

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

Boletín 75

ESTUDIOS MINERALOGICOS

POR
RICHARD V. GAINES *1942R*

PARTE 1. MINERALIZACIÓN DE TELURIO EN LA MINA LA MOCTEZUMA, CERCA
DE MOCTEZUMA, SONORA

PARTE 2. MÉTODOS DE LABORATORIO PARA LA SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN
DE MUESTRAS MINERALES

Traducción del inglés al español hecha por César Rincón-Orta



MEXICO, D. F.

1965

210

CLASIF.....
ADQUIS. *F-1-46*
FECHA.....
PROCED.....

CONTENIDO

	<i>Pág.</i>
Parte 1. Mineralización de telurio en la mina La Moctezuma, cerca de Moctezuma, Sonora	1
Parte 2. Métodos de laboratorio para la separación y purificación de muestras minerales	17



MINERALIZACION DE TELURIO EN LA MINA LA MOCTEZUMA, CERCA DE MOCTEZUMA, SONORA.

POR
RICHARD V. GAINES*

Traducción del inglés al español hecha por César Rincón-Orta**

CONTENIDO

	<i>Pág.</i>
Resumen	1
Introducción	2
Localización	2
Topografía y clima	2
Antecedentes históricos	4
Geología general	4
Yacimientos minerales	6
Descripción de las vetas	6
Mineralización	7
Oxidación	14
Clasificación del depósito de La Moctezuma	14
Reconocimientos	15
Obras citadas	15

ILUSTRACIONES

Figura 1. Mapa de localización de la mina La Moctezuma	3
--	---

RESUMEN

La mina La Moctezuma, conocida localmente como "La Bambolla", está situada al suroeste de Moctezuma, Sonora. Se trabajó para su mena de oro con ley suficiente para permitir su embarque, desde 1936 hasta 1945, aunque contenía telurio nativo y otros minerales de telurio que no se consideraron de interés comercial en esa época y no se tiene ningún registro de ellos en la fundición de El Paso, Texas. En años recientes la reexploración de estos depósitos ha demostrado que son más ricos en cantidad y variedad de minerales de telurio que cualquier mina de las que se conocen hasta ahora y ha dado una idea preliminar acerca de la geología general del lugar.

* Investigador Especial, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
** Profesor y Técnico, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Las vetas que contienen telurio y en las cuales el oro es el único constituyente de interés económico, aparte del primero, ocupan series de fracturas subparalelas que atraviesan rocas sedimentarias del Terciario temprano o posiblemente del Cretácico Tardío. Tales rocas sedimentarias probablemente fueron originalmente tobas depositadas en agua y han sido intensamente alteradas hidrotermalmente con la introducción de sílice, menores cantidades de barita y minerales metálicos. Las rocas sedimentarias han sido inclinadas y falladas en gran extensión y tienen buzamientos que van desde la horizontal hasta la vertical, con recostamiento local.

Los minerales metálicos primarios son el oro, el telurio y la pirita, y los minerales de la ganga constan de cuarzo y barita. La oxidación se ha extendido hasta profundidades de por lo menos 80 m, lo que ha dado por resultado la formación de una serie completa de minerales secundarios de telurio, algunos de los cuales son especies mineralógicas nuevas. Esta serie consiste en teluritos y teluratos de hierro, zinc, manganeso, calcio, uranio y plomo. La mena es muy errática en distribución y se presenta en "clavos" de muy poca continuidad, tanto vertical como horizontal, que contienen porcentajes variables de telurio y oro de buena ley. Los "clavos" están separados por bandas de cuarzo de veta de baja ley, con contenidos desde 500 g hasta 2 kg de telurio por tonelada y de unos pocos gramos de oro.

Tomando como base la asociación mineral y la textura de la mena, el depósito se clasifica como epitermal.

INTRODUCCION

LOCALIZACION

La mina La Moctezuma está localizada aproximadamente 12 km al sur del pueblo de Moctezuma, en la parte centroseptentrional de Sonora (véase Fig. 1). Se encuentra en el flanco oriental de la Sierra Blanca, aproximadamente 4 km al poniente del Río Moctezuma, el cual fluye hacia el sur. La elevación de la mina es de unos 900 m sobre el nivel del mar, y aproximadamente 250 m más alta que la del lecho del Río Moctezuma, inmediatamente al oriente.

Se llega a la mina por un camino rústico de 22 km de longitud, que atraviesa una larga extensión de malpais volcánico sobre el lado oriental del río, al cual cruza después y sube a la mina sinuosamente por las faldas de las colinas. Se ha comenzado la construcción de un camino más directo que unirá el pueblo con la mina, eliminando el malpais y cruzando el río en un vado más cómodo.

El pueblo de Moctezuma está comunicado con la ciudad de Hermosillo, al suroeste, a través de una carretera de terracería en buen estado, de 210 km de longitud, y con Agua Prieta en la frontera con Estados Unidos, hacia el norte, pasando por Nacozari, por una carretera de terracería de 175 km de longitud.

TOPOGRAFIA Y CLIMA

El valle del Río Moctezuma, en el cual está situada la mina, yace entre la Sierra Blanca hacia el poniente, y la Sierra de Oposura, al oriente, cuyas alturas máximas son del orden de 2,000 a 2,400 m sobre el nivel del mar. El fondo del valle es una planicie casi plana, cubierta con

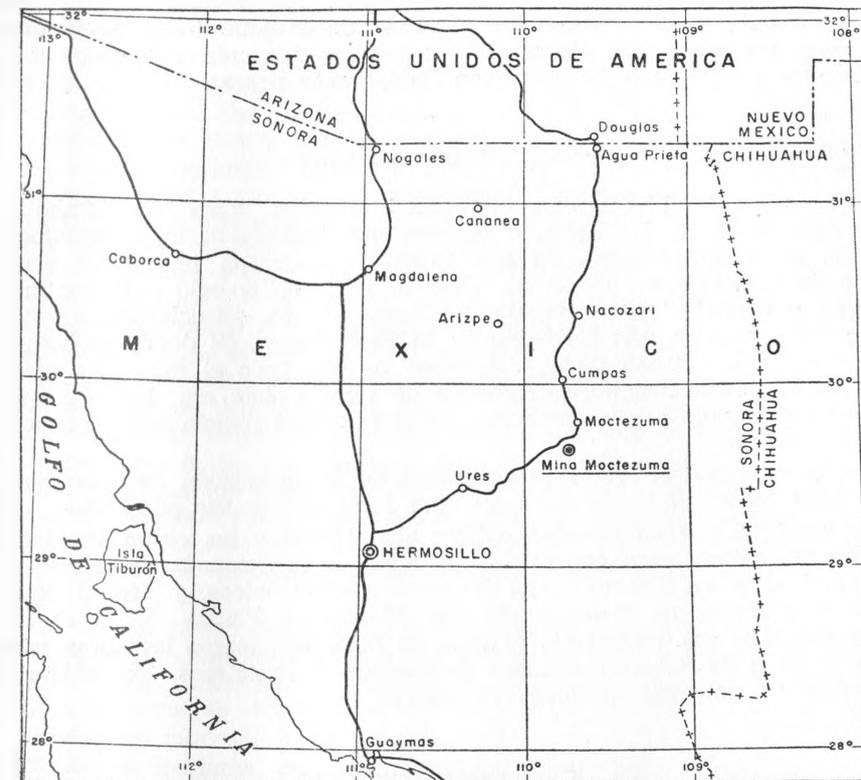


FIGURA 1. Mapa de localización de la mina La Moctezuma.

derrames recientes de lava que constituyen un malpais árido y casi intransitable.

El Río Moctezuma es la única corriente perenne en el distrito. Las planicies que se extienden a ambos lados del río se emplean como tierras de riego. Los flancos de las cordilleras están cortados profundamente por arroyos que llevan agua solamente durante los ocasionales aguaceros en el área y poco después de ellos. El resultado es un terreno accidentado sobre el cual es difícil construir y mantener caminos. El promedio anual de lluvias se ha calculado cercano a los 400 mm, y debido a las altas temperaturas durante el día, particularmente en los meses de abril a octubre, la evaporación es rápida y el clima semiárido. Durante el invierno la temperatura varía desde un mínimo de 0° en la noche, hasta un máximo de 25° durante el día, mientras que en el

verano este intervalo queda entre 30° y 42°, aproximadamente. Durante la temporada de lluvias que se extiende desde julio hasta septiembre, el agua cae en forma de aguaceros torrenciales, mientras que en los meses de diciembre a febrero caen lluvias más ligeras.

ANTECEDENTES HISTORICOS

La mina La Moctezuma, conocida localmente como "La Bambolla", fue descubierta en 1935 por un vaquero que investigaba un afloramiento, cuyas muestras, después de analizadas, demostraron tener alto contenido de oro. Desde 1936 hasta 1945 la mina se trabajó casi continuamente y produjo 2,900 toneladas de mena de oro, seleccionada a mano, que fue enviada a una fundición en El Paso, Texas, en donde se hizo un pago neto de 180,585 dólares. A pesar de que todo el mineral contenía cantidades excepcionalmente grandes de telurio, éste era de poco valor y no fue pagado por la fundición, ni se conservó ningún dato acerca de su contenido.

Se cree que el factor determinante en la suspensión de operaciones en 1945 fue el problema del agua, por falta de bombas adecuadas.

De 1946 a 1960 la mina estuvo abandonada y las obras inundadas. En 1961, coincidiendo con el alza mundial en la demanda de telurio por su aplicación en diseños termoeléctricos y electrónicos, y con el consecuente aumento en el precio, la Cía. Minera La Platina, S. A. se hizo cargo de la mina. Se extrajo el agua, se reacondicionaron las obras mineras y se emprendieron estudios geológicos y muestreos con objeto de ubicar las reservas de mena de telurio.

GEOLOGIA GENERAL

Todas las rocas en los alrededores de la mina La Moctezuma son de origen ígneo, con excepción de un conglomerado superficial poco consolidado, de probable edad pleistocénica. Desde el Río Moctezuma a la cresta de la Sierra Blanca existe una sucesión fallada, plegada e invertida formada de tobas andesíticas, ignimbritas y aglomerados. Esta sucesión puede dividirse en dos grupos, separados por una discordancia angular; el grupo más antiguo se denomina Ignimbrita Moctezuma, y el otro más joven se denomina Toba Andesítica Candelaria. No se les dio nombre a otras unidades de origen semejante, porque debido a lo complejo de su fallamiento y plegamiento en distancias grandes, no pudieron correlacionarse definitivamente con ninguna de las formaciones anteriormente mencionadas.

La edad de estas rocas no ha sido determinada, pero se cree que es del Terciario temprano. Considerando el alto grado de deformación estructural y el hecho de que se han identificado rocas volcánicas del Cre-

tácico Tardío en una área localizada 100 km más al sur, es también posible que puedan correlacionarse con esta sucesión más antigua.

La petrología de estas rocas ha sido estudiada por W. N. McNulty (informe privado) quien determinó que las tobas consisten esencialmente en vidrio volcánico desvitrificado, con fenocristales de plagioclasa cercana a la andesina, de biotita y de hornblenda basáltica, además de minerales accesorios en cantidades menores, consistentes principalmente en ilmenita. Todas estas rocas han sido alteradas extensamente por procesos hidrotermales. La alteración penetra toda la masa rocosa y no está restringida a las áreas cercanas a fallas o vetas. Esta alteración ha ocultado muchas relaciones estructurales y hace difícil una clasificación exacta. Ha producido caolinización de los feldespatos y cloritización y serpentización de las micas y de los minerales ferromagnesianos. También son comunes la calcita secundaria y el cuarzo. Una característica distintiva de la Ignimbrita Moctezuma es la presencia de abundantes esferulitas de unos 5 mm de diámetro, que, según estudios en lámina delgada, consisten en bandas radiales de sanidino rodeadas de cuarzo microcristalino.

