

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



RECURSOS NATURALES, BENEFICIO Y PRODUCCION DEL COBRE Y DEL HIERRO EN LA REPUBLICA MEXICANA. (MATERIAL DIDACTICO PARA EL LABORATORIO DE CIENCIA BASICA DE LA ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CUAUTITLAN).

T E S I S

Que para obtener el Título de

Ingeniero Químico Metalúrgico

P r e s e n t a

RAFAEL

SAMPERE

MORALES

México, D. F.

1977



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

Tesis 1977

DO 11-30

ECHA

NOC 359

S

INGENIEROS QUÍMICOS, QUÍMICO Y FÍSICO-
QUÍMICO DEL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN EN LA REPÚBLICA
DE MÉXICO (MEXICAN CHEMICAL ENGINEERS AND
PHYSICOCHEMISTS ASSOCIATION) LA UNIÓN
DE QUÍMICOS DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS



QUÍMICA

Este documento es propiedad de la biblioteca de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

H. JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE

ING. JOSE MA. GARCIA SAINZ.

VOCAL

ING. JORGE LUDLOW LANDERO.

SECRETARIO

ING. CARLOS CASTAÑEDA ESTRADA.

1er. SUPLENTE

ING. ALBERTO OBREGON.

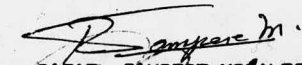
2o. SUPLENTE

ING. HUMBERTO LARIOS VELARDE.

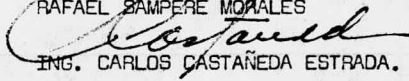
SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CUAUTITLAN

SUSTENTANTE


RAFAEL ZAMPERIE MORALES

ASESOR DEL TEMA


ING. CARLOS CASTAÑEDA ESTRADA.

DEDICATORIA

En esta Tesis que elaboré para obtener el grado de Licenciatura, quisiera expresar mi agradecimiento en primer lugar, a un gran compañero y amigo que fue MI PADRE, así como a su compañera y amiga que es mi MADRE, por su empeño y dedicación al tratar de hacer de mí un hombre de bien.

También la dedico a mis hermanos, JOSEFINA, CARLOS Y MA. CONCEPCION, quienes han sabido durante largos años impulsarme y animarme para afrontar nuevos caminos en la vida.

Ahora que estoy casado, quiero hacer mención a la gran comprensión y al enorme cariño de MI ESPOSA, que me sirve como aliciente para impulsar y vencer los obstáculos que nos pone la vida, mismos que espero, superaremos con alegría, por el deseo que nos une de darles en el futuro, una vida de dignidad a nuestros hijos.

Por otra parte, quiero agradecer la valiosa cooperación que me brindaron tanto mi asesor del tema, el ING. CARLOS CASTAÑEDA, como una gran amiga y compañera GLORIA SOTO HERNANDEZ, quienes no tuvieron límite al brindarme su ayuda.

A una persona que ha influido también en mi vida con su ejemplo y consejos dados a través de mis estudios de Licenciatura y a través de mi trabajo dentro de la Universidad, el ING. JORGE LUDLOW.

A todos mis compañeros de la Licenciatura, esperando sigamos unidos como hasta ahora.

Pienso que estas pequeñas líneas no pueden expresar en sí lo que siento por todos ellos y por otras personas que me rodean; pero espero que comprendan lo agradecido que estoy con todos ellos.

S E G U N D A P A R T E

" E L C O B R E "

I N D I C E

| | PAGS. |
|--|-------|
| Introducción | 1 |
| Definición e Historia de la Metalurgia | 4 |
| Historia | 5 |
| Metal, definición. | 6 |
| Beneficio | 7 |
| Escorias | 12 |
| Cobre | 16 |
| Reglas de identificación | 19 |
| Lixiviación. | 26 |
| Tostación | 30 |
| Fusión | 36 |
| Conversión | 41 |
| Afino | 45 |
| Electrorrefinado del cobre | 49 |
| Análisis | 66 |
| a) Separación. | 70 |
| b) Métodos gravimétricos | 71 |
| c) Métodos volumétricos. | 74 |
| Localización geográfica en la República Mexicana del mi- neral de Cobre y su comercialización | 78 |
| APENDICE: Transparencias, guión. | |
| BIBLIOGRAFIA..... | |

I N T R O D U C C I O N .

El Laboratorio de Ciencias Básicas de Segundo Semestre, se propone el estudio del tema: Beneficio y Extracción de un metal.

Este estudio también abarca los problemas socioeconómicos inherentes, de una manera sencilla, así como el conocimiento del comercio del metal, recursos naturales y monografía, con la finalidad de que los alumnos ubiquen su trabajo experimental dentro de la realidad nacional en torno al metal y para que efectúen un estudio integral de él.

Por otra parte, el laboratorio de Ciencias Básicas II, se ha propuesto que el alumno, sin abandonar el laboratorio de trabajo, cuente con la información necesaria para el desarrollo de su guía metodológica y con ella, pueda efectuar los trabajos que allí se proponen.

Actualmente, el L.C.B., del Departamento de Química en la E.N.E.P. de Cuautitlán, cuenta con una escasa biblioteca, en virtud de que es una escuela recién instalada, lo que hace necesario elaborar el material expresamente escrito en el aspecto didáctico.

También el L.C.B., se ha propuesto la creación de material audiovisual, con la idea de formar una aula de tipo pedagógico e informativo, para lo cual se ha pensado en el material que aquí se presenta, el que consta de tres aspectos fundamentales que son:

Monografía general del metal.

Colección de revistas y folletos para información adicional.

Serie de transparencias y guión.

Los temas que se tratan en este trabajo, son de interés en cuanto a la problemática existente en el País, respecto al cobre, su importancia y

desarrollo en el mundo y en nuestro país con especial interés en los que se refiere a su producción, utilización y comercio.

El primer aspecto comprende el estudio monográfico del metal, donde se analizan los temas más comunes acerca de él, como son: recursos naturales, estado natural, geoquímica, propiedades físicas, procesos de extracción y beneficio y, datos generales referentes a su comercio.

El propósito de este primer aspecto, como se mencionó anteriormente, es el de ubicar al alumno en torno a la realidad industrial y socioeconómica del cobre, para que partiendo de esta obra, elabore su trabajo experimental y conteste su guía metodológica satisfactoriamente, adquiriendo un conocimiento general de los temas que abarca.

Además, los alumnos tendrán en este trabajo la ventaja de una información práctica y rápida, ya que su contenido procede de varias fuentes, lo que evitará que los alumnos busquen esta información fuera de la escuela, ahorrándoles tiempo.

El segundo aspecto, incluye una colección de revistas y folletos, donde se puede obtener información adicional de los temas que aquí se tratan y algunos otros que también son de importancia relacionados con el cobre, para que si el lector quiere ahondar más en un tema, sólo tenga que solicitarlo consultando la lista de referencia que aparece al final de esta monografía, ya que esta colección se encuentra en el L.C.B. lista para quienes la soliciten.

El tercer aspecto, corresponde a la presentación de algunos temas acerca del comercio del cobre, de un bosquejo histórico, así como de su extracción, beneficio y obtención del metal; todo esto de una manera ilustrativa, mediante transparencias.

En esta forma, se pretende que el alumno entienda los procesos en cuestión, mediante sesiones audiovisuales donde observará la colección de -

transparencias, mientras que el asesor da lectura a los párrafos correspondientes a cada una de ellas, integrados todos éstos a manera de guión, con la explicación respectiva y guardando una secuencia lógica. Esto permite una rápida presentación, mantiene el interés del alumno y logra un mejor aprovechamiento.

DEFINICION E HISTORIA DE LA METALURGIA

Podemos definir a la Metalurgia como el arte y la ciencia que tiene por objeto la obtención económica de los metales, a partir de los minerales en que están contenidos, para adaptarlos a los empleos que les da el hombre.

La Metalurgia incluye todos aquellos procesos que tienen por objeto separar el mineral útil de la ganga carente de valor, así como la fusión, afinado y hechura del metal, utilizando los principios físicos y químicos para aplicarlos técnicamente a la concentración, extracción, purificación y finalmente a la aleación.

Los comienzos de la Metalurgia se pierden en la oscuridad de los tiempos prehistóricos. Plinio escribe en su Historia Natural: ". . . ya es maravilloso el hecho de que el fuego sea imprescindible para todos los procesos; en su seno, las arenas de la tierra se funden tanto para obtener el virio, como la plata, el minio u otro tipo de plomo, como cualquier otra substancia de utilidad para el artista o el médico". La Biblia menciona a Tubalcain como el instructor de todos los artifices que trabajaban el Bronce y el Hierro.

En el año 1100, el monje alemán Theophilo, trató del arte metalúrgico en su libro "Diversarum Artium Shedula" y en 1530, Bartolomé Pérez Veiga publicó el libro titulado "De los Metales"; sin embargo, "La Pyrotechnia" de Vanoccio Biringuccio en 1540, de la que se hicieron doce ediciones, es el primer tratado en el cual, de una forma sistemática, se habla de la mineralogía y de la metalurgia. Dieciseis años más tarde Georgius Agrícola escribía "De Re Metallica".

La importancia de los metales, está implícita en nuestros días, ya que sin ellos, aún estaríamos dentro de la edad de piedra, con instrumentos de piedra y madera pero, poniendo en duda estos últimos por encontrarse la madera dentro de los recursos no renovables en forma inmediata.

H I S T O R I A .

La historia de los metales y la utilización que de ellos ha hecho el hombre, ciertamente se ha perdido en el tiempo. Probablemente, fué el oro el primer metal que se utilizó, tomando en cuenta su abundancia en la Naturaleza. Este metal en estado nativo o puro, tiene una gran maleabilidad, es decir, es fácil de trabajarlo, pesado, de estado atrayente y resistente a la acción corrosiva de la atmósfera. Sin embargo, tenía y tiene el inconveniente de que el hombre sólo puede trabajarlo para objetos de adorno, ya que por su gran maleabilidad, no se puede utilizar para herramientas o utensilios de trabajo. Estas características nos permiten comprender por que en la Historia, no siguió a la edad de Piedra, la Edad del Oro, sino la edad del Bronce. En esta era nuestros antepasados fijaron su atención en el cobre, que, como en el caso del oro, se encontraba a flor de tierra en un estado conveniente para trabajarse y además con una dureza mayor a la del Oro. Solo se utilizaba para la creación de utensilios y figuras de ornamento. Con todo lo anterior se explica por qué a la Metalurgia primero se le considera como un arte.

Pero existe una interrogante y es ¿Cómo es que el hombre adaptó esos metales para su uso, en la forma en que hoy los conocemos?. Es necesario de nuevo remontarnos hasta antes de la fabricación de los utensilios, a una hoguera en un lugar desconocido. Hace miles de años en un lugar de nuestro planeta, en el que uno de nuestros antepasados al rebuscar entre las cenizas, se haya encontrado algo que le llamó la atención porque brillaba, era más duro que el oro y además una cosa muy importante, lo podía trabajar para utilizarlo en su vida cotidiana; ese metal fué el cobre. He ahí

parte realmente el principio de la Metalúrgia.

Las partículas de cobre, eran el resultado de la reducción de algún afloramiento de mineral oxidado, que al estar en contacto con el carbón, -- producido por la combustión de la madera, se redujo a su estado nativo. -- El hombre aprendió en esta forma como obtener los metales a partir de los minerales que se encontraban a flor de tierra en forma oxidada y posteriormente pudo mezclarlos unos con otros, formando lo que nosotros ahora conocemos como aleaciones, con propiedades diferentes a los metales solos. Esto -- se puede afirmar, puesto que descubrió un trozo de bronce que se atribuye -- al año 3500 A.C., poco más ó menos.

El avance de la civilización genero un incremento de las necesidades de la población en cuanto a consumo por lo que la Metalurgia fué sufriendo los cambios necesarios en la tecnología del tratamiento de los metales. Ya en 1855, Sir. Henry Bessemer, descubrió y patentó un nuevo proceso para la fabricación del acero, contribuyendo así a desencadenar la Revolución -- Industrial, que desde entonces ha traído consigo grandes cambios en nuestra vida cotidiana.

M E T A L.

Definición:

¿Qué es, a lo que nosotros le llamamos metal?

Generalmente nosotros conocemos como metales, aquellos elementos que tienen un cierto brillo característico, buenos conductores de la electricidad, resistentes al trabajo, maleables, pesados, de elevada densidad, que se pueden moldear de diferentes formas, después que han sido calentados o fundidos a elevadas temperaturas. Pero bien, esto no nos da una definición muy -- precisa de lo que es un metal, para tal caso sería necesario conocer su estructura interna y esto se ha logrado por medio de instrumentos adecuados, por lo que los metales en una forma más exacta, quedan definidos por las siguientes reglas:

1.- La estructura interna de los metales esta constituida por un --

arreglo ordenado de sus partículas.

2.- A ese arreglo ordenado de partículas, es lo que se conoce como red cristalina, siendo diferente para cada uno de los metales existentes - así como para sus compuestos.

3.- Las anteriores reglas, son las que les confieren a los metales las propiedades de dureza, maleabilidad, punto de fusión elevado, etc.

Para poder utilizar los metales, es necesario darles un tratamiento, desde que se extraen de la tierra, hasta que se obtiene el estado adecuado para su utilización. A continuación se dará una breve reseña en forma general, de los procedimientos utilizados para su tratamiento.

Inicialmente el metal, se obtiene de la corteza terrestre en forma de mineral, con impurezas en forma de óxidos ó sulfuros; también en forma - nativa, lo que es raro en la actualidad puesto que nuestros antepasados al no contar con los medios y conocimientos adecuados para extraerlo de los - compuestos, con un alto grado de impurezas, lo agotaron. Pero ya sea en forma de compuestos o nativo, tiene que ser tratado para que pueda utilizarse.

Los métodos de extracción son variados. De acuerdo a las condiciones en que se encuentre el metal, se extrae por medio de explosiones, que es el método más usado, o bien se emplean barrenos para grandes profundidades, palas mecánicas, minas por medio de túneles, etc.

Beneficio.

Es necesario hacer la aclaración, que los minerales que se encuentran como agregados o combinación y de los que se pueden extraer más de un - metal se les define como minerales ricos o factibles de ser tratados económicamente.

Para ello, se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

1.- El contenido del metal constituye un tanto por ciento mínimo en el mineral.

2.- La forma física y química, se basa en la combinación del metal y las impurezas que contenga todo el mineral, en compuestos oxidados, sulfuros, o carbonatos, etc.

3.- El tipo de impurezas que presenta el metal, debe determinarse para efectuar un balance económico del costo del proceso, tomándose también en cuenta el precio del metal en el mercado en el momento indicado.

4.- La condición física del yacimiento, como por ejemplo: humedad, profundidad, extensión, comunicación, mano de obra, etc. Este factor es en ocasiones muy importante, ya que si el yacimiento es beneficiable, es necesario establecer la posibilidad de situar una planta de proceso cercana al yacimiento para evitarse gastos de fletes.

5.- El costo de los elementos necesarios para la purificación del mineral, como son los modificadores, espumantes, etc.

6.- Es necesario considerar, cuáles son los Sistemas de transporte disponibles, para las plantas refinadoras cercanas al yacimiento, con mayor razón para las que se encuentran a una distancia considerable, por el gasto de combustible, fletes, impuestos, etc.

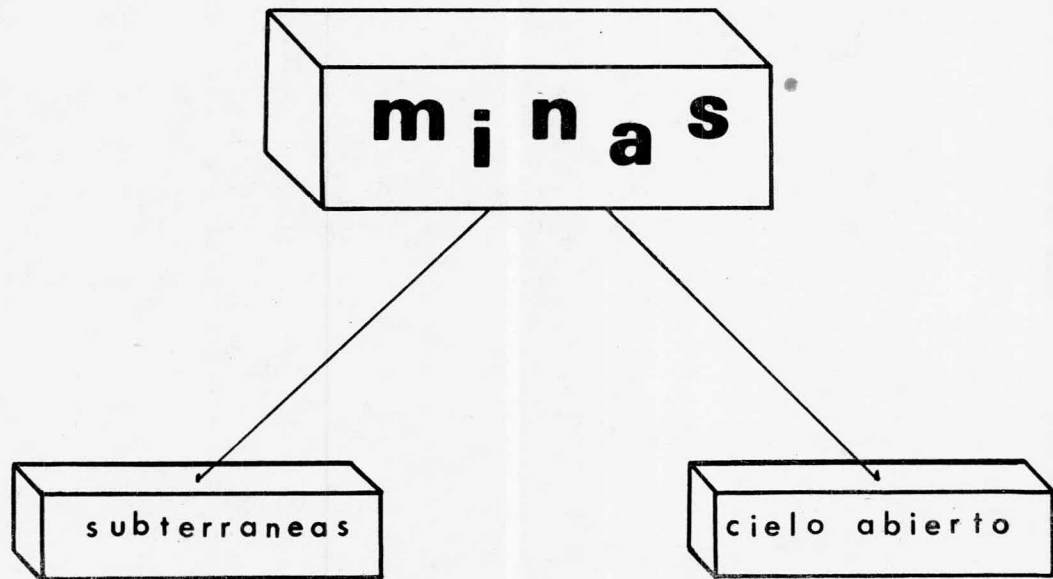
En metalurgia a los minerales que son factibles de ser beneficiables, se les conoce con el nombre de menas, por tal motivo en adelante nos referiremos con ese nombre a los minerales en sus procesos de refinación.

Las menas se clasifican en: oxidadas, sulfuradas, y nativas.

Las menas oxidadas, generalmente se encuentran en la superficie o próxima a ella, con lo que sus compuestos o elementos tienen contacto con el oxígeno de la atmósfera, combinándose mutuamente, por esto reciben el nombre de menas oxidadas.

Las menas nativas, que cada día son menores en nuestro planeta, - existen muy pocas en la actualidad, son contadas, debido a la excesiva explotación a la que han sido objeto, por casi no tener impurezas, su tratamiento es menos costoso y además se obtiene un metal con excelentes propiedades, lo que ha hecho que las menas hayan sufrido mayor explotación a través del tiempo.

Las menas sulfuradas, que son las menas que actualmente tienen una mayor explotación, se encuentran a una cierta profundidad de la superficie,



siendo el producto de siglos de almacenamiento de los minerales por las - aguas subterráneas, con un contenido de azufre elevado. Otras menas se han formado por los reacomodos de la corteza terrestre dando paso a lugares de almacenamiento de líquidos, que al paso del tiempo y por las grandes presiones, fueron formando los yacimientos metalíferos. Este tipo de menas son - las que en la actualidad son más explotadas, esto gracias al avance de la tecnología moderna y, porque las menas de los minerales nativos y de los - oxidados han ido con el tiempo agotándose, sin descartar la posibilidad de que algunos de estos todavía son explotados en nuestro País y en el resto - del mundo.

El beneficio de las menas se lleva a cabo con las operaciones de la extracción, secado (eliminación de la humedad); trituración, molienda (se - reducen las partículas del mineral, para un fácil manejo y mayor eficien-
cia), flotación, y concentración para su posterior fusión en los diferen-
tes tipos de hornos de acuerdo al metal que sea fundido. En las menas nati-
vas, así como en las de algunos minerales oxidados, la fusión se efectúa di
rectamente sin ningún paso previo.

La fusión es un proceso de reducción en la que la mayor parte de - los constituyentes beneficiables de la mena, se extraen en forma metálica (mata), mientras que los no beneficiables, forman otro producto conocido - con el nombre de escoria.

La tostación, es el ajuste del contenido de azufre u oxígeno por me
dio de calor, con temperaturas abajo de la de fusión, sin llegar a fundir,
sólo acelerando las reacciones en atmosferas específicas.

La calcinación, al igual que la tostación se efectúa por medio de - calor hasta una temperatura elevada, sin llegar al punto de fusión. El obje
tivo esencial de la calcinación es el de eliminar la materia orgánica conte
nida en el mineral; como se sabe la materia orgánica es desechada a unos -
cientos de grados centígrados, mientras que los minerales se funden a gran-
des temperaturas.

mineral

preparacion

concentracion

refinacion

Los procesos descritos en forma breve, suelen ser procesos previos que se llevan a cabo con el objeto de tener las menores pérdidas posibles durante la fusión, evitando gastos inútiles de combustible y por otra parte no se pueden efectuar en el horno todas estas operaciones simultáneamente.

Durante el proceso de fusión, son muy importantes la forma física de las partículas y las reacciones químicas que tienen lugar, para efectuar un balance de calor adecuado, en base al calor obtenido, más el calor generado por las reacciones exotérmicas; tomando en cuenta las reacciones secundarias que se verifiquen dentro del proceso mismo, así como la formación de compuestos en la escoria. Además de esto, la temperatura dentro del horno, dependerá de los calores latentes y específicos de fusión y de vaporización de los compuestos volátiles.

Generalmente los compuestos de los metales en forma oxidada, son compuestos estables, por lo que casi siempre es necesario aportar una considerable cantidad de calor, para que las reacciones puedan realizarse. En la mayoría de los procesos se utiliza el carbón como agente reductor, aparte de otros que se pueden considerar específicos y con un costo más elevado, por tal motivo su uso está un como restringido, por ejemplo, el aluminio, con un punto de fusión determinado, que al combinarse con otro elemento el balance térmico es favorable al costo total.

Los hornos, se construyen o están formados de ladrillo refractario con un punto de fusión elevado; con una gran resistencia a la abrasión, de formas determinadas, y son diferentes según vaya a ser su utilización; Se clasifican de acuerdo a su basicidad o acidez, dependiendo del mineral a fundir.

Escorias.

Además del metal impuro ó mata, se forma una escoria, la que contiene las partes no metálicas y las impurezas del mineral. La Formación de escoria permite la separación y colado del metal fundido, siendo su función principal la de absorber la ganga (compuestos de óxidos básicos). Para ser

Los fundentes al igual que los refractarios, también se clasifican de acuerdo a su acidez ó basicidad, dependiendo de la mena, se utiliza fundente ácido, si la mena es ácida y viceversa para la mena básica; por ejemplo si queremos fundir una mena de cobre con un alto contenido de cobre, que tiene carácter ácido, tendremos que utilizar un fundente básico como cal u óxido básico, para producir una escoria del grado de silicato deseable; - - mientras que para una mena básica, como las de plomo, se requerirá la adición de sílice. Generalmente si agregamos un tercer componente el punto de fusión se abatirá todavía más, como en el caso de una mezcla de cal, óxido ferroso y sílice, el punto de fusión puede abatirse hasta 1010°C, cuando la mezcla está de 45% de SiO_2 , 10% de cal y 45% de óxido férrico.

