

# INFORME

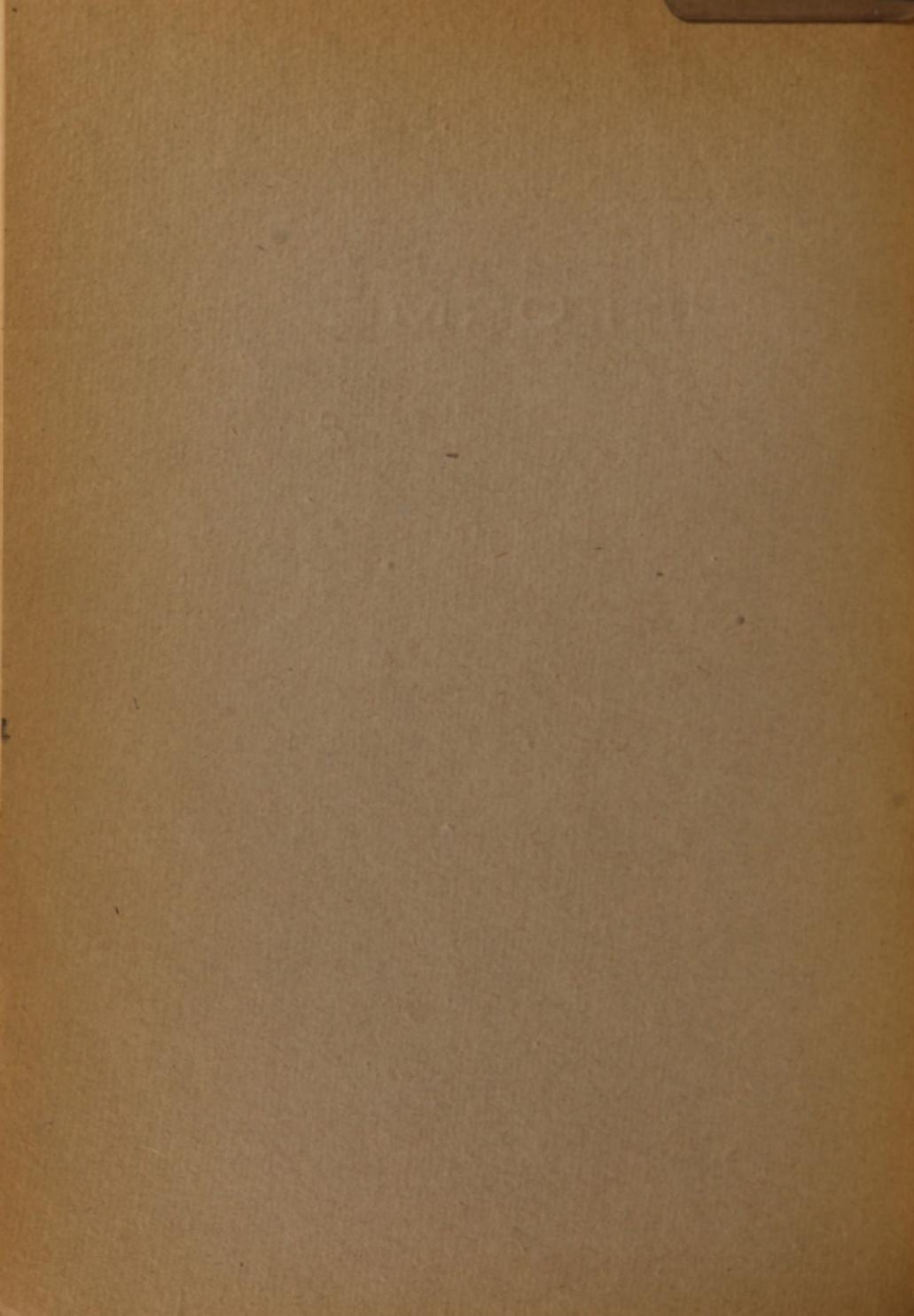
Presentado al Director del Servicio de Minas i Jeolojía del Ministerio de Industria i Obras Públicas, sobre el

**Procedimiento para extraer el cobre de los minerales por medio del cloruro ferroso, implantado en el establecimiento "El Cobre", en la ciudad de Antofagasta :: : :: :: ::**



Soc. Imprenta i Litografía UNIVERSO  
Galería Alessandri 20  
SANTIAGO

1919



105486

# INFORME

Presentado al Director del Servicio de Minas i Jeolojía del Ministerio de Industria i Obras Públicas, sobre el

**Procedimiento para extraer el cobre de los minerales por medio del cloruro ferroso, implantado en el establecimiento "El Cobre", en la ciudad de Antofagasta :: :: :: :: ::**



Soc. Imprenta i Litografía UNIVERSO

Galería Alessandri 20  
SANTIAGO

1919

# Biblioteca del Congreso Nacional

Colección Folletos Vol. .... 23  
Sala .....  
Tabla ..... Y-2  
Obs. ....



80967



## Minerales

Se emplean los más abundantes en la provincia de Antofagasta que son: la «Malaquita», carbonato básico cuya fórmula química es  $\text{Cu CO}_3, (\text{OH})_2$ ; la Atacamita, oxicloriguro de cobre cuya fórmula química es  $\text{H}^3 \text{Cu}^2 \text{Cl O}^3$ ; respecto a las variedades de silicatos de cobre no se ha determinado exactamente, en qué proporción llegan al Establecimiento, ni qué porcentaje se disuelve. Algunos minerales traen pequeñas cantidades de sulfatos de cobre.

### Trituración de los minerales

El Establecimiento emplea actualmente dos chanchos «Blake» i un molino de cilindros, dispuestos en forma de cascada, de manera que el mineral que vacian los obreros en el primer chanco cae por gravedad al segundo i por último al molino de cilindros de donde sale con un grado de molienda correspondiente al harnero de diez mallas por pulgada cuadrada. La Jerencia tiene el propósito, mui cuerdo, de reemplazar dichos trituradores por un molino de bolas que consu-

mirá menos enerjía, necesitará menos personal para la vijilancia de la trituración i entregará un producto molido más homojéneamente i al grado que se desee. Los chanchos tienen el inconveniente de necesitar mandíbulas de repuesto de formas mui especiales i que no pueden construirse en Chile, pues deben ser fabricadas con aceros especiales. Los molinos de cilindros igualmente necesitan también reparaciones quincenales para retornear la camisa de los cilindros o cambiársela totalmente. Cuando estas camisas son extranjeras i, en consecuencia, de aceros duros, no pueden ser retorneadas porque los pedazos duros de ágata i otros productos silicosos que traen los minerales se incrustan en las camisas de los cilindros i desgastan con tal rapidez las herramientas que su torneadura se hace imposible.

En cambio, los molinos de bolas consumen mensualmente sólo bolas i únicamente cada seis meses necesitan otros repuestos. El producto molido es más homojéneo i en consecuencia su lixiviación más perfecta i menos demorosa. Además los minerales que venden los mineros son ya pallaqueados i sólo por excepción vienen en pedazos de una dimensión superior a la que admiten los molinos de bolas. Para elaborar 2 T. de cobre fino al día, empleando minerales del 7%, se necesitaría moler 37 T. de minerales en las 24 horas, para lo cual basta un molino de bolas con los repuestos necesarios. El molino deberá tener constantemente en su interior una tonelada de bolas de acero. Se necesitará una fuerza motriz de 50 HP. a 22 r.p.m. i habrá un consumo de 14 bolas de acero forjado de 9 Kg. cada una en las 24 horas. Un solo trabajador podrá hacer funcionar el molino por jornada de 8

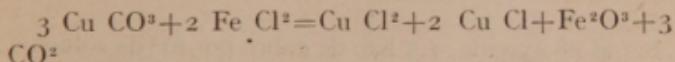
horas i dos trabajadores se ocuparán de acarrear el mineral en carritos decauville desde la cancha de minerales hasta la plataforma situada a la altura de la boca del molino.

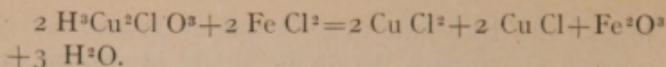
Debajo del molino de bolas habrá una correa sin fin que mecánicamente i con un consumo de 3 HP. recibirá el mineral molido i lo irá a depositar a un gran buzón de madera de donde lo tomarán los carritos decauville que lo llevan a los estanques o a los cilindros de lixiviación. En esta última operación se ocuparán 2 obreros por jornada de 8 horas.

### **Lixiviación**

Actualmente se emplean en el Establecimiento sólo estanques de concreto para la lixiviación, pero la Jerencia tiene el propósito de reemplazarlos por cilindros jiratorios, semejantes a los que empleaba Chuquicamata para la descloruración.