Gran parte de la toba presenta poca o ninguna estructura. En algunos de los miembros superiores del grupo más joven, sin embargo, hay una estratificación pronunciada, desde gruesa a delgada, que indica que la toba fue depositada por el agua. Una sección intermedia, que ha sido identificada como ignimbrita traquiandesítica, tiene abundantes vesículas lineales y amígdalas.

En estado fresco estas rocas tienen colores que varían desde crema a gris, y al intemperizarse toman una coloración rosada grisácea a verde grisáceo. Una característica muy notable de las superficies expuestas cerca de la mina, es el halo rojo brillante que se extiende a ambos lados por distancias que van desde unos pocos centímetros hasta 1 m o más a partir de las fracturas, que hace tiempo debieron haber contenido pirita.

Dentro de la limitada zona que ha sido estudiada, no fue posible medir el espesor de la sucesión de tobas, debido a que la base no está expuesta en ninguna parte y el único miembro rocoso sobreyacente, que es un conglomerado poco cementado de probable edad pleistocénica, descansa discordantemente sobre una superficie erosionada en el grupo más antiguo.

En el valle del Río Moctezuma hay un derrame de lava basáltica de origen reciente. Tiene una cima casi plana y cubre una área de por lo menos 10 x 30 km. La presencia de estructuras fluidales bien conservadas en la superficie de la lava sugieren que la edad de esta unidad es menor de 25,000 años.

Toda el área de tobas contiene muchos testigos prominentes de erosión de composición silicosa. Estos testigos son principalmente protuberancias y estructuras en forma de vetas, cuyas dimensiones llegan a varias decenas de metros de diámetro en los montículos o tapones, y a más de 1 km de longitud en las vetas. Constan de cuarzo de grano fino

y casi todos se mezclan gradualmente con la toba que los rodea. La mayoría de los testigos están carentes de mineralización, pero algunos tienen barita asociada y otros están impregnados con piritita de grano fino. Tienen su origen en zonas silicificadas de falla y en tubos de brecha, y están relacionadas indudablemente con el período de mineralización que trajo los metales preciosos y el telurio.

El grupo de tobas más antiguo y el más joven han sido plegados, fallados e inclinados extensamente, aunque con mayor intensidad en el grupo más antiguo. Algunas de estas fallas han producido escarpas y grandes desplazamientos de las capas, mientras que otras se evidencian principalmente a través de la silicificación que se ha producido a lo largo de su extensión. El buzamiento de las formaciones, en general, es menor que 40°, pero en la mina La Moctezuma la unidad tobácea estratificada tiene buzamientos que son casi verticales y en algunos lugares las capas están invertidas.

YACIMIENTOS MINERALES

DESCRIPCION DE LAS VETAS

La mina La Moctezuma está abierta en una serie de vetas subparalelas que se han desarrollado y trabajado por oro, rodeadas de pequeños prospectos o catas de menor importancia. Hay por lo menos 5 vetas en las que se ha encontrado oro y telurio, aunque aproximadamente el 80 por ciento de la producción proviene de una de ellas, conocida con el nombre de La Bambolla, y el 20 por ciento restante sale de otra, conocida con el nombre de Descubrimiento.

Estas vetas están orientadas en la dirección noroeste y tienden a convergir en esa dirección. La veta La Bambolla puede identificarse en un trayecto mayor de 600 m, a pesar de que no aflora en gran parte de esta distancia y se conoce solamente a través de excavaciones. Se dirige aproximadamente al N 50° W y buza casi verticalmente en la mayoría de los lugares, pero varía desde 70° SW en el extremo oriental, hasta 80° NE en el extremo occidental. Su espesor alcanza un máximo de 2.5 m de cuarzo y tiene un promedio aproximado de 1 m.

El rumbo de la veta Descubrimiento es N 70° W y gira hacia N 90° W en el afloramiento oriental. Buza aproximadamente 85° NE y el espesor de su cuarzo tiene un promedio de 1 m. Puede seguirse en un trayecto de 400 m. Su proyección debería interceptar la veta La Bambolla, pero parece extinguirse precisamente al oriente del punto de intersección.

Hay otras 4 vetas cercanas y casi paralelas a la veta Descubrimiento, de las cuales 3 están al norte y 1 está al sur. Son casi continuas, aunque en muchos lugares constan de zonas de fracturas dentro de la toba, con mineralización de segunda importancia y muy poco cuarzo, más bien que

de vetas formales de cuarzo. Todas las vetas se adelgazan y ensanchan y muestran considerable evidencia de fallamiento, con salbandas, relices planchados y huellas de movimientos tanto preminerales como posminerales.

La roca encajonante está intensamente alterada y caolinizada y esto, junto con las fracturas ocasionadas por el fallamiento posmineral, ha producido respaldos débiles que tienden a derrumbarse en las obras mineras, a menos que se protejan con ademe.

MINERALIZACION

El relleno de veta en La Bambolla y en otras vetas, generalmente es de cuarzo criptocristalino blanco con numerosas oquedades pequeñas e irregulares rellenas con pequeños cristales de cuarzo. La barita se presenta casi universalmente en las zonas mineralizadas y es considerada por los mineros locales como útil indicador de valores altos de oro. En algunos lugares la barita sigue las vetas de cuarzo, presentándose en vetillas de unos cuantos centímetros de espesor, ya sea en el alto o en el bajo, y en otros lugares se encuentra en forma de cristales en las oquedades en el cuarzo. La mineralización primaria, consistente en telurio, piritita y oro, tapiza las paredes de las fracturas y de las oquedades en el cuarzo, y también se presenta en la roca encajonante alterada, reemplazándola y relleno los intersticios. La presencia de acumulaciones de mineral con posible valor comercial es extremadamente irregular y queda restringida a clavos de continuidad vertical más bien que horizontal. Se sabe que hay mineral en el fondo de un pozo a aproximadamente 70 m bajo la superficie, pero no ha sido determinada la profundidad a la cual puede continuar abajo de este punto.

Una característica singular de la mina La Moctezuma, que la distingue de cualquiera otra mina conocida y que merece describirse, es su alto contenido de telurio. Aunque se sabe que el telurio se presenta en muchas minas de metales preciosos en todo el mundo, su contenido es muy bajo, manteniéndose generalmente abajo de la cantidad teóricamente necesaria para combinarse con el oro y la plata presentes. En términos de su abundancia relativa en la corteza terrestre, el telurio es uno de los elementos más raros, teniendo una concentración menor de 0.002 partes por millón, o sea mucho menor que el berilio, el germanio o el oro, por ejemplo. Parece presentarse universalmente en huellas en los depósitos cupríferos, y toda vez que tiende a concentrarse con el cobre en los procesos de beneficio y de fundición, se recupera en la refinación de este metal, a pesar de que su contenido inicial en la mena probablemente no pasó de 0.2 a 0.5 g por tonelada.

En la mina La Moctezuma el contenido de telurio en las menas consideradas como económicamente costeables varía de 1 a 2 kg por tonelada, valor que es quizás 500 veces mayor que el requerido teóricamente para combinarse con el oro presente. Es probable que el contenido de te-

lurio en el mineral que se embarcó desde 1937 a 1945 fue por lo menos de 10 a 20 kg por tonelada. Se sabe que fueron encontradas masas individuales de mineral de alta ley con peso aproximado de 100 kg y con un contenido mayor de 50 por ciento de telurio. Hasta donde el autor sabe, ninguna otra mina en parte alguna ha tenido cantidades semejantes de mineral de telurio de tan alta ley.

La mineralización primaria del telurio es sencilla y consta principalmente de un solo mineral o sea, el telurio nativo. Por otra parte, los minerales secundarios derivados de la oxidación del telurio constituyen una colección de minerales de telurio que no se ha conocido en ninguna otra mina, incluyendo por lo menos 9 minerales que por vez primera fueron observados allí, 8 de los cuales no se sabe que existan en ninguna otra parte del mundo.

La siguiente lista presenta los minerales de telurio procedentes de esta mina que han sido identificados hasta ahora. Los que están marcados con asterisco fueron descubiertos por primera vez en ella.

Telurio
Tetradimita
Telurita
Paratelurita (*)
Emmonsita
Spiroffita (*)
Denningita (*)
Moctezumita (*)
Blakeita
Telurito o telurato hidratado de fierro (*)
Telurito o telurato de uranio (*)
Telurito de zinc y fierro (*)
Telurito de calcio (*)
Telurito coloidal de fierro (*)
4 nuevos compuestos de telurio no identificados, presentes en cantidades muy pequeñas.

La moctezumita, el telurito o telurato hidratado de fierro y el telurito o telurato de uranio son especies mineralógicas nuevas que han sido investigadas en este Instituto de Geología. Sus descripciones se publicarán en breve. El telurito de zinc y fierro, el telurito de calcio y el telurito coloidal de fierro son minerales nuevos a los que hasta ahora no se les ha dado nombre y que se están investigando en el Royal Ontario Museum de Canadá.

A continuación se da una breve descripción de cada uno de los minerales de la mena y de la ganga encontrados en la mina La Moctezuma.

ORO. El oro ha sido identificado en muestras de mano, en pequeños granos de tamaño menor de 0.1 mm, en la zona transicional de oxidación en derredor de las masas de telurio nativo. Esta zona transicional

consiste en un anillo negro, generalmente de 5 a 10 mm de espesor, que rodea al telurio y está formado por una mezcla de telurio con paratelurita y menores cantidades de cuarzo intersticial. No se sabe si el oro es primario o si se ha derivado de la oxidación de un telurio de oro preexistente, hasta ahora no observado. Puede ser significativo el hecho de que el oro no se ha observado dentro del telurio nativo fresco, no oxidado.

TELURIO. El telurio se encuentra en masas algunas veces de varios kilogramos de peso, en material de veta silicificada y alterada, y como gruesas costras tapizando cavidades en las vetas de cuarzo microcristalino. Todos los ejemplares encontrados hasta ahora muestran un halo negro de oxidación, consistente en paratelurita, indicando que los trabajos más profundos de la mina están todavía dentro de la zona de oxidación. El telurio tiene invariablemente un aspecto jaspeado, debido a la presencia de pequeños granos de cuarzo casi equidimensionales, profusamente diseminados en él y que constituyen de 20 a 30 por ciento de la masa. En los lugares en donde la oxidación ha eliminado por lixiviado al telurio, se ve que el cuarzo residual consta de una malla poco consistente y quebradiza de cristales euédricos de cuarzo de unos 0.2 a 0.4 mm de longitud. Esto sugiere que el depósito de este cuarzo precedió inmediatamente al depósito del telurio.

El análisis de un ejemplar típico de telurio nativo dio 56.3 por ciento de TeO_2 , 31 por ciento de Te y 9.9 por ciento de SiO_2 . Esto equivale a 76 por ciento de telurio total en la muestra. También se detectó, por medio de análisis espectrográficos semicuantitativos, de 0.1 a 1.0 por ciento de selenio, de fierro, de plomo y de aluminio. Se reconocieron asimismo trazas de los elementos calcio, cobre, zinc, berilio, magnesio, oro y plata. La presencia de plomo en el intervalo de 0.1 a 1.0 por ciento es interesante. Posiblemente esté presente como altaíta, en pequeños granos diseminados en el telurio. Un mineral de este aspecto puede verse en superficies pulidas del telurio. Es isótropo y del color propio de la altaíta, aunque los granos son demasiado pequeños como para permitir una identificación positiva. La presencia del plomo en el telurio nativo puede ser responsable de la moctezumita, de la anglesita y de un mineral de plomo rojo desconocido, observados en la zona oxidada.