Al ensayar cuantitativamente las menas de plata y oro, un analista puede utilizar fundentes de sodio, plomo o potasio. En este tipo de metalurgia, es justificable el empleo de estos tipos de fundentes, ya que a nivel industrial se debe de efectuar un balance económico, por este motivo se utilizan fundentes más baratos, por encontrarse en una mayor proporción en la naturaleza, tales como la piedra caliza, la sílice o el óxido de hierro. También está incluido el punto de formación de la escoria que debe ser bajo, para el ahorro de combustible. En los metales no ferrosos la mayoría de las escorias, - - tienden a fundirse a una temperatura promedio de 1250°C más o menos; aumentándola de unos 200 a 300°C para la temperatura de fluidez, para tener un agente purificador que al pasar por las partículas de la carga del horno, tiene un mayor contacto por unidad de superficie, obteniendo un metal más puro, que si utilizáramos una escoria viscosa y pastosa donde su paso a través de la carga es más lento, por esto, no son deseables escorias de peso específico elevado. Dentro de las escorias va combinado el fundente que solo se utiliza como un agente modificador.

Los fundentes más ampliamente difundidos, por lo general son aquellos que tienen como base la sílice (SiO_2) o algún silicato, cuyo peso específico varía de 4 a 7, encontrándose otros como el FeS , con un peso específico de 4.8; el Cu_2S con 5.8.

En base a los fundentes, la fusión de cobre y plomo, así como la fusión de otros metales no férreos, se forman escorias férreas, nominándolas así por contener óxido de hierro, óxido de manganeso, cal óxido de magnesio, alúmina y óxido de zinc; pero en mayor proporción el óxido de hierro y las no férreas, tienen un bajo contenido de óxido de hierro, encontrándose en ellas una proporción mayor de cal, alúmina, óxido de magnesio con sílice; estas se producen generalmente en la obtención del hierro en sus diferentes formas.

En ocasiones, no es necesario agregar ningún tipo de fundente, por que algunas menas contienen las proporciones adecuadas, los elementos necesarios para producir una escoria del grado del silicato exigido. A estas menas se les conoce con el nombre de autofundentes.

Para tener una idea de cuándo y cómo se deben utilizar los fundentes es necesario tomar en consideración las siguientes propiedades:

Uno de los fundentes más utilizados, es la piedra caliza (CaCO_3), - que se utiliza tanto en la metalúrgia ferrosa, como en la no ferrosa, por - descomponerse en cal (CaO), y anhídrido carbónico (CO), formando el óxido de calcio, parte de la escoria. Se emplea con pequeñas cantidades de óxido de - hierro, para obtener una escoria con una viscosidad dentro de los límites de fluidez. Este tipo de fundentes se utilizan en las menas ácidas de cobre y - plomo, produciendo una menor cantidad de escoria para un peso dado de sílice, reduciendo el poder disolvente sobre los sulfuros metálicos.

Los óxidos de hierro, no se pueden utilizar con un alto contenido, porque corroen los revestimientos ácidos de los hornos, si es preciso hay - que mezclarlos con cal; generalmente vienen acompañados de pequeñas cantidades de metales preciosos, los que se recuperan en la fusión.

La sílice, es uno de los fundentes más utilizados en la fusión de menas básicas por encontrarse en grandes proporciones en la naturaleza. Esta se utiliza en forma de piedras areniscas y su precio se puede considerar como uno de los más económicos en la industria metalúrgica, siempre y cuando se tenga cuidado de que no vayan mezclados minerales como la mica y hornablenda en forma de feldespatos, por tener un punto de fusión muy elevado.

Otros tipos de fundentes más caros cuyo uso es limitado a ciertos tipos de procesos, son los siguientes.

Los cianuros, que se pueden clasificar como los únicos fundentes - realmente reductores y que se utilizan para la fusión de las menas de plata y oro; los compuestos de óxido de plomo manganeso y nitratos.

C O B R E .

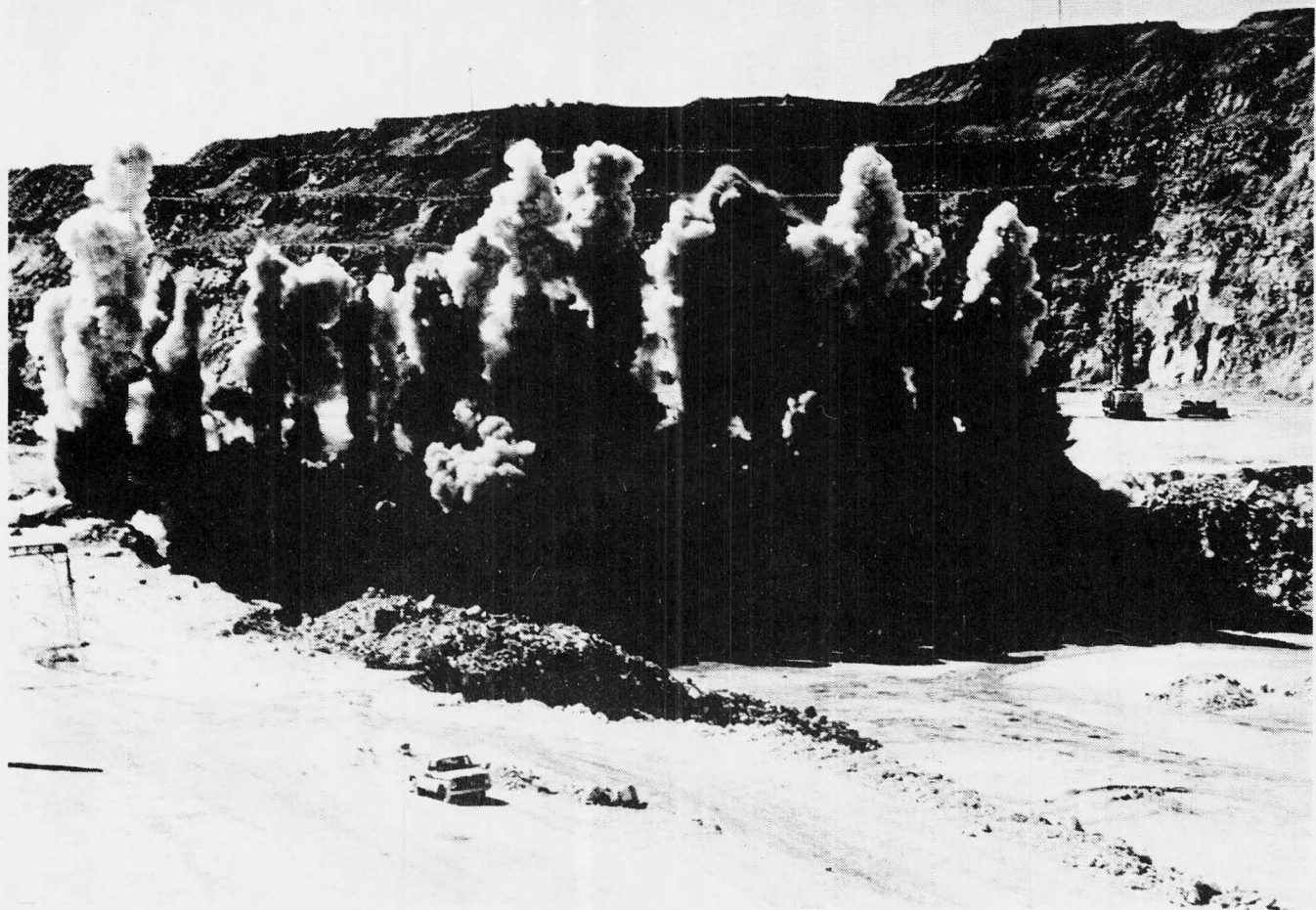
La utilización del cobre es demasiado importante en nuestros días, en la vida del hogar e industrialmente, por ese motivo se le considera como el segundo metal en importancia, después del hierro.

Parte de su historia ya fué narrada en párrafos anteriores, siguiendo una de las variadas teorías que han sido objeto de discusión. Se encontraron indicios firmes desde la época de los egipcios, hace unos 8000-7000 - A.C.; en excavaciones realizadas se hallaron utensilios de cocina así como - tuberías, lo que demuestra que probablemente, fueron los primeros en fundir el mineral de cobre y darle una aplicación específica. Probablemente también fueron los egipcios los primeros en obtener aleaciones como el bronce y el - latón.

El símbolo y nombre tuvieron su origen desde la época de los roma-- nos, que lo obtenían de las islas de Chipre, designándolo primero con la pa- labra cyprium (de Chipre), que mas tarde se convirtió en cuprum, de la cual proviene su nombre, Cobre en Español y su símbolo Cu.

El cobre presenta una gran resistencia a la corrosión, esto lo de - muestra ampliamente en un espejo encontrado por excavaciones que datan de mu- chos miles de años; esta propiedad, se la confiere el propio óxido que al for- marse una capa sobre el cobre, lo protege de ulteriores ataques.

Los minerales de cobre como los de otros metales, se presentan en forma oxidada, de sulfuros y nativa. Esta forma ya no existe en grandes pro- porciones por la explotación sufrida a través del tiempo; en la actualidad se encuentran los sulfuros con una mayor frecuencia en los procesos industriales que se efectúan en todo el mundo. Del cobre nativo sólo se tiene conocimien- to que existe en una cantidad apreciable en los Estados Unidos, en el Estado Michigan, con un tontenido de 1% de cobre, habiéndose encontrado en 1858 un



bloque de cobre puro que pesaba 420 toneladas pero, en la actualidad su producción se va efectuando en menor escala. Este tipo de cobre es muy apreciado, ya que por medio del proceso de flotación se obtiene un concentrado de 40 a 70% de cobre, para después sufrir un afino normal, obteniéndose un cobre con una alta pureza y una alta conductividad eléctrica, con un contenido de plata de 0.0022%, la que aumenta su conductividad.

Los minerales oxidados, se encuentran en la superficie terrestre, mismos que sufrieron una alteración en su estructura original como sulfuros primarios, por la acción de las aguas filtrantes del subsuelo, las que conteniendo anhídrido carbónico, oxígeno y ácido sulfúrico, actúan sobre los sulfuros para transformarlos en óxidos o carbonatos.

Los principales minerales oxidados son:

| <u>Mineral</u> | <u>Fórmula</u> | <u>% Cu</u> |
|----------------|---|-------------|
| Azurita | $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})$ | 55.1-55.3 |
| Crisocola | $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 36.2-37.0 |
| Cuprita | Cu_2O | 88.8 |

Los minerales sulfurados, son como ya se había mencionado los más importantes en la actualidad y se presentan como mezclas complejas de los sulfuros de hierro y cobre, asociados con compuestos de hierro, zinc, arsénico, antimonio, busmuta, selenio, telurio, plata, oro y platino; las impurezas en estos tipos de compuestos, son un factor determinante para el o los tipos de procesos a los cuales son sometidos.

Los principales minerales sulfurados son:

| <u>Mineral</u> | <u>Fórmula</u> | <u>% Cu</u> |
|----------------|--|-------------|
| Calcopirita | CuFeS_2 $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$ | 34,5 |
| Calcosita | Cu_2S | 79.9 |
| Covelita | CuS | 66.5 |
| Bornita | Cu_5FeS_4 | 55,5-63.3 |
| Broncantita | $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ | 56.2 |
| Anargita | Cu_3AsS_4 | 48.4 |
| Malaquita | $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ | 55.1-57.5 |
| Tetrahedrita | $\text{Cu}_3\text{Sb}_3 = \text{X}(\text{Fe}, \text{Zn})\text{Sb}_2\text{S}_9$ | 38.5 |

El poder identificar los minerales plenamente sólo se consigue mediante instrumentos adecuados para tal efecto, pero uno puede tener una idea del mineral si tomamos en cuenta sus características microscópicas - mineralógicas. Sólo como ayuda se da la clasificación siguiente de los minerales, cuyas propiedades o características, son indispensables para una identificación visual y práctica, las cuales son:

Diafanidad: Transparente

Semi

Translucido

Semi

Opaco

Dureza (escala Mohs). Es una dureza aproximada, se pueden utilizar una navaja, la uña, vidrio, etc.

Uña: 2.5, entre la calcita y el yeso en la siguiente escala.

Vidrio: 3,5

Navaja de acero: 5.5

| | |
|-------------------------|---------------|
| La escala es: 1.- Talco | 6.- Ortoclasa |
| 2.- Yeso | 7.- Cuarzo |
| 3.- Calcita | 8.- Topacio |
| 4.- Fluorita | 9.- Corundum |
| 5.- Apatita | 10.- Diamante |

La dureza por definición, es la resistencia a la penetración o rayadura.

Lustre: (Es función de la cantidad de luz reflejada)

- a) Resplandeciente
- b) Brillante
- c) Esplendente
- d) Luciente

A la vez el lustre se divide en:

Sub metálico

Metálico

No metálico

- a) Lustre diamantino
- b) Lustre vitrio
- c) Lustre resinoso
- d) Lustre graso
- e) Lustre sedoso
- f) Lustre perlado

Son muy pocos los minerales que tienen una estructura cristalina perfecta, generalmente su formación es de agregados cristalinos, que se subdividen en:

- Columnar o fibroso: Reticular (Cruzadas)
 - Reticular estelar (estrellas)
 - Fibrosa radiada
- Estructura granular: Gruesa
 - Eina
 - Impalpable.
- Estructura laminar : Foliada (se separan en forma de laminas)
 - Macizos (compacta): Arriñonada
 - Botroidal (uvas)
 - Mamilar (grandes)
 - Nodular (Protuberancias redondas)
 - Musgosa
 - Dendrítica (Forma de ramas de árbol)
 - Estalactítica
 - Acicular
 - Capilar (Forma de cabellos)

Fractura:

- Astillada
- Plana
- Desigual
- Mellada

Estas características parecen muy complejas, pero si se consulta un libro de mineralogía, los minerales están descritos en la siguiente --

forma: (mencionamos algunos minerales de cobre).

Calcocita: (Cu_2S)

Cristaliza en el sistema ortorrómbico

En macizo

Estructura granular gruesa, compacta e impalpable

Dureza: 2.5-3

Lustre metálico

Color y rayadura: gris de plomo y negrusco

Opaco

Cuprita: (Cu_2O)

En forma granular y terrosa

Lustre: Diamantino a submetálico

Color: Rojo en varios tonos o negro

Rayadura: Café rojizo y brillante

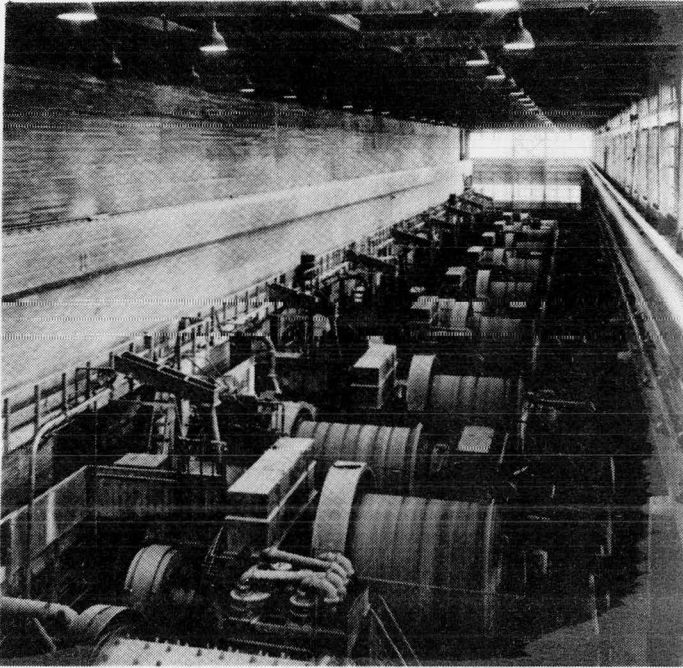
Difanidad: Subtransparente a subtranslúcido.

Los minerales de cobre, varían en su contenido de cobre de .5 a 4% siendo el resto del mineral material de otros componentes, por tal motivo se efectúa un proceso de concentración, separando el cobre de los otros componentes antes de fundirlo, para obtener finalmente un balance económico favorable.

Para incrementar el contenido de cobre se efectúa una preparación de minerales, por medio de una trituración, una molienda, mecánica, empleando trituradoras de mandíbulas, giratorias o de martillos, cuya función principal es la de obtener partículas de menor diámetro. En la molienda se obtienen partículas mucho más finas por lo que se utilizan molinos de bolas, martillos y hasta molinos rotatorios, dando como resultado la separación más objetiva del material útil de la ganga o de desecho, por medio de procesos tales como son la separación gravimétrica, donde se aprovecha el peso específico del metal, que generalmente es diferente al de la ganga en una o dos unidades; se emplea agua como agente separador con un flujo constante.

En la decantación, también se aprovechan las diferencias de peso es

pecífico que existen entre los diferentes componentes, este -- procedimiento se efectúa en mucho mayor tiempo que la concen-- tración gravimétrica.

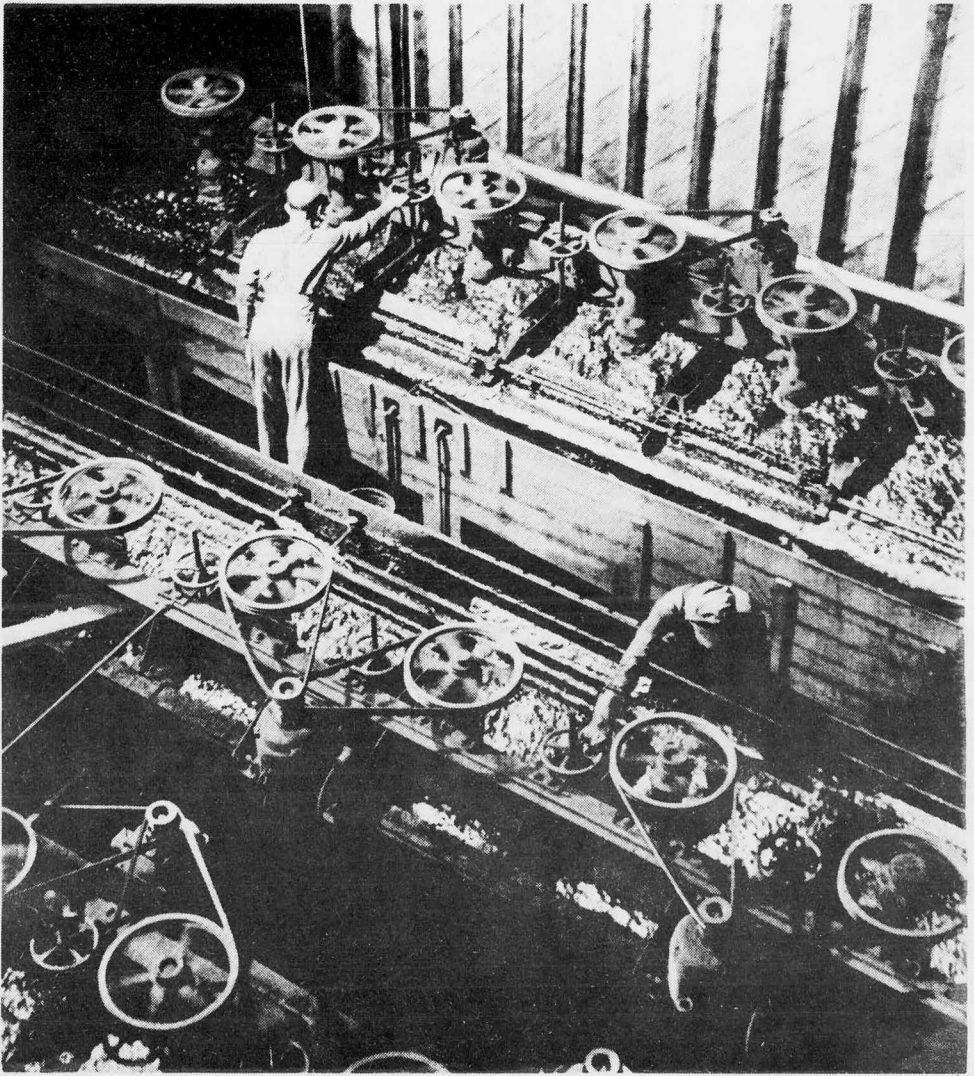


MOLINOS DE BOLAS

La flotación es en uno de los procesos que mayor auge han tenido en los últimos años por su bajo costo y rapidéz de recuperación. Este proceso aprovecha la tensión superficial del -- agua, la que es disminuída por medio de agentes tensoactivos, -- promotores y espumantes. En estos últimos se forman burbujas -- en las que se adhieren las partículas del metal, quedando en -- la solución un por ciento pequeño del metal a separar, combina-- do con el material de desecho. Los agentes promotores, son reac-- tivos específicos, que promueven a las partículas en metal de-- cobre, hacia la parte superior del líquido, (para los diferen-- tes tipos de promotores consultar catálogo de flotación), que-- son moléculas dipolares por medio de las cuales se abate la -- tensión superficial del agua, donde una parte de la molécula es--

hidrófila mientras que la otra es hidrófoba; posteriormente se utilizan los espumantes para la formación de burbujas, también polares, en donde se adhieren las partículas ricas en metal para que después puedan ser extraídas por palas o rastrillos mecánicos, con el objeto de fusionarlas en los hornos de reverbero. Aún cuando no es necesario eliminar antes la humedad para disminuir los costos de combustible, se obtiene un concentrado de 30 a 40%; en algunas ocasiones este porcentaje llega hasta el 70% donde pueden ser fundidos directamente en hornos de reverbero o de cuba, evitando o desplazando en algunas ocasiones a la tostación donde se ajustan los contenidos de sulfuros de hierro y cobre que es un proceso pirometalúrgico, sin llegar a la fusión del mineral con un rango de temperaturas de 200 a 850°C menores al punto de fusión para lo cual se necesitan 1083°C.

En los minerales que tienen un contenido de cobre muy bajo, se emplea la lixiviación como medio para concentrar el cobre metálico en compuestos como los sulfatos, carbonatos, para una posterior precipitación y obtención de un contenido de cobre más rico.



CELIDAS DE FLOTACION



MINERAL OXIDADO. Yacimientos a cielo abierto.

LIXIVIACION

Métodos de lixiviación:

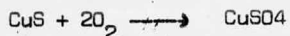
Los más utilizados son:

- 1.- Lixiviación directa sobre el yacimiento.
- 2.- Lixiviación por lotes.
- 3.- Percolación.
- 4.- Lixiviación con agitación..

El grado del mineral y su asociación con la ganga son los factores determinantes, para escoger el grado de lixiviación, pero es necesario obtener el mineral en forma fraccionada.

La lixiviación sobre yacimientos.

