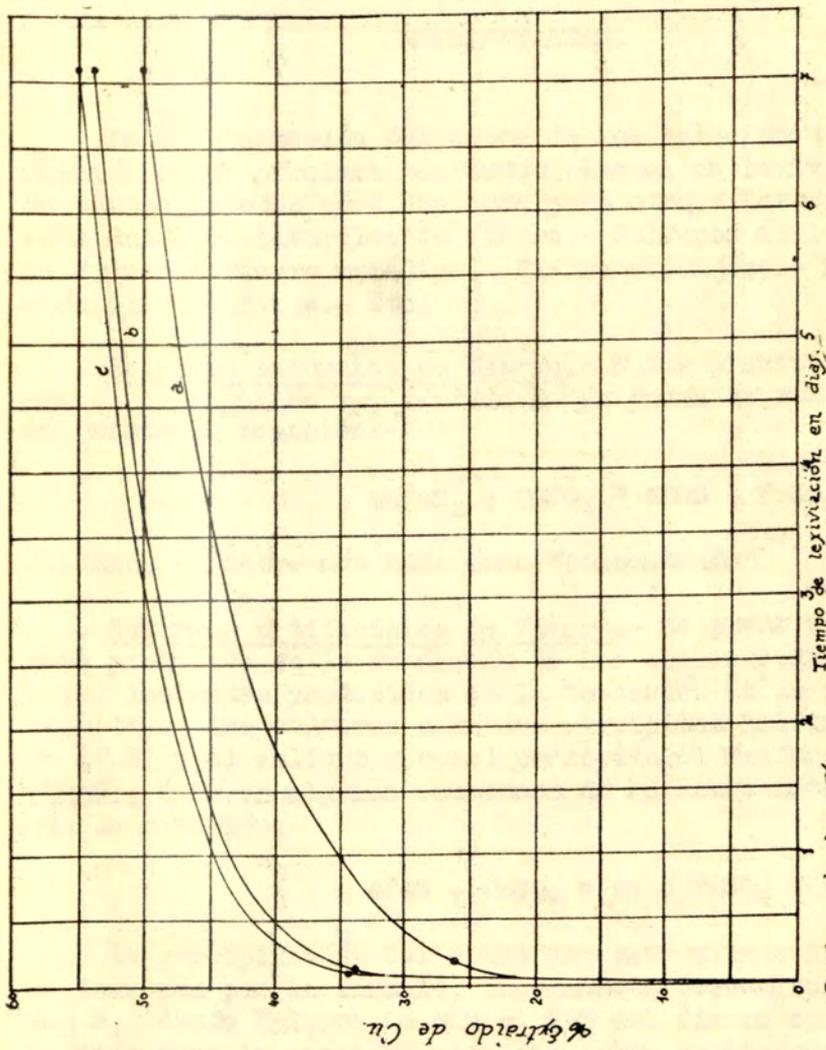
T A B L A No. 2.

T A B L A de los análisis efectuados en las soluciones después de lexiviar el mineral.-