SELENIO. El selenio se encuentra en forma de manchas de color rojo vivo diseminado en el cuarzo criptocristalino. Es poco abundante, habiéndose encontrado principalmente en la mena procedente del tercer nivel de la veta principal.

TETRADIMITA. En las superficies pulidas del telurio nativo se observaron varios granos de tetradimita. La identificación se hizo por medio de pruebas de ataque químico, de análisis microquímico y de fotografía de polvos con rayos X. Este es el único mineral primario de telurio, además del telurio nativo, que se ha identificado positivamente en la mena.

PIRITA. La pirita es el mineral sulfurado más abundante. Está diseminada en la roca encajonante alterada y se presenta en forma de cristales que tapizan las paredes de algunas cavidades en el cuarzo de veta.

Puede también encontrarse diseminada en forma de pequeños cristales en el cuarzo de veta. Espacialmente, al menos, la pirita no parece estar relacionada con el telurio, ya que no se ha observado dentro del telurio nativo ni en contacto con él, ni siquiera cercana a él.

Una característica peculiar de la pirita de La Moctezuma es su hábito cristalino poco común que consiste en una combinación de piritoedro y octaedro, aproximadamente con igual desarrollo, que le da una extraña combinación de caras triangulares, cuyos ejemplos se ilustran en cualquier libro de texto de mineralogía. La razón de este hábito predominante no se conoce.

CINABRIO. Al separar los constituyentes pesados de algunas menas de La Moctezuma, en las que se concentraba moctezumita para su análisis químico, se recuperaron numerosos granos de cinabrio. La cantidad presente de este mineral es muy pequeña y el cinabrio no ha sido observado en muestras de mano.

KLOCKMANNITA. Un mineral gris a negro que acompaña a la calcomenita en algunas muestras de mano se ha identificado tentativamente como klockmannita, un seleniuro de cobre.

ANGLESITA. La anglesita se encontró en 2 muestras de mano englobando emmonsita, en forma de cristales bien formados de más de 3 cm de sección. Estos cristales están huecos invariablemente y constituyen apenas una delgada cáscara.

WULFENITA. La wulfenita se encuentra en un terrero derivado de un tiro poco profundo situado 200 m al oriente del tiro principal de La Moctezuma. Forma pequeños cristales prismáticos piramidales, casi aciculares, con longitud máxima hasta de 5 mm, que tapizan roca manchada de limonita y están acompañados localmente por un poco de emmonsita. El color es generalmente café oscuro, pero se encuentran algunos cristales de color crema pálido.

CALCOMENITA. La calcomenita se encontró como un recubrimiento de color azul brillante en rocas caolinizadas y fuertemente alteradas en el terrero de La Moctezuma. Se encontraron alrededor de 10 ejemplares.

MALAQUITA. La malaquita se encuentra en forma de costras verdes en rocas del terrero de la mina La Oriental, a unos 350 m al oriente del tiro principal de La Moctezuma. La acompañan delgadas cubiertas botrioidales de un telurito de cobre verde no identificado.

AZURITA. La azurita es un mineral bastante abundante en el terrero de La Oriental. Se presenta rellenando fracturas y en pequeños manchones irregulares.

LIMONITA. Los óxidos hidratados de hierro, identificados tentativamente como limonita, abundan en los terreros de La Moctezuma y en las obras mineras adyacentes. Lo más frecuente es encontrarlos rellenando las fracturas en la roca, y formando delgadas capas en las paredes de éstas. También reemplaza pseudomórficamente cristales de pirita y puede encontrarse reemplazando asimismo a muchos de los minerales de telu-

rio, aunque este reemplazamiento no sea completo. Entre los minerales cuyo reemplazamiento se ha observado, se encuentran la emmonsita y la moctezumita.

PIROLUSITA. En los trabajos mineros de La Moctezuma y en los terreros de los alrededores, frecuentemente se ha encontrado óxido de manganoso, identificado tentativamente como pirolusita. Se halla impregnando densamente algunas menas silicosas del cuarto nivel y los mineros dicen que tales menas generalmente tuvieron alta ley de oro. En la mina La Oriental suele presentarse en los terreros y ha sido reconocida como acompañando valores altos de plata.

PARATELURITA. La paratelerita, o sea la polimorfa tetragonal de bióxido de telurio, parece ser el primer producto de la oxidación del telurio. Las masas de telurio nativo se encuentran invariablemente rodeadas por una costra negra formada de paratelerita, coloreada por telurio finamente dividido. Las paredes de las fracturas en el telurio nativo frecuentemente están recubiertas por capas cristalizadas transparentes de paratelerita de color paja pálido. También se ha observado a este mineral reemplazando pseudomórficamente telurita bien cristalizada, dándole una apariencia blanca opaca en una aparente regresión de la secuencia normal de formación. La descripción original de la paratelerita (Switzer y Swanson, 1960), asevera que el material estudiado procedió de las cercanías de Cananea, pero las investigaciones subsiguientes han demostrado inquestionablemente que este material procedió de la mina La Moctezuma.

TELURITA. La telurita es el producto de oxidación del telurio que ocupa el segundo lugar en abundancia en la mina La Moctezuma. Forma grupos radiales o paralelos de cristales aciculares bien formados, rellenando fracturas en la mena y presentándose en cavidades. Los mejores ejemplares de mano tienen cristales de 2.5 cm de longitud de un color anaranjado brillante y son bastante espectaculares. La telurita está asociada con todos los demás minerales de telurio, pero no se encuentra en contacto directo con el telurio nativo.

EMMONSITA. La emmonsita es el más abundante producto de oxidación del telurio en la mina La Moctezuma. Generalmente cubre las paredes de fracturas y de otras aberturas en el tipo de mineral que se encuentra en la roca alterada de los respaldos, pero es menos abundante en las cavidades del cuarzo de veta. El color varía de verde amarillento brillante a verde olivo muy oscuro. Frecuentemente forma mallas de cristales aciculares curvos o pequeñas masas botrioidales, pero casi nunca se hallan cristales rectos de aristas agudas y con caras brillantes. Esto parece ser una característica del mineral procedente de todas las localidades, y es probable que la preponderancia de cristales curvos explica el hecho de que el grupo espacial y las dimensiones de la celda de este mineral nunca hayan sido determinados. Se espera que con algunos cristales pequeños aparentemente no curvos, colectados en la mina La Moctezuma, este problema mineralógico podrá ser resuelto.

BLAKEITA. En algunos lugares de la mina La Moctezuma se han encontrado unos pequeños cristales transparentes de color café rojizo recubriendo al cuarzo, que han sido identificados tentativamente como blakeíta. Son isométricos e invariablemente forman una combinación sencilla de cubo y octaedro.

SPIROFFITA. La spiroffita (Mandarino *et al.*, 1962), un telurito de manganeso y zinc, se presenta como un relleno de oquedades de color rojo púrpura y en forma de cristales toscos en las cavidades del cuarzo de veta. Generalmente está asociada con denningita, telurita, y telurito de zinc y fierro.

DENNINGITA. La denningita (Mandarino *et al.*, 1963) es un pirotelurito de manganeso, calcio y zinc. Se encuentra rellenando oquedades y como cristales tabulares en la misma asociación que la spiroffita. Su color más común es verde manzana pálido, pero suele variar desde casi incoloro a café verdoso y café oscuro.

MOCTEZUMITA. La moctezumita es un telurito de plomo y uranio. Se presenta en pequeños cristales con forma de tabletas, de una longitud máxima aproximada de 4 mm. Se encuentra ampliamente esparcida en la mena, tanto en el cuarzo de veta como en la roca encajonante alterada, siempre como cristales cubriendo paredes de fracturas. Se le ve generalmente como rosetas de cristales en posición radial a partir de un centro hueco. Se cree que este hábito se debe al depósito de moctezumita alrededor de cristales preexistentes de uraninita, que simultáneamente se fueron perdiendo por disolución. Hasta la fecha no se ha observado uraninita en la mina, aunque la mena es generalmente radiactiva. El color de la moctezumita fresca e inalterada es anaranjado brillante, o sea menos transparente y algo más oscuro que el de la telurita. Los primeros cristales que se observaron se tomaron equivocadamente como telurita. Los minerales asociados más comunes son: emmonsita, barita, telurito de zinc y fierro, telurito de uranio y un mineral de plomo de color rojo purpúreo, no identificado, que se encuentra ampliamente distribuido en forma de pequeños granos.

TELURITO o TELURATO HIDRATADO DE FIERRO. Asociado con la emmonsita se ha encontrado un nuevo mineral de telurito o telurato hidratado de fierro que forma cristales monoclinicos de aristas agudas. Hasta la fecha sólo se han encontrado 4 ejemplares de este mineral.

TELURITO o TELURATO DE URANIO. Un nuevo mineral de telurito de uranio se encuentra formando rosetas de hojuelas micáceas, cuyo color es paja pálido. Está bastante ampliamente distribuido en la mina y generalmente se halla asociado con emmonsita o moctezumita.

TELURITO DE ZINC Y FIERRO. Este mineral, aún innominado, se está estudiando en el Royal Ontario Museum de Toronto, Canadá. Se encuentra bastante ampliamente distribuido en la mena en forma de cristales hexagonales de aristas agudas, de color café oscuro, cuyo hábito

varía de acicular piramidal a tabular pinacoidal. Es más común en la zona de cuarzo de veta, pero puede encontrarse asociado con cualquiera de los otros minerales de telurio.

TELURITO DE CALCIO. Este mineral se ha notado y se está estudiando en el Royal Ontario Museum, en Canadá, aunque el presente autor no lo ha reconocido en ningún ejemplar de la mina.

TELURITO COLOIDAL DE FIERRO. Este es otro mineral que está siendo estudiado en el Royal Ontario Museum. Se considera que está bastante ampliamente distribuido en la mena, pero debido a su naturaleza coloidal y a su aspecto similar a la limonita, es difícil estar seguro de su identificación megascópica. Típicamente forma costras lustrosas botrioidales traslúcidas de color café oscuro, recubriendo las paredes de las fracturas en el tipo de mineral que se encuentra en la roca encajonante alterada.

YESO. En las fracturas de las menas de la roca encajonante alterada, se encuentran frecuentemente rosetas y escamas de yeso.

BARITA. La barita es uno de los minerales de ganga más ampliamente distribuidos en la mena. Se encuentra en fracturas y oquedades en el cuarzo de veta, como cristales incoloros de aristas agudas que generalmente parecen ser de formación anterior a los minerales de telurio secundarios asociados. También se encuentra formando vetillas de unos 10 cm de espesor que van paralelas a la veta, intercalándose con ella a lo largo de una pared u otra. Con la barita puede estar asociado algo de telurio nativo. Generalmente es incoloro, pero en algunos lugares tiene un vivo color anaranjado.

FLUORITA. La fluorita, generalmente incolora o verde, se ha encontrado en pequeñas cantidades en algunos lugares de la mina, rellenando grietas en el cuarzo de veta y en la roca encajonante alterada.