Para este tipo de práctica no es necesario transportar el mineral. Consiste principalmente en hacer pasar alternativamente una corriente de - aire y una de agua. La de aire oxida al mineral, según la reacción:

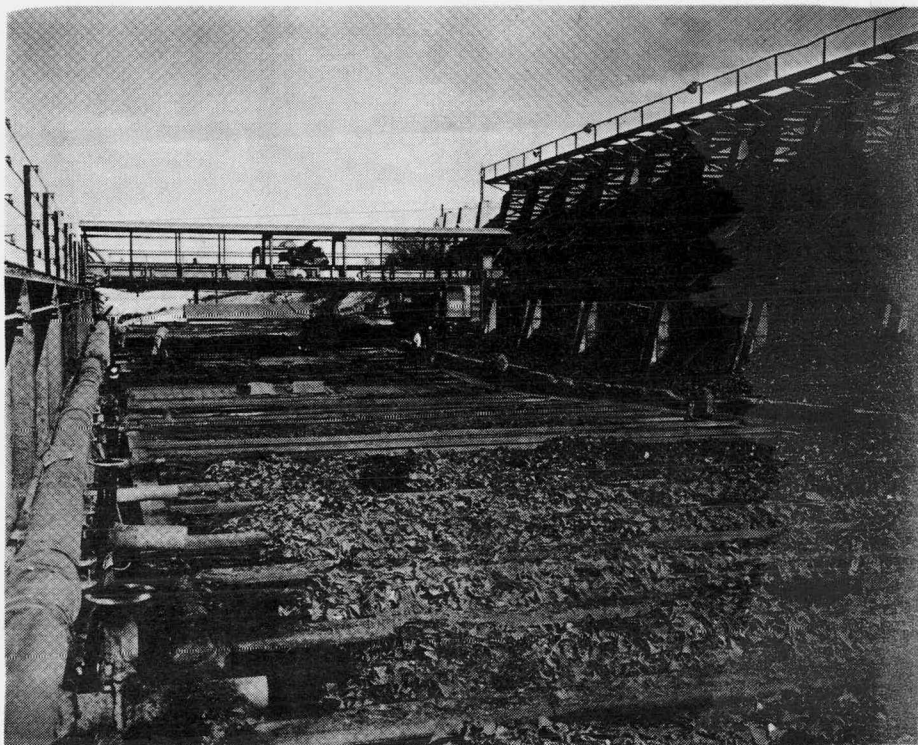


Después se llena de agua la zona y el sulfato se disuelve en el - agua; de esta solución se extrae el cobre.

Lixiviación por lotes.

Este proceso es similar al anterior; consiste en extraer el mineral y colocarlo en tal forma que tenga buen contacto con el aire, para que se - oxiden los sulfuros.

Este proceso es largo, aunque es acelerado porque las reacciones son exotérmicas. Posteriormente estos lotes se riegan con agua, para disolver - los sulfatos. Los lotes se mojan más de una vez.



Lixiviación por percolación.

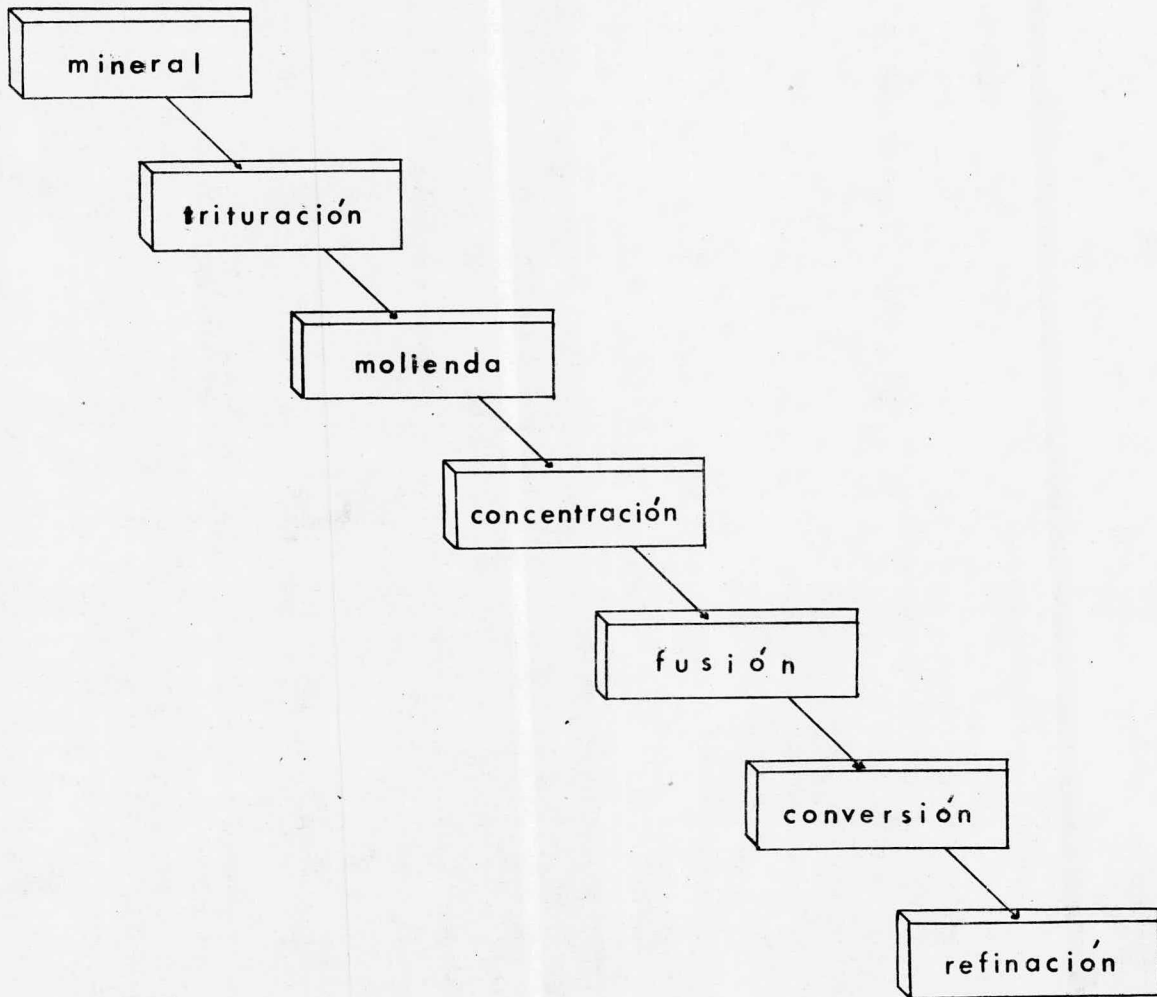
A continuación se da una descripción del proceso en la práctica industrial, siendo posible que cada alumno lo adapte al material y necesidades de él.

Se trabaja esencialmente a contracorrientes, con la particularidad de que el mineral, está quieto.

El mineral se mete en 6 u 8 tanques y la solución se hace pasar desde el primero hasta el último; después se desvía a la planta de recuperación de Cu.

En cada vuelta de la solución se saca mineral de un tanque y se mete a uno nuevo.

La solución lixiviante nueva, se mete en el tanque que tenga el mineral de más baja concentración. Esta misma solución se introduce en el tan-

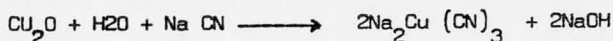


que esté en su penúltimo paso y así sucesivamente se sigue pasando esta solución de tanque a tanque, hasta llegar al tanque del mineral nuevo, o de mayor concentración.

Con este sistema, la solución más concentrada, se pone en contacto con el mineral más rico y la solución menos concentrada o de agua pura, se pone en contacto con el mineral más pobre, puesto que su objetivo es limpiarlo.

Los minerales de cobre oxidados, como por ejemplo: malaquita y azurita se disuelven en soluciones ácidas y aminoálcales.

La cuprita se disuelve con más facilidad si se utilizan cianuros.



La crisocola se disuelve únicamente con H_2SO_4 y la brocantita en H_2SO_4 muy diluido.

Para los minerales sulfurosos por ejemplo la cobelita, se disuelve por medio de cianuros.

La calcocita se disuelve con sulfato férrico con ácidos o bien con cianuros, con las que se obtienen mejores resultados puesto que disuelven los ácidos, los sulfuros y los carbonatos.

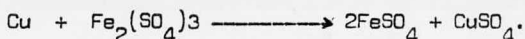
En la lixiviación ácida, se podría utilizar HCl en lugar de H_2SO_4 - el HCl mismo que se forma por la reacción entre NaCl y H_2SO_4 , pero presenta muchos problemas, especialmente si hay piedra caliza, porque se formaría el cloruro de calcio. Por lo tanto en esos casos, es aconsejable el utilizar H_2SO_4 ya que el CaSO_4 , no es soluble y rodea a la piedra caliza protegiéndola de un ataque posterior.

Si se quiere eliminar el Fe y el Al, se oxida la solución con aire y se aumenta el ph arriba de 2.5 con lo que el Fe y el Al se precipitan en forma de óxidos hidratados. Las sales de Cu, se precipitan posteriormente por la adición de CaCO_3 cuantitativamente.

La precipitación del cobre de sus sales, se logra por medio de electrólisis, cementación (con chatarra de hierro), sulfuro de hidrógeno (H_2S).

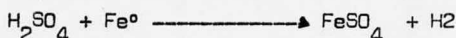
En la precipitación por medio de electrólisis, se utilizan ánodos insolubles, empleándose ánodos de polomo, magnetita, plomo-silicio, ferro-silicio, etc., con un consumo de corriente mucho más elevado que el utilizado en el afi-

no electrolítico del cobre; siendo una desventaja de este proceso, la formación de sulfato de hierro el cual vuelve a disolver el cobre y, consecuentemente el rendimiento de corriente disminuye.



Cuando se precipita con hierro, las reacciones suelen ser las siguientes:

tes:



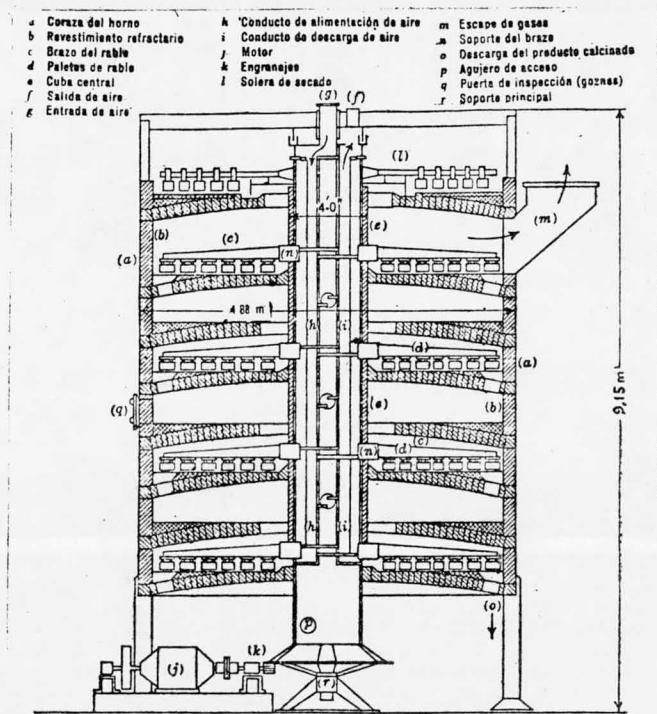
A este cobre obtenido, se le conoce como cobre de cementación con una pureza que no alcanza a sobrepasar el 90% en cobre y se obtiene un rendimiento mayor, si utilizamos fierro esponja.

La precipitación por sulfuro de hidrógeno u ácido sulfhídrico, es completa y eficaz, con el inconveniente que se forma el sulfuro de cobre.

TOSTACION.

En la tostación, se aprovecha el que ciertos elementos tales como el azufre y el oxígeno, sufren una difusión a determinadas temperaturas. Esta difusión se efectúa en el estado sólido de los concentrados, fluyendo el azufre u oxígeno a través de los poros que presentan dichos concentrados, ya que su estructura no es homogénea. Hay dos tipos de tostación según el proceso de obtención del cobre, ya sea para su fusión en un horno de reverbero o su lixiviación por medio de ácido sulfúrico, por lo que en este último, el concentrado debe ser lo más soluble en agua que sea posible puesto que en este caso se le da una tostación sulfatante, en la que el factor principal es la formación de sulfatos de cobre y óxido de hierro, sin dejar formar el sulfuro de hierro que sería muy difícil eliminar. En la tostación oxidante, por el contrario, el objetivo primordial es el de eliminar el azufre, eliminando consecuentemente impurezas como arsénico, antimonio y telurio, ya que las menas sulfurosas contienen como impurezas, compuestos de estos elementos.

Esta tostación oxidante generalmente se emplea previamente para la fusión del concentrado en un horno de reverbero



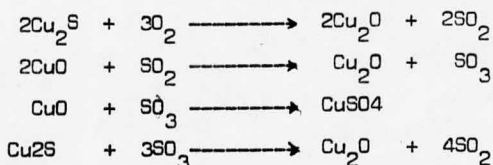
HORNO DE TOSTACION

Tanto en la tostación sulfatante como la oxidante, en ocasiones, las reacciones que se efectúan son autógenas, es decir suministran por sí mismas el calor necesario para acelerar la difusión de los gases; éstas reacciones en química, se conocen con el nombre de exotérmicas, para las que el contenido de azufre debe de ser mayor al 24% en el concentrado.

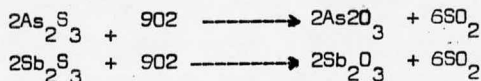
El empleo de procesos para la concentración en los minerales de cobre, ha eliminado considerablemente el proceso de tostación, ya que se obtienen concentrados con un alto contenido de cobre, por ello la eliminación del

azufre es mucho menos importante de lo que solía ser antes. Sin embargo, para tonelajes elevados con un alto contenido de azufre, el proceso de tostación se sigue utilizando.

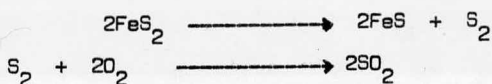
En la tostación oxidante, las principales reacciones que intervienen son:



Para las impurezas, las siguientes reacciones:



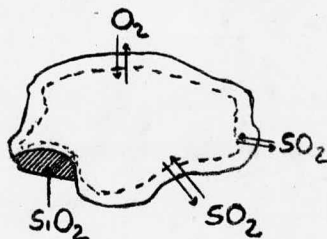
Reacciones secundarias:



Reacciones con el hierro:



El mecanismo de la tostación, en la que sufre una difusión a través de su porosidad de las partículas es el siguiente:



La figura anterior es la representación de una calcopirita. Este mecanismo es en sí, el que se efectuá en cualquier tipo de tostación, ya sea oxidante o sulfatante, aquí nos referimos a una oxidante.

En la superficie, los sulfuros cuproso y ferroso se oxidan inmediatamente a sulfatos. A medida que la carga se remueve, la película de sulfato cuproso entra en contacto con más sulfuro cuproso u monóxido de carbono, formándose inmediatamente el óxido cúprico, anhídrido sulfuroso y anhídrido carbónico, en donde el anhídrido sulfuroso se forma en pequeñas cantidades en los gases del horno al ser oxidados.

La eliminación del azufre, modifica la densidad y porosidad de la partícula, que varía la velocidad con la que las sustancias reactantes entran y salen del trozo de mineral; de aquí se deduce que no es conveniente dejar estacionaria la carga, sino que debe removérsele constantemente, más, si la cantidad de mineral es muy grande, para poder remover la capa formada, así como tener una mayor superficie de contacto; Esto también se incrementa si las partículas tienen el menor diámetro posible por medio de la trituración y molienda, evitando que sean demasiado pequeñas porque se podrían tener grandes pérdidas en forma de polvos, en la chimenea. Si uno de los productos gaseosos se concentra dentro de la partícula de sulfuro, la velocidad de difusión va disminuyendo gradualmente hasta ser nula. Esto sucede por temperaturas altas -- que inducen a los componentes a aglutinarse entre sí, haciendo que desaparezca la porosidad de las partículas.

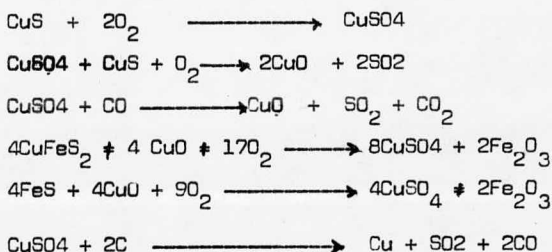
Por lo anterior la tostación se debe efectuar a temperaturas bajas y con una agitación frecuente ya que la tostación, es una operación lenta.

En la tostación sulfatante, se encuentra uno con infinidad de problemas, ya que es necesario evitar la formación de sulfato de hierro, por que su descomposición requiere una temperatura mucho más elevada que la del sulfato de cobre, además, las reacciones que intervienen se orientan principalmente a la formación de sulfatos y no a la de óxidos, probablemente en estas reac-

ciones el óxido de hierro actúa como catalizador.

Esto se controla en parte, evitando que la carga se mueva mientras exista algo de sulfuro sin oxidar, y si se efectúa un balance adecuado de los constituyentes de la carga, para que ésta no tenga mayor o menor cantidad del azufre requerido. Además, se debe tratar en lo posible, que los productos de la combustión no se mezclen con la mena para evitar la formación de cobre soluble en su totalidad, donde los gases del horno suministran monóxido de carbono y carbón, reduciendo el sulfato de cobre a óxido u a cobre metálico.

Todas estas precauciones y dificultades se observan mejor en las siguientes reacciones:



En la lixiviación de menas es deseable producir una elevada proporción de cobre en forma de sulfato para obtener una gran solubilidad en agua.

Los métodos de tostación varían de acuerdo a las condiciones existentes, siendo los más utilizados: hornos con rastrillos mecánicos, hornos de calcinación, hornos de reverbero y montones.

Los hornos con rastrillos mecánicos, son los que tienen un mayor auge en la actualidad, siendo representativo de este proceso el horno Wedge, que consta de varias soleras, por donde el mineral va cayendo (para mayor información consultar cualquier libro de metalurgia no ferrosa).

Los hornos de calcinación no reúnen grandes ventajas, ya que hay mu-

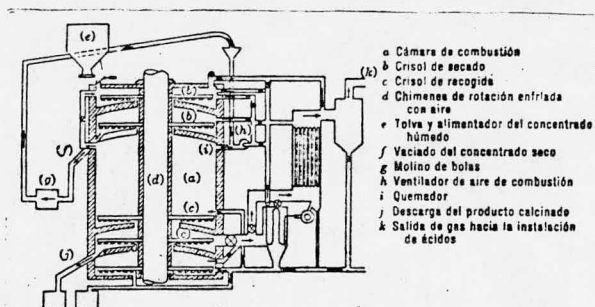
chas pérdidas en polvos. Constan de un cilindro de hierro rotatorio, inclinado ligeramente y recubierto de ladrillo refractario.

Los hornos de reverbero, en la actualidad casi ya no se utilizan para estos fines y están formados con una solera plana calentada por unos quemadores que se encuentran en un extremo, introduciendo la carga por la parte superior, que al ir descendiendo, se va tostando hasta llegar a la solera, donde permanece el tiempo necesario, para ser desalojada posteriormente por un orificio que se abre en la misma solera.

Montones: en este procedimiento se apila el mineral sobre troncos de madera y posteriormente se les prende fuego, pero se utiliza siempre y cuando se tenga el contenido de azufre necesario para que la tostación continúe por si misma.

En cualquier tipo de tostación, es conveniente que el mineral se obtenga con la temperatura más alta posible, sin llegar a la fusión para conducirlo posteriormente al proceso de fusión, aprovechando esa temperatura.

Existe la fusión relámpago o flash, que también ha tenido un incremento considerable, pero tiene el inconveniente de que se pierden grandes cantidades en polvos, porque el mineral se tuesta en un proceso descendente, en función de la gravedad.



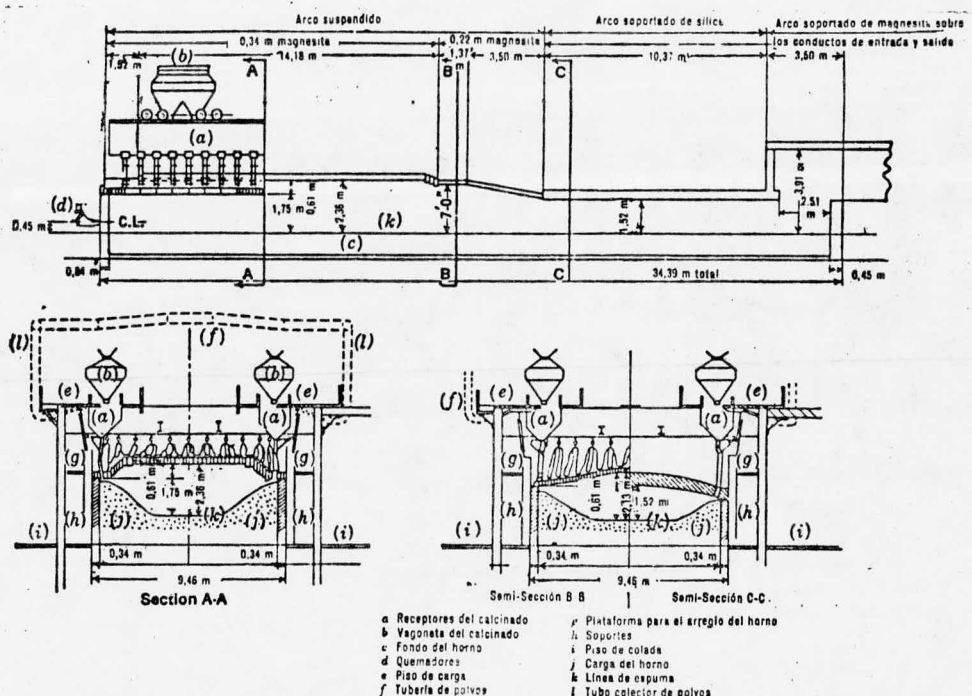
TOSTADOR

RELAMPAGO

FUSION:

Para un ulterior tratamiento de los concentrados de cobre, es necesario fundirlos, puesto que las impurezas existentes solo se pueden eliminar mediante procesos pirometalúrgicos o electrolíticos.

Los concentrados de óxidos de cobre, se funden en un horno de cuba, donde es reducido por medio de carbono y óxido de carbono; obteniéndose un compuesto con 95 - 98% de cobre e impurezas como azufre, antimonio, hierro, arsenico, oro, plata, platino, etc, que se conoco como cobre negro. Esta reducción también se puede efectuar en un horno de reverbero.