Días	Muestra.	Análisis.-Grs. X litro.					Extrac- ción to- tal de- Cu.en - grs.	Cu.extraí- do %	C. C.	
		Fe'	Fe''''	Fe Total.	H ₂ SO ₄	Cu.				
a	1/4	A.	2.90	9.58	12.48	4.90	2.04	5.20	22.5	2.500
a	1/4	B.	4.45	7.47	11.92	3.90	3.12	7.78	31.9	2.495
a	1/4	C.	4.45	7.65	12.10	4.20	3.03	8.29	33.8	2.735
b	1.	A.	1.83	10.38	12.66	5.65	1.10	6.77	29.3	1.430
b	1.	B.	1.74	11.00	12.74	5.80	0.97	9.20	37.7	1.460
b	1.	C.	1.58	11.12	12.70	5.65	0.86	9.61	39.1	1.534
b	1.	A.	2.70	10.06	12.76	5.55	1.58	8.17	35.2	1.815
b	1.	B.	2.10	10.76	12.86	5.80	1.20	10.11	41.3	1.865
b	1.	C.	2.20	10.80	13.00	5.70	1.17	10.57	43.0	1.883
a	3.	A.	4.16	9.22	13.38	5.50	2.47	9.47	40.9	1.630
a	3.	B.	3.44	9.98	13.42	5.85	1.95	11.24	45.9	1.670
a	3.	C.	3.66	10.06	13.72	6.00	2.10	11.98	48.7	1.665
a	2.	A	1.82	6.44	8.26	5.40	1.02	11.62	50.2	2.105
a	2.	B.	1.70	6.98	8.68	5.80	0.91	13.19	53.9	2.150
a	2.	C.	1.70	6.66	8.36	5.48	0.88	13.59	55.2	1.830
Solución Inicial.	A									
	B	0.05	12.65	12.70	6.75					1.500
	C									

"a" = Solución removida.

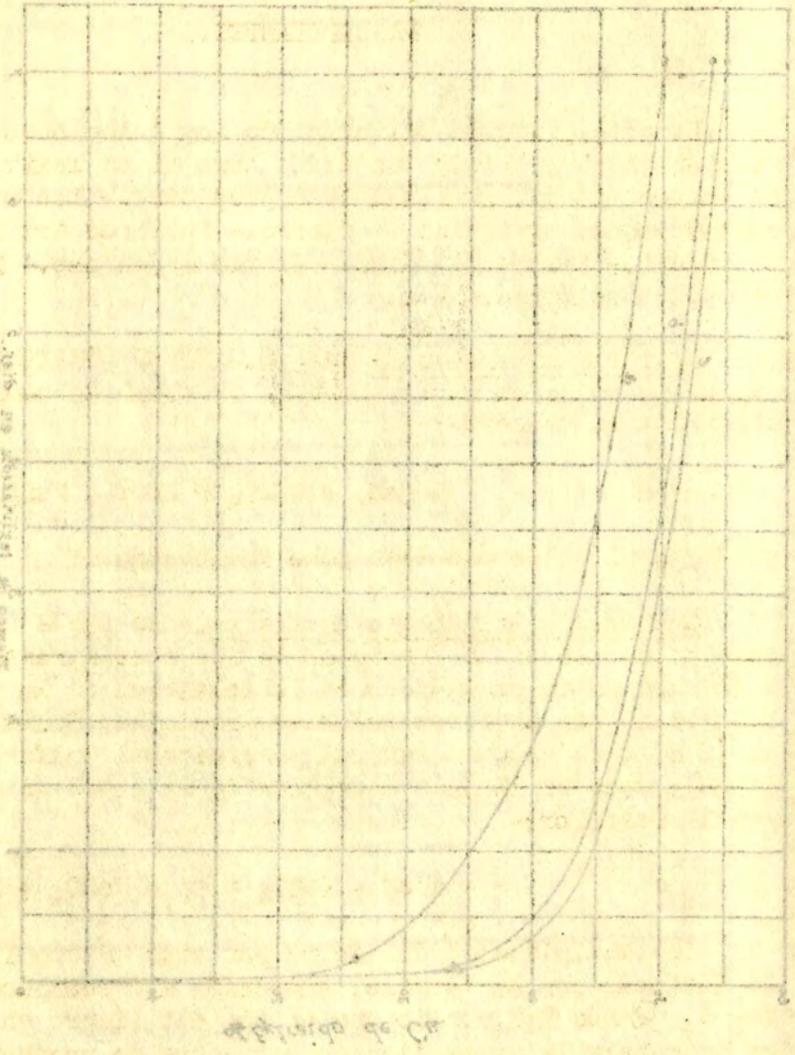
"b" = Solución usada nuevamente.



Gráfica de las Experiencias de Laboratorio.
 Tiempo de leixivación en días.

% Extraído de Cu.