CAOLIN. El caolín es abundante en la mina; se deriva de la alteración intensa de la roca encajonante. Penetra a través de ésta y del mineral de este tipo y se encuentra llenando algunas de las oquedades y grietas en el cuarzo de veta.

CUARZO. La introducción de sílice fue seguramente una etapa importante en la formación de las vetas minerales, pero precedió a la introducción del telurio. La principal veta de cuarzo está compuesta de cuarzo microcristalino con muchas pequeñas oquedades cuyas paredes están tapizadas con cristalitos de cuarzo. También formó agregados poco compactos de minúsculos cristales de cuarzo, ya mencionados, cuyos intersticios sirvieron de receptáculos para el depósito de una buena parte del telurio nativo.

Después del depósito del cuarzo de veta, gran parte de éste fue fragmentado y los fragmentos de la brecha fueron cementados nueva y parcialmente con caolín, barita y minerales secundarios de telurio.

OXIDACION

En la mina no se han observado muestras de mineral completamente libres de los productos de oxidación del telurio. La paratellurita y la emmonsita se han encontrado en materiales procedentes del cuarto nivel, 84 m debajo de la superficie. En el tercer nivel es común la emmonsita, y en una zona la moctezumita es también bastante común. El nivel freático del agua se localiza a 60 m de profundidad, justamente arriba del tercer nivel, pero es probable que durante algún tiempo anterior el nivel del agua haya sido más profundo, permitiendo que se extendiera la oxidación por debajo de las obras actuales más profundas. Puesto que los minerales de zinc, plomo y uranio son bastante comunes en la mina, sería razonable esperar que la altaíta o la galena, la esfalerita y la uraninita estuvieran presentes en la zona de mineral primario. La posible presencia de altaíta se mencionó en la discusión del telurio nativo. La esfalerita pudo haber pasado desapercibida, ya que en superficies pulidas se confunde fácilmente con la paratellurita, siendo casi indistinguibles entre sí. También se ha determinado espectrográficamente la presencia de arsénico y antimonio en cantidades que se aproximan al 1 por ciento, y también debe esperarse la presencia de minerales de estos metales.

CLASIFICACION DEL DEPOSITO DE LA MOCTEZUMA

La naturaleza microcristalina y porosa del cuarzo, la presencia de tapices de cuarzo y la costrificación del depósito mineral primario, señalan que la clasificación adecuada para este yacimiento es la de epitermal. El hecho de que el único mineral primario de telurio es el telurio nativo puede ser también significativo. La mayoría de los yacimientos de telurio en todo el mundo son mesotermiales o hipotermiales, como por ejemplo los de Kalgoorlie en Australia y los auríferos profundos del Estado Canadiense. En estos yacimientos no se encuentra el telurio nativo y este elemento se presenta combinado en compuestos con plomo, mercurio, níquel, oro, plata y aun fierro. Evidentemente la temperatura de formación de tales minerales es superior a la formación del yacimiento de La Moctezuma, en donde se encuentra plomo, mercurio, oro, plata y fierro, pero en donde no se han encontrado compuestos primarios de estos elementos con telurio.

El depósito de La Moctezuma es singular en otro aspecto, que es el de que la relación de oro a plata es anormalmente alta, pues cuantitativamente hay como 3 veces más oro que plata. Por el contrario, otras obras de exploración por telurio en el área, aun tan cercanas como la de La Oriental, presentan una alta relación de plata a oro, que es la situación más normal.

RECONOCIMIENTOS

Estoy agradecido a la Compañía Minera La Platina, S. A., por permitirme publicar este informe acerca de la mina La Moctezuma, y al Dr. W. N. McAnulty y a W. M. Davis, quienes cartografiaron gran parte de la geología local y tuvieron a su cargo los estudios estratigráficos. El Dr. McAnulty sugirió las designaciones de Ignimbrita Moctezuma y de Toba Andesítica Candelaria, y facilitó los resultados de los estudios petrográficos y de algunos análisis de laboratorio utilizados en este informe. Estoy agradecido asimismo al Dr. Carl Fries, Jr., por haber revisado el manuscrito desde el punto de vista editorial, así como a la Sra. Rebeca M. de Schmitter y a la Srta. Josefina Valencia por su ayuda en la redacción definitiva. Finalmente expreso mis reconocimientos al Ing. G. P. Salas por su apoyo en la realización de este trabajo.

OBRAS CITADAS

- MANDARINO, J. A. y S. J. WILLIAMS, 1962, *Tellurium minerals from Moctezuma, Sonora, México* (resumen): Geol. Soc. América, Spec. Paper 68, p. 223.
 MANDARINO, J. A., S. J. WILLIAMS y R. S. MITCHELL, 1962, *Spiroffite, a new tellurite mineral from México* (resumen): Am. Mineralogist, v. 47, p. 196.
 ———, 1963, *Denningite, a new tellurite mineral from Moctezuma, Sonora, México*: Canadian Mineralogist, v. 7, pte. 3, p. 443-452.
 SWITZER, GEORGE y H. E. SWANSON, 1960, *Paratellurite, a new mineral from México*: Am. Mineralogist, v. 45; p. 1272-1274.

MÉTODOS DE LABORATORIO PARA LA SEPARACION Y PURIFICACION DE MUESTRAS MINERALES

POR

RICHARD V. GAINES *

Traducción del inglés al español hecha por César Rincón-Orta**

CONTENIDO

	Pág.
Resumen	18
Introducción	18
Métodos gravimétricos	19
Líquidos densos	20
Bromoformo y tetrabromuro de acetileno	20
Yoduro de metileno	21
Solución de Clerici	22
Elutriadores	24
Mesa Wilfley y otras mesas vibratorias	25
Separación magnética	26
Imán de mano	26
Electroimanes	27
Métodos químicos	28
Flotación	28
Métodos electrostáticos	30
Esquema de tratamiento	31
Selección a mano	32
Ejemplos específicos	33
Problema A	33
Problema B	34
Problema C	35
Reconocimientos	35
Obras de consulta recomendadas	35



ILUSTRACIONES

Tabla 1. Características de los minerales que pueden usarse para separarlos ...	32
---	----

* Investigador Especial, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

** Profesor y Técnico, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

Los métodos de laboratorio para separar, a partir de mezclas, componentes mineralógicos puros, para análisis químicos o para otras investigaciones, son los gravimétricos, los magnéticos, los químicos, los de flotación, los electrostáticos y la selección a mano.

Los métodos gravimétricos incluyen el uso de líquidos densos, elutriadores y dispositivos mecánicos, tales como mesas vibratorias y bateas. Los métodos magnéticos incluyen el uso de imanes de mano y aparatos electromagnéticos más poderosos y versátiles, tales como el Separador Isodinámico Frantz. Con los tratamientos químicos se eliminan los componentes indeseables por lixiviación. La flotación y los métodos electrostáticos, aun cuando comparativamente de poco uso en los laboratorios mineralógicos, tienen posibilidades importantes. Para el tratamiento final, la selección a mano bajo el microscopio es una operación que se necesita casi siempre para alcanzar la pureza deseada.

El criterio en el que se basa la selección de los métodos de separación en los minerales, depende de las propiedades del mineral que se va a separar en comparación con las de los otros que están en la mezcla y también de las cantidades relativas en que se presenta cada uno de ellos. Para ilustrar la forma en que se aplica tal criterio, se dan ejemplos que muestran la secuencia del procedimiento seguido para varias mezclas típicas de minerales.

INTRODUCCION

Durante el curso de las investigaciones mineralógicas, frecuentemente se hace necesario preparar muestras de minerales puros, ya sea para análisis químicos, para determinación de propiedades físicas, para determinaciones de edades isotópicas o para varios otros propósitos, para los cuales se requieren datos de alta precisión.

El equipo y técnica de que se dispone en los laboratorios modernos para lograr tales separaciones son variados y permiten la concentración de fracciones puras de casi cualquier mineral que pudiera imaginarse, en relación con los requerimientos de los métodos modernos de investigación. El principal objeto del presente artículo es dar una breve descripción de esas técnicas y hacer una discusión un poco más detallada de tres de ellas, en las cuales el autor ha tenido particular experiencia.

Si los granos minerales son grandes y puros, generalmente basta seleccionar a mano los fragmentos triturados para obtener el material adecuado para cualquier propósito. Es mucho más común el caso en que el material que se busca está presente en granos de tamaño microscópico, asociado o en íntimo intercrecimiento con otros minerales, y usualmente en cantidades muy pequeñas. Frecuentemente la operación consiste en la separación, a partir de una roca o de una arena, de un constituyente que forma no más del 0.01 por ciento del material que lo contiene, y a veces menos.

Aun bajo las circunstancias más favorables, una separación de este tipo es tarea que lleva tiempo e incluye la utilización sucesiva de varios procedimientos diferentes.

Cada material por estudiarse presenta un problema distinto y los métodos a seguir deben escogerse con cuidado, basándose en el conocimiento previo de las características físicas aproximadas del mineral, en contraste con las de los minerales asociados. El orden en el cual deben aplicarse los diferentes métodos también es importante e incluye consideraciones independientemente de los principios físicos involucrados. Tales consideraciones son: costo y cantidad disponible de los líquidos al usarse, las posibles pérdidas de tales líquidos y la velocidad con la cual cada aparato efectúa el trabajo sobre una cantidad dada de material.

Casi todos los procesos de separación dan mejores resultados con materiales que han sido cuidadosamente clasificados por tamaños, y algunos otros procesos, tales como el uso de los elutriadores, no se pueden llevar a cabo con materiales no clasificados. Por esta razón es de fundamental importancia que todo laboratorio bien equipado cuente con un juego de tamices graduados y, si es posible, con un aparato mecánico para agitarlos, de tal manera que las muestras grandes de material molido puedan clasificarse rápida y eficientemente por tamaños.

Los principales métodos usados para efectuar una separación se enumeran a continuación, en el orden aproximado de su importancia y de la frecuencia con que se utilizan:

I. Métodos gravimétricos.

A. Líquidos densos.

- (1) Bromoformo y tetrabromuro de acetileno.
- (2) Yoduro de metileno.
- (3) Solución de Clerici.

B. Elutriadores.

C. Mesas Wilfley y otras mesas vibratorias.

II. Separación magnética.

A. Imán de mano.

B. Electroimanes, tales como el Separador Isodinámico Frantz y el Separador Carpcó.

III. Métodos químicos.

IV. Flotación.

V. Métodos electrostáticos.

VI. Selección a mano.

METODOS GRAVIMETRICOS

La utilidad de los métodos gravimétricos se basa en los amplios límites de pesos específicos entre los minerales, los cuales se extienden desde aproximadamente 1.5 hasta más de 21.0, o bien desde aproximada-

mente 2.5 hasta 6, en los conjuntos de minerales encontrados con más frecuencia. Los conjuntos de minerales son, por lo general, bastante simples. Se considera que un conjunto que contenga 10 especies mineralógicas diferentes en cantidades apreciables, es anormalmente complejo. Debido a que los minerales que se desean concentrar constituyen casi siempre una parte minoritaria del total de la muestra, el procedimiento usual consiste primero en seleccionar un método tal, que en un solo paso efectúe una concentración que reduzca el volumen total de la muestra hasta un 10 por ciento, más o menos, de su volumen original. Subsecuentemente se utilizan métodos más refinados, en los cuales la tendencia es separar una fracción de minerales cuyos pesos específicos fluctúen poco alrededor del peso específico del mineral que se desea purificar.