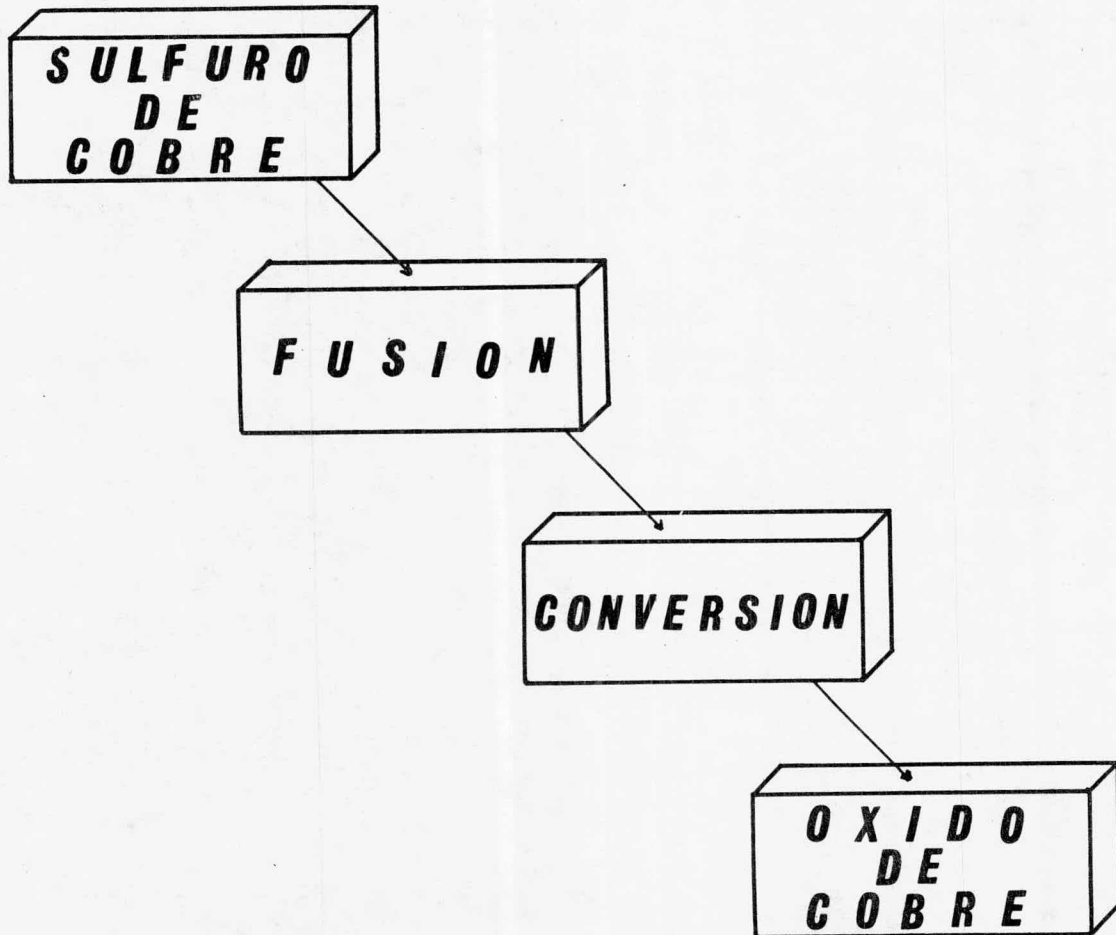
HORNO DE REVERBERO DE OBTENCION DE MATAS A PARTIR DE MENAS DE COBRE

**SULFURO
DE
COBRE**

FUSION

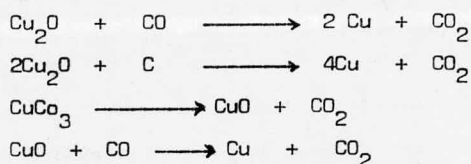
CONVERSION

**OXIDO
DE
COBRE**



Los hornos de cuba en su forma dependerán de la cantidad de carbono u oxígeno, siendo en el caso del carbón, una fusión reductora, mientras que si hay mayor contenido de oxígeno, será una fusión oxidante. La función de los hornos de cuba, es la de fundir la mena a contracorriente con los gases, porque mientras, la mena desciende, los gases producto de la combustión de los combustibles, asciende a medida que prosiguen la reducción y escorificación. La escoria y mata formada bajan hasta el crisol, generalmente se utiliza fundente y aire para acelerar la reacción, en donde el fundente abate el punto de fusión de la mena, mientras que el aire en grandes cantidades, aporta el oxígeno necesario para una buena reacción de los combustibles. Debe emplearse la cantidad suficiente de combustible con carbón para los constituyentes oxidables presentes, suministrar el calor necesario y elevar la temperatura de los productos, por encima de su punto de fusión.

El cobre negro obtenido, se retira en forma continua para ser vaciado en lingotes con el objeto de refinarlo posteriormente. Las reacciones que se efectúan en esta reducción, son las siguientes:



Generalmente se utiliza coque como combustible, pero su utilización es cada día menor, al ser desplazado por el horno de reverbero, donde se obtiene una mata menos impura, ya que la mena o metal en este tipo de hornos, son fundidos por radiaciones de la flama al chocar con los arcos de reverbero colocados en el extremo opuesto de los quemadores y en la bóveda del horno, este tipo de hornos se carga por puertas colocadas lateralmente en el frente se encuentra la puerta de escorificación, la mayoría de ellos están formados o construidos por diferentes tipos de refractarios, y cuentan con una estructura metálica como soporte donde en algunas partes, como son las puertas de carga, hay un flujo de agua constante en el interior de la estructura. El combustible utilizado con mayor frecuencia es el gas natural, no descartando que

algunas fundiciones utilizan: fuel oil, petróleo, carbón pulverizado, etc. Las dimensiones de éstos hornos, varían de acuerdo a las necesidades de cada planta, la temperatura varía de 1500°C - 1600°C, respectivamente en la zona de los quemadores y en el extremo opuesto, que es el de salida.

Los hornos de reverbero se pueden cargar con concentrados, productos tostados, minerales concentrados por flotación, además del fundente apropiado.

La fusión de las menas de cobre sulfuradas que están formadas generalmente de sulfuras de cobre y hierro, con impurezas metálicas y ganga, da como resultado una fusión selectiva, se comprende mejor si se consulta un diagrama de Ellingham donde se relacionan las energías libres y temperaturas de los constituyentes para poder ser reducido u oxidados.

En este diagrama, en fusión de la mena, tenemos: azufre, cobre y hierro y los metales básicos de la ganga. Observamos que el cobre se combina preferentemente con azufre para formar sulfuro cuproso y el oxígeno se combina con el hierro para formar óxido ferroso; cuando se calientan por encima de 450°C, reaccionan entre sí para formar cobre metálico y anhídrido sulfuroso.

Los sulfuros cuproso y ferroso, se combinan entre sí para formar una mata fusible, que tiene un peso específico superior a la escoria, descendiendo a la parte inferior del horno, mientras que la escoria flota sobre ella. La formación del sulfuro de hierro, se debe al exceso de azufre existente que no haya reaccionado con el cobre; el exceso de hierro en forma de óxido se combina con un fundente silíceo para formar silicato de hierro y calcio, cuyo peso específico variará de acuerdo al contenido de hierro de 2.8 hasta 3.8. El escorificador más utilizado es la sílice, ya que se combina con todos los compuestos básicos antes de combinarse con el hierro, para que éste, pase a formar parte de la escoria. Es aconsejable que las escorias se descargen entre 1100°C y 1300°C.

La velocidad de enfriamiento del producto obtenido que se conoce con el nombre de mata, de lugar a la precipitación de cobre metálico y a la forma-

ción de sulfuros superiores (CuFeS_2), donde existe también el compuesto estable de los sulfuros cuprosos y ferrosos $(\text{Cu}_2\text{S})_2\text{FeS}$; si la mata contiene metales como el níquel y el zinc y plomo, entran en la mata en forma de sulfuros. En estas matas pueden ir contenidos metales preciosos, ya que son excelentes disolventes de estos metales y van incluidos en las mismas, así como impurezas como: arsénico, antimonio, níquel, telurio, selenio y bismuto, que aunque se presentan en pequeñas cantidades no son apropiadas para el proceso y representan grandes dificultades.

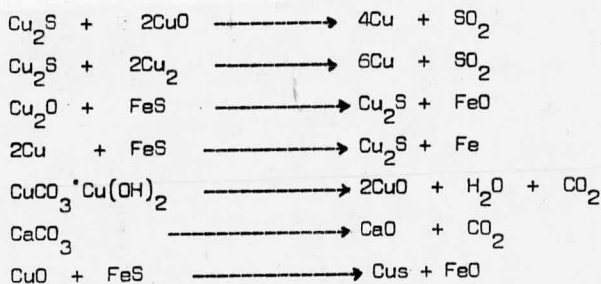
Las menas de baja concentración son más fáciles de tratar en estos tipos de procesos, en tanto que las de alta concentración representan problemas porque requieren mayor consumo de combustible, menor solubilidad de metales preciosos, etc. por lo que las menas que son procesadas óptimamente se encuentran entre 35% y 45% de Cu.

En la actualidad por el uso constante y ascendente del proceso de flotación y concentración gravimétrica, el horno de reverbero ha ido desplazando al de cuba ya que en éste último no se pueden utilizar partículas demasiado pequeñas por haber grandes pérdidas en polvos con el consecuente desperdicio de cobre. Esta es la razón de que en la actualidad el horno de cuba solo se emplee en pequeñas fundiciones donde no cuentan con un proceso de concentración adecuado o con menas de un tamaño considerable. El inconveniente - si se puede llamar así, de los hornos de reverbero radica en el número reducido de reacciones exotérmicas, que pueden lograrse, mismas que podrían reducir el consumo de combustible.

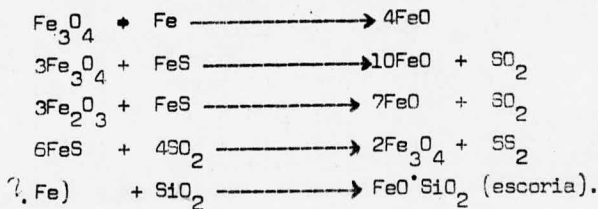
Para una eficiente fusión en el horno de reverbero es necesario ajustar el contenido de azufre, ya sea por flotación o tostación, además de que no debe tener demasiada humedad y se debe eliminar en lo posible los agentes químicos utilizados durante el proceso de flotación que suelen dificultar el manejo. La partícula debe tener un tamaño que no arroje muchas pérdidas por causa de los humos.

La fusión en el horno de reverbero, se empieza a efectuar a los 900°C donde los sulfuros de hierro y cobre, se difunden el uno en el otro, teniendo el efecto de disminuir el punto de fusión a unos 980°C mismos que al licuarse, fluyen hacia la parte baja del horno fundiendo los metales preciosos y transportando calor para el fundente y la ganga para formar la escoria a una temperatura de 1000°C. A esta temperatura, los constituyentes posibles de arsénico, antimonio se volatilizan o disuelven en la mata, formándose una corriente de material fundido hacia la puerta de escorificación arrastrando la mata y la escoria, siendo posible su separación.

Las reacciones que se efectúan durante la fusión, son las siguientes:



Con el hierro:



Las anteriores reacciones, se efectúan a medida que la temperatura aumenta dentro del horno, eliminándose el hierro en forma de óxido ferroso como escoria, acompañado del calcio y el azufre en forma de anhídrido sulfuroso por la chimenea del horno. El hierro que queda incluido en la mata en forma de sulfuro, así como otras impurezas, se eliminan en el proceso de conversión de la mata, por medio de la insuflación de aire comprimido, cuando todavía se encuentra en estado liquecido, obteniendo como producto el cobre blister o ampolado.

CONVERSION.

La mata fundida es transportada al convertidor, donde se efectúa la transformación de los sulfuros de cobre y hierro a óxidos, de aquí el nombre de conversión. Esta conversión se realiza insuflando aire en la mata fundida, a una presión de 0.65 a 1.40 Kg/cm² dependiendo del espesor de la escoria y las reacciones que se efectúan son las siguientes:



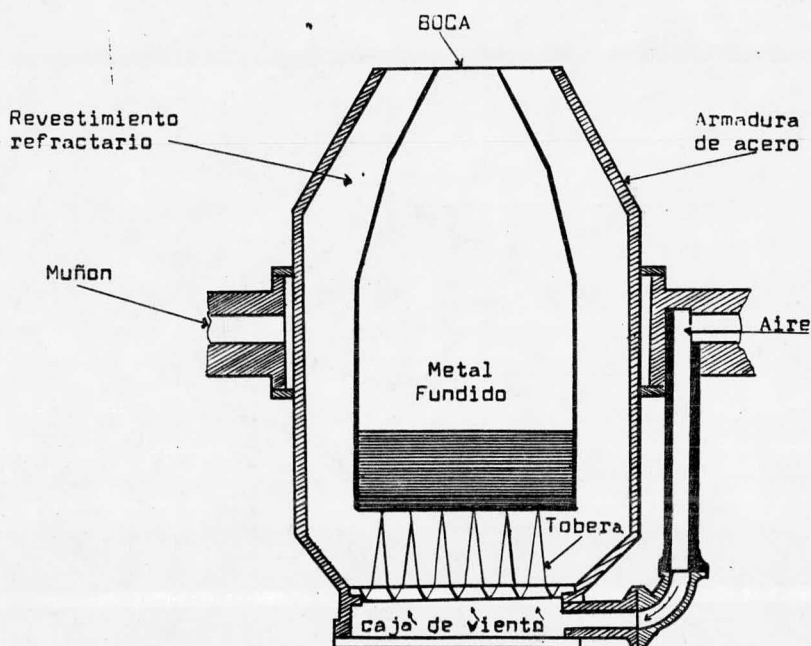
agregándosele sílice para escorificar el hierro:



El sulfuro cuproso sufre la siguiente transformación:



Estas reacciones por tener desprendimiento de calor se les clasifica como exotérmicas y suministran el calor necesario, para mantener al metal fundido durante el proceso. Cuando el Azufre combinado en el hierro se ha oxidado en su totalidad, se empieza entonces a formar el cobre blister, por la oxidación del cobre, que se reduce a su vez por el sulfuro de cobre restante, obteniéndose finalmente cobre metálico y eliminando el azufre como bióxido, el cobre se obtiene con una pureza de 98 a 99.5%, con pequeñas impurezas de arsénico, plomo, níquel, zinc, hierro, azufre y metales preciosos; siendo menor del 1.5% el por ciento de todas éstas. El antimonio y arsénico se eliminan considerablemente mediante el control de la temperatura y la escoria.



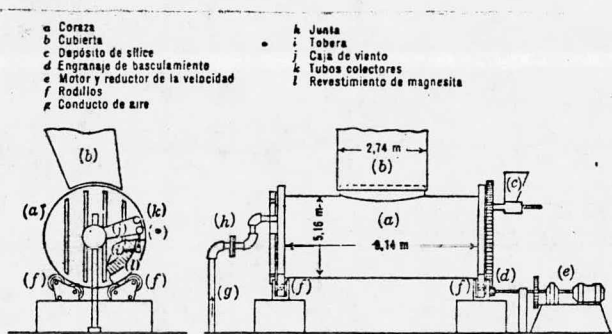
SECCION RECTA DE UN CONVERTIDOR BESSEMER.

El avance de la oxidación en el convertidor se puede controlar por la coloración de la flama que sale por el orificio de carga, teniendo inicialmente un color rojizo, el color característico del sulfuro de cobre, y finalmente a una coloración azul característica del cobre cuando se ha oxidado la mayor proporción posible de azufre.

Es necesario llevar a este tipo de control para evitar la solidificación porque no se aplica ningún tipo de calor externo, a no ser el generado en la eliminación del hierro y azufre como óxidos y evitar el exceso de óxido de

cobre que sería perjudicial, enfriándose notablemente, con lo que sería necesario agregar mata rica en azufre para elevar la temperatura y no dejar que solidifique; en un caso contrario si se calentase demasiado, sería conveniente agregar chatarra de cobre con el menor por ciento de impurezas posibles, para disminuir la temperatura.

En la conversión, en ocasiones, es posible cargar los concentrados de flotación que contengan poca ganga y químicamente sea parecida a la de la mata, agregándolos poco a poco al convertidor, así como el aprovechar los gases desprendidos que en su mayoría son de anhídrido sulfúrico y sulfuroso para la fabricación de ácido sulfúrico, aparte de compuestos de arsénico, selenio ó antimonio y utilizan el calor que llevan consigo en el calentamiento de agua, para las necesidades de la planta.



CONVERTIDOR DE COBRE HORIZONTAL



CONVERTIDORES VERTICALES

AFINO

El afino del cobre blister, se puede efectuar por métodos pirometalúrgicos o pirometalúrgicos-electrolíticos, obteniéndose un cobre mucho más puro e idóneo para los usos industriales por el segundo método, siendo factible el aplicarlo según las cantidades de metales preciosos. La dificultad que presentan otros elementos para ser eliminados por métodos puramente pirometalúrgicos y que además pueden ser recuperados por este método para su comercialización tales como el selenio, telurio, níquel, arsénico, antimonio y bismuto entre otros, es justificar el costo del proceso electrolítico.

El cobre blister, procedente de los convertidores en forma de lingotes o líquida, es introducido en un horno de reverbero para darle una oxidoreducción y eliminar primero las impurezas en forma oxidada, y posteriormente no permitir que rebase 5% la formación de óxido cuproso por medio de la reducción.

El cobre impuro blister es introducido a un horno de reverbero en forma de lingotes o directamente de los convertidores en estado líquido siempre y cuando la planta de refinación se encuentre en las inmediaciones de la misma, siendo esto lo más conveniente; pero generalmente es enviado a otro punto en forma de lingotes para su refinación. En este caso, en la planta refinadora se emplean hornos de reverbero con una capacidad que varía de 100 a 300 toneladas las cuales se cargan por las puertas laterales por procedimientos mecánicos ya sea en forma continua o por etapas para dar tiempo a la fusión del material ya cargado, hasta llegar a la capacidad de cada horno.

Este tipo de hornos son mucho más resistentes que los empleados para la fusión de las menas, porque soportan mayores pesos y temperaturas. Están -construidos generalmente de sílice y magnesita en forma de ladrillos, y se les tiene que aplicar refrigeración por medio de agua, la cual es transportada por tuberías que están colocadas tanto en las puertas de carga como en la solera o estructura metálica que sostiene a todo el horno, evitando consecuentemente un sobrecalentamiento del material, ya que el ciclo de fusión dura aproximadamente 24 horas. Sin embargo a pesar de estas medidas cada dos o tres meses se debe reconstruir la bóveda del horno, puesto que es la parte fundamental de este

tipo de hornos, por encontrarse en ese sitio los arcos de reverbero (de ahí el nombre del horno), que reflejan la radiación y calor de la flama hacia el material a fundir.

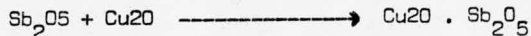
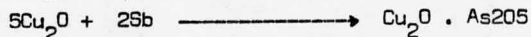
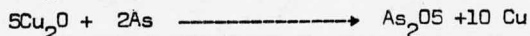
El combustible empleado en la actualidad con mayor frecuencia, ha sido el gas natural, por la facilidad que presenta para ser trasportado y su relativo bajo costo.

El ciclo pirometalúrgico de la fusión del cobre blister, se puede resumir en los siguientes pasos:

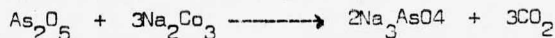
| | |
|------------------------|--------|
| 1.- Carga del horno | 2 Hrs. |
| 2.- Fusión de la carga | 12 " |
| 3.- Oxidación | 5 " |
| 4.- Reducción | 2 " |
| 5.- Colada | 3 " |

Total: 24 Hrs.

La oxidación se realiza por medio de aire comprimido esencialmente para la oxidación del azufre y éste debe oxidarse aproximadamente en un 0.10% a 0.02% con lo que se efectúan las siguientes reacciones:



Como se puede observar en las reacciones anteriores, tanto el arsénico como el antimonio presentan gran dificultad para eliminarse, por lo tanto, hay que agregar carbonato de sodio con lo que se efectúan las siguientes reacciones:



Es conveniente eliminar la mayor proporción de arsénico en este paso ya que el contenido de éste en el cobre, reduce la conductibilidad eléctrica en un 5% al igual que el aluminio. Otro elemento que es conveniente eliminar es el fósforo hasta un contenido de 0.01 %, porque abate la conductividad en un 20%.

La oxidación termina cuando se tiene 6% de óxido cuproso y se debe evitar que pase este límite ya que se formaría el eutéctico $\text{CuO} \cdot \text{Cu}_2\text{O}$ que es perjudicial porque hace que el material sea frágil y mal conductor. Se puede observar prácticamente al tomar una muestra y fracturarlo, una superficie rojo ladrillo carente de brillo y frágil, lo que hace que se reduzca inmediatamente el óxido cuproso a cobre metálico, por medio de troncos resinosos (pinos), mismos que se introducen en el seno del cobre fundido. Con esto se produce la destilación seca de la madera que desprende carbón, monóxido de carbono y vapor de agua (en menor proporción), caracterizándose por gases con un poder de reducción elevado que abaten al porcentaje de óxido cuproso de 2 a 2.5%. No es conveniente pasar este límite porque puede observarse en el punto óptimo que las muestras que se toman, presentan en su fractura un brillo metálico, de un color rosado, con cristales en forma de rayos y una fina textura.

Terminado este paso, el cobre está listo para poder ser vaciado en moldes especiales para la formación de ánodos.

La colada o vaciado del horno, se efectúa sobre moldes de cobre, recubiertos de una pintura de zirconio que evita que se pegue y además este tipo de moldes cuentan también con la ventaja de tener un elevado coeficiente de transmisión térmica para acelerar el enfriamiento del cobre líquido. Estos moldes, a su vez, están montados en una rueda "Walker" que soporta de 12 a 24 moldes por rueda y se debe tener la precaución de que en el trayecto del horno a los moldes, el cobre no se oxide por el aire atmosférico; es conveniente recubrir la canal de colado con carbón vegetal.

La rueda Walker cuenta con 12 moldes, llevándose un tiempo de colada desde a tres horas, con una frecuencia de 5 a 6 minutos. Este tipo de moldes se fabrican por medio de prensas, mismos que deben cambiarse cada doce días aproximadamente.

Los ánodos industriales pesan aproximadamente 250 Kg. con unas dimensiones de 90 X 90 y un espesor de 5 cms.

Las impurezas que permanecen en los ánodos se eliminan en el electrorefinado y se clasifican en impurezas solubles en el mismo, para ser eliminadas ya sea por el electrolito o bien por precipitación formando una especie de lodo en el fondo de las cubas que se conoce como lodo anódico.