Relacion de los Diámetros de los Arboles de la
Cajalupén de la Isla de San Juan de los Rios

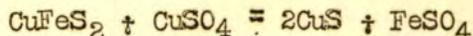


V.

PRECIPITANTES.

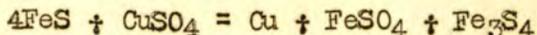
La precipitación del cobre de las soluciones de lexi--
viación es un problema tan árduo como el de lexiviar, habien--
do tantos métodos para uno como para otro.- Los más usuales
son: Sulfuros naturales de fierro.- Fuluros artificiales -
de fierro.- Fierro metálico.- Fierro esponjoso.- Precipita--
ción electrolítica.- Etc.

Sulfuros naturales de fierro.- Estos precipitan el co--
bre de la solución muy lentamente en forma de sulfuro cúpri--
co, según la reacción:-



que dando el cobre más bien como "Concentrado"

Sulfuros artificiales de fierro.- Se puede usar (a) el
mate producido de la fundición de los concentrados de cobre,
y (b) los mates producidos en la tostación de la pirita de--
baja ley.- Los sulfuros solubles precipitan Sulfuro Cúpri--
co (CuS) y el sulfuro natural precipita el Sulfuro Cuproso--
(Cu₂S); éste en algunas ocasiones dá el cobre metálico, se--
gún la reacción:-



La precipitación del cobre por este método llega hasta
lo indicado por la fórmula; empezando a descomponerse el --
Fe₃ S₄ dando H₂S, por lo que el 25% del fierro en FeS₂ puro
es dado para la precipitación del cobre no produciendo más--
que el 17.7% de cobre.-

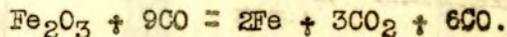
Fierro Metálico.- Este es uno de los mejores materia--
les usados para la precipitación del cobre, usándose desper--
dicios de fierro que son baratos, pero que no se puede te--
ner en un momento dado la cantidad requerida.-

La precipitación del cobre es según la superficie expuesta por el fierro metálico, por lo que se recomienda granularlo, aumentando así la superficie y por lo tanto, la rapidez de la reacción.- La granulación del fierro metálico se hace calentándolo al rojo y rápidamente enfriándolo en un chorro de agua.-

El Cemento de cobre precipitado por este método dá un porcentaje de 73.6% a 86.8% de cobre metálico.-

Fierro Esponjoso.- El fierro esponjoso es producido por la reducción de los óxidos de fierro con carbón mineral ó CO_2 a altas temperaturas, según los métodos: (a) Reducción de la Magnetita con carbón mineral o con CO_2 (b) Los desperdicios de la tostación de las piritas (38% de fierro o más) al estado de FeO en un estado poroso dán al ser reducidas un producto también muy poroso con un 60% a 65% de fierro metálico.-

La reducción del Fe_2O_3 comienza a los 200°C . terminando a los 780°C .- La reducción del FeO comienza a los 700°C . terminando a la misma temperatura que el Fe_2O_3 efectuándose la reacción según:-



Precipitación electrolítica.- Este método dá magníficos resultados, pero la instalación resulta sumamente costosa y en el procedimiento en cada ciclo sólo una pequeña parte de cobre es eliminada de la solución.-

De todos los métodos arriba descritos el más práctico y económico es el de Fierro Esponjoso, de que se trata a continuación detalladamente.-

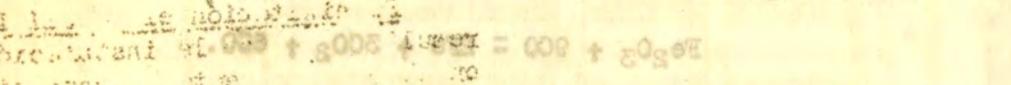
PRECIPITACION DEL COBRE POR MEDIO DEL FIERRO ESPONJOSO.