Los actuales estanques de concreto tienen a 10 cm. sobre el fondo una parrilla de madera cubierta con estera de fibra de coco sobre la cual se deposita el mineral molido a 10 mallas por pulgada cuadrada. En la parte superior lleva cada estanque en toda su periferia interior una cañaleta de madera que recibe por rebalse las soluciones que entran al estanque por debajo de filtros de fibra de coco. Al atravesar, de abajo para arriba, la capa de mineral molido que alcanza 1,80 m. de espesor la solución disuelve el cobre de los carbonatos i oxicluros según las siguientes fórmulas químicas:





Haciendo pasar 100 metros cúbicos de solución de cloruro ferroso saturada con sal común en las 24 horas, en cada estanque toma el líquido 8 Kg. de cobre por metro cúbico durante las primeras 24 horas; 7 Kg. por m<sup>3</sup> durante el segundo día, 6 Kg por m<sup>3</sup> el tercer día; 5 Kg. por m<sup>3</sup> el cuarto día i va disminuyendo la cantidad de cobre que se disuelve a medida que se va empobreciendo la lei del mineral, hasta que al cabo de algunos días la solución sigue tomando sólo 1,5, Kg. de cobre por m<sup>3</sup> hasta que se llega a extraer el 80% del cobre contenido en el mineral. Después sólo sigue tomando menos de 1 Kg. de cobre por m<sup>3</sup> de manera que ya no resulta económico bombear la solución para recoger tan poco cobre.

En ese momento se elimina dicho estanque del circuito i se aprovecha para derriparlo i cargarlo nuevamente con 200 T. de mineral molido, de 7% de cobre.

Los 100 m<sup>3</sup> de solución siguen pasando diariamente a través de este mineral recién cargado i disuelven el cobre en la siguiente proporción:

1. <sup>er</sup>	día	8 Kg.	de	cobre	por	m <sup>3</sup>	de	solución
2. <sup>o</sup>	»	7	»	»	»	»	»	»
3. <sup>er</sup>	»	6	»	»	»	»	»	»
4. <sup>o</sup>	»	5	»	»	»	»	»	»
5. <sup>o</sup>	»	4	»	»	»	»	»	»
6. <sup>o</sup>	»	3	»	»	»	»	»	»
7. <sup>o</sup>	»	2	»	»	»	»	»	»
8. <sup>o</sup>	al 28 avo día, 1,5 Kg. de cobre por m <sup>3</sup> de solución.							

28 avo al 75 avo día, 1 Kg. de cobre por m<sup>3</sup> de solución.

En resumen, se ha extraído en 74 días 11,200 T. de cobre o sea el 80% del cobre contenido en el estanque. Para tener una producción diaria de 2 T. de cobre fino habría que habilitar 13 estanques con capacidad para 200 T. de mineral cada uno.

Como se ve el procedimiento de beneficio de minerales de cobre, por percolación en estanques fijos, con soluciones frías de cloruro ferroso es muy lento i sólo consigue prácticamente extraer el 80% del cobre contenido en los minerales.

Indudablemente que en provincias como Antofagasta i aún en Chile entero, donde las minas pueden producir abundancia de minerales de 7% a un precio muy económico, el hecho de disolver sólo el 80% del cobre contenido en los minerales no tiene gran importancia i en cambio se economiza fuerza motriz i mano de obra que son elementos caros en Chile.

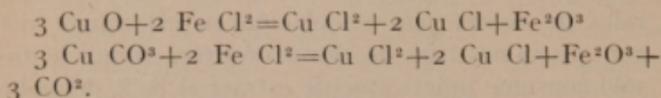
El reactivo no lo tomamos muy en cuenta por cuanto en varias provincias de nuestro país se ha encontrado enormes cantidades de sulfato de fierro que unido a la sal común, que también es muy abundante, facilita la elaboración del reactivo cloruro ferroso que, como veremos más adelante, se rejenera constantemente de modo que su consumo es insignificante.

### **Química de la lixiviación**

La acción del cloruro ferroso sobre el carbonato de cobre fué demostrada experimentalmente por Schaffner i Unger en 1862. Algunos años más tarde Hunt i Douglas establecieron un procedimiento basado en

la acción del cloruro ferroso sobre el óxido i el carbonato de cobre, el cual trabajó durante algún tiempo, en escala comercial, en Ore Knob, North Carolina i en Phoenixville, Pensilvania.

El óxido cúprico i el carbonato cúprico son atacados por las soluciones de cloruro ferroso, formándose cloruros cúpricos i cuprosos i dejando en libertad el anhídrido carbónico, según las ecuaciones siguientes:

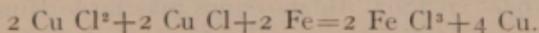


El óxido férrico se precipita, mientras los cloruros de cobre entran en solución. El cloruro cuproso, siendo insoluble en agua, se mantiene en solución debido al exceso de otros cloruros metálicos.

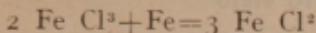
El cloruro ferroso empleado en el procedimiento se puede producir con sal común, sulfato ferroso i agua dulce o de mar. Por doble descomposición se forma rápidamente cloruro ferroso i sulfato de soda. Después de separar el sulfato de soda, el cual cristaliza, queda lista la solución para ser empleada.

### Química de la precipitación

Cuando se precipita el cobre de una solución de cloruro cuproso por medio del fierro, se forma cloruro ferroso; cuando la solución contiene una mezcla de cloruro cuproso i cúprico, se forma primero cloruro férrico según la fórmula:



El cloruro férrico, reacciona sobre el fierro produciendo cloruro férrico según la fórmula:



La plata contenida en el mineral se convierte en cloruro de plata mediante la acción del cloruro cúprico i queda en disolución gracias a la acción de los otros cloruros metálicos de la solución.

Como gran parte del cobre queda en solución al estado de cloruro cuproso, la precipitación del cobre exige menos fierro, pero el calor acelera el procedimiento i mejora el rendimiento.

La plata en solución al estado de cloruro, puede ser precipitada junta con el cobre o separadamente por medio de cobre metálico; en presencia de cloruros requiere que la totalidad del cobre disuelto esté al estado de cloruro cuproso.

Para llegar a este resultado habría que tratar la solución clara de cloruros cúpricos i cuprosos, por medio del anhídrido sulfuroso, dejando así en libertad ácido libre o por medio de granallas de cobre o cobre de cemento que se combina con el cloruro cúprico i forma únicamente cloruros cuprosos. También se podría hacer pasar la solución por estanques con minerales de color o sulfuros tostados para aprovechar el cloruro cúprico en disolver el cobre.

La plata se precipita por medio del cobre con mucha facilidad, de soluciones exentas de cloruros cúpricos i en seguida se precipita el cobre por medio del fierro viejo teniendo cuidado de evitar que soluciones ácidas permanezcan en contacto con el fierro viejo una vez que el cobre haya sido precipitado.

### **Precipitación del cobre de la solución por medio del hierro viejo**

En el Establecimiento El Cobre, se deja correr la solución cúprica por gravedad por 7 estanques de concreto con una capacidad de 12 m<sup>3</sup> cada uno. Estos están dispuestos en cascada, una pulgada más bajo un estanque del siguiente.

Todos los estanques tienen en el fondo una parrilla de madera sobre la cual se deposita el hierro viejo (10 T. de hierro viejo en cada estanque). Este se limpia antes de introducirlo con el fin de que pueda ejercer su rol en la solución, pues sucede que el líquido arrastra siempre un poco de sesquióxido de hierro que es un polvo amarillo impalpable. Este óxido envuelve los fierros oxidados i les impide durante mesés ejercer su acción precipitadora.

La parrilla de madera descansa a 0,50 m. sobre el fondo del estanque. Las soluciones entran al primer estanque con 6 Kg. de cobre por metro cúbico, como término medio, i salen del sétimo estanque con cero gramos o con dos o tres décimas de gramo por litro. Estas soluciones corren por gravedad hacia un estanque cilíndrico de madera desde donde las achica la bomba al estanque de lixiviación más alto i vuelven a disolver cobre i a correr nuevamente hacia la precipitación i así sucesivamente todo el tiempo.

Cuando se derripia un estanque, el ripio lleva un 10% de humedad. Si el estanque contenía 200 T. de mineral, lleva 20 T, o sea 20 metros cúbicos de solución. Esta se pierde i hai que reemplazarla por solución nueva. Si diariamente se benefician 32 T. de mi-

ner les, habrá en consecuencia 32 T. de ripios i una pérdida de solución, por tal motivo, de 3,2 m<sup>3</sup> que hai que reemplazarla.

Prácticamente el consumo de fierro viejo asciende a una tonelada de fierro por tonelada de cobre puro elaborado. Si entra más fierro en solución, disminuye la cantidad de reactivo que hai que agregar diariamente para reemplazar el que se va en los ripios. En la práctica no sucedió que se consumiera más fierro del que dejamos anotado.