Las impurezas solubles son : Au, Ag, Se, Te, Pb, Sb.

Las impurezas insolubles son: Ni, Zn, As, Fe.

ELECTROREFINADO DEL COBRE

En el electrorefinado del cobre y de otros metales que se obtienen por este método, se utilizan ciertos aspectos de la Ingeniería Química y de la metalurgia.

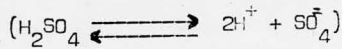
Para tener una idea más clara, de las reacciones que se llevan a cabo en el electrorefinado, es conveniente dar un repaso antes a los principios fundamentales de electrólisis, los que comprenderemos mejor si estudiamos las siguientes definiciones:

Electrólisis es el proceso vital en que ocurren cambios químicos, como sucede con la corriente eléctrica en un sistema químico.

✓ Electrólisis: es la descomposición química de un electrolito o de la producción de electricidad mediante la energía de reacciones químicas. Industrialmente los cambios químicos y físicos producidos por el uso de la corriente eléctrica se utilizan con gran frecuencia.

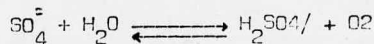
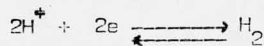
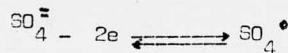
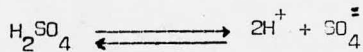
Lo anterior podríamos comprenderlo mejor si en una solución de ácido sulfúrico diluido, contenido en un recipiente de vidrio introducimos dos placas metálicas inertes (podría ser Pt), conectadas a una fuente de poder de corriente directa, con la consiguiente generación de un flujo de electrones en las placas metálicas (conocidas como cátodos) y con un voltaje y una intensidad arriba del potencial de óxido-reducción del electrolito, que en este caso es el ácido sulfúrico diluido; se forma un campo entre las placas metálicas, - donde una de ellas tiene signo positivo y se le asigna el nombre de ánodo, - mientras que la otra consecuentemente tiene signo negativo y se le asigna el nombre de ca[?]todo, pero como están separadas entre sí, la única forma de que se

Produce un flujo de electrones, al igual que una pila, es por medio de la solución, por la cual se le asigna el nombre de electrolito. Así se efectúa la conversión de energía eléctrica en energía química, ya que el ácido sulfúrico en solución, sufre una disociación en iones sulfatos con valencia (-II) e iones hidronio con valencia (+I).

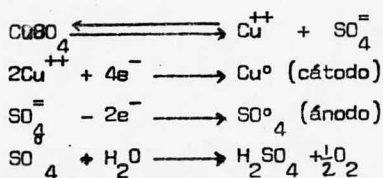


Como habíamos mencionado anteriormente las placas tienen una carga predeterminada, los iones positivos (H^+), son atraídos por el cátodo — que tiene signo negativo, mientras que los iones negativos (SO_4^{2-}) son atraídos por el ánodo, cargado positivamente, asignándole los nombres respectivamente a los iones de cationes y aniones.

En el ánodo los iones sulfato (SO_4^{2-}) u aniones, ceden sus electrones sobrantes y tienden a formar moléculas eléctricamente neutras, pero como éstas moléculas tienen una estabilidad muy limitada, extraen el hidrógeno del agua en que se encuentran en disolución forzando a la formación de moléculas de oxígeno que pueden existir libremente; se desprende en forma de oxígeno gaseoso, se forman ácido sulfúrico, por lo que realmente no ocurre una pérdida de ácido si no que hay en cada instante una mayor concentración del mismo, ya que el electrodo contrario o cátodo, atrae a los iones positivos (H^+), para formar hidrógeno molecular, el cual también se desprende en forma gaseosa. Consecuentemente, la única pérdida real que sufre el electrolito es la del agua, al ionizarse y perder oxígeno e hidrógeno en forma gaseosa, porque las moléculas de sulfato en su momento polar — más grande atraen nuevamente el hidrógeno, efectuándose las siguientes reacciones:



Si repetimos nuestro experimento con una solución de sulfato de cobre, se efectúa una disociación de iones sulfato ($\text{SO}_4^{=}$) y iones cúpricos (Cu^{2+}) y - mientras en el ánodo, el ión sulfato efectúa la misma reacción que en el experimento anterior, en el cátodo los iones cúpricos se depositan en forma de cobre metálico, que se precipitan aumentando la concentración de ácido sulfúrico y perdiendo la coloración azul verdosa conforme al tiempo. Se deduce consiguientemente que el agua es la que se disocia y aporta el oxígeno e hidrógeno necesarios para que se efectúe la reacción desprendiéndose oxígeno en el ánodo como en el experimento anterior y formando el ácido sulfúrico con las moléculas sulfato.



Se determina que la cantidad de electricidad necesaria para depositar un equivalente de substancia es igual a 96500 coulombios, conociéndose ésta cantidad de electricidad como Faraday y se presenta (\mathcal{F}); se mide la cantidad de electricidad o coulombios indirectamente, ya que esta unidad se deriva de la medida de la velocidad del flujo de electricidad o corriente (I) y el tiempo de flujo (t). Esto es:

$$Q = I \times t$$

Consecuentemente: 1 Faraday = 96,500 Amp - seg

Así por ejemplo un faraday ó 96500 Cb, depositan 31.75% de Cu^0 que es su peso equivalente.

En general los procesos electroquímicos dan buenos resultados en condiciones constantes, además de un suministro constante de energía y materia prima de gran pureza y de composición constante, que se logra por un tratamiento adecuado de las mismas.

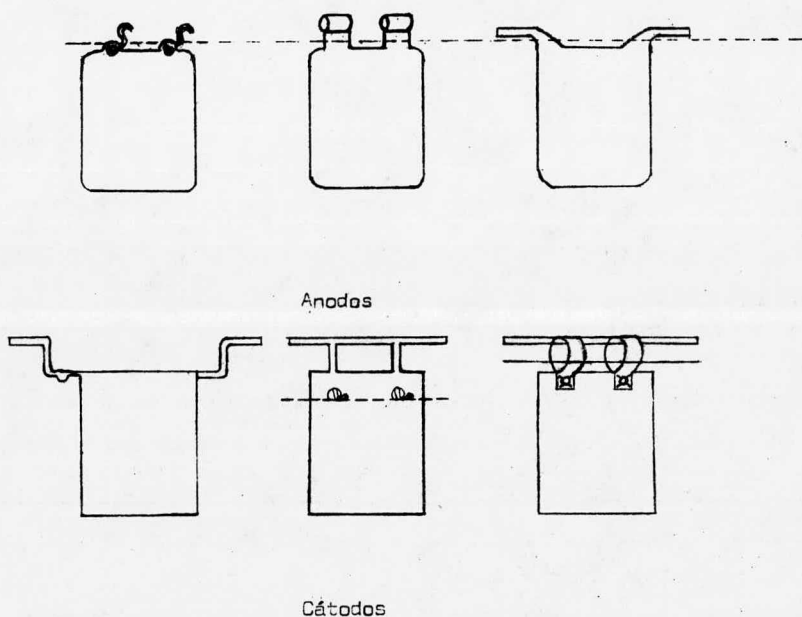
El cobre es uno de los primeros metales, si no el primero, que se electrorrefina, ya que desde 1800 Cruishank precipitó cobre de sus soluciones por medio de la corriente de una pila voltaica. Así, en 1921 Laurence - Addicks, publicó su libro "Copper Refining" en donde se hace un estudio detallado de las condiciones necesarias para un depósito eficiente de cobre, pero sin ningún fundamento científico, sin embargo valedero hasta nuestros días sólo se han modificado algunas condiciones como por ejemplo: la utilización de productos orgánicos y fibra de vidrio para las cubas electrolíticas.

En el electrorrefinado de cobre se emplean ánodos insolubles, cuando se trata de compuestos como resultado del proceso de lixiviación.

El electrorrefinado con ánodos solubles, se emplea en los productos provenientes de los hornos de reverbero o de los convertidores que vienen en forma de cobre blister, con una pureza promedio de 99 a 99.8% de Cu , e impurezas que abaten considerablemente la conductividad eléctrica entre las que podemos contar los metales preciosos como (Au , Ag y Pt), que no han podido ser eliminados o recuperados por métodos pirometalúrgicos, ya que cuando un

metal en estado líquido y solidifica lentamente sus impurezas tienden a permanecer en estado líquido y a concentrarse en la última porción líquida del mismo, las que deben ser eliminadas para obtener el cobre electrolítico.

Los ánodos tienen forma rectangular, con dos extremos salientes en forma de ganchos u orejas, como los que se representan en la figura siguiente, con el objeto de sostenerlos y de transmitir la corriente, con una superficie lo más lisa posible para evitar las arborescencias y los cortos circuitos posibles:



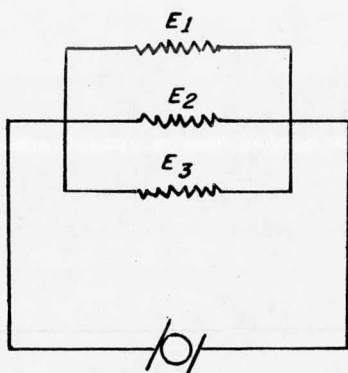
Los ánodos son transportados por medio de ferrocarril a la refinera como ya lo habíamos mencionado anteriormente porque es más económico transportar el cobre blister hacia la fuente de energía eléctrica, que conducir la energía eléctrica o la fuente de ella hasta la planta de extracción. Sólo en ocasiones verdaderamente excepcionales es posible contar dentro del complejo industrial con la planta de refinación y la fuente de poder apropiada para ello.

Las plantas refinadoras en la actualidad utilizan dos métodos diferentes que solo varían en la posición de los electrodos; estos métodos son conocidos como sistema múltiple o de Elkington, que es el más utilizado por sus ventajas, sobre el sistema en serie o de Hayden.

El sistema múltiple utiliza celdas electroquímicas conectadas en serie (cubas), y electrodos o ánodos de cobre impuro con cátodos de cobre puro conectados en paralelo.

El sistema en serie utiliza ánodos que funcionan como electrodos bipolares conectados en serie, mientras que las celdas electrolíticas se conectan en paralelo. Haciendo una similitud con resistencia eléctrica, los podemos representar:

Sistema múltiple:



Electrodos en paralelo

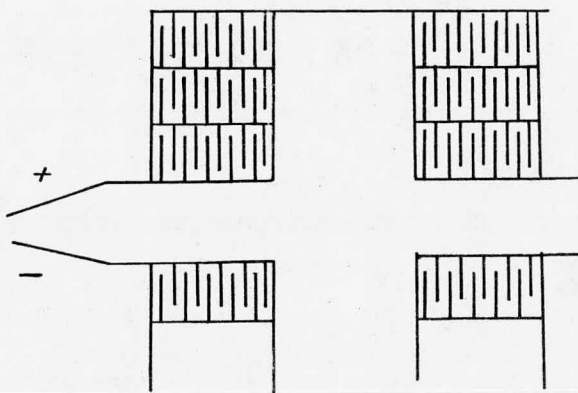
$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$E_T = E_1 = E_2 = E_3 = \dots = E_n$$

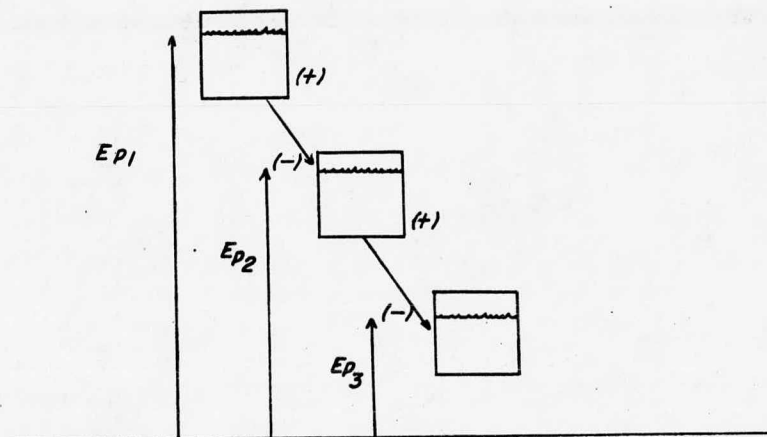
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots = \frac{1}{R_n}$$

Con una resistencia parcial entre cada ánodo y cátodo por la distancia que los separa.

Con la disposición de las celdas siguientes:



Podemos hacer la siguiente similitud con tanques a diferentes alturas, conteniendo agua en donde la diferencia de energía potencial, es igual a la diferencia de potencial entre las celdas electrolíticas.

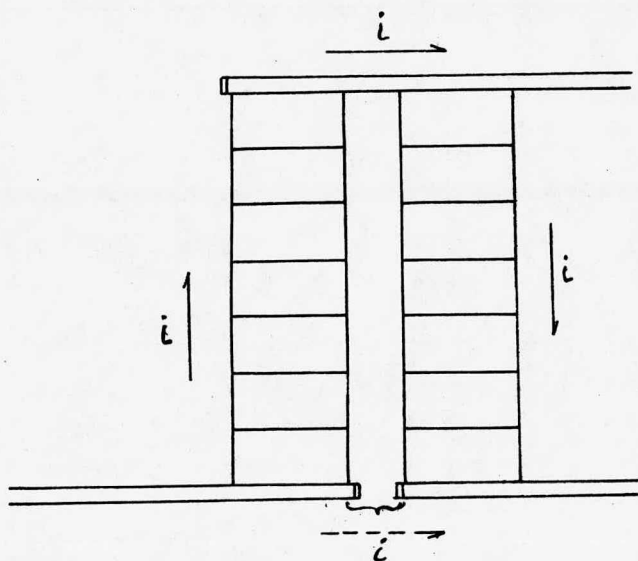


La masa de agua, puede pasar por si misma de un tanque a otro, dependiendo sólo de las alturas relativas de ambos niveles. El cambio de energía potencial es igual al producto del peso del agua que ha fluido, por la diferencia de alturas de ambos niveles, de la misma forma, el potencial eléctrico es para una reacción electroquímica, en donde pasa de un nivel superior (con los electrodos) a un nivel inferior, donde cualquier cambio se halla supeditado a la diferencia de potencial y de la intensidad de corriente por unidad de área, lo que le comunica la velocidad necesaria para un buen depósito.

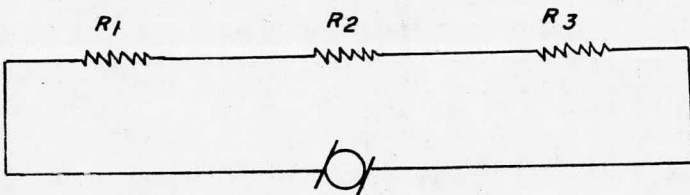
De una manera general, las celdas son conectadas como se representan en la siguiente forma:

Entre cada cuba, se intercala madera, con la finalidad de aislarlas.

Industrialmente para separar una serie de celdas, se conecta una barra de cobre, en el punto (1), forzando a la corriente a desviar su trayecto, se puede repararlas sin ningún riesgo.



SISTEMA EN SERIE



Donde:

n = celda electrolítica.

$$I_T = I_1 + I_2 = \dots = I_n$$

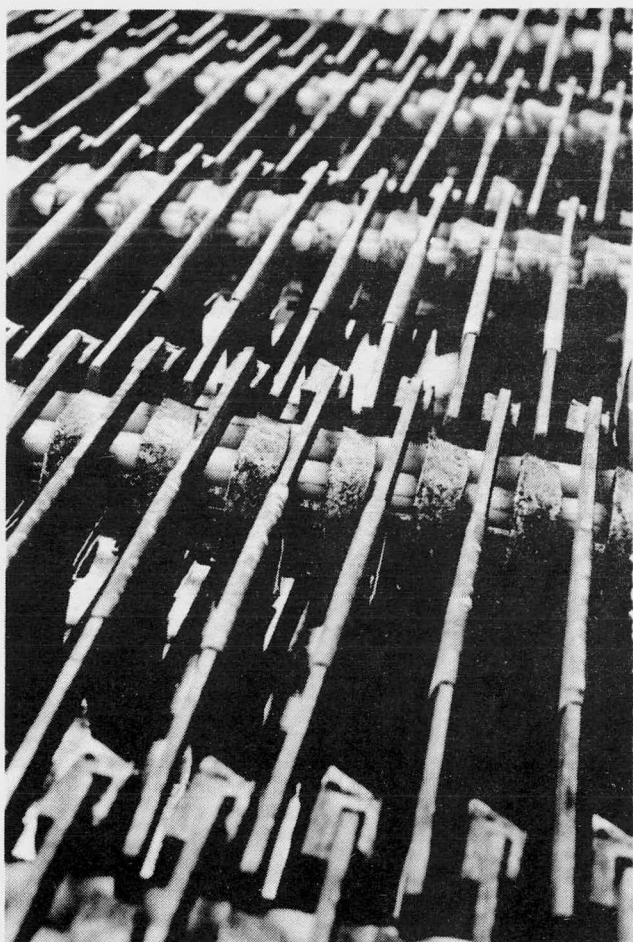
$$E_T = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Sólo se conectan al circuito los dos electrodos de los extremos, - siendo necesario la elaboración de ánodos lo más puro posibles hechos a mano. Este sistema se utiliza cada vez con menos frecuencia ya que el sistema

múltiple por su mayor versatilidad lo ha ido desplazando en una proporción asombrosa. Por tal motivo, sólo nos referiremos al sistema múltiple, con la salvedad de que puede adaptarse al prototipo del sistema en serie si se desea.

Las cubas electrolíticas se construyen por medio de un ángulo aislado por madera, la que a su vez, va recubierta de plomo y actualmente de fibra de vidrio. Las barras conductoras de la corriente, se colocan a los extremos de las cubas, cuyo espesor es de aproximadamente 10.0 x 3.5 cm. y con 2.25 m, siendo esta la longitud de la cuba en un extremo y en el otro la longitud necesaria para abarcar todas las cubas electrolíticas. Las dimensiones de las cubas en general son de 2.25 a 2.30 de longitud; 1.20 m. de profundidad interior, por 5 cm. de diámetro de la madera en el fondo y 1.8 cm. en las paredes.



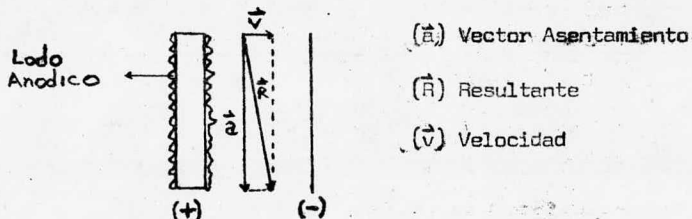
ELECTRODOS

Las cubas se arman formando conjuntos de siete celdas conectadas en serie, (se les llama sección), en donde las de los extremos tienen un fierro angulo de 10 cm. (4in), que soporta la barra de la corriente principal.

Entre cada cuba se coloca una tira de madera para soportar y aislar a los cátodos en uno de sus extremos que están suspendidos en barras de cobre triangulares de 3/4 de pulgada, y la base de la barra colocada sobre la madera, es una de sus aristas para tener una menor área de contacto con el objeto de limpiarlo fácilmente, para prevenir los cortos circuitos que pudieran producirse.

El electrolito empleado, tiene una concentración de 45 a 50 g/lit de ión cúprico $\text{Cu}(\text{I})$ y 175 a 200 g/lit de H_2SO_4 , con la adición de 0.02 a 0.035 g/lit de NaCl , con la finalidad de precipitar la plata existente y eliminar el Sb , como oxiclورو de antimonio por otro lado. También se les adiciona 6 p-p'm de gelatina industrial coloide (cola), para dar finura al depósito de cobre en el cátodo y evitar que crezcan las arborescencias puesto que también actúa como aislante al rodear las partículas de cobre.

Tanto la gelatina industrial como el cloruro de sodio, se agregan diariamente; si es factible la gelatina industrial, se puede sustituir por productos coloides orgánicos. La temperatura oscila entre 55 y 65°C para obtener una menor resistencia del electrolito al paso de los iones por lo que es conveniente que entre más alta sea la temperatura dentro de estos límites, se opondrá una menor resistencia a los iones y una mayor textura en el depósito del cobre sobre la placa metálica. El electrolito se debe recircular a una velocidad de 10 a 15 lts. por par de celda o sea aproximadamente 15 lt. por minuto; tomando en cuenta el vector asentamiento de los lodos anódicos con lo que la resultante no debe tocar el cátodo ya que se contaminaría considerablemente.



La conexión de las cubas para la recirculación del electrolito es la siguiente:



De las cubas pasa por una bomba, de ahí a un intercambiador de calor y posteriormente a las cubas nuevamente.

Es necesario mantener las condiciones constantes anteriores, los sulfatos de cobre, ferroso y de níquel, aumentan la resistividad de la solución, por lo que es necesario para tener éxito, la constante aportación de iones cúpricos al cátodo, porque de otro modo se generaría hidrógeno, como en el caso de los ánodos insolubles y consecuentemente disminuiría el rendimiento. Además, como el cobre se disuelve en el ánodo, la solución que hay en sus proximidades se halla sobresaturada, y el sulfato de cobre cristalizaría en el - - electrodo, si la acidez es demasiado alta; con la consiguiente elevación de - la tensión y disminuyendo el contenido de cobre del electrolito, actuando el electrodo como ánodo insoluble.

Con las condiciones anteriores, se conservan las proporciones de - - hierro y de níquel lo más bajas posibles, reduciendo la polarización anódica y catódica, y la caída de tensión RI en el electrolito, en tanto que la cantidad indicada de sulfato de cobre disminuye la polarización en los electrodos.*

Para que se efectúe la electrodeposición, del cobre, es necesario te ner una superficie receptora de los cationes, por lo que se fabrican especial mente para esto hojas iniciadoras o matriz de cobre, con un espesor aproxima-

* Consultar figs. 33, 34 de Electroquímica C.L. Mantell.

do de $1/8$ (0.3125 cm.) y 89 X 92 cm. como medidas promedio.

La formación de estas hojas se forma por la electrodeposición de cobre, de los mismos ánodos impuros, sobre matrices de cobre o níquel laminado con unos cinco centímetros más de longitud o sea unos 97 cm. a los cuales por las dos caras, se les aplica una capa de aceite, para poder despegar las hojas iniciadoras cada veinticuatro horas, por medio de una pala de madera; puesto que en ese tiempo se llega a formar la capa delgada, pero muy resistente y tiene como electrolito el indicado anteriormente.



* Consultor Figs. 33 y 34 de Electroquímica C. L. Mantell.