El cobre de las soluciones se precipita por medio del Fierro Esponjoso en un precipitador de tipo continuo.- (Fig.3) El precipitador es un cilindro hueco de madera con corte seccional y que tiene siete o más divisiones horizontales; un eje central con brazos laterales dentados que es lo que rastr-

La precipitación del cobre es hecha en el reactor por el hierro metálico, por lo que se debe tener presente que el hierro, aumentando con la temperatura y por lo tanto, la velocidad de la reacción. - La extracción del hierro metálico se hace calentándolo al rojo y reduciéndolo con un agente reductor de azufre. -

El cemento de cobre precipitado por este método es un porcentaje de 75.0% a 88.0% de cobre metálico.

Hierro esponjoso. - El hierro esponjoso es producido por la reducción de los óxidos de hierro con carbón mineral a altas temperaturas, según los métodos: (a) Reducción de Magnetita con carbón mineral o con CO (b) Hierro esponjoso de la reducción de las piritas (38% de hierro o más) al estado de FeO en un estado pasado con el ser reducidos un grado de FeO con un agente reductor como el hierro metálico. Se también muy poroso con un 60% de FeO. La reducción del Fe₂O₃ comienza a los 250° C. terminando a los 700° C. - La reducción del FeO comienza a los 700° C. terminando a la misma temperatura que el Fe₂O₃ efectuándose la reacción según: -



Precipitación electrolítica. Este método de precipitación resulta, pero la instalación resulta sumamente costosa y en el procedimiento en cada ciclo solo se produce un poco de cobre es eliminada de la solución. -

De todos los métodos existe el más práctico y económico es el de Hierro esponjoso, de que se trata a continuación detalladamente. -

PRECIPITACION DEL COBRE POR METODO DEL HIERRO ESPONJOSO.

El cobre de las soluciones se precipita por medio del Hierro esponjoso en un precipitador de tipo reactivo (Fig. 3). El precipitador es un cilindro hueco de madera con corte cónico y que tiene este o más divisiones horizontales; un eje central con bridas laterales dentadas que es la parte