El primer estanque de precipitación es el que se llena más luego con el cobre precipitado, el cual queda mezclado físicamente con el fierro viejo. Para sacar el cobre, cuando se calcula que hai acumulado unas 10 T., se comienza por eliminar dicho estanque del circuito por medio de un dispositivo especial i vaciarle la solución que contiene por medio de una llave colocada al nivel del fondo del estanque.

Esa solución corre hacia una canal que puede recibir la solución de cualquiera de los 7 estanques. La solución clara del canal se hace correr al estanque cilíndrico de madera de que hemos hablado, de modo que el poco «cobre de cemento» que arrastra la solución queda decantado en la canal. En seguida se golpean i se raspan los fierros viejos del primer estanque para separar el cobre de cemento adherido i se van depositando en el segundo estanque de precipitación, donde siguen actuando en la precipitación del cobre. Una vez que se ha separado todo el fierro viejo, se vacia el cobre de cemento en la canal (aprovechando esta operación para harnearlo i separar los pedazos chicos de fierro) donde se lava con agua dulce para diluir la solución de cloruro ferroso que lo im-

bibe. Esta agua dulce que se agrega viene a reemplazar en parte la solución que se pierde en la humedad de los ripios. Una vez decantado el cobre de cemento se vacía en la cancha donde se ha de secar aprovechando también esta operación para volverlo a harnear en un harnero un poco más tupido que el anterior separando así los pedacitos más chicos de fierro.

Una vez depositado el cobre en la cancha, se remueve diariamente para que se seque con mayor rapidez, después de lo cual se ensaca en doble saco. El saco que se coloca al interior puede ser ordinario, de los remendados que sólo valen \$ 0,40 cada uno. El cobre de cemento dió una lei jeneral de 76% i sólo dos onzas de plata por tonelada.

Para estraer el cobre del segundo estanque de precipitación, cuando ya contiene unas diez toneladas, o sea unos cinco días después de vaciado el primero, se hace igual operación que anteriormente, con la diferencia que el fierro viejo se deposita en el primer estanque que está vacío i que desde ese momento se pone nuevamente en circuito para que empiece a recibir la solución cúprica.

### **Bombas**

La bomba para achicar 100 metros cúbicos al día de solución corrosiva consume prácticamente 2 1/2 caballos de fuerza motriz. La bomba es del tipo centrífuga de Duriron, accionada por motor eléctrico i funcionaba a 1,300 revoluciones por minuto. Las hélices de Duriron duraban un mes i medio. Se hicieron construir en Antofagasta hélices de plomo con 10% de antimonio, las que duraban 20 días funcio-

nando. Estas bombas consumen un litro de aceite al día i hai que cambiarles la empaquetadura diariamente o cada dos días.

Para conducir las soluciones se emplearán chorizos de goma, con armadura de acero, evitando aquellos en que la armadura va por el interior del chorizo, por cuanto la solución la ataca i concluye por comerse totalmente. También se usaron canales de madera apretadas exteriormente, cada dos metros, por una sencilla prensa de fierro. Las canales estaban calafeteadas interiormente i revestidas con una mano de alquitrán líquido i otra de brea.

Un sistema mejor para achicar las soluciones corrosivas sería por medio del aire comprimido, pero se consume prácticamente el doble de fuerza motriz; en cambio, se ahorra el consumo de hélices, la mano de obra necesaria i el paro del establecimiento mientras se hacen esas operaciones. Una de Duriron para levantar 100 m<sup>3</sup> de solución en las 24 horas, a 6 metros de altura, vale unos \$ 1,400 instalada i consume 2 1/2 HP.

Los constructores las calculan para achicar 300 m<sup>3</sup> en las 24 horas, pero a medida que la hélice se va gastando van achicando menos.

### **Fuerza motriz**

La fuerza motriz del establecimiento la proporciona un motor de 50 HP., Fairbank Morse, semi-diesel, el cual funciona con petróleo Lobitos que vale 300 chelines la tonelada i antes de la guerra valía 90 chelines. Consume dicho motor 10 litros de aceite en las 24 horas. Un motorista por jornada de 8 horas basta

para su vijilancia. Para ponerlo en marcha se dispone de un motorcito de 1 1/2 HP. que acciona un compresor el cual comprime aire, en dos botellas, a 160 libras de presión. Las botellas se mantienen constantemente con presión porque el mismo motor tiene un dispositivo para accionar el compresor mientras está en marcha.

El motor Morse consumía un tambor de petróleo cada 48 horas, cada tambor contenía 333 kilogramos de petróleo.

El motor accionaba directamente un dinamo de corriente continua de 220 volts i 30 ampères, el cual producía la luz eléctrica para el establecimiento.

El dinamo lo vijilaba el motorista, consumía muy poco aceite i \$ 3 de carbones en 24 horas. Gastaba 4 HP. de fuerza motriz en dar electricidad para el alumbrado i para accionar el motor eléctrico que movía la bomba centrífuga.

**Presupuesto de gastos para elaborar diariamente dos toneladas de cobre fino en el establecimiento «El Cobre de Antofagasta».**

<i>Minerales.</i> —Las 37 toneladas de minerales de 7% suficientes para producir 2 toneladas de cobre fino al día, costarían.....	\$	1,800.00
<i>Molienda.</i> —1 operario acarreado mineral a la cancha del triturador.....		7.00
Otro de noche en igual operación.....		7.00
1 operario cargando el triturador con mineral.....		7.00
Otro de noche, en igual operación.....		7.00

Dos operarios sacando el mineral molido a la salida del molino i deposítándolo en los estanques de disolución o en la cancha correspondiente, a \$ 7 c/u.....	\$ 14.00
Otros dos de noche, en igual operación	14.00
1/2 tambor de petróleo Diessel para el motor Morse.....	48.00
1 lata de aceite para el motor Morse	20.35
Dos motoristas, uno de día i otro de noche, a \$ 8 c/u.....	16.00
<i>Luz eléctrica.</i> —Toda la fuerza del motor Morse se ha cargado a la molienda, de modo que la empleada en la luz eléctrica (2 HP.) no se anota. Los gastos de mantenimiento i repuestos ascienden a \$ 5 diarios.....	5.00
<i>Carga de los estanques de disolución.</i> —Cuesta \$ 1, por T. Para elaborar dos T. de cobre fino al día se gastaría.	37.00
<i>Derripiadura.</i> —Cuesta \$ 1.50 por tonelada de ripio: para 37 T. costaría...	55.50
<i>Bombas.</i> —Gastan enerjía eléctrica enviada por el dinamo; no se anota porque la fuerza motriz gastada para accionar el dinamo se carga a la molienda. El aceite que gastan los descansos de las bombas proviene del residuo de aceite del motor Morse. Este servicio de bombas lo atiende un operario de día i otro de noche; el primero gana \$ 4 i el segundo \$ 7, total.....	11.00

<i>Fierro viejo.</i> —Para 2 T. de cobre se gasta 2 T. de fierro viejo, que cuesta \$ 35 puesta en la usina. Limpiar dicho fierro i vaciarlo en los estanques de precipitación cuesta \$ 28; 4 operarios durante un día con \$ 7 c/u.	\$ 126.00
<i>Sal común.</i> —La sal común cuesta \$ 28 la T. puesta en la usina i \$ 3,50 por ayudar a descargarla, pesarla i vaciarla en la cancha <i>ad-hoc</i> . Cargarla en los estanques cuesta \$ 3,50; total \$ 35 por T. Se gasta 250 kilos diarios de sal o sea.....	9.00
<i>Sulfato férrico.</i> —Se explota por contrato puesto en carro del F. C. en las Estación de Cerritos Bayos cuesta \$ 24 por tonelada. El flete a Antofagasta vale \$ 17 por T. La remoción del carro en la Estación vale \$ 1 por T. El transporte de reactivo hasta la planta vale \$ 1 por T. Cargarlo en los estanques cuesta \$ 2 por T. Total por T. \$ 45. Para 2 T. de cobre al día se consumen 2 T. de sulfato férrico, cuyo valor es.....	90.00
<i>Estraer el cobre de cemento de los estanques, ponerlo en cancha i removerlo.</i> —Esta operación se hará cada 15 días, se sacarán 30 T. de cobre fino de los 7 estanques. Se ocupan 8 hombres durante 8 días, con \$ 7. diarios c/u. Total \$ 448, o sea \$ 15 por cada 2 T. de cobre fino.....	15.00