LIQUIDOS DENSOS

Las separaciones de minerales hechas con líquidos densos tienen la ventaja de ser separaciones absolutas, es decir, si un líquido tiene una densidad de X, el concentrado no contendrá partículas más ligeras que X (suponiendo que el mineral deseado se concentre en la fracción pesada) y el desecho no contendrá partículas más pesadas que X. El método tiene la desventaja de que el líquido más pesado disponible (aparte del mercurio y de algunos otros metales y aleaciones líquidas) tiene una densidad de 4.90 y, por lo tanto, los minerales más densos que pueden flotar serán los que tengan un peso específico ligeramente menor que esta cifra.

Los metales líquidos no se usan debido a que la mayoría de ellos tienen una densidad considerablemente más alta que la de los minerales que se separan con más frecuencia y además, porque no hay forma de diluirlos con otros líquidos para conseguir diferentes gravedades específicas (el mercurio y el galio, por ejemplo, son inmiscibles), y finalmente porque tienen tensiones superficiales tan altas, que las partículas minerales de mayor peso específico no se sumergen con facilidad en ellos.

Bromoformo y tetrabromuro de acetileno.—Los líquidos densos de uso más común son el bromoformo y el tetrabromuro de acetileno, cuyas densidades son 2.89 y 2.96, respectivamente, y que permiten la flotación de cuarzo, calcita, feldespatos y de algunas de las micas. Ya que estos minerales forman parte de los constituyentes más comunes de las rocas, con tales líquidos se logra la concentración de biotita, de anfíbolos, de granates, de piroxenas y del variado grupo de minerales accesorios pesados, tales como el zircón y los sulfuros. Estos líquidos tienen la ventaja de ser relativamente baratos y fáciles de obtener; además, diluyéndolos con acetona se pueden obtener mezclas cuya densidad puede reducirse hasta obtener cualquier valor deseado.

El procedimiento consiste en triturar y moler la muestra, y luego separarla y clasificarla por tamaños. La fracción más gruesa que puede separarse por medio de los líquidos densos es aquella cuyas partículas más

grandes pasan fácilmente a través del orificio de la llave de vidrio del embudo de separación. Cuando es posible, se aconseja lavar la muestra en agua y secarla antes de efectuar la separación, con objeto de quitar cualquier polvillo que pudiera adherirse a las partículas mayores.

El tamaño hasta el cual se debe llevar la reducción de la muestra queda determinado fundamentalmente por el tamaño del grano del mineral que se desea purificar, de manera que la mayoría de los granos de este mineral en la muestra preparada queden convenientemente liberados.

No es aconsejable llevar la reducción del material más allá de este límite, porque una molienda excesiva produce pérdidas, particularmente cuando el mineral que se desea purificar es blando o quebradizo.

Los líquidos densos deben ponerse primero en el embudo de separación, y después se va agregando poco a poco el material que va a separarse, agitando frecuentemente sobre el líquido para evitar la formación de grumos que podrían hundirse sin haberse separado completamente. Generalmente, con materiales más gruesos de 100 mallas, la separación queda completa agitando y dejando asentar alternativamente durante 5 minutos o menos; pero los materiales más finos suelen tomar mucho mayor tiempo. En algunos casos resulta conveniente utilizar una centrifuga.

La parte pesada se saca del embudo por medio de una filtración y el filtrado se regresa al frasco que contiene al líquido denso. Una vez que la fracción pesada está en el papel filtro, se lava 4 ó 5 veces con acetona y se deja secar. El residuo de tales lavados se conserva en un frasco apropiado para someterlo posteriormente a una destilación fraccionada que permita la recuperación del líquido pesado que contiene. La fracción ligera se recupera de manera similar, es decir, se filtra y se lava. Con un trabajo cuidadoso, la cantidad de líquido denso que se pierde en una operación no excede al 10 por ciento, y la mayor parte de esta pérdida se recupera posteriormente del residuo de los lavados.

Yoduro de metileno.—La manera de usar el yoduro de metileno, cuya densidad es de 3.33, es exactamente igual a la del bromoformo o a la del bromuro de acetileno, con la excepción de que el yoduro, por ser mucho más costoso que cualquiera de los otros dos líquidos antes citados, debe usarse con cuidado para reducir al mínimo las pérdidas de operación. Estas pérdidas son directamente proporcionales al volumen de material que va a separarse, por lo que se debe procurar reducir este volumen tanto como sea posible, utilizando primero líquidos densos más económicos para eliminar al cuarzo y a los demás minerales ligeros susceptibles de separarse en esta forma. Frecuentemente esto da por resultado una reducción de volumen de 80 a 90 por ciento antes de utilizar el yoduro de metileno.

El yoduro de metileno es completamente miscible en los dos líquidos anteriores, lo que permite la obtención de mezclas de la densidad que se desee, dentro de los límites de 2.96 a 3.33, diluyendo al primero con cualquiera de los otros 2, en la proporción correcta.

El yoduro de metileno tiene la propiedad de que cuando permanece expuesto a la luz, parte de su contenido de yodo se reduce a yodo elemental y el líquido se oscurece o se torna negro. Para evitar esto, debe ponerse en frascos oscuros y guardarse en una gaveta o en cualquier otro lugar que esté al abrigo de la luz. La operación de separar minerales debe efectuarse tan rápidamente como sea posible, para evitar que el yoduro se exponga a la luz más tiempo del debido. Si a pesar de estas precauciones el líquido se oscurece, puede clarificarse un poco poniendo dentro del frasco granalla de estaño metálico que se combina con el yodo a medida que éste se va formando.

Solución de Clerici.—La solución de Clerici es una solución acuosa de la mezcla de formato y malonato de talio, en proporciones iguales, que da límites de densidades desde 3.33 hasta un máximo de 4.90, simplemente variando el contenido de agua, y para densidades mayores que 4.07, calentando la solución. La solución de Clerici debe usarse con bastante precaución, tanto por su gran toxicidad como por su elevado costo (mucho mayor que el del yoduro de metileno); sin embargo, permite separaciones que no son posibles con ningún otro líquido denso y, además, su manejo es muy sencillo.

La solubilidad de las mezclas de talio en agua es muy alta. Por ejemplo, 14 g de mezcla pueden disolverse completamente en 1 ml de agua fría, mientras que 20 g dejan un pequeño residuo insoluble y el filtrado da una densidad de 4.067 a 12°C. Agregando posteriormente más soluto, se alcanza una densidad de 4.32 a 20°C, 4.40 a 35°C y 4.65 a 50°C. Entre 75° y 80°C aproximadamente, se obtiene la densidad de 4.90, que es la máxima posible. A temperatura ambiente la solución es de color paja pálido, inodora y muy fluida.

En la práctica, la manera más sencilla de concentrar la solución hasta conseguir la densidad deseada consiste en proveerse anticipadamente de un juego de cristales o de fragmentos minerales de pesos específicos conocidos. El cristal que tiene una densidad igual a la que se desea obtener, se coloca en un recipiente que contenga la solución de Clerici. Se calienta ésta en baño María (o bajo una lámpara de luz infrarroja, para evaporaciones más rápidas) hasta que el cristal apenas flote en la solución. Es fácil trabajar con fragmentos de unos 3 a 7 mm de diámetro, los cuales pueden dejarse dentro de la solución, ya que no pasan a través del orificio de salida del embudo de separación.

La siguiente lista es una serie típica de minerales que abarcan los límites de pesos específicos que van desde la densidad del yoduro de metileno, hasta 4.80. El peso específico de la mayor parte de ellos varía un poco de una localidad a otra, de acuerdo con su pureza y con la magnitud de las sustituciones isomórficas en sus moléculas, pero la variación, en general, no excede de ± 0.15 . Sin embargo, por esta razón el peso específico debe rectificarse con una balanza de Jolly, o por otro método. El granate, por supuesto, varía ampliamente desde 3.5 hasta 4.3, y su valor

asignado en la lista corresponde a un granate intermedio del grupo del piropro o de la espesartita:

<i>Mineral</i>	<i>Gravedad específica</i>
Idocrasa	3.4
Diamante	3.5
Cianita	3.6
Rodocrosita	3.7
Estroncianita	3.8
Granate	3.9
Corundo	4.0
Willemita	4.1
Rutilo	4.2
Witherita	4.3
Smithsonita	4.4
Barita	4.5
Pirrotita	4.6
Zircón	4.7
Hausmannita	4.8

Cuando se trabaja con soluciones de Clerici con densidades mayores de 4.20, deben mantenerse calientes, tanto durante la separación como durante la filtración, con objeto de evitar la cristalización de las sales de talio. Esto origina ciertas dificultades prácticas, especialmente en el proceso de filtración, debido a que la solución de Clerici en caliente tiende a perder agua a una velocidad que aumenta muy rápidamente arriba de los 50°C. A medida que se pierde el agua, baja la temperatura de la cristalización incipiente de las sales, requiriéndose entonces temperaturas mayores aun para mantenerlas en solución, lo cual incrementa, consecuentemente, la velocidad de evaporación.

Durante la separación, la manera más fácil de mantener caliente la solución consiste en poner el embudo de separación dentro de un recipiente con agua caliente; el tapón del embudo hace que la evaporación que se produzca sea insignificante. Durante la filtración, la manera más simple de conseguir esto consiste en usar una o más lámparas de luz infrarroja, para mantener el embudo caliente. Esto se hace particularmente necesario para la cola del embudo, que tiende a obstruirse con las sales de talio cristalizadas. El calentamiento debe hacerse con criterio, ya que arriba de 150°C, aproximadamente, tanto las sales de talio como el papel filtrante tienden a carbonizarse y a disociarse.

Para reponer las pérdidas por evaporación, frecuentemente se hace necesario agregar agua al material que se está filtrando, aunque esto tiene la desventaja de que la mayoría de las veces causa la hidrólisis de una parte de las sales de talio, formando hidróxido de talio. El hidróxido de talio así formado se queda en el papel filtro y se pierde, y además

debe eliminarse lavando la porción recuperada de minerales pesados, lo cual puede conseguirse fácilmente agitando y decantando con agua caliente repetidas veces. También se agrega agua cuando se lava la solución de Clerici residual que queda en el embudo de separación, en los papeles filtrantes y en los embudos de filtración con formación adicional de hidróxido de talio. La formación de este compuesto puede reducirse al mínimo mediante el uso de agua que contenga 10 por ciento de ácido fórmico y 1 por ciento de ácido malónico, como solución lavadora. La formación y pérdida del hidróxido de talio son la causa principal de las pérdidas de solución de Clerici, pero trabajando cuidadosamente, estas pérdidas pueden mantenerse dentro de un límite de 2 a 3 por ciento de la cantidad de solución usada.

Todas las soluciones de lavado se conservan y se recuperan periódicamente por evaporación, bajo el calor de una lámpara o sobre un baño de vapor. Este método es sencillo y bastante rápido, pero debe tenerse la precaución de evitar el sobrecalentamiento o evaporación a sequedad, que puede ocasionar la descomposición de las sales de talio.

Cuando se separan algunos sulfuros minerales (como por ejemplo, realgar) con solución de Clerici caliente, debe tenerse cuidado, ya que las sales de talio pueden ser reducidas por los sulfuros a temperaturas altas o después de contactos prolongados. Los sulfuros más comunes, tales como la pirita, no resultan afectados.

Ha quedado demostrado que cuando se separan con solución de Clerici algunos minerales de estructura laminar, particularmente arcillas, parte de las sales de talio pueden quedar adsorbidas entre las capas de átomos en la molécula, ocasionándole un peso específico indebidamente alto; el aumento en el peso específico algunas veces excede a una unidad completa. Sin embargo, ya que virtualmente todos los minerales de este tipo tienen pesos específicos de un orden tal, que pueden separarse con bromoformo o con yoduro de metileno, este problema no debe presentarse, puesto que siempre se aconseja eliminar, con los líquidos más baratos, a todos los minerales cuyos pesos específicos sean menores de 3.33.