La formación de las hojas iniciadoras, representan 1/15 del total de cubas, para tener un suministro suficiente en la formación de cátodos de las restantes cubas. Cada quince días en promedio, es necesario cambiar los ánodos en las cubas de las hojas iniciadoras, con lo que se obtienen tres cosechas de cátodos por cada ánodo. Posteriormente algunas de las mismas hojas-iniciadoras se recortan en tiras y esas tiras se doblan y remachan sobre el extremo de las que se utilizan para la formación de los cátodos, mismas que son suspendidas por medio de una varilla de cobre triangular de 3/4" (1.875 cm.) de diámetro, cuyos extremos están achatados para establecer una buena conexión con las barras colectoras.

La densidad de corriente, es uno de los factores más importantes en el electrorrefinado, siendo en promedio de 1.6 a 4.5 A/dm², si hay una pérdida notable de plata y oro en los cátodos, influirá considerablemente porque se presenta una densidad de corriente más elevada que la cantidad de plata contenida en los ánodos; se puede obtener una mejor calidad en el depósito, cuanto más baja sea la densidad de corriente consumida, en un largo tiempo, y con un ahorro en el gasto de corriente total.

El consumo de energía eléctrica por unidad de cobre depositado, aumenta al elevar la densidad de corriente y, consecuentemente la tensión de las baterías. Aumenta también el rendimiento de la corriente, la que es inversamente proporcional al incremento de la densidad de corriente, que para los cátodos es de 3.05 A/dm² a 1.5 A/dm², con un voltaje aproximado de 0.2V, si aumentamos la densidad de corriente. Los ánodos tienen un rendimiento aproximado de 85 a 95%, de su volumen inicial, lo que implica la formación de una gran cantidad de chatarra de cobre, misma que se regresa a los hornos de reverbero de ánodos.

Las impurezas, como ya habíamos mencionado anteriormente, se depositan en el fondo de las cubas o se solubilizan en el electrolito, donde éstas últimas, no deben pasar del límite máximo de 20g./l; podemos contar dentro de ellas las siguientes: Ni, Fe, As, etc; debe considerarse también que si se de

posita el arsénico en el cátodo con el cobre, lo contamina y por otra parte, que el níquel influye sobre la reducción del potencial anódico o catódico.

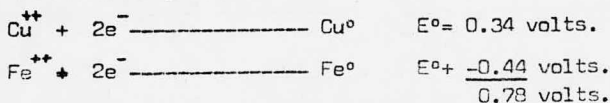
La resistividad electrolítica también aumenta en función de estas impurezas por lo que los investigadores Skiwronski y Reinoso, formularon la siguiente tabla en base a un gramo por litro de cobre, níquel, arsénico y hierro como sulfatos y con 150 g/l de ácido sulfúrico a unas temperaturas de 55°C.

| | |
|----------------|---------|
| Cobre ----- | 0.657% |
| Níquel ----- | 0.766% |
| Hierro ----- | 0.818% |
| Arsénico ----- | 0.0725% |

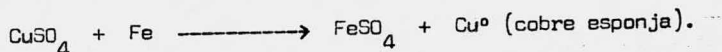
El arsénico y el níquel son los únicos metales que se disuelven en el electrolito en cantidades suficiente, para justificar su recuperación, es conveniente mantener la densidad de corriente apropiada, ya que si es muy alta, el depósito sobre los cátodos se efectúa en forma porosa con el arrastre de una cierta cantidad de electrolitos e impurezas, lo que disminuye la concentración requerida.

La única manera de controlar las impurezas dentro del electrolito es mantenerlo lo más puro posible, retirando una parte en intervalos regulares de tiempo, para sustituirlo por el electrolito fresco o regenerado. Para darnos una idea aproximada, la purga que debe efectuarse en 435 m³ cada tres meses, de una capacidad total de 1.5 X 10⁶ m³ por mes planta de electrolito.

En la actualidad, se utilizan tres diferentes métodos de purificación del electrolito, principalmente en las plantas pequeñas, se utiliza el proceso que se conoce como "cementación", el que consiste en purgar una cantidad de electrolito y reponerlo con un volumen igual, al electrolito purgado; se le agrega chatarra de hierro, con el objeto de desplazar al cobre de la solución y se efectúan las siguientes reacciones:

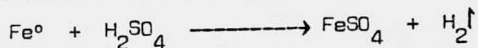


donde:



Esta purificación se realiza en tanques que contienen chatarra de hierro, donde el inconveniente principal es que se consume todo el ácido del electrolito (la chatarra de hierro tiene un precio muy elevado).

La reacción entre el electrolito y la chatarra de hierro es:



Este tipo de procesos, sólo da resultados en plantas pequeñas y que no utilicen ácido sulfúrico.

El otro método o proceso de fabricación del sulfato de cobre, aprovecha todo el ácido sulfúrico de la solución purgada, para ser transformado en sulfato de cobre, el cual se introduce en torres empacadas con chatarra de cobre:



La solución se introduce por la parte superior de las torres, a las que se le inyecta vapor y aire, verificando por medio de anaranjado de metilo, que la solución contenga un pH de 5, por la cantidad de hierro contenido en los lodos retenidos en los filtros, separándose casi totalmente. Al obtener una solución clara, se evapora el agua contenida en ella, formándose finalmente el sulfato de cobre anhidrido ($\text{CuSO}_4^\circ 5\text{H}_2\text{O}$) y una solución conocida como licor madre, de donde se obtiene el níquel al recristalizarla unas tres o cuatro veces consecutivas.

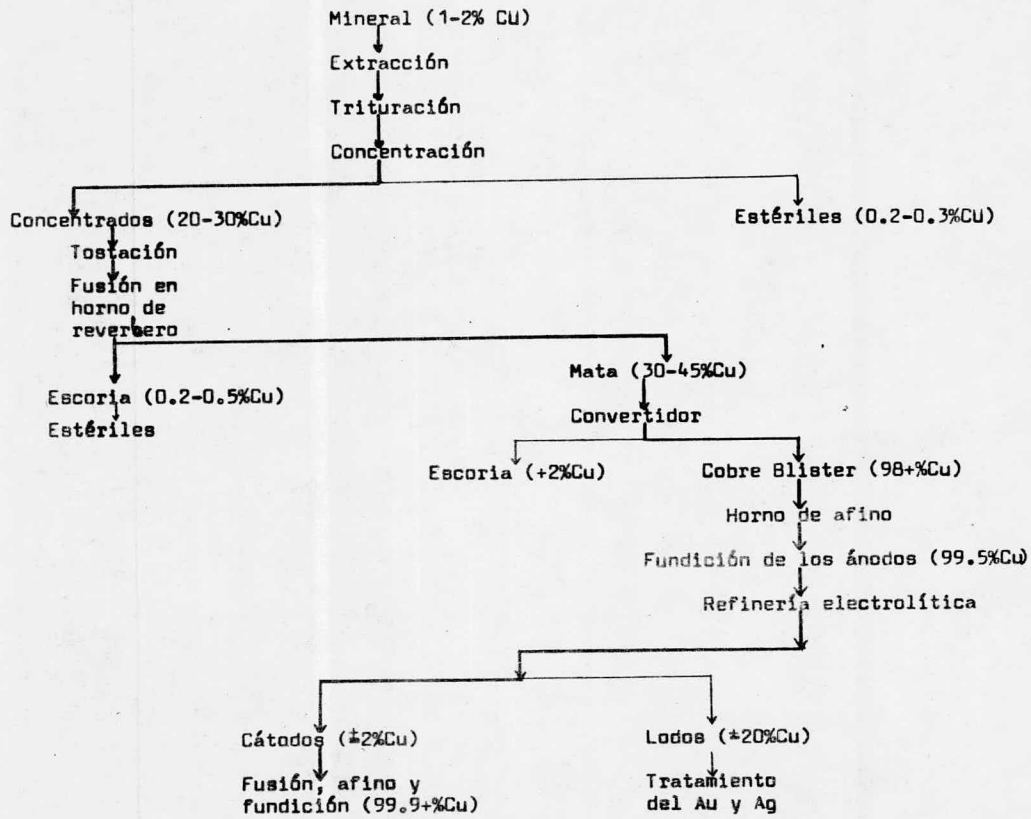
El tercer método, es la purificación cíclica, donde se utilizan de tres a cinco celdas electroquímicas conectadas en serie, semejantes a las utilizadas en la refinación del cobre; pero en las que se emplean ánodos insolubles de plomo antimoniado (con pequeñas proporciones de antimonio); efectuándose la decuprización del electrolito purgado. En las primeras y en las segundas celdas, se obtiene el cobre catódico y de la tercera celda en adelante, se obtiene un depósito de cobre catódico pulverulento contaminado con arsénico y antimonio; con una mayor proporción del primero, liberando arsina (AsH_3) por lo que las celdas de

ben de estar colocadas en un lugar ventilado, para evitar intoxicaciones. En estas condiciones, el electrolito que alimenta a las celdas, en forma de cascada, al final de la última celda queda casi totalmente sin contenido de cobre soluble con pequeñas cantidades de arsénico y con la concentración de ácido sulfúrico incrementada. El electrolito decuprizado se lleva a evaporación, hasta que se obtienen vapores densos de trióxido de azufre (humos blancos), lo que indica la descomposición de ácido sulfúrico y ausencia de agua en el electrolito, donde los sulfatos de níquel, hierro y zinc, cristalizan por la ausencia de agua, como sulfatos anhidros; los que se sedimentan posteriormente del electrolito, quedando solamente el ácido sulfúrico concentrado sobrenadando, mismo que se recircula a la sala de electrolisis.

Los sulfatos anhidros, son la materia prima para la obtención del sulfato de níquel, al disolverse en agua con un pH controlado, para que los sulfatos de hierro y zinc, precipiten como sulfatos básicos, evaporándose el sulfato de níquel para su venta. En los ánodos insolubles, se utiliza un voltaje más elevado que el empleado en la refinación electroquímica del cobre, siendo éste de aproximadamente 2 V., con lo que se forma una polarización provocada por el depósito de oxígeno en los ánodos.

Lodos electrolíticos: las otras impurezas como selenio, plomo, oro y plata, entre otras, las depositan como lodos en el fondo de las cubas. Estos lodos, son introducidos en un horno de reverbero donde se les adicionan nitratos y carbonatos de sodio, con el objeto de producir una fusión alcalina, en la que el selenio y el plomo son separados como escoria; el selenio ya como selenito de sodio, se solubiliza con agua, para su posterior precipitación por medio de bióxido de azufre (SO_2).

Durante la fusión alcalina, se separan en el fondo del horno, la aleación de plata y oro que recibe el nombre de "doré", colándose en moldes con la forma de ánodos que, a diferencia de los utilizados para el cobre, tienen una depresión, donde su peso fluctúa entre 2 y 5 kg., para posteriormente introducirlos en celdas electrolíticas de recuperación.

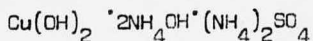


Todo

ESQUEMA DEL PROCESO DE OBTENCION DEL COBRE A PARTIR DE MINERALES DE LEY BAJA

ANALISIS

Detección.- El cobre, generalmente se precipita en una solución ácida por H_2S gaseoso, junto con otros miembros del grupo del ácido sulfhídrico. La insolubilidad de éste sulfuro en sulfuro de sodio, es un intento de la separación - del cobre, del arsénico, antimonio y estaño. Los sulfuros se disuelven en ácido nítrico (separación del mercurio) junto con plomo, bismuto y cadmio. El plomo es precipitado como sulfato de plomo, por ácido sulfúrico y el bismuto como - - hidróxido $Bi(OH)_3$, sobre la adición de hidróxido de amonio. El cobre se filtra coloreando la solución de azul



Prueba de la flama.- Las sustancias que contienen cobre, (sulfuros óxidos por tostación), cuando son humedecidas con ácido clorhídrico y calentadas - en un alambre de platino en la flama, dan una coloración azul, en flama reducto ra y, un color verde en flama oxidante.

Pruebas húmedas.- El ácido nítrico disuelve el metal o los óxidos (los sulfuros pueden ser tostados para su conversión a óxidos), formando una solución - verde o azul versoda, agregando hidróxido de amonio a esta solución, se precipita un compuesto azul pálido, el cual se disuelve en exceso con la formación de una solución azul (el níquel también genera un color azul).

Acido sulfhídrico.- Al pasar ácido sulfhídrico en una solución de cobre, la cual está libre de SO_2 ó de algún agente oxidante, pero con algo de ácido - de un mineral ácido, se forman precipitados de inmediato de color café oscuro - de CuS o Cu_2S (distinguiéndose del níquel, cobalto y zinc), los cuales son difi cilmente solubles en ácido clorhídrico concentrado y caliente (distinción del - antimonio), insoluble en polisulfuros alcalinos fuertes (distinguiéndose del -- oro y el platino), soluble en cianuros alcalinos (a diferencia del plomo, bis- muto, cadmio, mercurio y plata), solubles en ácido nítrico (distinguiéndose del sulfuro de mercurio) con producción de una solución azulada (diferente de los - otros metales a excepción de la plata).

Ferrocianuro de potasio.- En una solución de una sal cúprica ácida ó neutra, precipita como ferrocianuro cúprico, con una coloración café-rojiza, la cual puede ser confundida únicamente con coloraciones similares producidas por precipitados, formados de soluciones de molibdeno o uranio.

Las sales cúpricas en soluciones de ácidos halogenados, son reducidas a soluciones de compuestos cuprosos menos coloridas, por cobre metálico, cloruro estanoso y ácido sulfuroso; en soluciones alcalinas, son reducidas por granos de azúcar, o ácidos sulfurosos y arseniosos.

La determinación del cobre, se efectúa en minerales de cobre, en escorias de hornos, materiales, concentrados, cobre blister, botones. La determinación de cobre ocasionalmente se realiza por encontrarlo como impureza indeseable en productos alimenticios, en insecticidas, germicidas, etc. A menos que se estipule, para que se pueda remover el cobre en parte, se precipitará con aluminio, cuando se adiciona hidróxido de amonio con un pH menor a siete; una parte puede ser llevada a solución como ión cúprico amoniacal y puede precipitar con fosfato de magnesio.

Efectivamente en soluciones ácidas; como CuS el cobre es separado por H_2S , con un pH menor a uno. La acidez para precipitación, es de 6 mililitros de ácido clorhídrico concentrado, por 100 ml. de agua, saturando con H_2S , posteriormente, diluyendo con un volumen igual de agua y de nuevo saturando con H_2S . Con valores aproximados en pH de 2 a 3, el zinc puede precipitar con el cobre.

Preparación y disolución de la muestra.- Los ácidos sulfúricos y clorhídrico, son efectivos en la disolución de cobre metálico, únicamente en presencia de un agente oxidante; donde el ácido nítrico es el agente solvente más activo. Los óxidos de cobre, pueden ser disueltos en ácido clorhídrico ó sulfúrico; pero - - siendo más utilizado el ácido nítrico. Algunos productos de los refractarios de los hornos, son descompuestos por tratamiento con ácido fluorhídrico y sulfúrico fumante seguidos por una fusión con bisulfato.

Si los minerales, tienen esencialmente un mineral simple, la fineza de las partículas de la muestra, necesitan no exceder a 80 mallas. Si el mineral es una mezcla de minerales de plomo y ricos en cobre, la muestra debe de pasar por una criba de 120 mallas. Las partículas metálicas o masas, son separadas, tomando -

en cuenta su estado de partícula, y si tiene un pequeño porcentaje de la muestra, el valor del cobre conocido, variará en un porcentaje pequeño, si no se ha hecho ningún intento por refinar la muestra de tales partículas, entonces se toma una porción de 10-100 g., para el análisis y la determinación en una parte alícuota de la solución. Si las masas metálicas, representan un porcentaje elevado de la muestra, a lo largo o en tamaño con partículas extensamente diferentes en el contenido de cobre, se opta por tomar de .5-22.7 Kg., para el análisis; fundiendo en un crisol de grafito, con la adición de los fundentes apropiados, tales como polvo de sílice o cal, si es necesario. La separación de la muestra, se efectúa por la diferencia de densidades de los productos de la fusión y el cobre; la cantidad de muestra utilizada para análisis depende de la riqueza del mineral, homogeneidad y la importancia comercial de la determinación. Como una regla general, para compra o venta, se toma 1g. como muestra para prueba, finamente pulverizada, que contenga sobre 30% de cobre de 2 a 3 g del 30% de los minerales y 5 G. de minerales, conteniendo menos del 10% del cobre.

Minerales sulfurados y mata.- De 1.5g. de la muestra, se disuelven por la adición de 10 a 20 ml. de ácido nítrico diluido ó 10 ml. de ácido nítrico concentrado, saturado con clorato de potasio y calentando la muestra por un período de 15 min., llegando a una descomposición completa, con la evaporación de un pequeño volumen, agregando posteriormente 10 ml. de ácido clorhídrico, o bien de 5 a 10 ml. de ácido sulfúrico al 50%; posteriormente se elimina la humedad por medio de una estufa, hasta la aparición de humos blancos; se llevan hasta ebullición después de la adición de 10 ml. de H_2SO_4 al 10% diluido, para poder filtrar los residuos de sílice, sulfato de plata y cloruro de plata, de la solución de cobre. El segundo procedimiento, es diluir las sales anhidras con agua y la plata se precipita, por la adición suficiente de cloruro de sodio, en solución; ésto se efectúa si la determinación, va a seguir el método electrolítico y además se obtiene una solución enriquecida con plata.

Minerales oxidados.- Con la exclusión de detalles relacionados con la oxidación de los sulfuros, se llega a una solución por el mismo tratamiento que los minerales sulfurados.

El sulfuro que aparece sobre la adición de ácido al mineral, con adecuadas precauciones, presenta una coloración amarilla; si es oscuro u opaco, la solución ha sido sobrecalentada y algo de mineral ha sido ocluido. Es aconsejable en este caso, remover el glóbulo de sulfuro y oxidarlo por separado con bromuro y ácido nítrico, se hierve fuera el bromuro y se agrega la solución al resto de la muestra. Los minerales sulfurados pueden ser tratados de acuerdo al procedimiento empleado para pirritas de hierro, el mineral puede ser descompuesto con una mezcla de tetracloruro de carbono y bromo 2:3, seguidos de ácido nítrico y ácido sulfúrico.

El siguiente esquema de análisis, puede ser aplicado a minerales con sílice, teniendo cuidado con las manipulaciones, da buenos resultados. Se aplica principalmente a las escorias formadas de la mata.

Un gramo de escoria a 100 mallas, se coloca en un vaso de precipitados de 250 ml., humedecido; mezclando con 3 ml. de ácido sulfúrico, mientras las partículas de la escoria se mantienen en suspensión, por medio de un movimiento giratorio del vaso, se adicionan 15 ml. de ácido clorhídrico. La sílice es gelatinizada en 2 ó 3 min., por un calentamiento directo a la flama; posteriormente se agrega 1 ml. de ácido nítrico, con unas gotas de ácido clorhídrico, continuando el calentamiento, con el vaso tapado por medio de un vidrio de reloj, hasta que el material este próximo a secarse y se presenten densos humos blancos, enfriándose y adicionando 4 ml. de ácido sulfúrico.

El resto del procedimiento depende del procedimiento que se llevará a cabo en la determinación del cobre. Si se sigue el método electrolítico, entonces se le adicionan 3 ml. de ácido nítrico y se calienta hasta que se disuelve, posteriormente, se diluye en frío con agua destilada a 175 ml.; el cobre se obtiene por medio de un ánodo rotario con 2.5 Amperes de corriente y un tiempo de 20 a 35 min. Si se emplea el método de yodo, se calienta hasta la aparición de -- humos blancos, se enfría y se le agregan 25-35 ml. de agua destilada y 5 ml. de ácido clorhídrico y se lleva a ebullición hasta que se aclare la solución, adicionando posteriormente 40 ml. de una solución saturada de acetato de sodio, solución de 4.5% de fluoruro de sodio, se adiciona hasta que el color del acetato férrico desaparece, con un exceso de 10 ml.; se enfría y se empieza a titular, utilizando una solución de tiosulfato, con un equivalente de cobre de 0.0005 g. de cobre.

Separaciones.

Separación de cobre, como tiocianato de cobre.- El tiocianato de cobre, viene a ser el medio preliminar a la separación del cobre, de sus impurezas, para su determinación por medio de los métodos: electrolíticos, patrón, yoduros o cianuros, siendo la base de un número más o menos de métodos gravimétricos y volumétricos.

Los detalles del procedimiento para obtener el precipitado, son dados bajo los métodos gravimétricos siguientes:

Separación del cobre, de los miembros del grupo de sulfuro de amonio y de subsecuentes grupos, por precipitación como sulfuro de cobre en solución ácida.

La solución conteniendo ácido clorhídrico o ácido sulfúrico libre, es saturada con H_2S , precipitando el sulfuro de cobre, (con los miembros del grupo), es filtrado y lavado primero con agua conteniendo H_2S y finalmente con una pequeña cantidad de agua destilada. El residuo es disuelto en ácido nítrico y en la solución resultante, se examina el cobre, separándolo de los miembros de este grupo.

Separación de la plata.- Este elemento es precipitado como el cloruro insoluble de plata, por la adición de ácido clorhídrico, y se puede separar por filtración.

Separación de bismuto.- Sobre la adición de hidroxido de amonio a la solución, conteniendo cobre y bismuto, el que se precipita como $Bi(OH)_3$ y puede ser separado por filtración .

Separación del plomo.- El plomo, es separado por el ácido sulfúrico, como $PbSO_4$ y puede ser filtrado.

Separación del mercurio.- El sulfuro de mercurio permanece insoluble, cuando los precipitados sulfurados, son tratados con ácido nítrico diluido 1:4; el sulfuro de cobre se disuelve rápidamente.

Separación del selenio y telurio.- El selenio, puede ser eliminado de una solución de boro, por evaporación hasta secado, con ácido clorhídrico.

La saturación con SO_2 de una solución ligeramente ácida de sulfato de cobre, en la cual estén presentes en una proporción de 2:1 plata y selenio y llevada a ebullición para expeler más del gas, harán que precipiten selenio y telurio, libres de cobre, con algo de plata. La separación de la plata como AgCl , ayuda para retener el fino precipitado en el papel filtro.

Separación de arsénico, estaño, selenio y telurio.- El cobre en menor proporción, puede ser separado de esos elementos burbujeando H_2S , en la solución ligeramente alcalina con hidróxido de sodio; si hay hierro presente, se agrega un gramo de ácido tartárico. El sulfuro de cobre permanece insoluble también cuando una mezcla de sulfuros precipitan de una solución ácida, que es tratada con una mezcla caliente de sulfuro e hidróxido de sodio. Estos elementos en menor cantidad, son impurezas indeseables en el electrolito, para la determinación de cobre, las que son suficientemente bien separadas, agregando ión férrico en gran proporción a la solución, hasta lograr que el total de hierro presente, sea aproximadamente veinte veces mayor que el de las impurezas combinadas.- Se lleva la solución a un pH alcalino u amoniacal, filtrando los precipitados después que se asiente. Algo de cobre se retiene en el precipitado, donde cantidades moderadas de arsénico, pueden ser eliminadas como fluoruro arsenioso, por el método empleado para eliminar sílice; pueden no estar presentes agentes oxidantes.