<i>Sacos.</i> —Se gastan 35 por T. de cobre fino. Los 70 sacos cuestan.....	\$	49.00
<i>Limpiar, ensacar, coser i marcar 35 sacos.</i> —Los 35 sacos \$ 10,50.....		21.00
<i>Trasporte del cobre hasta el ferrocarril.</i> —\$ 2 por T. de cobre fino.....		4.00
<i>Agua dulce.</i> —En el lavado del cobre se consume 2 1/2 metros cúbicos por tonelada; tres metros cúbicos en usos diversos i dos metros cúbicos en el motor Morse. Total 10 metros cúbicos a \$ 1.40 c/u.....		1400
<i>Agua de Mar.</i> —La achica la bomba a vapor. Se enciende una vez a la semana i emplea un fogonero. Combustible i personal.....		7.00
<i>Sueldo diario del personal superior: Administrador, Químico i Contador...</i>		73.00
<i>Total de gastos para producir 2 T. de cobre fino al día.....</i>		2,456.85
<i>Valor que pagaría la Chile Exploration Company por 2 T. de cobre fino según oferta del Jereute Jeneral Mr. H. C. Bellinger.</i> —Cuando el cobre se cotice a £ 100. Tomando 1 £ a \$ 21.....		3,360.00
<i>Ganancia diaria.....</i>		904.15
<i>Utilidad mensual.....</i>		27,094.50
<i>Utilidad anual.....</i>		325,134.00

Este presupuesto, comprobado en 120 días de funcionamiento del Establecimiento El Cobre de Anto-

fagasta, deja demostrado que, aparte del valor mismo de los minerales, el costo para transformar 18.5 T. de minerales de 7% en 1 1/3 de «cobre de cemento» de 76% es de \$ 328,42. Este costo podrá reducirse tan pronto bajen los fletes del petróleo. Pero lo más importante de este presupuesto es el hecho que dicho procedimiento permite valorizar en Chile, i especialmente en las provincias del norte, las minas que contienen minerales de color de 7%. Hoy por hoy nadie compra dichos minerales porque los fletes se comen su valor. Si cubicáramos la cantidad de minerales de esa clase que existen en la provincia de Antofagasta, por ejemplo, i les adjudicáramos el precio a que se cotizan en el presupuesto anterior, veríamos con asombro que tenemos minerales por valor de muchos cientos de miles de millones de pesos en una sola provincia. Chuquicamata, con su cubicación de minerales actual, avaluado su cobre al precio de hoy día, tendría cobre por un valor de veinte mil millones de pesos, i esta cantidad sería un grano de arena comparada con el valor del cobre que existe en los demás asentamientos mineros de Chile. Desgraciadamente, nuestros capitalistas no le han dado a esta industria la importancia que merece. Han permitido la agonía i muerte de varias usinas que se han establecido con capitales insuficientes.

Llamamos la atención de los mineros i capitalistas de Chile hacia el hecho comprobado de poder transformar 18.5 T. de minerales de cobre, de los ya descritos, de 7%, en 1.33 T. de cobre de cemento de 76% con un gasto de \$ 328,40.

El cobre de cemento es una mezcla de cobre metálico con óxido de fierro como principal impureza i

con fierro metálico, grafito i sales de fierro como impurezas en menor escala.

Los gastos de metalurjia para trasformar este cobre de cemento en «cobre comercial en lingotes» se avaluaban en Inglaterra, antes de la guerra, en 10 libras esterlinas por tonelada de cobre fino.

Tan pronto tengamos en Chile hornos eléctricos para fundir económicamente el fierro viejo i amol-darlo en forma de ánodos podremos precipitar el co-bre de las soluciones directamente al estado de co-bre electrolítico, sin pasar por el intermediario «cobre de cemento». Esto vendría a constituir un procedi-miento de extracción del cobre de los minerales, seme-jante al que usa Chuquicamata, con la diferencia de disolver el cobre de los minerales por medio del clo-ruro ferroso en vez del ácido sulfúrico i en precipitarlo electrolíticamente con ánodos de hierro en vez de ánodos de «durirón» o de «magnetita». Los diafrag-mas en los baños electrolíticos vendrán, a nuestro juicio, a agregar la última palabra en la precipitación del cobre de las soluciones.

Antes de considerar las ventajas que tendría la lixi-viación de los minerales en estanques jiratorios, dare-mos a conocer la forma cómo se usó este mismo pro-cedimiento del cloruro ferroso en Ore Knob, Ash C.<sup>o</sup>, North Carolina, Estados Unidos. (Trans. A. I. M. E. Vol. II, p. 394).

En Ore Knob, en North Carolina, el mineral se tri-turaba al harnero de 40 hilos por pulgada i en seguida se tostaba. La composición media del mineral cru-do, tomado de dos muestras, era:

	N.º 1	N.º 2
Calcopirita.....	11.33%	13.30%
Pyrrhotita.....	37.46	35.74
Oxido férrico.....	8.14	16.34
Alúmina.....	1.84	1.49
Manganeso.....	0.16	0.50
Cal.....	5.32	7.84
Magnesia.....	0.35	0.94
Acido Carbónico....	4.76	7.19
Zinc.....	0.67	0.66
Cobalto.....	0.09	0.09
Níquel.....	0.71	0.92
Residuo silicoso....	29.10	13.57
	99.93	98.58
Cobre metálico.....	3.92	4.60

La composición media del cobre en el mineral tostado está representada en los análisis siguientes:

Cobre al estado de sulfato.....	3.76%
Cobre al estado de óxido.....	7.75%
Cobre al estado de sulfuro.....	0.39%
	11.90%

El mineral tostado se vaciaba en 8 estanques con agitador, de 8 pies de diámetro, 5 pies de hondura, con fondos cónicos. Estos estanques se cargaban una vez cada uno, en las 24 horas, con 3,000 libras de mineral tostado i 1,500 galones de solución de sulfato ferroso i sal común, marcando 22º B. i calentados con vapor a 160º F. Esta mezcla se agitaba durante 8 horas

por medio de un eje vertical que sostenía una paleta horizontal en su estremidad inferior i que jiraba a razón de 25 vueltas por minuto. Después de 8 horas las paletas dejaban de funcionar i el contenido de los estanques se dejaba decantar durante 4 horas. El líquido claro se vaciaba directamente en los estanques de precipitación del cobre i el líquido con borras se vaciaba en estanques de decantación.

El ripio se lavaba primero con solución fuerte, caliente i después con solución débil. Estas soluciones de lavados se hacían decantar en los estanques de decantación i la solución clara se vaciaba también en los estanques de precipitación con fierro viejo. La ganga de los minerales se vaciaba de los estanques con agitador a estanques de lixiviación, donde se recobraba una parte de la solución que humedecía los ripios.

Las borras o precipitados se acumulaban en los estanques de decantación hasta que casi se llenaban, momento en que se lavaban con solución i con agua hasta dejarlos con  $1/2$  de  $1\%$  de cobre.

Los estanques de decantación eran 20 i tenían 10 pies de diámetro i 5 pies de hondura.

Las soluciones fuertes de los estanques con agitador eran capaces de disolver 50 libras de cobre en 100 galones, pero se recomendaban soluciones más débiles por cuanto en ellas no se corre el riesgo de que se precipite el cloruro cuproso por enfriamiento.

Se determinó emplear soluciones capaces de disolver 30 libras de cobre en 100 galones.

Las soluciones calientes corrían hacia los 12 estanques de precipitación, los cuales tenían 12 pies de diámetro i 5 pies de hondura i contenían 12,000 libras

de fierro cada uno. La temperatura en los estanques de precipitación se mantenía a 160° F. por medio de una inyección de vapor. La precipitación casi total del cobre se producía dentro de 12 a 18 horas. El líquido sin cobre corría hacia un estanque de donde lo achicaban las bombas a estanques almacenadores de solución para ser empleado nuevamente con nuevas cantidades de mineral tostado. Para la precipitación del cobre se usaba fierro limpio.

El cobre se extraía de los estanques de precipitación cuando contenían 4 a 5 T. cada uno. El consumo de fierro fué de 70% del cobre puro producido. El cobre de cemento después de lavado i secado contenía jeneralmente de 55 a 85% de cobre. Las impurezas eran principalmente óxido férrico i materias ferrosas.

El cobre de cemento producido en Ore Knob costaba poco menos de 8 centavos americanos por libra de cobre, incluyendo todos los gastos de extracción del mineral, tratamiento i ensacadura. De esta suma, cerca de 2 centavos americanos correspondían al precio del fierro metálico. Estos costos se basaron sobre una producción de 400,000 libras de cobre al año.

### **Lixiviación**

Los dos ejemplos anteriores, el primero del Establecimiento El Cobre de Antofagasta i el segundo de la Ore Knob, Ashe C.<sup>o</sup> demuestran que la lixiviación es 270 veces más rápida en caliente, en estanques con agitación del mineral i da mejor rendimiento que en frio, con movimiento de la solución únicamente, (por percolación). La química se había adelantado ya a

anticipar estos fenómenos, pues son propiedades muy conocidas que el calor i el mayor grado de finura de la molienda contribuyan a la mayor rapidez de la disolución i a mejorar el rendimiento.