En las separaciones de minerales pesados para trabajo de determinaciones de edad, especialmente cuando se usa el método plomo-alfa, la solución de Clerici no debe utilizarse, ya que es raro que ésta esté completamente libre de plomo (la mayor parte del talio se obtiene como un subproducto de la refinación del plomo), y aun contaminaciones de trazas de plomo en los minerales usados para determinaciones de edad bastan para invalidar los resultados.

ELUTRIADORES

Los tubos elutriadores son de dos tipos, los de sección transversal constante y aquellos en los que la sección transversal disminuye por etapas de arriba hacia abajo. Su funcionamiento se basa en la diferente ve-

locidad de sedimentación de partículas de igual tamaño, pero que tienen pesos específicos diferentes, con una columna de agua ascendente.

Para trabajar con arcillas, generalmente se prefieren los tubos de sección transversal constante y, en estos casos, frecuentemente el objeto de la separación es clasificar por tamaños las partículas de una arcilla natural. Las partículas más finas se sedimentan más lentamente y, por lo tanto, son arrastradas en primer término hacia el desagüe superior del tubo, por la columna de agua ascendente.

Los elutriadores graduados se usan para separar mezclas de minerales de diferentes pesos específicos. Es absolutamente necesario hacer una rigurosa clasificación por tamaños y esto se logra mediante el uso de tamices. Cada fracción clasificada por tamaño se introduce por la parte superior de la columna de agua, ajustando la velocidad de flujo, de tal manera que los minerales pesados permanezcan apenas en suspensión en la sección inferior, de movimiento más rápido, de la columna de agua. En estas condiciones, abriendo la válvula de salida del fondo del tubo, puede extraerse sucesivamente cada fracción, determinándose fácilmente la línea de separación entre las fracciones sucesivas. La mayoría de los conjuntos de minerales a separarse difieren bastante en su aspecto, de manera que pueden separarse visualmente en forma satisfactoria, pero, a pesar de eso, es inevitable el traslape de fracciones adyacentes, por lo que no pueden conseguirse separaciones de 100 por ciento de pureza, a menos que se esté dispuesto a sacrificar una parte del mineral deseado y recuperar solamente la porción central de la fracción que se ve en la columna de agua.

Este método es menos positivo que el uso de líquidos densos, pero es útil para separar muestras pequeñas (10 a 200 g) de minerales cuyos pesos específicos los sitúen fuera del margen de utilidad de los líquidos densos.

MESA WILFLEY Y OTRAS MESAS VIBRATORIAS

En el beneficio de menas y arenas aluviales, desde hace casi un siglo se han venido usando las mesas vibratorias, de las que existen modelos pequeños de tamaño adecuado para usarse en los laboratorios. Se basan en el mismo principio de separación por gravedad en medio acuoso, que permite la recuperación de oro o de diamantes, por tentadura.

Se han diseñado decenas de variantes que utilizan este mismo principio, y que se han venido usando bajo diferentes marcas, entre las cuales la más conocida es la mesa Wilfley, que consta de una superficie plana rectangular, provista de tiras horizontales; ésta funciona con un movimiento de vaivén consistente en un desplazamiento rápido en un sentido y un regreso lento en el otro. Los minerales, ya sean arenas naturales o menas trituradas, se alimentan sobre una corriente de agua, en el extremo superior derecho de la mesa, escurren hacia abajo sobre las tiras y caen a lo largo del extremo inferior. Los minerales más pesados se acomodan

en el orden de sus pesos específicos en bandas contiguas, que se forman en un extremo de la corriente de agua que fluye sobre la mesa y se recogen separadamente colocando receptáculos individuales en los lugares adecuados.

Para conseguir que la corriente de agua fluya en forma apropiada, y para determinar la posición correcta en que deben colocarse los receptáculos individuales, se requiere algo de experimentación y esto toma unos pocos minutos del tiempo de operación. Además, existen siempre pérdidas debidas a partículas que quedan aprisionadas atrás y abajo de las tiras. Esto hace que la concentración de muestras pequeñas no se logre en forma satisfactoria utilizando las mesas Wilfley, pero la separación preliminar de los materiales pesados contenidos en 100 kg o más de mineral, puede hacerse rápida y fácilmente por este medio, que antecede a otros más exactos.

SEPARACION MAGNETICA

Desde el punto de vista práctico, los minerales pueden clasificarse de acuerdo con sus propiedades magnéticas, en los 4 grupos siguientes: 1) ferromagnéticos, 2) paramagnéticos, 3) no magnéticos y 4) diamagnéticos.

El primer grupo incluye minerales tales como magnetita, ilmenita, franklinita y pirrotita, que pueden recogerse rápidamente con un imán de mano de alnico. Este tipo de imán se especifica debido a que los antiguos imanes permanentes de acero no tienen la suficiente fuerza para levantar minerales menos magnéticos que la magnetita.

El grupo de los minerales paramagnéticos es el mayor e incluye especies como la calcopirita, esfalerita, granate, epidota y monacita, que son atraídos por campos magnéticos muy intensos, como los que producen los separadores magnéticos de que se dispone en los laboratorios. Frecuentemente, la fuerza de atracción cambia con las variaciones isomórficas en la composición de los minerales y también con la intensidad del campo magnético.

Los minerales no magnéticos también constituyen un grupo numeroso. Incluyen especies mineralógicas tales como piritita, galena, cuarzo, topacio y cianita, y son inafectables por los campos magnéticos.

El grupo más pequeño es el de los minerales diamagnéticos, que son aquellos que resultan repelidos por los campos magnéticos. La molibdenita es un ejemplo de estos minerales y probablemente el zircón es otro.

IMAN DE MANO

La magnetita, y con menor extensión la ilmenita y la pirrotita, son tan magnéticas que cuando constituyen parte de las muestras a separarse

en un separador magnético de laboratorio, se adhieren a las partes del aparato aun después de que la corriente ha sido suspendida, haciendo necesaria la limpieza cuidadosa de la máquina después de la operación, ocasionando resultados erróneos (toda vez que no se reciben en el receptáculo especial para la fracción magnética) y posiblemente contaminando muestras futuras. Es preferible eliminarlas primero con un imán de mano de alnico u otro semejante. Si el imán se envuelve en papel o con tela plástica, los granos no se pegan directamente al metal y pueden quitarse fácilmente cuando se retira la envoltura. Este procedimiento también es necesario como un paso preliminar en la separación de cualquier muestra que ha sido molida en mortero de fierro, pulverizador de disco o algún otro pulverizador de acero, con objeto de quitar las partículas fuertemente magnéticas de fierro y acero, producidas por la abrasión de las superficies trituradoras.

Aunque el campo magnético producido por un imán de mano es constante, la intensidad en diferentes partes del campo varía considerablemente, por lo cual las condiciones que afectan a las partículas minerales individuales no están sujetas a un control preciso; de aquí que, para la separación cuantitativa de minerales (exceptuando a la magnetita que es mucho más magnética que cualquier otro mineral), sea preferible usar separadores de laboratorio más complejos.

ELECTROIMANES

Para separar cuantitativamente minerales no magnéticos, de otros débilmente paramagnéticos, o bien paramagnéticos que tengan diferentes susceptibilidades magnéticas entre sí, existen varios tipos de máquinas de laboratorio. Entre las principales se encuentran el Separador Isodinámico Frantz, el Separador Magnético Carpco y los equipos construidos por la Separations Engineering Corporation.

El más sensible de tales equipos es el diseñado por Frantz, que mediante el uso de un campo magnético variable controlado, de diseño muy cuidadoso, a través del cual los granos minerales fluyen por un canal, permite la separación de minerales aprovechando muy pequeñas diferencias en sus susceptibilidades paramagnéticas; o bien, la separación de aquellos que no tienen ninguna susceptibilidad, de los que tienen muy poca.

Además del control de la intensidad del campo que se consigue por medio de una corriente eléctrica cuya intensidad puede fijarse desde 0 hasta 1.5 amperios, aproximadamente, las pendientes longitudinal y lateral de la canal pueden variarse independientemente, controlándose así la velocidad de flujo del material a través del campo y el vector magnético necesario para hacer que 2 granos de diferente susceptibilidad magnética tomen trayectorias diferentes.

Igual que la mayoría de las separaciones de minerales, este método trabaja mejor con productos clasificados por tamaño. La velocidad de flujo

para un material fino (—100 mallas) en el Separador Frantz, suele ser de menos de 30 g por hora cuando se desea hacer una separación delicada, pero puede llegar hasta 30 g/min cuando se separan partículas ferromagnéticas gruesas.

El Separador Carpcó tiene mayor capacidad, pero no es tan selectivo, especialmente para los materiales muy ligeramente magnéticos. Los mejores resultados se obtienen haciendo pasar al material varias veces a través del Separador, y determinando experimentalmente la posición en la cual el mineral que se desea separar resulta atraído hacia el receptáculo para las partículas magnéticas, evitando el uso de un campo excesivo que atraería partículas aún menos magnéticas. De este modo pueden obtenerse fácilmente separaciones de grupos de minerales tales como granate-anfibola-biotita o pirrotita-bornita-tetraedrita.

METODOS QUIMICOS

Hay ocasiones en que la manera más fácil y eficiente para separar un mineral de la ganga con la que está asociado, es por lixiviación y disolución de los ingredientes indeseables. Este procedimiento es muy común cuando el mineral deseable es un carbonato, tal como calcita o dolomita. También se usa para óxidos, fosfatos y aun silicatos. Aquí la consideración más importante es que el mineral que se trata de recuperar no debe ser ni siquiera ligeramente soluble en el ácido de ataque.

El reactivo de uso más frecuente es el ácido clorhídrico diluido. Puede usarse clorhídrico concentrado para minerales más resistentes y aun calentarse hasta la ebullición. En algunos casos, cuando el mineral que se desea recuperar es soluble en ácidos minerales, puede usarse ácido acético u oxálico con resultados satisfactorios. Para disolver cuarzo o silicatos, el ácido que se usa es el fluorhídrico.

Una de las principales ventajas de lixiviar la ganga es que si el mineral que se desea obtener se presenta en cristales, y tales cristales se necesitan para trabajo de rayos X o goniométrico, la eliminación de la ganga por disolución dejará un residuo de cristales completos con superficies brillantes. Una aplicación de este método es la recuperación de los constituyentes insolubles a partir de mármoles, calizas metamórficas y de carbonatitas, en los casos en que se desea recuperar minerales tales como el grafito, pirocloro, pirita y zircón.

FLOTACION

La flotación ha estado en uso desde hace aproximadamente 50 años y probablemente es el método de separación de minerales más comúnmente empleado para recuperar metales a partir de sus menas. La cantidad total de menas metálicas tratadas por flotación en todo el mundo excede de 1 millón de toneladas diarias. Al principio se pensó que la flotación sólo era

útil para recuperar sulfuros, pero posteriormente ha quedado comprobado que virtualmente todos los minerales son susceptibles de concentrarse de esta manera, y a la fecha se recuperan por este método importantes cantidades de fluorita, cianita, diamantes y feldespatos, para citar sólo unos cuantos ejemplares.