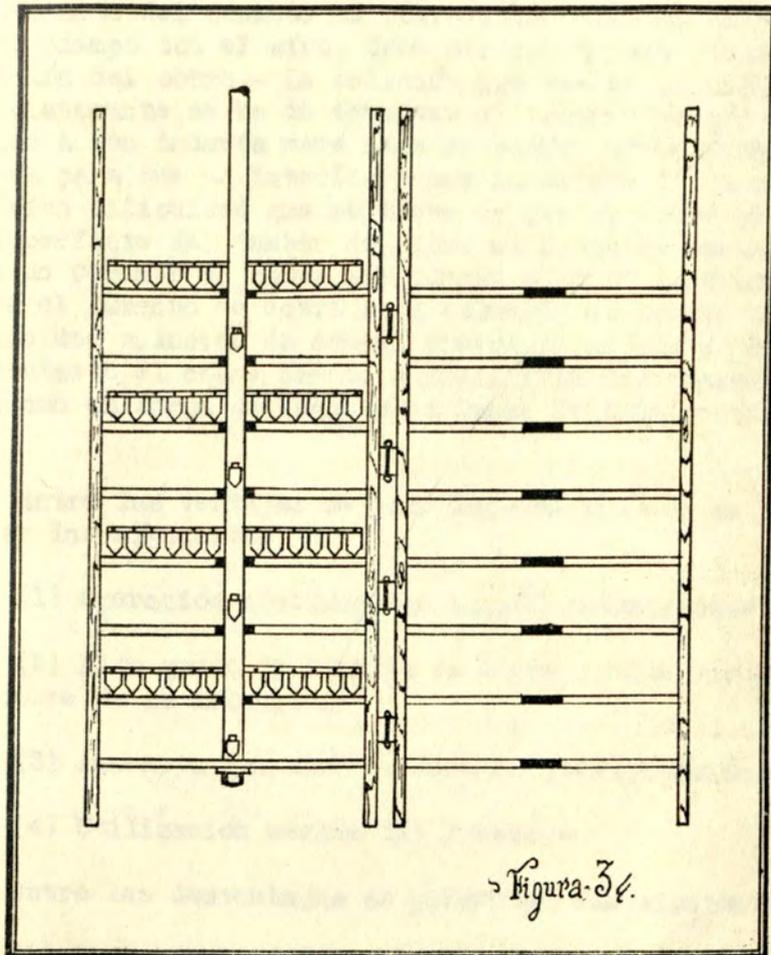
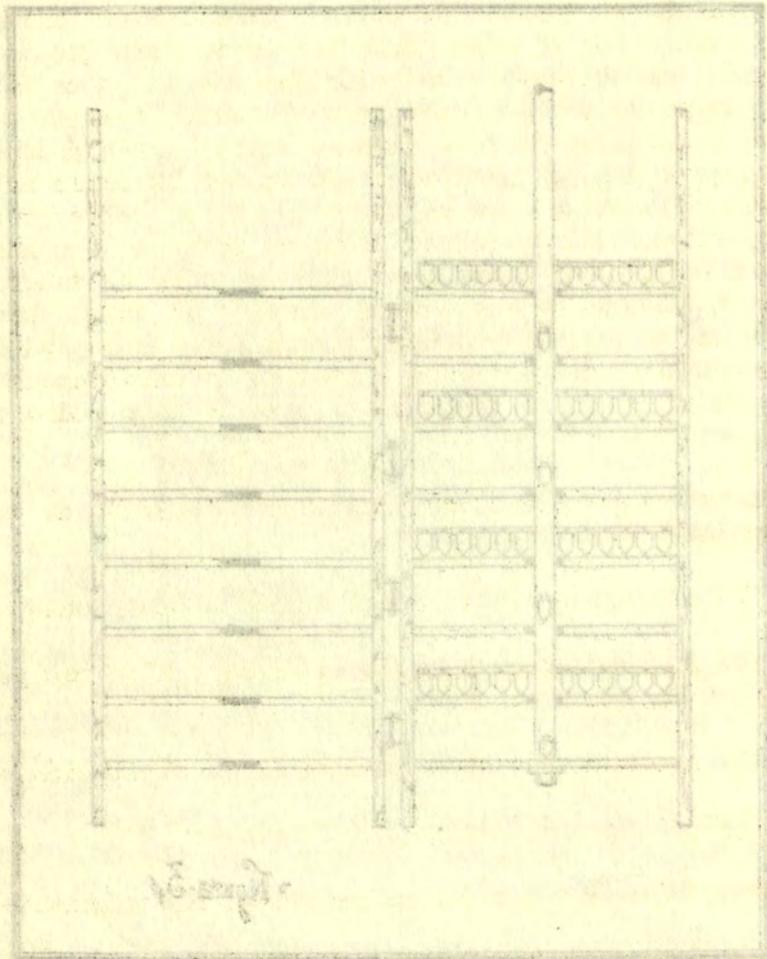


Figura 34.



llea el fierro esponjoso en las divisiones mientras pasa la solución "Cargada" en sentido contrario entrando por abajo y saliendo por arriba la solución exenta de cobre.- El Cemento de cobre es descargado del cilindro en un tambor forrado de plomo elevado rápidamente a una caja receptora.- El período de contacto del Cemento de cobre y la solución extraída al mismo tiempo con el aire, debe ser corta para que no cause resolución del cobre.- La solución que cae en la caja receptora inmediatamente se ha de devolver al tambor forrado de plomo debido a que todavía está rica en cobre, arreglándose de tal manera para que no interfiera con la marcha de la maquinaria. La única dificultad que se tiene es que el cobre precipita en la superficie del tambor de plomo en forma de escamas o costras de Cemento de cobre que llegan a tapar la tubería que eleva el Cemento de cobre y la solución al tanque receptor.- Cuando una solución de cobre, Fierro Esponjoso y plomo están en contacto el cobre tiende a precipitar directamente sobre el plomo en forma de escamas en lugar de como polvo fino suelto.-