Teniendo presente estos fenómenos, la Jerencia del Establecimiento El Cobre de Antofagasta ha propuesto ensanchar la usina construyendo estanques jiratorios para la disolución del cobre de los minerales i triturar estos últimos en molinos de bolas, al tamaño de 25 mallas por pulgada lineal en vez de 10 mallas por pulgada cuadrada a que se ha molido hasta hoy día.

Sabido es que los molinos de bolas corrientes muelen a esa dimensión sin tropiezo alguno.

Como ejemplo de cilindro jiratorio, aunque las variedades llegan al infinito, damos el dibujo de uno de los 23 que emplea Chuquicamata, para desclorurar las soluciones.

Para la lixiviación de minerales se pueden construir cilindros jiratorios de madera, de 2 metros de diámetro i 3 metros de largo. Estos cuestan alrededor de \$ 1,600, aparte del mecanismo para hacerlos jirar. Uno de estos cilindros tiene una capacidad de 9 m<sup>3</sup> i puede lixiviar 3 T. de minerales molidos en 8 horas, contando el tiempo de carga i derripiadura.

Personalmente hemos hecho demostraciones de lixiviación en la Escuela de Artes i Oficios de Santiago, a la cual asistió S. E. el Presidente de la República, Excmo. Señor don Juan Luis Sanfuentes. Hemos lixiviado con sulfato férrico carbonatos i oxiclорuros de cobre de 3.6%, provenientes de la provincia de Antofagasta, durante 24 horas, en frío i molidos al harnero de 5 mallas por pulgada lineal. El cilindro ji-

raba a razón de 16 revoluciones por minuto. Después de 16 horas de funcionamiento el mineral que había entrado con 3.6% de cobre sólo conservaba 0.86% de cobre. A las 20 horas contenía aún una lei de cobre de 0.73% i después de 24 horas que duró la lixiviación quedó con 0.5% de cobre, es decir, con la mitad de 1%. «El cobre de cemento» salió con una lei de 79.20%. La cantidad de fierro viejo consumida en la precipitación fué igual a la cantidad de cobre puro elaborado.

Igual demostración hicimos en la provincia de Antofagasta, ante el Notario don Aliro Parga i numerosas personas, con idénticos resultados.

Las minas de Chile ofrecen una segura inversión a los capitalistas que inviertan su dinero en la extracción del cobre por medio de la vía húmeda. Estos procedimientos emplean combustibles sólo para la molienda de los minerales, para achicar las soluciones i para el alumbrado de los establecimientos. Hablamos del combustible porque éste constituye uno de los gastos esenciales i porque éste fué durante la guerra el escollo con que tropezaron las fundiciones para extraer el cobre de los minerales de alta lei. Hemos considerado de importancia para nuestro país este sistema de extracción del cobre por medio del cloruro ferroso por existir en Chile toda la materia prima necesaria a la elaboración. Esta materia prima consiste en: minerales, sulfato de fierro, sal común, fierro viejo, agua dulce o de mar i combustible. El combustible necesario puede calcularse sabiendo que un caballo de fuerza motriz muele una tonelada de mineral en las 24 horas, a 10 mallas. En los motores a combustion interna de 50 HP., por ejemplo,

se consumen 3.35 Kg. de petróleo Diessel por caballo en las 24 horas. La tonelada de dicho combustible valía durante la guerra 300 chelines i 90 chelines antes de la guerra.

La sal común, con 85% de cloruro de sodio, se vende en la ciudad de Antofagasta a \$ 30 m/c la T. i el fierro viejo a \$ 35 m/c la T.

El agua de mar es preferible al agua dulce. El sulfato de fierro le cuesta al Establecimiento El Cobre de Antofagasta \$ 45 por T.

En cuanto a los procedimientos de fundición de los minerales, adelantaremos que no pueden emplearse con una sola variedad de minerales (los de una mina dada) ni menos con leyes inferiores a 7% de cobre.

La cantidad de sulfato de fierro i sal común que se consume diariamente en el procedimiento ya descrito del cloruro ferroso corresponde únicamente a la que va en la solución que queda humedeciendo los ripios, cuando se trata de minerales apropiados. En el caso actual si se benefician 37 T. diarias de mineral, se pierde 3.7 m<sup>3</sup> de solución. Cada metro cúbico de solución lleva 100 Kg. de sulfato de fierro i 80 Kg. de sal común. Si los ripios se llevan 3.7 m<sup>3</sup> de solución, quiere decir que se pierde diariamente 370 Kg. de sulfato de fierro i 296 Kg. de sal común, sustancias que habrá que reemplazar.

Llamamos la atención de este pequeño consumo de reactivo en el procedimiento de extracción del cobre de los minerales por medio del cloruro ferroso, pues esto constituye una de las principales ventajas, gracias a la cual resulta tan económico.

El reactivo se rejenera constantemente. Durante

la lixiviación se precipita el fierro de la solución para darle entrada al cobre i durante la precipitación por medio del fierro viejo, sucede el fenómeno contrario, pues se precipita el cobre para cederle su lugar al fierro que entra en solución al estado de cloruro ferroso el cual sirve nuevamente para disolver el cobre de los minerales.

En el presupuesto de gastos para elaborar 2 T. de cobre en 24 horas, comprobado durante 4 meses en el Establecimiento El Cobre de Antofagasta, figura un ítem de \$ 1,800 para la compra de 37 toneladas de minerales de 7%. Cuando se poseen minas propias este ítem puede reducirse fácilmente a \$ 800 de donde resulta una mayor ganancia de un mil pesos diarios.

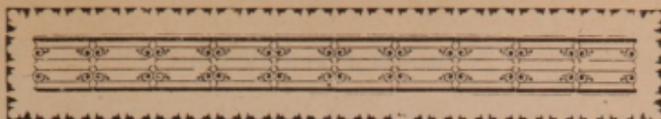
En Establecimientos que se surtan con desmontes de minas, el ítem de compra de los minerales necesarios para producir 2 T. de cobre puede aún reducirse a \$ 200 diarios. En cambio aumentan casi todos los demás capítulos, pero en pequeña proporción.

Este método de extracción del cobre es digno de llamar la atención de nuestros capitalistas por las injentes sumas que se pueden ganar en este país cuya principal riqueza es el cobre. Solo las 600 Ha. de terreno minero que posee Chuquicamata encierran cobre por valor de veinte mil millones de pesos.

AQUILES CONCHA,

Jeólogo del Servicio de Minas i Jeología  
del Ministerio de Industria i Obras Públicas.

*Santiago, 15 de Diciembre de 1910.*



## EJEMPLO

### **Aplicación del procedimiento de extracción del cobre de los minerales de cobre de «El Tesoro» por medio del cloruro ferroso.**

#### UBICACIÓN DE LAS MINAS

Este importante grupo de minas se encuentra ubicado 25 kilómetros al oriente del pueblo de Sierra Gorda, en la provincia de Antofagasta.

#### MINERALES

Este mineral fué explotado antiguamente i existe en la cancha alrededor de 50,000 toneladas de minerales de cobre de las variedades llamadas mineralógicamente Crisocol i Dioptasio (silicatos de cobre) de una lei de 5% de cobre, aproximadamente.

Después de Chuquicamata, estimo que es el asiento minero de mayor importancia en la provincia de Antofagasta por estar sus minas en alcance i por tener esa gran cantidad de minerales en cancha.

## CAMINOS I FERROCARRIL

Desde el puerto de Antofagasta se llega en el día, en el ferrocarril de Antofagasta a Bolivia, al pueblo de Sierra Gorda. Desde este pueblo a las minas existe un excelente camino carretero hasta el mineral mismo, camino que sigue al famoso mineral de Caracoles. Este camino lo hizo construir a gran costo la Municipalidad de Sierra Gorda. La gradiente máxima, es de 3% i el camino es todo de pampa i de subida hacia las minas.

Para explotar el mineral de «El Tesoro» habría que tender una línea de ferrocarril sistema «Decauville» desde las minas hasta la usina de beneficio de minerales que estaría ubicada en el pueblo de Sierra Gorda. Por la estación de Sierra Gorda pasa la cañería de agua del ferrocarril, el cual vende a \$ 1,40 el metro cúbico. Dicha línea Decauville de 25 kilómetros con su material rodante correspondiente, creo se podría conseguir por un precio de \$ 250,000 m/c.

## LAS MINAS I LOS MINERALES EN CANCHA

Las minas pueden conseguirse por \$ 300,000. La tonelada de mineral de cobre de 5%, en cancha, saldría a dos pesos m/c.

El transporte del mineral en carreta hasta el término de la línea Decauville costaría un peso por tonelada.

El flete del Decauville hasta Sierra Gorda, o sea 25 kilómetros, no creo que sería superior a \$ 2.50 por T., pues la línea es de bajada. De subida el tren iría con

muy poca carga (pasto, agua para usos domésticos, comestibles i útiles mineros).