Existen máquinas pequeñas, diseñadas para laboratorio, que se usan extensamente en los laboratorios metalúrgicos, en que se experimentan métodos aplicables al beneficio de minerales en gran escala. Hasta ahora, estas máquinas han tenido comparativamente poco uso en los laboratorios dedicados a investigación geológica, sedimentológica y mineralógica. Esto se debe principalmente al hecho de que la flotación participa casi tanto de arte como de ciencia y la recuperación de minerales diferentes a los sulfuros requiere tratamientos muy complejos, con reactivos más difíciles de conseguir que para los minerales comerciales convencionales tales como pirita y galena.

Incluso los sulfuros más comunes varían considerablemente en su comportamiento ante los reactivos de flotación usuales, según que procedan de una mina u otra, o que formen parte de determinada asociación mineral o no, y generalmente cada mena debe experimentarse y trabajarse separadamente para conseguir su mejor recuperación y la mayor pureza de sus concentrados. La tecnología de la flotación es muy especializada y sólo después de una larga experiencia pueden aprenderse los métodos de laboratorio que resultan eficaces en el tratamiento de las distintas menas y combinaciones minerales.

A pesar de lo anterior, en el campo de las separaciones minerales del tipo de las que se requieren para los problemas de investigación mineralógica, y en aquellos casos en los que se trabaja con cantidades comparativamente pequeñas, se tiene la impresión de que la flotación puede emplearse ventajosamente en muchos casos, particularmente en relación con los sulfuros metálicos, muchos de los cuales tienen pesos específicos que los colocan en el límite, o arriba de los que pueden separarse por medio de la solución de Clerici.

La utilización de los métodos de flotación implica el uso de las más pequeñas celdas de flotación de tipo de laboratorio de que se disponga, y hasta el diseño de otras menores aún; así como la elaboración de un manual en el que se expliquen claramente los fundamentos y la metodología de la flotación, y que contenga además, una lista de los reactivos y de las condiciones de la pulpa más favorables para la separación de cualquiera de los 100 o más minerales comunes que pueden flotarse con facilidad.

En el laboratorio probablemente nunca se aplicará esta técnica para separar especies minerales nuevas, o raras, ya que el tiempo y esfuerzo necesarios para establecer un procedimiento adecuado para cada especie,

exceden con mucho de lo que se requiere para seleccionar a mano las partículas minerales, con ayuda del microscopio.

METODOS ELECTROSTATICOS

Para conseguir una separación electrostática, los componentes de una mezcla de granos deben tener cargas de signo opuesto (positiva o negativa) o una diferencia en su susceptibilidad.

La naturaleza proporciona la diferenciación más simple y segura a través de la generación de cargas por contacto. Dos sustancias cualesquiera con diferentes constantes dieléctricas, al separarse después de haber estado en íntimo contacto por un cierto tiempo, adquieren cargas iguales y de signo contrario, siendo positiva la de constante más alta.

Los principios de la separación electrostática se conocen desde hace mucho tiempo, aunque sin entenderse completamente y para utilizarlos se han diseñado y experimentado un buen número de dispositivos y de electrodos de diferentes configuraciones. La separación electrostática se usa con bastante frecuencia en la industria, especialmente para separar minerales no metálicos, tales como cuarzo y micas, rutilo y cianita, ilmenita y magnetita, y scheelita y sulfuros.

Existen también unidades de laboratorio, entre las cuales los modelos más usados constan de los que vende la Carpc Research and Engineering Co. de Jacksonville, Florida, y los de la Separations Engineering Co. de la ciudad de Nueva York. Aun cuando tales unidades son bastante versátiles, tienen la desventaja de ser costosas; su precio fluctúa entre \$ 25,000 y \$ 50,000 (M.N.). Los componentes unitarios más caros de una instalación electrostática son el rectificador de alto voltaje y los controles que constituyen la fuente de poder.

Al igual que en muchas otras técnicas de separación, los mejores resultados se logran sobre productos clasificados por tamaños. La mezcla de minerales se alimenta por una tolva o por un alimentador, dependiendo del diseño de la unidad, sobre un electrodo cargado, y se hace pasar por otro de carga contraria. Los voltajes usados son altos y van desde 1,000 hasta 200,000 voltios. Los fragmentos minerales serán atraídos o repelidos por el segundo electrodo, según sea la carga adquirida por cada uno de ellos; los que no adquieren carga alguna caerán directamente. En los lugares convenientes se colocan receptáculos apropiados para recibir cada fracción. Cada paso del proceso completo se repite de 2 a 6 veces, aumentando así la pureza de las fracciones sucesivamente recuperadas.

Al igual que la flotación, la separación electrostática se utiliza casi exclusivamente en los laboratorios dedicados al estudio de problemas de separación de minerales en escala industrial, en parte debido a que pocos

mineralogistas están al tanto de las posibilidades del método y en parte porque el equipo es caro y, además, hay poca gente dispuesta a manejar tan altos voltajes. Sin embargo, existe muy poco peligro de un accidente serio, toda vez que el flujo de corriente es insignificante. Cuando existe la posibilidad de diseñar o conseguir una fuente de poder económica, el resto del aparato es tan sencillo que puede construirse un dispositivo económico apropiado para diferentes trabajos de laboratorio, utilizando en su mayor parte materiales de desecho.

ESQUEMA DE TRATAMIENTO

La Tabla 1 comprende 63 minerales comunes, divididos en dos grupos, el primero formado por 33 minerales no conductores (que permanecen relativamente inactivos en un campo electrostático) y el segundo, por 30 minerales conductores (que son activos y sufren atracciones o repulsiones en un campo electrostático). Frecuentemente las separaciones electrostáticas son posibles entre los minerales no conductores, cuando hay algunas diferencias en la forma de sus granos (como en el caso del cuarzo y de la mica), lo que da lugar a que uno o más de los componentes de la mezcla acepte una carga eléctrica y se comporte activamente dentro del campo electrostático.

Los dos grupos se subdividen en las fracciones siguientes: fuertemente magnética, magnética, débilmente magnética y no magnética.

Los minerales se agrupan en cada columna, en el orden del peso específico medio, obtenido de varias de sus muestras. Obviamente, el peso específico relativo de muchos de ellos debe cambiarse en casos particulares, de acuerdo con las variaciones de su composición; sin embargo, la tabla sirve para indicar los procesos que pueden intentarse.

Observando en la tabla la posición de algunos de los minerales antes mencionados, que estén formando una mezcla cualquiera, se verá rápidamente la posibilidad de separarlos o no, por métodos gravimétricos, magnéticos o de altas tensiones, o bien, si la separación requiere de una combinación de varios de estos métodos.

Para separar minerales que están colocados en columnas diferentes, bastan métodos electrostáticos y/o magnéticos. Los minerales que aparecen en una misma columna, cuando caen dentro del margen de aplicación de los líquidos densos, pueden separarse por gravedad si la diferencia entre sus pesos específicos es por lo menos de 0.2. Cuando queden fuera de este margen, la diferencia debe ser de 1.0 por lo menos, para permitir su separación.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES QUE PUEDEN USARSE PARA SEPARARLOS*

Peso esp.	NO CONDUCTORES			CONDUCTORES				Peso esp.
	Magnético	Débilmente magnético	No magnético	Altamente magnético	Magnético	Débilmente magnético	No magnético	
> 80							ORO COBRE	> 80
80						TANTALITA		80
75					FERBERITA	WOLFRAMITA	GALENA	75
70							CASITERITA WULFENITA	70
65								65
60			SCHEELITA					60
55						SAMARSKITA		55
50	MONACITA	BASTNAESITA		MAGNETITA		COLUMBITA HEMATITA FRANKLINITA	PIRITA	50
45	XENOTIMA		ZIRCON BARITA	ILMENITA AL. TA EN FIERRO	ILMENITA DAVIDITA	EUXENITA CROMITA	MOLIBDENITA KOPPITA	45
40	GRANATE SIDERITA ESTAUREOLITA		PEROVSKITA CORUNDO CELESTITA			LIVAITA MARMATITA	RUTILO CALCOPIRITA BROOKITA ESFALERITA	40
35		EPIDOTA OLIVINO HORNBLENDA APATITA TURMALINA MICA(BIOTITA)	CIANITA DIAMANTE TOPACIO ESFENO SILLIMANITA FLUORITA				ACMITA AUGITA	35
30			ANHIDRITA MICA(MUSCOVITA) BERILO FELDSPATO CALCITA CUARZO					30
25			YESO CRISOTILO SULFURO				GRAFITO	25
20								20
< 20								< 20

* Publicada con la autorización escrita de la Carpco Research and Engineering Co., Jacksonville, Florida.

SELECCION A MANO

A pesar del trabajo más cuidadoso y del empleo de las técnicas más depuradas, en los concentrados que se preparan por cualquiera de los métodos ya mencionados, aparecen con frecuencia algunos granos de material extraño, o de minerales que, aunque se deseen, tienen partículas adheridas

de otros que son indeseables. Estas impurezas indeseables pueden eliminarse a mano, con ayuda de un microscopio estereoscópico.

Cuando el tamaño de grano es grande, la selección a mano se hace con prontitud, obteniéndose rápidamente suficiente material para un análisis (en términos generales un mínimo de 500 mg), pero cuando el tamaño de grano es de —100 mallas o menor, la cantidad de granos necesaria para completar los 500 mg es tan grande, que su obtención requiere largas horas de un trabajo tedioso, que fatiga la vista.

La selección a mano puede realizarse colocando la muestra que se desea limpiar, sobre una cubierta de vidrio, y removiendo los granos con una aguja provista de mango. Un sistema efectivo utilizado por el autor, para recoger y sacar granos indeseables, consiste en tocarse ligeramente la nariz con la punta de la aguja y después tocar los granos que se desea quitar. La aguja se engrasa suficientemente en la piel y la partícula se adhiere a ella inmediatamente. Para quitar la grasa de la aguja y así poder continuar manipulando los granos sin el temor de que se peguen en ella, se limpia pasándola unas cuantas veces por la ropa.

EJEMPLOS ESPECIFICOS

Los tres ejemplos siguientes de problemas tratados por el autor servirán de ilustración sobre la forma en que pueden emplearse las técnicas anteriores.

PROBLEMA A.

Separación de moctezumita, un mineral nuevo, a partir de una mezcla de otros minerales, constituidos de cuarzo, barita, limonita, pirita, telurito de zinc y hierro (otro mineral nuevo) y otros minerales en cantidades me-

EXPLICACION DE LA TABLA 1

Partiendo de una mezcla cualquiera de los minerales que aparecen en la tabla, es posible determinar si pueden o no separarse, ya sea por métodos de alta tensión, magnéticos o por gravedad, y también, si se requiere una combinación de métodos, o si basta uno de ellos. Cuando se trata de minerales colocados en columnas diferentes, pueden separarse utilizando simplemente métodos de alta tensión y/o magnéticos. Dos o más minerales que aparecen en la misma columna pueden separarse concentrándolos por gravedad, en los casos en que la diferencia en sus pesos específicos sea suficiente (generalmente una diferencia de aproximadamente 1.0). Debe hacerse notar que la forma de grano y/o su tamaño pueden alterar las características de separabilidad. Esto algunas veces es inconveniente y otras benéfico. Por ejemplo, la mica y el cuarzo muchas veces pueden separarse usando tensiones altas, a causa de la forma de sus granos. Las características asignadas al comportamiento de los minerales son el resultado de pruebas hechas en nuestros laboratorios, más bien que teóricas y algunas veces varían, dependiendo de su procedencia. El comportamiento de los minerales que no aparecen en la tabla, usualmente puede deducirse observando en ella la forma en que se comportan minerales semejantes.

nores. Propiedades de la moctezumita: Composición, telurito de plomo y uranio; peso específico, 5.76; no conductor; no magnético.