Entre las ventajas de este tipo de aparato se pueden mencionar las siguientes:

- (1) Operación continua con acción encontrada.-
- (2) Alto grado de Cemento de cobre y alta recuperación del cobre de la solución.-
- (3) Ausencia del aire durante la precipitación.-
- (4) Utilización máxima del fierro.-

Entre las desventajas se presentan las siguientes:

- (1) Inaccesibilidad a las partes interiores durante la operación.-
- (2) Tendencia del material a aglomerarse en las distintas divisiones del aparato precipitador.-
- (3) Necesidad de recuperar el Cemento de cobre de un lu

gar que tiene una presión hidrostática igual a la altura del aparato.-

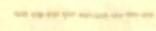
(4) Disminución de la capacidad relativa mientras se aumenta el tamaño, sólo que se tenga cuidado en la construcción.

RESUMEN

- I.- Triturar el mineral hasta obtener un tamaño máximo de 1 cm. de diámetro.-
- II.- Humedecer el mineral grueso y molerlo con los Pinos para formar una carga aglomerada.-
- III.- Usar el tipo de Drenaje Abierto.-
- IV.- Usar como disolvente el Sulfato Sódico en solución con ácido Sulfúrico.-
- V.- Precipitación con Hierro Espojoso.-

est que tiene una presión hidrostática igual a la altura del aparato.

(4) Diferencia de la capacidad relativa mientras se aumente el tamaño, algo que se tenga cuidado en la construcción.



RESUMEN .

- I.- Triturar el mineral hasta obtener un tamaño máximo de 1 cm. de diámetro.-
 - II.- Humedecer el mineral grueso y mezclarlo con los Finos para formar una carga aglomerada.-
 - III.- Usar el tipo de Drenaje Abierto.-
 - IV.- Usar como disolvente el Sulfato Férrico en solución con Acido Sulfúrico.-
 - V.- Precipitación con Fierro Esponjoso.-
-

R E S U M E N .

I.- Triturar el mineral en un molino de muelas con un tamaño máximo de 1 mm. de diámetro.

II.- Separar el mineral grueso y mezclarlo con los fines para formar una carga adecuada.

III.- Usar el tipo de drenaje adecuado.

IV.- Pasar como solvente el ácido sulfúrico en solución con ácido sulfúrico.

V.- Precipitación con Hierro Espontáneo.

CONCLUSIONES.