Posiblemente el mineral de Caracoles le daría también carga de bajada i de subida.

#### REACTIVO

Se necesitaría adquirir algunas pertenencias de sulfato férrico, las que costarían unos \$ 300,000 m/c i que darían reactivo para disolver el cobre de los minerales durante unos 50 años.

Minas de esta naturaleza hai en Cerritos Bayos, estación unida por ferrocarril a la de Sierra Gorda, vecina de la primera.

#### SISTEMA DE BENEFICIO DE LOS MINERALES

La extracción del cobre se haría por un procedimiento igual al empleado en Ore Knob, ya descrito en el presente informe. Habría sólo dos diferencias: esenciales: 1.º) La lixiviación se haría en frío i en estanques jiratorios i 2.º) El mineral se deshidrataría hasta que adquiriera 250º C. en vez de 650º C. que se emplean en Ore Knob.

#### ESPLICACIONES DEL POR QUÉ DE ESTAS MODIFICACIONES

En Ore Knob agregan en cada operación de lixiviación un poco de solución de *cloruro ferroso* para recuperar la solución que se llevan los rípios al estado de humedad.

En Sierra Gorda se reemplazaría ese agregado diario por *cloruro férrico*, que es mucho más enérgico que

el cloruro ferroso i por esa razón se trabajaría en frío i no en caliente.

Se usarían estanques cilíndricos jiratorios porque pueden cargarse con 6,000 libras de mineral cada uno en vez de 1,500 libras con que cargan en Ore Knob. La lixiviación es también más perfecta en cilindros jiratorios. En cambio consume un poco más de fuerza motriz (1 HP. por T., de mineral). En Chuquicamata cada cilindro jiratorio pesa 50 T. i es movido por un motor eléctrico de 50 HP. o sea 1 HP. por T.

Tratándose de silicatos de cobre, uno de los cuales es insoluble, habría que deshidratarlos a baja temperatura i oxidarlos sin el concurso del aire atmosférico para trasformarlos en óxido negro de cobre, el cual es completamente soluble en cloruro ferroso, en trió i con mayor razón en cloruro férrico.

Para trasformar los silicatos en óxido negro basta con deshidratarlos en un horno Wedge a 250° C., temperatura que es mui baja i que en consecuencia consumiría mui poco combustible. En Ore Knob tuestan a 650°C. porque se trata de sulfuros de cobre.

Para deshidratar 50 T. de silicatos de cobre en las 24 horas se consumiría 1 1/2 T. de petróleo bruto i 4 HP. de fuerza motriz.

Un horno Wedge con capacidad para deshidratar 50 T. de silicatos de cobre en las 24 horas vale \$ 45,000 instalado en Sierra Gorda.

#### AGUA

Se consumiría 20 metros cúbicos al día distribuidos como sigue: 10 m<sup>3</sup> para enfriar la camisa del motor que produzca la fuerza motriz, lavar cobre de cemen-

to i en seguida formar solución de cloruro férrico; 5 m<sup>2</sup> para reparar las pérdidas por evaporación; i 5 m<sup>2</sup> para usos domésticos.

**Presupuesto de gastos para elaborar 2 2/3 T de cobre del cemento de 76% al día**

50 T. de silicatos de 5% de cobre, a \$ 2 c/u.....	\$	100.00
Trasporte hasta el ferrocarril Decauville de 50 T. a \$ 1 c/u.....		50.00
Trasporte hasta Sierra Gorda por Decauville a \$ 2.50 c/u.....		125.00
<i>Trituración de 50 T.—3/4 de tambor de petróleo Diessel para el motor.....</i>		100.00
1 lata de aceite para el motor.....		25.00
2 operarios de día i 2 de noche acarreado mineral hasta el molino de bolas a \$ 7 diarios c/u.....		28.00
2 operarios de día i 2 de noche cargando el molino con minerales a \$ 7 diarios c/u.....		28.00
2 operarios de día i 2 de noche, acarreado el mineral molido hasta el buzón del horno Wedge a \$ 7 diarios c/u.....		28.00
1 1/2 tonelada de residuo de petróleo a razón de \$ 200 la tonelada.....		300.00
4 operarios de día i 4 de noche cargando de mineral deshidratado los buzones de los cilindros jiratorios, a \$ 7 diarios c/u.....		56.00

2 motoristas, uno de día i uno de noche, a \$ 8 c/u.....	16.00
2 Electricistas, uno de día i otro de noche a \$ 8 c/u.....	16.00
8 operarios para deripiar los cilindros jiratorios a \$ 7 diarios c/u...	56.00
<i>Los caballos de fuerza</i> necesarios para producir la luz eléctrica i mover la bomba centrífuga van incluídos en el petróleo, aceite i motoristas que emplea el motor.	
2 T. de fierro viejo, limpio i colocado dentro de los estanques de precipitación.....	160.00
250 kilos de sal común colocada dentro de la solución.....	15.00
2 T. de sulfato férrico colocadas dentro de la solución.....	80.00
<i>Estraer</i> el cobre de cemento de los estanques, lavarlos, ponerlos en cancha, removerlos i amoldarlos en forma de briquetas.....	
	30.00
<i>Transportar</i> i cargar las briquetas de cobre en carros del ferrocarril.....	
	14.00
20 m <sup>3</sup> de agua dulce, a \$ 1,40 c/u.	28.00
<i>Flete</i> de 2 1/2 T. de briquetas de Chuquicamata.....	
	30.00
<i>Sueldo</i> diario del personal superior: Administrador, químico i contador...	
	73.00
<i>Total</i> de gastos para producir 2 2/3 T. de cobre de cemento de 76% al día, en forma de briquetas.....	
	1,378.00
<i>Valor</i> que pagaría la Chile Exploration	

C. <sup>o</sup> por 2 2/3 T. de cobre en briquetas puestas en Chuquicamata, cuando el cobre se cotea a £ 100, tomando £ 1 = \$ 21 m/c.....	3,360.00
Utilidad diaria.....	1,982.00
Utilidad mensual.....	59,460.00
Utilidad anual.....	653,520.00

### Costo de la usina

Un establecimiento con capacidad para deshidratar, triturar i lixiviar 50 T. de minerales diariamente i precipitar 2 2/3 T de cobre de cemento de 76% al día, costaría en Sierra Gorda alrededor de \$ 600,000.

### Capital necesario para el beneficio completo de los minerales

Valor de las pertenencias de reactivo.....	\$ 300,000
Valor del yacimiento de minerales de cobre.....	300,000
Costo del Establecimiento.....	600,000
	<hr/>
	\$ 1,200,000

AQUILES CONCHA,  
Jeólogo del Servicio de Minas i Jeología  
del Ministerio de Industria i Obras Públicas.

Santiago, 15 de Diciembre de 1919.





### **Establecimiento de elaboración de sulfato de cobre cristalizado anexo a la usina elaboradora de cobre**

Pudiendo competir económicamente con el extranjero en la elaboración del sulfato de cobre cristalizado no hemos vacilado en agregar al ejemplo de usina para elaborar cobre, el ejemplo de un establecimiento destinado a producir sulfato de cobre. Por otra parte, los silicatos de cobre de «El Tesoro» son particularmente ventajosos para esta última operación por no contener impurezas como óxido de fierro.

Con tal motivo damos a continuación un informe presentado, hace un año, al Director del Servicio de Minas i Jeología don Javier Gandarillas Matta. Como en el caso presente se trata de un establecimiento anexo a una usina elaboradora de cobre que ya tiene decauville, horno de tuesta, motores, etc., modificaremos únicamente el presupuesto de dicho informe.

*Santiago, 7 de Noviembre de 1918.*

Señor Director:

Tengo el agrado de poner en conocimiento de Ud. que en vista de la importancia que tendría la instalación en Chile de una usina para elaborar *sulfato de cobre*, me permito someter a la alta consideración de Ud. el ante-proyecto adjunto.

Chile importa anualmente del extranjero cien mil kilos de sulfato de cobre los que se emplean principalmente en la agricultura.

Argentina compra anualmente en el extranjero las cantidades siguientes de sulfato de cobre:

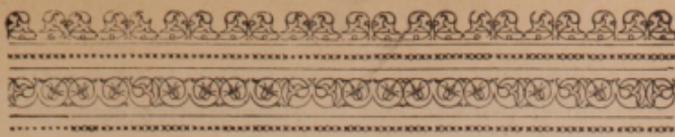
Años	1911	1912	1913	1914	1915
Kilos ....	1.064,571	1.288,552	1.376,102	912,370	1.312,790

El sulfato de cobre se cotiza en Chile i en Argentina, al por menor, a tres pesos el kilo.

Saluda a Ud. atentamente,

AQUILES CONCHA.