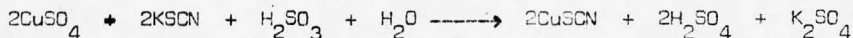
Separación de cadmio.- Los sulfuros en una solución de ácido sulfúrico -- 1:4, se calientan y se burbujea H_2S , por un periodo de 20 minutos y se lleva a punto de ebullición. El sulfuro de cadmio se disuelve, mientras el sulfuro de cobre no se afecta. La solución se filtra en caliente, desplazando el aire por medio de CO_2 , para prevenir la oxidación. Las trazas de cadmio, son eliminadas repitiendo la operación.

Métodos gravimétricos:

Métodos de separación del cobre.-

Separación del cobre como tiocianato de cobre.- Al concentrado de cobre, en solución, frío y ligeramente ácido (el cual puede estar libre de cualquier agente oxidante), se adiciona dióxido de azufre gaseoso o en solución con un bisulfito alcalino ligeramente en exceso de la cantidad teóricamente requerida, -

reduce todo el cobre y el ión férrico presentes. Se enfría con una agitación constante para agregar una solución de tiocianato alcalino normal, - hasta que cese la precipitación efectuándose la siguiente reacción:



Es una práctica común continuar la introducción de SO_2 a través del - precipitado. El precipitado se deja reposar hasta que se pone blanco y la solución se aclara; la presencia de FeSO_4 acelera la conversión de tiocianato cúprico a cuproso, cuando el sulfúrico es el único ácido libre. El -- precipitado se filtra fuera, con la ayuda de presión reducida a través de doble filtro con papel de textura fuerte y lavado con agua fría, hasta un punto donde nos dé ligeras indicaciones de tiocianato, cuando efectuamos - la prueba con una sal férrica.

Como precaución el precipitado se induce a flotar y deslizar con una ca pa muy delgada de fluido, para evitar pérdidas de cobre. El precipitado co- lectado puede ser tratado por diferentes caminos, los que producirán una so lución fija, para la determinación de cobre, por uno de los métodos regula- res:

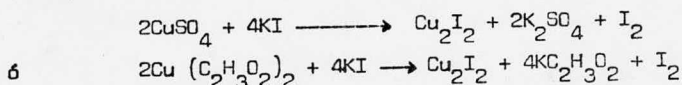
- a) El filtro y precipitado son transferidos a un crisol de porcelana o sili ce, el que debe ser mayor al volúmen del precipitado húmedo, se seca lenta- mente en una estufa y finalmente se incinera. Algunos operadores efectúan - un lavado final con 20% de alcohol para facilitar el secado o, con una solu- ción de un nitrato alcalino para ayudar a la incineración. El residuo es di suelto en el crisol con ácido nítrico concentrado y calor.
- b) El pico del filtro es perforado, lavando el precipitado con poca agua, - tanto como sea posible. Finalmente se limpia el filtro del precipitado dentro dentro de un vaso, así como en el paso anterior. El filtro se seca, incinera y finalmente se disuelve, por separado o agregando el precipitado principal antes de su descomposición quince mililitros de ácido nítrico concentrado ag agregar. Cada gramo o fracción de cobre presente, se mantiene el vaso cubier- to, sobre la estufa hasta que el precipitado es disuelto y se lleva la solu- ción hasta la ebullición para que quede libre de los gases nitrosos. Es prác- tica común agregar 10 - 15 ml. de ácido sulfúrico y evaporar hasta humos, -

porque la evolución del gas durante la disolución del precipitado es profusa; se debe de tener cuidado en la ebullición y dejar escapar los gases lentamente.

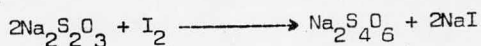
Métodos Volumétricos:

Método de yoduro de potasio: El procedimiento consiste en tratar las sales cúpricas con yoduro de potasio para liberar yodo; el yoduro de cobre formado es insoluble en ácido acético diluido y soluble en exceso de yoduro de potasio.

Reacciones:



El yodo liberado es titulado con tiosulfato normal.



El método tiene una buena precisión para muestras con 80 a 95% de Cu, con $\pm 0.02\%$. Sólo algunos elementos interfieren como el selenio, arsénico trivalente, antimonio, hierro y molibdeno hexavalente.

Plomo, mercurio y plata incrementan el consumo del yoduro de potasio, porque únicamente interfieren en el color de sus yoduros.

Tiosulfato, Solución 0.1 N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 24.8 g/l)

Normalización con cobre metálico.- Se disuelve 0.1g. de cobre puro (electrolítico) en 5 ml. de ácido nítrico y se calienta suavemente hasta expeler humos cafés; se diluye hasta 20 ml. agregando gota a gota hidróxido de amonio, hasta que la solución toma una coloración azul intenso y se calienta de nuevo hasta que se perciban los olores del amoniaco. Se neutraliza con ácido acético glacial, adicionándolo gota a gota hasta que el precipitado que se formó con el ácido se disuelve, agregando de cinco a seis gotas en exceso. De nuevo se calienta, enfriándolo lentamente se le agrega en cantidad suficiente yoduro de potasio sólido, para redissolver el yoduro de cobre que se formó. Se titula con el tiosulfato normalizado adicionándolo hasta una decoloración de café-rojizo a un amarillo brillante. Se agrega almidón como indicador y se completa la titulación con el tiocianato, con una agitación constante hasta el punto de vire.

Se divide el peso del reactivo, tomando en cuenta los mililitros requeridos para obtener el valor en términos del cobre.

Procedimiento para cobre en minerales:

Disolución de la muestra.- Se pesan 0.5 g de mineral pulverizado (si se utiliza tiosulfato N/10, como reactivo para el factor de peso, es conveniente 0.636 g. de mineral, así como 1 ml. del reactivo es equivalente a 1% de cobre). Se disuelve en 10 ml. de ácido clorhídrico y 5 ml. de nitrato, calentándolo suavemente y adicionando más ácido si es necesario. Agregar 10 ml. de ácido sulfúrico evaporando a humos. Calentar hasta que cualquier sulfuro libre que precipite, desaparezca.

Se deja enfriar. Se diluye con 30-40 ml. de agua, se calienta a ebullición y se mantiene caliente hasta que el sulfato férrico se ha disuelto (el cobre estará en solución). En un vaso pequeño se filtra y se lava el residuo por lo menos durante seis veces con agua caliente, utilizando pequeñas porciones. El volumen del filtrado no necesita exceder 75 - 100 ml.

Precipitación del cobre por tiosulfato.- Diluir la solución aproximadamente a 250 - 300 ml. y agregar 10 ml. de tiosulfato de sodio (1:2) y calentar suavemente; la solución se oscurecerá y el sulfuro de cobre precipitará cuando la solución empiece a hervir. Veinte minutos son suficientes para una precipitación completa. Filtrar el CuS y lavarlo con agua para remover el hierro, etc. Doblar el filtro, sobre el precipitado y transferirlo a un crisol de porcelana con un volumen de 25 ml.; calentando hasta que el papel se incendie lentamente y se consuma. Disolver el residuo en 5 ml. de ácido nítrico concentrado calentando lentamente hasta la aparición de humos café.

Se trasfiere a un vaso por medio de un chorro de agua (10-20 ml.) y de nuevo se calienta hasta expulsar óxidos nitrosos. Se enfría y se adiciona gota a gota ácido acético glacial, hasta que el precipitado que primero se formó, se redisuelva calentando para eliminar el exceso de amoníaco. Se enfría y se agrega gota a gota ácido acético glacial, hasta que el precipitado formado se redisuelva y la solución se aclare.

Adicionar de 3 a 5 gotas en exceso. Calentar suavemente durante 4-5 min.

y enfriar nuevamente.

Titulación.- Adicionar cristales sólidos de yoduro de potasio en cantidad suficiente para redissolver el yoduro de cobre que primero se forma y titular inmediatamente con tiosulfato normal, hasta que cambia de café-rojizo a amarillo. Adicionar almidón como indicador. Multiplicar los mililitros de tiosulfato requeridos, por su factor en términos de cobre, para obtener el peso de cobre en la muestra.

LOCALIZACION GEOGRAFICA EN LA REPUBLICA MEXICANA DEL
MINERAL DE COBRE Y SU COMERCIALIZACION

Los principales yacimientos aprovechables de mineral de cobre en la República Mexicana son esencialmente minerales oxidados, mismos que se calcula serán suficientes para el consumo del País durante un periodo aceptable, una vez que se agoten, se recurrirá a yacimientos subterráneos. Recordemos que los yacimientos oxidados, como ya se ha mencionado anteriormente, se les conoce como yacimientos a tajo abierto o a cielo abierto.

En el Municipio de Cananea, ubicado en el Estado de Sonora, se encuentra el yacimiento que aporta el mayor porcentaje de mineral para la obtención del cobre. Este yacimiento se ha explotado desde 1862, donde inicialmente se extraía un mineral de plata, con un alto contenido de cobre; este yacimiento como muchos de la Republica, se encuentran a cielo abierto. Esta localizado a 40 Km. de la línea fronteriza con Estados Unidos; tiene una extensión de 27 Km² y está registrado bajo la razón social de Compañía Minera de Cananea, S.A. de C.V., la que fué adquirida por el grupo de la Anaconda. Tiene una planta de beneficio con una capacidad de 22,400 toneladas diarias de mineral de baja ley, por medio del proceso de flotación, con un programa de extensión en la actualidad.

En el estado de Sonora, existen otros municipios productores de cobre, como La Colorada, San Pedro de la Cueva, que se pueden considerar como pequeños productores del mineral, a excepción de Nacozari, que hasta hace unos años, era considerado como un yacimiento pequeño, sin embargo, por estudios realizados por Fomento Minero en 1967, se estimó que cuenta con aproximadas reservas de 600 millones de toneladas del mineral, con leyes de 0.8% de cobre, en el yacimiento de La Caridad. Este hallazgo ha dado lugar a la elaboración de un programa ambicioso, para su explotación, por medio de Mexicana de Cobre, S. A. Se plantea su explotación con resultados semejantes a los del Municipio de Cananea, para lo que se cuenta con un complejo de extracción, beneficio y refinación del metal en la localidad. La ubicación de este yacimiento se encuentra a unos kilómetros del Municipio de Cananea, es decir en la Zona Norte del Estado de Sonora.

El Estado de Michoacán ocupa el segundo lugar en lo que respecta a la aportación de mineral de cobre, por medio de sus Municipios de la Huacana y Huetamo, según datos tomados del C.R.N.N.R. de 1973, contribuyendo con un 12.3% del total de la República Mexicana, con otros municipios de menor importancia.

El Estado de Chihuahua está situado en tercer lugar con los yacimientos de los municipios de San Francisco del Oro, Santa Bárbara y Saucillo, entre otros, con una aportación del 12%. Otros estados como Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Durango, Oaxaca, Querétaro, San Luis Potosí, etc., contribuyen a la producción en menor proporción; sin embargo, es evidente que el Estado de Sonora es el principal productor de este mineral.

PRODUCCION INTERNA DE MINERAL DE COBRE
1972 - 1973 POR ESTADOS (TONELADAS)

| | <u>1972</u> | <u>1973</u> |
|-------------------------|--------------|--------------|
| AGUASCALIENTES | 690 | 530 |
| BAJA CALIFORNIA NORTE | 15 | 37 |
| BAJA CALIFORNIA SUR | 2726 | 1648 |
| CHIHUAHUA | 10096 | 9247 |
| COAHUILA | 480 | 429 |
| COLIMA | 25 | 8 |
| DURANGO | 329 | 410 |
| CHIAPAS | 3 | --- |
| GUERRERO | 640 | 485 |
| GUANAJUATO | 95 | 55 |
| HIDALGO | 713 | 668 |
| JALISCO | 693 | 501 |
| MEXICO | 7 | 8 |
| MICHOACAN | 7843 | 9485 |
| MORELOS | 11 | 13 |
| NAYARIT | 65 | 48 |
| NUEVO LEON | 2 | 2 |
| OAXACA | 78 | 96 |
| QUERETARO | 940 | 1010 |
| SAN LUIS POTOSI | 3655 | 4339 |
| SINALOA | 1047 | 438 |
| SONORA | 42515 | 41734 |
| TAMAULIPAS | 2 | --- |
| ZACATECAS | 7506 | 6001 |
| PROCEDENCIA DESCONOCIDA | 722 | 129 |
| T O T A L | <u>80902</u> | <u>77322</u> |

Fuente: COMISION DE FOMENTO MINERO

VALOR DE LA PRODUCCION DE COBRE 1972 - 1973
(MILES DE PESOS) POR FORMA DE PRESENTACION.

| | <u>1972</u> | <u>1973</u> |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| COBRE (TON) | 1,013,105 | 1,613,820 |
| AFINADO | 766,919 | 1,146,940 |
| BARRAS IMPURAS | 188,477 | 317,187 |
| CONCENTRADOS | 56,537 | 147,487 |
| ELECTROLITO DE COBRE | 862 | 80 |
| MINERALES | 309 | 962 |
| SULFATO DE COBRE | --- | 1,163 |
| T O T A L | <u>2,026,209</u> | <u>3,227,639</u> |

Fuente: COMISION DE FOMENTO MINERO

VOLUMEN DE LA PRODUCCION DE COBRE 1972-1973
(CONTENIDO METALICO) POR FORMA DE PRESENTACION.

| | <u>1972</u> | <u>1973</u> |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| COBRE (TON) | 78,720 | 80,501 |
| AFINADO | 59,591 | 57,212 |
| BARRAS IMPURAS | 14,645 | 15,822 |
| CONCENTRADOS | 4,393 | 7,357 |
| ELECTROLITO DE COBRE | 67 | 4 |
| MINERALES | 24 | 48 |
| T O T A L | <u>157,440</u> | <u>160,944</u> |



Fuente: COMISION DE FOMENTO MINERO

El consumo interno total del año de 1973, se estimó en 50,980 Kg. de cobre, llegando a ser suficiente la producción de ese año, para satisfacer las demandas.

Las compañías de mayor importancia en el País sobre consumo de cobre en el mismo año fueron:

| | <u>Cantidad en Kg.</u> | <u>Porcentaje.</u> |
|------------------------------------|------------------------|--------------------|
| a) CUNDUMEX, S. A. | 14,066 | 27.59 |
| b) NACIONAL DE COBRE, S.A. | 9,950 | 19.33 |
| c) CONDUCTORES MONTERREY, S.A. | 8,510 | 16.70 |
| d) INDUSTRIAS UNIDAS, S.A. | 7,610 | 14.94 |
| e) CONDUCTORES ELECTRICOS, S.A. | 4,481 | 8.79 |
| f) LATINOAMERICANA DE CABLES, S.A. | 3,364 | 6.60 |
| g) LATONES NACIONALES, S.A. | 1,254 | 2.46 |
| T O T A L | <u>49,240</u> | <u>96.41</u> |

El complemento del consumo interno fue realizado por compañías tales como el Banco de México, S. A., Conelec, S. A., Cobre y Aleaciones, S. A., Manufacturera de Cobre, S. A., etc.

Debido a la fluctuación de la demanda del metal, se realizaron diversas - importaciones, teniendo en consideración que solamente, hasta la fecha, se cuenta con una sola refinera en el País, la que tiene la razón social de COBRE DE-MEXICO, S. A., misma que, en ocasiones, por problemas de equipo uotros factores, deja de funcionar normalmente por algún período de tiempo.

IMPORTACIONES

Las importaciones realizadas durante los años de 1972 y 1973, en valor y - volumen, fueron las siguientes:

| <u>AÑOS</u> | <u>TONELADAS</u> | <u>VALOR EN MILES DE PESOS</u> |
|-------------|------------------|------------------------------------|
| 1972 | 825 | 11,934 |
| 1973 | 927 | 12,841 |

Una descripción más detallada de estas importaciones, se puede apreciar - mejor en los siguientes datos:

| FRACCION ARANCELARIA | PRODUCTO Y PAIS DE PROCEDENCIA | KGS. | PESOS | PRECIO POR KILOGRAMO |
|-------------------------|-----------------------------------|---------|------------|-------------------------|
| 74,01A.001 | Anodos de Cobre | 13,054 | 288,376 | - - - - - |
| | Alemania Occidental | 13,048 | 287,751 | 22.053 |
| | Estados Unidos | 6 | 625 | 104.15 |
| 74,01A.002 | Cobre Electrolítico | 4,886 | 130,695 | |
| | Alemania Occidental | 4,296 | 112,005 | 26.071 |
| | Estados Unidos | 590 | 18,690 | 31.67 |
| 74,01A.999 | Cobre no especificado | 326,911 | 4,616,558 | |
| | Estados Unidos | 326,911 | 4,616,558 | 14.12 |
| 74,06A.001 | Polvos de cobre | 577,542 | 17,749,216 | |
| | Alemania Occidental | 122,240 | 4,855,015 | 39.71 |
| | Austria | 3 | 57 | 19.00 |
| | Bélgica-Luxemburgo | 1,385 | 56,225 | 40.59 |
| | Canadá | 1,433 | 60,797 | 42.42 |
| | Checoslovaquia | 86 | 3,636 | 42.27 |
| | Estados Unidos | 406,851 | 11,220,216 | 27.57 |
| | Francia | 154 | 8,338 | 54.14 |
| | Italia | 3,647 | 135,957 | 37.27 |
| | Japón | 21 | 714 | 34.00 |
| | Reino Unido | 12,552 | 585,738 | 46.66 |
| | Suecia | 29,115 | 620,119 | 21.29 |
| | Suiza | 55 | 2,393 | 43.50 |
| 74.06A.002 | Partículas de cobre | 74 | 5,574 | |
| | Estados Unidos | 71 | 5,449 | 76.74 |
| | Japón | 3 | 125 | 41.66 |

Se puede observar que el mayor porcentaje de las importaciones se refiere a la compra de polvo de cobre, siendo éste aproximadamente del 63% del total de las importaciones.

FLUCTUACION DE PRECIOS.

En base a los datos anteriores sobre importaciones, se puede realizar la cuantificación de la variación de precios. Los datos utilizados son de los años 1964 - 1973.

 FLUCTUACION DE PRECIOS

| <u>AÑOS</u> | <u>PRECIO UNITARIO</u> Pesos/Kg | <u>VARIACION PORCENTUAL</u> |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 1964 | 14.16 | 0 |
| 1965 | 17.87 | 26.2 |
| 1966 | 21.74 | 53.5 |
| 1967 | 23.23 | 64.0 |
| 1968 | 22.08 | 55.2 |
| 1969 | 25.60 | 80.7 |
| 1970 | 27.52 | 94.3 |
| 1971 | 22.05 | 55.7 |
| 1972 | 14.46 | 2.1 |
| 1973 | 13.85 | (2.2) (base 1964) |

Observando que el precio del cobre ha sufrido una variación descendente -- del 2.2% con respecto a los años mencionados, se ha notado que en los últimos -- años ha presentado una gran inestabilidad; esto puede deberse a los costos de -- producción, fletes, materia prima, mano de obra, inflación, etc.

A continuación se describe en la siguiente tabla, los precios observados - durante esos mismos años; se presentan los precios de la bolsa de valores de Nue va York y Londres, que han sido las bolsas que rigen el precio a nivel mundial.

 PRECIOS MUNDIALES DEL COBRE

| <u>AÑOS</u> | <u>NUEVA YORK</u> U.S. c/16 | <u>LONDRES</u> U.S. c/16 |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1964 | 31.96 | 44.99 |
| 1965 | 35.02 | 58.65 |
| 1966 | 38.23 | 69.14 |
| 1967 | 38.24 | 51.24 |
| 1968 | 41.85 | 50.01 |
| 1969 | 47.53 | 66.29 |
| 1970 | 57.70 | 62.88 |
| 1971 | 51.43 | 49.27 |
| 1972 | 50.62 | 48.53 |
| 1973 | 58.87 | 80.85 |

Es conveniente recordar que los datos descritos en esta relación y las anteriores, son las medias en los intervalos de tiempo presentados.

Analizando las tabulaciones anteriores, se puede observar una discrepancia acentuada entre los precios de Nueva York, Londres y los nacionales. Se consideran como factores importantes para tales discrepancias, los costos de producción, embarque, calidad de presentación y materias primas entre otros.

Las siguientes representaciones gráficas nos darán una visión más amplia - al respecto.

SERIES DE TIEMPO. - Es interesante el poder estimar la demanda a futuro, por lo que empleando métodos estadísticos, ésto se hace posible, teniendo en consideración que puede haber factores que modifiquen esta estimación. El estudio se efectúa para los próximos cinco años (1977-1981). Los datos empleados corresponden al periodo 1964 - 1973.

METODO DE MINIMOS CUADRADOS.

Regresión Lineal. $Y = \alpha + \beta X$

| <u>AÑOS</u> | <u>CONSUMO INTERNO - DE COBRE (TONS)</u> |
|-------------|--|
| 1964 | 34,237 |
| 1965 | 45,563 |
| 1966 | 46,923 |
| 1967 | 47,053 |
| 1968 | 51,300 |
| 1969 | 56,954 |
| 1970 | 53,082 |
| 1971 | 52,278 |
| 1972 | 51,628 |
| 1973 | 50,986 |

donde: $n = 10$

Y: Representa las toneladas consumidas

X: Representa los años

α y β : Constantes de proporcionalidad.

| X | Y | X ² | Y ² | XY |
|-------|---------|----------------|----------------|----------|
| 1 | 3.4237 | 1 | 11.721721 | 3.4237 |
| 2 | 4.5563 | 4 | 20.759369 | 9.1126 |
| 3 | 4.6923 | 9 | 22.917597 | 14.0769 |
| 4 | 4.7053 | 16 | 22.139848 | 18.8212 |
| 5 | 5.1300 | 25 | 26.316900 | 25.6500 |
| 6 | 5.6954 | 36 | 32.437581 | 34.1724 |
| 7 | 5.3082 | 49 | 28.176987 | 37.1574 |
| 8 | 5.2278 | 64 | 27.329892 | 41.8224 |
| 9 | 5.1628 | 81 | 26.654503 | 45.4652 |
| 10 | 5.0986 | 100 | 25.995721 | 50.9860 |
| <hr/> | | <hr/> | | <hr/> |
| 55 | 49.0004 | 385 | 243.5507 | 281.6878 |

Para calcular el valor de las constantes de proporcionalidad, utilizamos la siguiente fórmula:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n XY - \left(\frac{\sum X}{n}\right) \left(\frac{\sum Y}{n}\right)}{\sum_{i=1}^n X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} \quad n = \text{núm. total de años}$$

sustituyendo con nuestros datos:

$$\beta = \frac{281.6878 - \frac{(55)(49.0004)}{10}}{385 - \frac{(55)^2}{10}}$$

$$\beta = \frac{281.6878 - 209.5022}{385 - 302.5}$$

$$\beta = 0.1477042$$

Para conocer la constante α despejamos:

$$\alpha = Y - \beta X$$

donde \bar{Y} , es la media de las toneladas y \bar{X} , la media de los años.