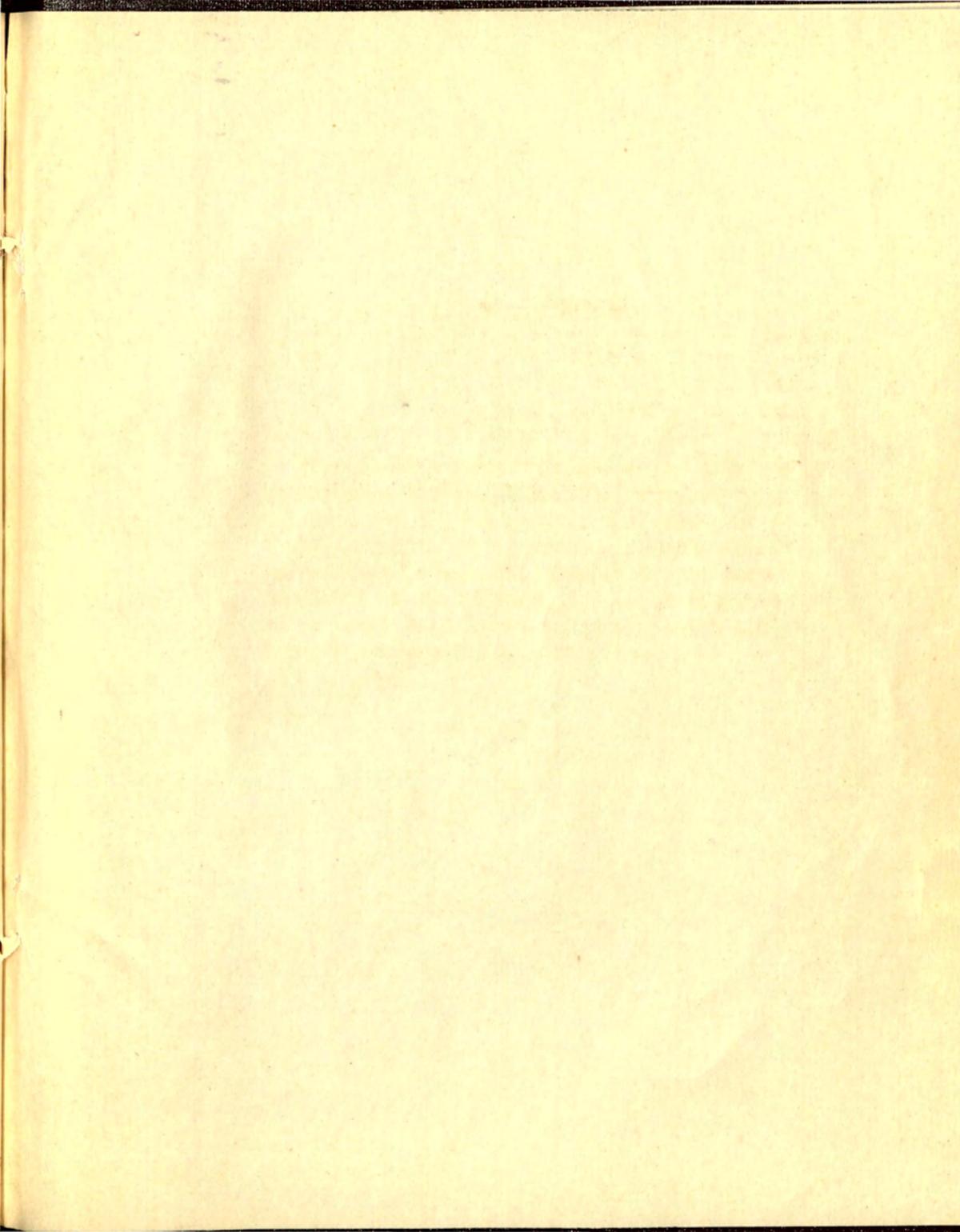
El método antes descrito es el más apropiado para los minerales de baja ley y por lo tanto es el que podría emplearse en el caso presente, pero como en la actualidad es demasiado baja la cotización del cobre metálico en el Mercado, no puede emprenderse la explotación del mineral estudiado -- porque resultaría incosteable.-