Al señor Director del Servicio de Minas i Jeolojía.



## ANTE-PROYECTO

**De usina para elaborar dos toneladas de sulfato de cobre diariamente, provenientes de diez toneladas de minerales apropiados de 5 1/2%.**

En las comisiones que he desempeñado en Antofagasta por encargo del Ministerio de Industria i Obras Públicas, he encontrado yacimientos mui grandes de los silicatos de cobre llamados mineralógicamente «Crisocola» ( $\text{CuSiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ) i «Dioptasio» ( $\text{CuSiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ) i vulgarmente (llanca verde) debido a su característico color verde. Los minerales que he visitado tienen una lei que fluctúa entre 5 i 6% de cobre; son despreciados por las fundiciones por su enorme cantidad de sílice i están éxentos de fierro. Su abundancia i estas dos últimas cualidades me indujeron a estudiar su aprovechamiento industrial.

He encontrado que estos silicatos se *deshidratan* sometiénolos a una temperatura un poco superior a 220° C i, un fenómeno curioso, junto con deshidra-

tarse se disocia el óxido de cobre  $\text{CuO}$  de la sílice  $\text{SiO}_2$ , quedando el primero con su característico color negro mezclado físicamente con la sílice verdosa o blanquizca. De este fenómeno se desprenden las ventajas siguientes: de insolubles que eran prácticamente los silicatos de cobre en ácido sulfúrico diluído i en frío, quedan, después de deshidratados, perfectamente solubles, tal como los carbonatos naturales de cobre.

¿Qué ventaja se ha obtenido entonces en usar combustible para deshidratar los silicatos, si después quedan en las mismas condiciones de solubilidad en ácido sulfúrico diluído que los carbonatos naturales de cobre que abundan en las minas de Chile?

La conveniencia consiste en que los silicatos mencionados no contienen óxido de fierro ni otras sustancias solubles en ácido sulfúrico, tanto ántes como después de deshidratados, mientras que los carbonatos de cobre traen, en el 99% de los casos, carbonato de cal, carbonato de magnesia, óxido de fierro, etc., sustancias todas que consumen ácido sulfúrico durante la lixiviación. Esta desventaja podría subsanarse con producir ácido sulfúrico barato, pero no es sólo eso. La soluciones impuras de cobre que se obtienen en la lixiviación de carbonatos naturales (malachita, azurita) no se prestan bien para obtener por cristalización sulfato de cobre puro, exento de sulfatos básicos de fierro i de otras sustancias. Habría que fraccionar la cristalización después de haber precipitado una parte del sulfato de cobre i emplear la solución restante en extraer el cobre por medio del fierro viejo. Esto trae por consecuencia un mayor consumo de agua que, en jeneral, es escasa i cara en las

provincias del norte, que es donde abundan los silicatos de cobre con las características ya enumeradas.

Una usina para elaborar sulfato de cobre por este procedimiento puede instalarse en un mineral apropiado con un simple contrato de compra de ácido sulfúrico, previendo para más tarde la construcción de una fábrica de ácido. Esto constituye una ventaja más en favor de la provincia de Antofagasta porque hai allí muchas azufreras en explotación i este metaloi- de es en consecuencia barato. Chuquicamata ha consumido 25 toneladas de azufre cada 24 horas durante el año entero.

Para apreciar con números la influencia del consumo de ácido sulfúrico producido por la solubilidad de la ganga de un mineral, tratemos 10 toneladas de carbonatos que contengan 5 1/2% de cobre i un 10% de otras sustancias solubles. En cada tonelada habrá entonces 100 kilos de elementos solubles i en las 10 toneladas tendremos 1 T. de sales metálicas que se disolverán consumiendo aproximadamente unas dos toneladas de ácido sulfúrico. En las minas, este reactivo vale hoy alrededor de \$ 500 la T., de modo que se gastaría \$ 1,000 de ácido sulfúrico improductivamente para lixiviar estas 10 T. de minerales.

En resumen, el empleo de silicatos de cobre de la provincia de Antofagasta en la elaboración del sulfato de cobre cristalizado realiza las ventajas siguientes:

- 1) Gran abundancia de minerales en cancha de 5 1/2%, sin fierro;
- 2) Minas en estado de explotación;
- 3) Poquísimo consumo improductivo de ácido sulfúrico porque dichos minerales no tienen ganga soluble;

- 4) Ahorro de agua i producción de un sulfato de cobre mui puro;
- 5) Elaboración sumamente sencilla por cuanto no hai que contar con la purificación de los caldos, operación costosa, difícil i deficiente;

### **Procedimiento para elaborar el sulfato de cobre**

El mineral molido i deshidratado se lixivia con ácido sulfúrico diluido. Antes de vaciar la solución de los cilindros de lixiviación, se calienta por medio de un chorro de vapor. En la tarde se vacia la solución caliente en un estanque. En seguida se escurre hacia las bateas i durante la noche al enfriarse la solución cristaliza el sulfato de cobre. Al amanecer, se escurre la solución fría i se achica nuevamente a los cilindros de lixiviación con el fin de agregarle ácido sulfúrico i lixiviar nuevas cantidades de minerales molidos i deshidratados.

El sulfato de cobre seco, cristalizado en las bateas, se vacia en barriles para esportarlo i para el consumo de nuestro país.

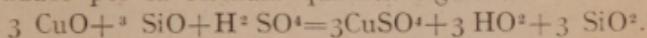
### **Detalles de las operaciones para elaborar el sulfato de cobre**

*Molienda.*—El mineral pasa por un chanco Blake que lo tritura al tamaño de una nuez. El producto triturado continúa por gravedad hacia dos Symons Disc. que lo muelen al grueso de la arena fina. El consumo de fuerza motriz en esa operación es de un caballo por tonelada aproximadamente. Un motor

a petróleo sería apropiado para accionar dichas trituradoras.

*Deshidratación.*—El mineral molido va pasando por un hornito especial i sencillo donde entra al estado de silicato i sale continuamente deshidratado, al estado de óxido negro de cobre (CuO) mezclado físicamente con sílice (SiO<sup>2</sup>). El combustible que se empleará en este horno será carbón, pudiendo también consumirse petróleo crudo. Los gases de la combustión pasarán antes de escaparse a la atmósfera por un caldero tubular que producirá el vapor necesario para calentar la solución llegado el momento de retirarla de los cilindros de lixiviación.

*Lixiviación.*—Se efectúa en tres cilindros jiratorios, de madera, donde se vacía el mineral deshidratado i frío, después de lo cual se llenan de reactivo diluido. En cada cilindro hai capacidad para 3, 1/3 T. de mineral de 5 1/2% de cobre, o sea, para un contenido de cobre, fino de 183.26 kg. La cantidad de ácido sulfúrico que se introducirá en cada cilindro será de 285.07 kg. La reacción que se efectuará dentro del cilindro se traduce por la fórmula química siguiente:



Una vez sulfatado todo el óxido de cobre, es menester que, al calentar la solución a 80° C. por medio del chorro de vapor, se disuelva todo el sulfato de cobre formado i, como el agua a esa temperatura disuelve 14.33% de cobre (54.53 partes de sulfato de cobre por 100 partes de agua), tenemos que un metro cúbico de agua disolverá 143.30 kg. de cobre.

Pero debemos suponer que ya estemos empleando agua madre proveniente de lixivaciones y cristalizaciones anteriores. Esta agua retirada durante la no-

che (en la pampa de Antofagasta la temperatura baja en la noche a 0° C. como término medio durante el año) tiene 4% de cobre en disolución al estado de sulfato. De modo que un metro cúbico sólo podrá disolver a 80° C. 103,50 kg. del cobre contenido en los minerales. I como debemos poder disolver 183,26 kg. de cobre en cada cilindro, el agua necesaria será:

$$\frac{1,000 \times 183,26}{10,50} = 1,774 \text{ metros cúbicos.}$$

agregando el agua de cristalización que será:

$$\frac{90 \times 163,25}{63} = 261,8 \text{ kg.}$$

tendremos que el agua total en cada cilindro será igual a  $1,774 \times 0,262 = 2,036$  metros cúbicos.

La lixiviación durará doce horas, durante las cuales los cilindros jirarán a razón de 9 vueltas por minuto.

### **Cristalizadores o bateas**

Estos son simples estanques de concreto, sumamente bajos para que la solución tenga una gran superficie espuesta al aire. Tendrán un declive hacia uno de sus lados de 1% para escurrir fácilmente la solución después de cristalizado el sulfato de cobre.