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y}{n} \quad \bar{Y} = 4.90004$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$\bar{X} = 5.5$$

Por lo tanto:

$$a = 4.09004 - 0.1477042 (5.5)$$

$$a = 4.08769$$

Para el cálculo de las toneladas esperadas sustituimos en la ecuación original, de acuerdo a los años involucrados. Por ejemplo:

$$X = 1$$

$$Y = 4.08769 + 0.14770 (1)$$

$$Y = 4.23539$$

$$X = 2$$

$$Y = 4.08769 + 0.14770 (2)$$

$$Y = 4.38309$$

$$X = 3$$

$$Y = 4.08769 + 0.14770 (3)$$

$$Y = 4.53079$$

El mismo procedimiento se efectúa para los años subsecuentes, obteniendo finalmente:

ESTIMACION DEL FUTURO CONSUMO INTERNO DE COBRE EN
BASE A LOS DATOS ECONOMICOS MENCIONADOS.

| <u>X (Años)</u> | <u>Y (Toneladas)</u> |
|-------------------|------------------------|
| 1 | 4.23539 |
| 2 | 4.38309 |
| 3 | 4.53307 * |
| 4 | 4.67849 |
| 5 | 4.82619 |
| 6 | 4.97389 |
| 7 | 5.12159 |
| 8 | 5.26929 |
| 9 | 5.39699 |
| 10 | 5.56469 |
| 11 | 5.71239 |
| 12 | 5.86009 |
| 13 | 6.00779 |
| 14 | 6.15549 |
| 15 | 6.30319 |

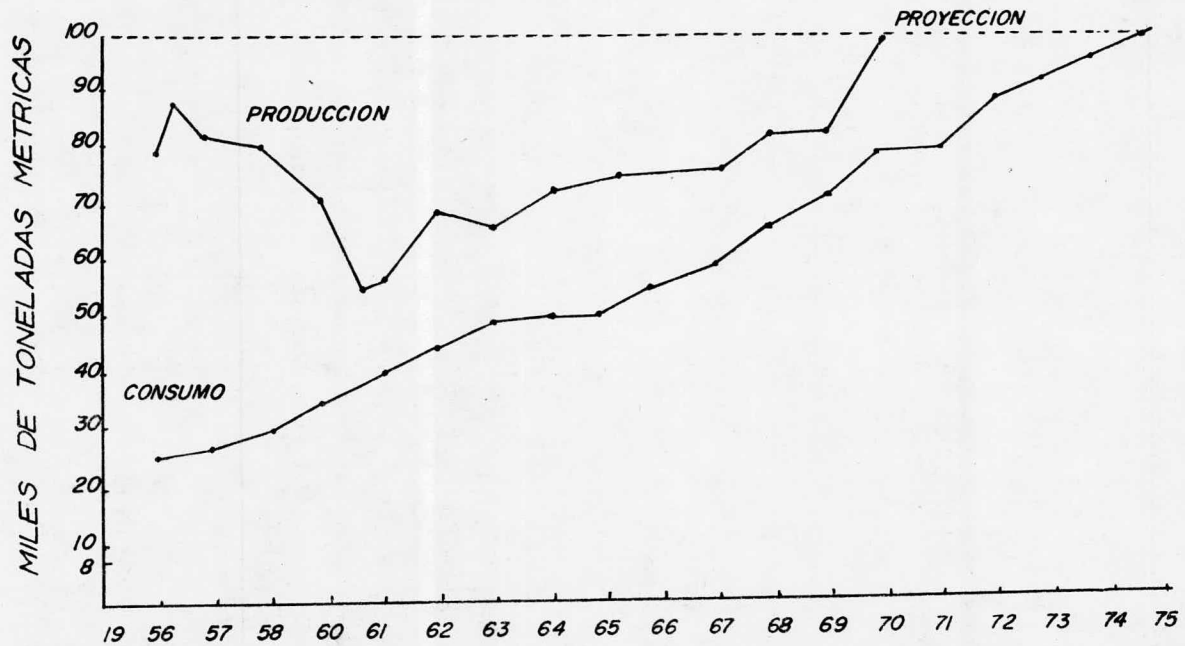
PRODUCCION DE COBRE Y PRODUCTOS OBTENIDOS

(1969 - 1976)

Unidad: Toneladas métricas.

| | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Cobre electrolítico | 59,468 | 65,877 | 59,688 | 63,999 | 61,890 | 73,145 | 69,785 | 83,212 |
| Cobre blister | 60,562 | 67,232 | 62,064 | 66,559 | 64,364 | 71,241 | 61,493 | 60,103 |
| Alambres y cables de cobre | 43,046 | 40,546 | 35,850 | 37,023 | 42,052 | 40,913 | 40,926 | 39,480 |
| Tubería de cobre | 5,276 | 6,266 | 6,685 | 7,954 | 12,060 | 12,614 | 9,842 | 11,533 |
| Lámina de cobre | 1,781 | 1,384 | 1,401 | 2,708 | 3,029 | 3,188 | 2,237 | 2,213 |
| Perfiles de cobre | 3,511 | 1,293 | 1,321 | 1,858 | 1,582 | 954 | 596 | 702 |
| Tubería de aleaciones | 1,596 | 1,310 | 1,318 | 1,182 | 1,895 | 2,689 | 2,152 | 1,955 |
| Perfiles de aleaciones | — | 3,941 | 2,232 | 3,695 | 6,386 | 7,595 | 6,784 | 7,003 |

NOTA: Los datos del año de 1976, cubren el período enero-noviembre, excepto la producción de cobre electrolítico y cobre blister en las que sí está incluido el mes de diciembre.



PRODUCCION Y CONSUMO DE COBRE EN MEXICO

T R A N S P A R E N C I A S

EL COBRE

- 1) PRESENTACION LETRERO: ✓ CIENCIA BASICA PRESENTA:
- 2) TITULO LETRERO: EL COBRE
- VOZ 1 ¿Por qué es importante el cobre?
- VOZ 2 El cobre es un metal del que todos hemos oído hablar, sin embargo, quizá ignoremos algo respecto a él, como por ejemplo: ¿por qué es tan importante en la actualidad? ¿de dónde se obtiene? o ¿qué tan abundante es en nuestro País?
- 3) GATO DE BRONCE Para responder estas preguntas conviene que hagamos un poco de historia. Se sabe que los egipcios fueron los primeros que lograron alear el cobre con el estaño para obtener bronce. El bronce, por ser un material más resistente, les permitía fabricar diversos objetos como esta figura que aquí vemos.
- 4) MESOPOTAMIA En Mesopotamia, el cobre era muy apreciado y se consideraba de gran utilidad debido a su maleabilidad, a su elevada resistencia, a la corrosión y a su hermoso aspecto. En épocas posteriores se desarrolló aun más el empleo de dicho metal en muchas partes del mundo.
- 5) EPOCA ACTUAL En el siglo XX, el cobre desempeña un importante papel. Sus aplicaciones cada día se extienden más y abarcan desde el simple conductor de corriente eléctrica, hasta sistemas muy complejos.
- 6) Un ejemplo de éstos últimos es el espectrógrafo magnético del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México, que aquí vemos.
- 7) APLICACIONES Otro ejemplo de las múltiples aplicaciones del cobre en la vida moderna, es el techo de la Torre Panorámica de las Cataratas del Niágara, donde se emplea dicho metal para evitar la corrosión.
- VOZ 1 ¿En qué lugares del mundo existen yacimientos de cobre?
- VOZ 2 ✓ El mineral de cobre se encuentra distribuido en todos los continentes. En este histograma aparecen, por orden de importancia, los principales países productores: Los Estados Unidos, Chile, Canadá, Zaire, Uganda, Australia, El Perú y México.
- VOZ 1 ¿Qué zonas de México son las más ricas?
- 9) PRODUCCION NACIONAL VOZ 2 ✓ México cuenta con yacimientos de cobre ubicados en ca-

- si todo su territorio. Entre los principales estados productores podemos mencionar: Sonora, Chihuahua, Michoacán y Zacatecas.
- VOZ 1 ¿Se encuentra el cobre en la naturaleza en forma pura?
- 10) PRINCIPALES MINERALES. VOZ 2 Puede encontrarse como cobre nativo o bien formando diversos minerales, entre los cuales se incluyen: - calcopirita, chalcocita, bornita y malaquita.
- VOZ 1 ¿Se encuentran esos minerales en la superficie de la tierra?
- 11) CLASIFICACION DE LAS MENAS DE COBRE VOZ 2 Los minerales de cobre se extraen de minas o yacimientos, también conocidos como menas, los cuales se clasifican según su posición con respecto a la superficie terrestre en minas a cielo abierto...
- 12) ... y minas subterráneas, donde el mineral se localiza a grandes profundidades.
- VOZ 1 ¿Cómo se extraen los minerales?
- 13) MINERALES SUBTERRANEOS VOZ 2 Los yacimientos subterráneos se explotan por medio de maquinaria pesada, pero si las condiciones de seguridad no lo permiten, la operación se realiza en forma manual, como en este caso.
- 14)
- 15) YACIMIENTOS A CIELO ABIERTO VOZ 2 Los yacimientos a cielo abierto son los más importantes. Adquieren una forma característica debida a que para explotarlos se hacen tajos de doce metros. Generalmente dicho mineral está constituido por compuestos oxidados.
- VOZ 1 ¿Cómo se separa el cobre de los otros elementos que lo acompañan en el mineral?
- 16) METALURGIA EXTRACTIVA DEL COBRE VOZ 2 Al proceso de separación del cobre del mineral se le llama beneficio. En las transparencias que se presentan a continuación, se muestran los pasos fundamentales del proceso.
- 17) DIAGRAMA (DEL MINERAL A METAL) VOZ 2 Son seis las etapas principales en el beneficio del cobre: trituración, molienda, concentración, fusión, conversión y refinación. Antes de decir en qué consiste cada paso, es conveniente mencionar brevemente la importancia de la localización geológica del mineral.
- 18) LOCALIZACION GEOGRAFICA VOZ 2 Para localizar las minas o yacimientos, es preciso trazar un plano de localización. Con este fin se realiza una exploración aérea y terrestre, además, se emplean métodos geológicos, geofísicos y geoquímicos para lograr un muestreo previo de la zona.

- 19) EXTRACCION En muchos sitios del mundo ya se han agotado los yacimientos a cielo abierto, pero en México aun existen algunos.
- 20) La extracción de los minerales se realiza por medios mecánicos utilizando potentes cargas de dinamita y nitroglicerina.
- 21) CARGA DEL MINERAL Después que es removido el mineral se carga, mediante palas mecánicas, en camiones de gran tonelaje que se encargan de transportarlo hasta el lugar donde se efectúa la trituración.
VOZ 1 ¿Cómo se efectúa la trituración?
- 22) TRITURACION VOZ 2 La trituración se lleva a cabo mediante un proceso cíclico que incluye más de dos operaciones de quebrado con el fin de reducir gradualmente el tamaño de las partículas.
- 23) Con este objeto se usan quebradoras de grandes dimensiones como la que aquí vemos.
- 24) LIXIVIACION Cuando la ley del mineral, o sea su contenido de metal es baja, el mineral se somete a una operación conocida como lixiviación que consiste en formar el sulfato de cobre para facilitar su beneficio.
VOZ 1 ¿Cómo se forma el sulfato?
- 25) Esta transformación se logra extendiendo el mineral y rociándolo con grandes cantidades de agua.
- 26) El oxígeno de la atmósfera propicia la formación del sulfato de cobre, que a partir de esta operación se somete a los mismos procesos que el mineral rico en cobre.
- 27) TRANSPORTE DEL MINERAL Después que el mineral es triturado, se transporta hasta la planta beneficiadora por medio de bandas cubiertas por un tubo para evitar pérdidas de polvo.
- 28)
- 29) PLANTA DE BENEFICIO Esta es una vista panorámica de la planta beneficiadora donde se efectuarán los procesos de molienda, concentración, fusión y conversión.
- 30) MOLIENDA Cuando el mineral llega a la planta de beneficio, se carga por medio de tornillos sin fin, a los molinos en un proceso continuo.
- 31) Simultáneamente se agrega agua con lo que se obtiene una pulpa que posteriormente se concentrará.

- VOZ 1 ¿Qué tipos de molinos se emplean?
- 32) VOZ 2 En general son de dos tipos: de bolas y de martillo. En este esquema vemos un molino de bolas constituido por un tambor giratorio que contiene en su interior bolas de acero libre, las cuales aplastan el mineral dividiéndolo en partículas mucho más finas.
- 33) VOZ 1 ¿Como concentran el mineral?
- 34) CONCENTRACION VOZ 2 En la actualidad gran número de plantas concentran el mineral por flotación.
- 35) En esta operación las partículas de mineral son arrastradas a la superficie por medio de burbujas que se forman a partir de espumantes y colectores especiales. Las burbujas atraen solamente a aquellas partículas que no absorben agua debido a su mayor contenido de metal.
- 36) CELDA DE FLOTACION VOZ 2 En este esquema de una celda de flotación podemos observar que se favorece la formación de burbujas usando un eje giratorio que incorpora aire al sistema. Las partículas se conglomeran en la superficie formando una espuma o concentrado que luego es descargada.
- 37) Gracias a estas celdas se logra separar la mayoría de las partículas de mineral de cualquier otro material, con lo que se eleva el contenido de cobre en una proporción que varía entre el 40 y el 70%.
- 38) VOZ 1 ¿Se usa el cobre con esa pureza?
- VOZ 2 No, los concentrados se secan con aire caliente a través de unos discos giratorios y son enviados a hornos de reverbero donde se funden a temperaturas que oscilan entre 1100 y 1200°C. Las partes fundamentales del horno son: quemadores, arcos de reverbero, chimenea, puertas de carga o laterales y puerta de escorificación.
- 39) FUSION Esta fotografía muestra los concentrados fundidos por la radiación que produce la llama al chocar con los arcos de reverbero del horno.
- 40) Hay que distinguir este tipo de horno de los de fuego directo donde se obtienen productos con mayor contenido de impurezas.
- 41) CONVERTIDORES Los concentrados fundidos todavía en estado líquido, son enviados a convertidores. Ahí se elimina su con-

- 42) tenido de hierro agregando sílice que forma con ellos silicato de hierro; también se ~~almina~~azufre para formar dióxido de azufre. En este paso se obtiene cobre denominado Blister. El Blister tiene un contenido aproximado de 98% de cobre, e impurezas de níquel, plata, oro, selenio, etcétera.
- 43) DIAGRAMA DE UN CONVERTIDOR Este diagrama muestra un convertidor de tipo Bessemer, donde se aprovecha que el metal está fundido a una temperatura suficientemente elevada, para hacerle pasar una corriente de aire y producir la oxidación del metal.
- 44) La temperatura se mantiene gracias a las reacciones exotérmicas que se llevan a cabo. Por la boca del convertidor se desprenden gases que debido a su coloración característica indican el grado de oxidación.
- 45) VACIADO DEL CONVERTIDOR El convertidor que aquí vemos es de tipo horizontal y funciona en la misma forma que el Bessemer. Si no se cuenta con una planta refinadora dentro del sistema, es necesario..
- 46) ... enviar el cobre a donde puedan refinarlo. Con ese objeto el metal fundido se vacía en moldes.
- 47) TRANSPORTE Una vez que el metal se solidifica en los moldes, se envía a la planta refinadora. Generalmente se transporta el metal por ferrocarril.
- 48) VOZ 1 ¿Así termina el beneficio?
- 49) VOZ 2 Sí, pero con frecuencia la industria solicita un cobre de mayor pureza. Con ese fin el cobre Blister se somete a un proceso de refinación que comprende las siguientes operaciones: fusión para formación de los ánodos, refinación electroquímica, fusión de los cátodos y moldeo en forma de barras.
- 50) FUSION Para fundir el cobre Blister, se carga en hornos de reverbero que tienen una capacidad promedio de 120 toneladas diarias. Esta operación se realiza a través de las puertas laterales del horno utilizando pa las mecánicas.
- 51) ESCORIFICACION Durante la fusión del cobre Blister se inyecta aire con el fin de oxidar los elementos indeseables que acompañan al cobre. Además se agrega arena sílica,-

- que con las impurezas del cobre forma una nata que sobrenada en el metal fundido y que se conoce como escoria. La escoria es extraída del horno por medio de rastrillos.
- VOZ 1 ¿En qué consiste la operación de electrólisis?
- 52) ELECTROLISIS VOZ 2 Este diagrama representa el proceso electrolítico- empleado para aumentar la pureza del cobre. Se emplean cátodos y ánodos de cobre. Las impurezas se depositan, ya sea en el electrolito que es ácido sulfúrico diluido, o en el fondo de la cuba en forma de lodogánodico.
- 53) FORMACION DE CATODOS Para la formación de los cátodos iniciales de cobre se utilizan ánodos de cobre y cátodos de níquel.
- 54) El cobre procedente de los ánodos se deposita en los cátodos de níquel en forma de una capa delgada que posteriormente es desprendida..
- 55) CELDA ELECTROLITICA La conexión de los ánodos y cátodos se efectúa mediante un sistema en serie.. Los cátodos cuelgan de varillas de cobre,
- 56) Se emplea una corriente eléctrica promedio de 2000 amperes y 0.2 voltios.
- 57) El cobre que se obtiene de las cubas electrolíticas se conoce como cobre catódico, el cual es fundido nuevamente en los hornos de reverbero.
- 58) VOZ 1 ¿Para qué lo funden?
VOZ 2 En esa forma se elimina el oxígeno excedente.
- 59) REDUCCION Para obtener el por ciento de oxígeno que le confiere al cobre la máxima conductividad eléctrica, se introducen en el horno troncos de madera que al entrar en combustión forman monóxido de carbono que al combinarse con el oxígeno lo eliminan como dióxido de carbono.
- 60) VACIADO Después de un ciclo continuo de fusión de 24 horas, se procede a la formación de lingotes de cobre, por medio de moldes situados en una rueda de Walker.
- 61) VOZ 1 ¿De qué material están hechos los moldes?
- 62) VOZ 2 Los moldes de esta rueda son también de cobre con varias canales que están recubiertas generalmente por pintura de zirconio para facilitar el desprendimiento de los lingotes.
- 63)

64) ENFRIAMIENTO

Los lingotes son enfriados por medio de agua, para acelerar su enfriamiento interno, cayendo a un pozo que tiene en el fondo una banda transportadora que los conduce a la mesa de inspección

65) MESA DE INSPECCION

En la mesa de inspección obreros capacitados eliminan los pequeños defectos superficiales por medio de pistolas neumáticas.

66)

Si los lingotes tienen defectos internos son enviados de nuevo al horno de cátodos.

67) PRODUCTO FINAL

El producto final debe alcanzar una pureza de 99.99% para su venta a las industrias del cobre, donde los lingotes se someten a una metalurgia adaptativa para su venta comercial.

68)

LETRERO

F I N .

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Bray, John L., METALES NO FERROSOS, México, John Willey and Sons, 1973.
- 2.- ANUARIO ESTADISTICO DE LA MINERIA MEXICANA, 1968.- 1973.
- 3.- Dana, Edward S. MANUAL DE MINEROLOGIA, Mc. Graw Hill, Co., 1970.
- 4.- Newcomb, Ellsworth. METALES MARAVILLOSOS, Libreros Mexicanos Unidos.
- 5.- Kirk, Raymond E. ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGIA QUIMICA, Mc. Graw Hill, Co.
- 6.- Scott's. STANDARD METHODS OF CHEMICAL ANALYSIS, D. Van Nostrand Co., Inc., Fifth Edition.
- 7.- Kreysing. ESTADISTICA MATEMATICA APLICADA, Limusa Willey, Co., 1974.
- 8.- Hill, Red. METALURGIA FISICA, C.E.C.S.A.
- 9.- Avner. METALURGIA FISICA, Editorial Trillas, S. A.
- 10.- Miller, Erwin, Freud, John E. PROBABILIDAD Y ESTADISTICA PARA INGENIEROS, Editorial Reverté, 1973.
- 11.- Comisión de Fomento Minero. METODOS QUIMICOS PARA EL ANALISIS DE MINERALES, 1968.
- 12.- Comisión de Fomento Minero. COBRE, México, 1970.

REVISTAS Y FOLLETOS

- 13.- Asociación Mexicana del Cobre, A. C. "El Cobre y sus Aleaciones", Milán, Julio, 1975.
- 14.- J. Elistondo Dr., "Las Mermas en la Fundición", Simposio Internacional. Cobre y sus aleaciones., Caracas, 9-10 abril, 1975.
- 15.- Starr, Clive Dr. "Control Práctico de la Porosidad Gaseosa, en Piezas - Moldeadas de Cobre, Bronce y Bronces de Cañón.", Revista Colada, Núm. 3, Vol. 7, 1974.
- 16.- Bates, Ana P., "Técnica de Fusión y Colada de los Cuproaluminios", Revista Colada, Núm. 12, Vol. 6, 1973.
- 17.- Revista de la Cámara Minera de México. "Minería".
- 18.- Metal Statistics. Anuario Estadístico Mundial. EE.UU. 1973.
- 19.- C.I.D.E.C., "El Cobre y sus Aleaciones en la Tecnología".

FUENTES DE INFORMACION

- 1.- COMISION DE RECURSOS MINERALES, Departamento de Estudios Económicos, México, D. F.

- 2.- INSTITUTO MEXICANO DEL COBRE, PLOMO Y ZINC, México, D. F.
- 3.- ANUARIO ESTADISTICO DE LA MINERIA MEXICANA, 1968-1973.
- 4.- SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO, Dirección General de Estadística, México, 1960-1973.

ESTA TESIS SE IMPRIMIO POR COMPUTADORA EN LOS
TALLERES DE TESIS DE GUADALAJARA, S. A.
FRENTE A LA FACULTAD DE MEDICINA
MEDICINA # 25. CIUDAD UNIVERSITARIA.

TELEFONOS: 550-72-57

548-62-15

550-87-43

548-62-29

548-33-44

548-87-46