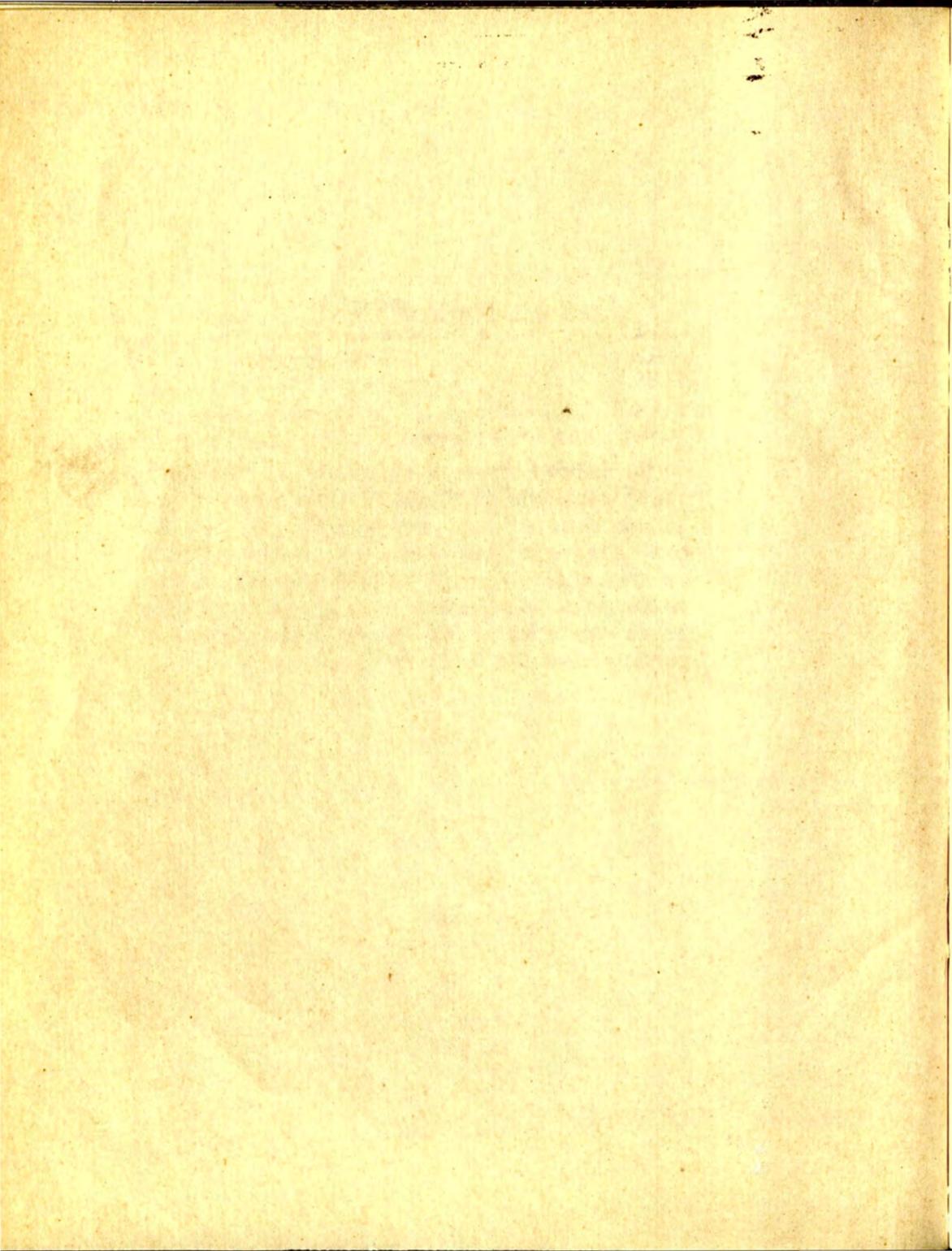
CONCLUSIÓN

El estudio de los factores que influyen en el desarrollo de la explotación de los yacimientos minerales en el país, muestra que el principal obstáculo es la falta de capital y de mano de obra calificada. En consecuencia, se recomienda que el Estado intervenga para facilitar el acceso al crédito y la formación de personal especializado. Asimismo, se sugiere promover la explotación conjunta de los recursos minerales con empresas extranjeras, para aprovechar su experiencia y tecnología.

En tanto que el sector privado muestra un interés creciente en la explotación de los recursos minerales, se debe fomentar la inversión en este sector, mediante incentivos fiscales y subsidios. Además, es necesario mejorar la infraestructura de transporte y comunicaciones, para facilitar el acceso a los yacimientos y la comercialización de los productos.

En conclusión, el desarrollo de la explotación de los yacimientos minerales en el país, requiere de una política económica que fomente la inversión y la formación de personal, así como de una infraestructura adecuada para facilitar el acceso a los recursos y la comercialización de los productos.





UNAM

FECHA DE DEVOLUCIÓN

El lector se obliga a devolver este libro antes
del vencimiento de préstamo señalado por el
último sello



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