### **Maquinaria**

Para accionar los trituradores, cilindros de lixiviación i bomba, basta consultar un motor más poderoso que el previsto en la planta elaboradora de cobre. Igualmente sucederá con el horno de tuesta. Habrá que consultar el mismo para deshidratar los silicatos de ambos establecimientos. Es preferible adoptar

«Symons disc» para la trituración de los minerales, tanto para la usina productora de cobre como para la de sulfato de cobre. Para esta última es necesario no usar molinos de bolas porque éstos introducen en el mineral que trituran 1/2 libra de acero proveniente de las bolas por cada tonelada de mineral triturado. Este acero se oxida en el horno por donde pasa el mineral i dicho óxido de fierro consume ácido sulfúrico improductivamente e impurifica las soluciones de sulfato de cobre.

### **Lavado de los rípios**

Antes de derripiar los cilindros de lixiviación se lavarán los rípios con un metro cúbico de agua, haciendo jirar el estanque durante una hora. Esta agua se escurrirá hacia el segundo cristalizador. En el resto del día se derripiarán i se cargarán nuevamente los cilindros con mineral deshidratado.

### **Trasporte de los materiales**

El acarreo de los minerales se hará gracias a la línea decauville consultada en el establecimiento elaborador de cobre. El costo de la tonelada kilómetro sería así de \$ 0.10 aproximadamente.

### **Presupuesto de gastos para elaborar dos toneladas de sulfato de cobre en 24 horas, proveniente de 10 toneladas de minerales de 5.5%.**

10 toneladas de minerales de 5.5%, a	
\$ 2 c/u.....	\$ 20.00
Molienda a 1 milímetro, a \$ 4 por tonelada.....	40.00

Tostación de 10 toneladas (0.5 toneladas de combustible).....	\$ 200.00
Lixiviación.....	100.00
1 tonelada de ácido sulfúrico en la usina	500.00
Mano de obra.....	50.00
Vapor (200 kilos de combustible).....	70.00
Agua i Transporte.....	50.00
Imprevistos.....	90.00
Precio costo de 2 toneladas de sulfato de cobre.....	800.00
Valor comercial de 2 toneladas de sulfato de cobre puestas en Antofagasta a razón de \$ 0.75 el kg.....	1,500.00
Utilidad anual aproximada.....	252,000.00

NOTA.—Con las ganancias que se obtengan se podrá instalar al cabo de un año una fábrica de ácido sulfúrico, lo que permitirá obtener la tonelada de reactivo a \$ 250 en vez de \$ 500 que hemos presupuesto. Este inciso aumenta las ganancias en \$ 90,000.00 anuales.

Como lo veremos en seguida, el capital necesario para instalar una usina que produzca 2 toneladas de sulfato de cobre al día, como anexo de un Establecimiento productor de cobre, sería de:

**Costo de instalación de la usina necesaria para elaborar dos toneladas de sulfato de cobre diariamente**

Un chancador Blake instalado.....	\$ 5,000.00
Mayor capacidad para 2 Symons Disc. con repuestos.....	10,000.00
3 cilindros para lixiviación.....	12,000.00
Por mayor capacidad para el horno....	10,000.00

Por mayor fuerza para 1 motor a petróleo (30 HP.) i 1 bomba.....	\$ 20,000.00
1 caldero para producir vapor (8 HP.)	6,000.00
2 cristalizadores.....	10,000.00
Estanques para petróleo i agua.....	5,000.00
Imprevistos.....	10,000.00
Costo total de la usina.....	\$ 88,000.00

Además debemos consultar una suma de \$ 40,000 para acopiar ácido sulfúrico i combustible.

En total, el Establecimiento para elaborar dos toneladas de sulfato de cobre al día necesitaría un capital de \$ 128,000 siempre que funcionara como anexo a la usina elaboradora de cobre.

La administración sería la misma para ambos establecimientos.

### Resumen

Con un establecimiento capaz de triturar 60 toneladas diarias de silicatos de cobre al tamaño de la arena fina; con un horno de tuesta con capacidad para deshidratar esos minerales, i con los demás dispositivos enumerados en el presente informe se puede producir diariamente 2  $\frac{2}{3}$  toneladas de cobre de cemento de 76% i 2 toneladas de sulfato de cobre cristalizado con un costo de \$ 1,378 m/c para las primeras i \$ 800 para las últimas. El precio de venta de las primeras sería de \$ 3,360 m/c i el de las últimas \$ 1,500.

Esta producción dejaría una utilidad diaria de \$ 2,682 m/c o sea una utilidad anual de \$ 965,120

El capital necesario para instalar ambas usinas, comprar las minas de reactivo, sulfato férrico i las minas de cobre sería de \$ 1,328.000. Este capital se descompone como sigue:

Valor de las pertenencias de reactivo sulfato férrico.....	\$	300.000
Valor del yacimiento de minerales de cobre.....		300.000
Capital de explotación.....		728.000
TOTAL.....	\$	<u>1,328.000</u>

AQUILES CONCHA,  
Jeólogo del Ministerio de Industria i O. P.



---

## INFORMES

PRESENTADOS POR EL AUTOR, A LA DIRECCIÓN JENERAL DE OBRAS PÚBLICAS COMO INJENIERO DE SECCIÓN, MINERALOJISTA I JEÓLOGO, DESDE JUNIO DE 1912 HASTA DICIEMBRE DE 1916.

*Publicados en el Boletín de la Inspección de Minas:*

Informe sobre los aparatos para descubrir minas i aguadas;

Estudio sobre los esplosivos;

Informe sobre las salinas de Tarapacá;

Mapas en relieve;

Estudio sobre los hornos metalúrgicos;

Apuntes sobre la combustión;

Jeología del Canadá;

Teoría sobre el orijen del petróleo. Usos del petróleo i sus ventajas. El petróleo en Tarapacá;

Estudio comparativo sobre diferentes procedimien-

tos para convertir el cobre negro en cobre comercial;

Informe sobre los procedimientos i dispositivos empleados para aumentar la duración de las maderas;  
Informe sobre la Planta Beneficiadora de minerales de cobre de la Chile Exploration C<sup>o</sup>. en Chuquicamata.

*No publicados aún:*

Crítica a la elaboración actual del salitre en Tarapacá;

Estudio sobre la contaminación de las aguas subterráneas, de M. Bousquet;

Monografía sucinta de las minas de estaño de Altenberg;

Pozo, cerca de Pintados (Tarapacá);

Informe sobre el poder calorífico dado por el salitre a los diferentes combustibles;

Informe sobre la zona mineral de Sapte (Tarapacá);

Estudio sobre metalografía microscópica;

Informe sobre la posibilidad de irrigar la pampa del Tamarugal;

Informe sobre la zona mineral de Lagunas (Tarapacá);

Monografía minera de Pintados (Tarapacá);

Informe sobre la solfatara «San Antonio de Chaiviri» (Tarapacá);

Informe sobre el mineral de Copaquire o Sindicato Minero «El Tolar de Collahuasi»;

Informe sobre la posibilidad de encontrar petróleo en Tarapacá;

Datos sobre la «Société des mines de cuivre de Collahuasi, La Grande»;

Datos sobre la Compañía minera «Poderosa» de Collahuasi;

Compañía minera «Tarapacá» de Collahuasi;  
Monografía minera del asiento mineral de Mocha,  
Tarapacá;  
Informe sobre Collahuasi;  
Informe i monografía de las minas de estaño de Zinnwald;  
Procedimientos para la extracción del cobre de los minerales;  
Procedimiento de conservación de la madera.  
Estudio sobre Fotometría;

*Estudios practicados sobre el terreno:*

Punto para ubicar un sondaje en la pampa del Tamarugal, cerca de Huara, con el fin de buscar aguas subterráneas. Se efectuó el sondaje por la Inspección de Minas i a 97 metros se encontró una abundante napa de agua, conforme a lo previsto;  
Puntos para sondajes en Peldehue (Colina). A los siete metros de hondura se encontró una napa de agua artesiana que brotó a más de un metro de altura sobre el nivel del suelo;  
Informe en contra del pretil que se deseaba hacer en el río Copiapó. A pesar de esto, los vecinos lo construyeron. El río arrastró con el pretil;  
Bases sobre la cual se debía ubicar el estanque para agua potable de Hualqui (Provincia de Concepción);  
Peligro de derrumbe, por abertura de grandes grietas en una ladera del río Mulchén, frente a la ciudad de Mulchén;  
Informe sobre las grietas i hundimientos del San Critóbal;  
Informe sobre el supuesto carbón de Curicó;



Estudios preliminares sobre la zona carbonífera de Angol;

Ha desempeñado también una comisión de carácter reservado del Ministerio de Relaciones Exteriores. Mientras desempeñó el puesto de Mineralojista tuvo a su cargo la clasificación de muestras del Museo Mineralógico de la Inspección. A indicación del que suscribe se construyó el laboratorio que posee la sección de mineralojía.

AQUILES CONCHA S.,

Ex-alumno de la Escuela Nacional Superior de Minas de Paris.— Jeólogo de la Dirección Jeneral de Obras Públicas.