- 1.—Se prepararon 500 g aproximadamente, concentrando por tentadura 10 kg de roca molida conteniendo pequeñas cantidades de moctezumita.
- 2.—Se eliminaron el cuarzo y otros minerales ligeros, con tetrabromuro de acetileno.
- 3.—Posteriormente se eliminaron más minerales ligeros, con yoduro de metileno.
- 4.—Se eliminaron la limonita, el telurito de zinc y fierro y otros minerales magnéticos, con el Separador Isodinámico Frantz.
- 5.—Se eliminó la barita con solución de Clerici de una densidad de 4.65.
- 6.—Se eliminó la piritita con un aparato electrostático de laboratorio, de que se dispone en un laboratorio de Phoenix, Arizona.

El resultado fue 800 mg, aproximadamente, de moctezumita pura, que se usaron para el análisis químico cuantitativo de este nuevo mineral.

PROBLEMA B

Separación de emmonsita a partir de una mezcla de otros minerales, constituidos de cuarzo, barita, limonita y granos de emmonsita parcialmente convertidos en limonita. Propiedades de la emmonsita: Composición, telurito férrico hidratado; peso específico, 4.53; débilmente magnético; propiedades dieléctricas desconocidas.

- 1.—Se prepararon y molieron aproximadamente 20 g de la mezcla que contenía a la emmonsita. Se separó el cuarzo libre con tetrabromuro de acetileno.
- 2.—El cuarzo que tenía granos de limonita adheridos, se separó con yoduro de metileno.
- 3.—Se preparó solución de Clerici de 4.40 de densidad. En esta solución no flotan la emmonsita ni la barita, pero sí lo hacen la mayor parte de los granos de limonita libre que se eliminaron de ese modo.
- 4.—Se eliminó la barita (no magnética) con el Separador Isodinámico puesto a 0.5 amperios.
- 5.—A esta altura, el producto estaba formado por granos de emmonsita pura y granos de emmonsita parcialmente convertida en limonita. Esta última se eliminó en el Separador Isodinámico puesto a 1.2 amperios, ya que resultó ser más magnética que la emmonsita pura, que es atraída en el campo producido por una corriente de 1.5 amperios, o mayor.

El resultado fue 3 g de emmonsita pura que se usaron para su análisis.

PROBLEMA C

Separación de "zoisita X", un mineral nuevo todavía innominado del grupo de la epidota, a partir de una mezcla constituida de este mineral más sericita, laumontita y granos de hidróxidos de fierro y manganeso. Propiedades de la "zoisita X": Composición, aluminosilicato hidratado de fierro y calcio con un poco de estroncio; peso específico, 4.41; débilmente magnético; no conductor.

- 1.—Se prepararon aproximadamente 100 g de una mezcla de aspecto arcilloso consistente en su mayor parte en sericita de grano extremadamente fino. La mayor parte de la sericita se eliminó lavando en un elutriador, sin previa clasificación por tamaños, ya que la sericita es de grano más fino que los otros minerales.
- 2.—Se eliminó el resto de la sericita y la laumontita, por separación con tetrabromuro de acetileno.
- 3.—Se eliminó una pequeña cantidad de granos mixtos con yoduro de metileno. La fracción pesada quedó formada por la "zoisita X" y por óxidos de fierro y manganeso.
- 4.—Se eliminaron los óxidos de fierro y manganeso con el Separador Isodinámico puesto a 0.2 amperios. La "zoisita X", con un contenido de aproximadamente 8 por ciento de óxido férrico, es atraída si se usan corrientes más intensas.

El resultado fue 5 g aproximadamente de "zoisita X" pura para su análisis.

RECONOCIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a las siguientes personas, por su ayuda en la preparación de este artículo: al Ing. Guillermo P. Salas, Director del Instituto de Geología, por el estímulo recibido; a la Sra. Rebeca M. de Schmitter por su ayuda en la redacción y escritura del presente; al Dr. Carl Fries, Jr. y al Ing. César Rincón-Orta por sus sugerencias, revisión crítica y trabajo editorial.

OBRAS DE CONSULTA RECOMENDADAS

- FAIRBAIRN, H. W., 1955, *Concentration of heavy accessories from large rock samples*: Am. Mineralogist, v. 40, p. 458-468.
- FLINTER, B. H., 1959, *Magnetic separation of some alluvial minerals in Malaya*: Am. Mineralogist, v. 44, p. 738-751.
- FROST, I. C., 1959, *An elutriating tube for the specific gravity separation of minerals*: Am. Mineralogist, v. 44, p. 886-890.
- GAUDIN, A. M. y H. R. SPEDDEN, 1943, *Magnetic separation of sulfide minerals*: Am. Inst. Min. Met. Eng., Tech. Pub. 1549, p. 1-13.
- HESS, H. H., 1956, *Notes on operation of Frantz Isodynamic Magnetic Separator*: Panfleto publicado por la S. G. Frantz Co., Inc., Trenton, Nueva Jersey.

- JAHNS, R. H., 1939, *Clerici solution for the specific gravity determination of small mineral grains*: Am. Mineralogist, v. 24, p. 116-122.
- KRUMBEIN, W. C. y F. J. PETTJOHN, 1938, *Manual of sedimentary petrography; Chapter 14, Separation methods*: Nueva York, Appleton Century-Crofts, Inc., 549 p.
- MADHAVAN, T. R., V. M. KARVE y J. Y. SOMNAY, 1964, *Miniature flotation cell for quantitative testing*: Mining Mag., v. 110, n. 1, p. 28-29.
- MATHISRUUD, G. C., 1942, *Magnetic separations in petrography*: Am. Mineralogist, v. 27, p. 629-637.
- MURTHY, M. V. N., 1957, *An apparatus for hand-picking mineral grains*: Am. Mineralogist, v. 42, p. 694-696.
- REED, R. D., 1924, *Some methods for heavy mineral investigations*: Econ. Geology, v. 19, p. 320-337.
- RODDA, J. L., 1951, *Microseparation of minerals in heavy liquids*: Am. Mineralogist, v. 36, p. 625-626.
- ROSENBLUM, SAMUEL, 1958, *Magnetic susceptibilities of minerals in the Frantz isodynamic magnetic separator*: Am. Mineralogist, v. 43, p. 170-173.
- ROSS, C. S., 1926, *Methods of preparation of sedimentary materials for study*: Econ. Geology, v. 21, p. 454-468.
- TWENHOFEL, W. H. y S. A. TYLER, 1941, *Methods of study of sediments*: Nueva York, McGraw Hill Book Co., Inc., 183 p.
- TYLER, S. A., 1936, *Heavy minerals of the St. Peter Sandstone in Wisconsin*: Jour. Sed. Petrology, v. 6, p. 55-84.
- VASSAR, H. E., 1925, *Clerici solution for mineral separation by gravity*: Am. Mineralogist, v. 10, p. 123-125.

BOLETINES DISPONIBLES DEL INSTITUTO DE GEOLOGIA

Para su adquisición, diríjase a:

Oficina de Publicaciones
 Instituto de Geología
 Ciudad Universitaria
 México 20, D. F.

MEXICO

- 50.—Las meteoritas mexicanas; generalidades sobre meteoritas y catálogo descriptivo de las meteoritas mexicanas. *J. C. Haro*. 86 p., 23 láms., 5 figs. 1931. \$50.00 M.N. o \$5.00 Dlls.
- 51.—Zonas mineras de los Estados de Jalisco y Nayarit. *Tomás Barrera*. 96 p., 2 láms., 9 planos, 30 fotos. 1931. \$50.00 M.N. o \$5.00 Dlls.
- 52.—Agotado.
- 53.—Topografía sepultada, estructuras iniciales y sedimentación en la región de Santa Rosalía, Baja California. *I. F. Wilson*. 78 p., 1 lám., 11 figs., 3 tablas. 1948. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 54.—Paleontología y estratigrafía del Plioceno de Yepómera, Estado de Chihuahua; Pte. 1—Equidos, excepto *Neohipparion*. *J. F. Lance*. 81 p., 5 láms., 10 figs., 17 cuadros. 1950. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 55.—Los estudios paleobotánicos en México, con un catálogo sistemático de sus plantas fósiles. *Manuel Maldonado-Koerdell*. 72 p., 1950. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 56.—Las provincias geohidrológicas de México; Pte. 1—Agotada; Pte. 2—Síntesis de la hidrología superficial de la República. *Alfonso de la O-Carreño*. 166 p., 8 láms., 2 figs., 5 tablas. 1954. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 57.—Espeleología mexicana; cuevas de la Sierra Madre Oriental en la región de Xilitla. *Federico Bonet*. 96 p., 11 láms., 20 fotos, 3 figs., 2 tablas. 1953. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 58.—Geología y paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora; Pte. 1—Paleontología y estratigrafía del Cámbrico de Caborca. *G. A. Cooper, A. R. V. Arellano, J. H. Johnson, V. J. Okulitch, Alexander Stoyenow y Christina Lochman*. 258 p., 33 láms., 7 figs., 4 tablas. 1954. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 59.—Pte. 1—Los depósitos de bauxita en Haití y Jamaica y posibilidades de que exista bauxita en México. *G. P. Salas*. P. 1-42, 1 lám., 15 figs., 1 tabla. Pte. 2—Exploración en busca de bauxitas en Paso de Acultzingo, Ver., y parte del valle de Tehuacán, Pue. *Federico Mooser y Odilón Ledezma*. P. 43-51, 1 lám. Pte. 3—Exploración en busca de bauxitas en los límites de los Estados de Puebla y Veracruz. *Federico Mooser, Odilón Ledezma y Federico Mayer*. P. 53-69, 2 láms., 19 figs. Pte. 4—Exploración en busca de bauxitas en la zona de Tuxtepec, Oax. *Odilón Ledezma*. P. 71-80, 2 láms., 19 figs. Pte. 5—Exploración en busca de bauxitas en la zona de Temaxcal, Oaxaca. *Federico Mayer*. P. 81-93, 18 figs. Pte. 6—Muestreo de lateritas a lo largo de la carretera entre Tulancingo, Hgo., y Necaxa, Pue., para la investigación de bauxitas. *Rafael Pérez-Siliceo*. P. 95-104, 1 lám., 7 figs. Pte. 7—Clasificación basada en el análisis térmico diferencial de materiales arcillosos colectados en diferentes regiones del país. *Eduardo Schmitter*. P. 105-111, 5 figs. 1959. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 60.—Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. *Carl Fries, Jr.* 236 p., 24 láms., 4 figs., 1 tabla. 1960. \$40.00 M.N. o \$4.00 Dlls.
- 61.—Fenómenos geológicos de algunos volcanes mexicanos; Pte. 1—Los géiseres, solfataras y manantiales de la Sierra de San Andrés, Mich. *Luis Blásquez-L.* P. 1-37, 9 figs., 3 tablas. Pte. 2—Las posibles fuentes de energía geotérmica en la República Mexicana. *Luis Blásquez-L.* P. 39-46. Pte. 3—El grupo volcánico de Las Tres Virgenes, Mpio.

- de Santa Rosalía, Territorio de Baja California. *Federico Mooser y Armando Reyes-Lagos*. P. 47-48. Pte. 4—Los volcanes de Colima. *Federico Mooser*. P. 49-71, 14 figs. Pte. 5—Las nuevas soifataras del Volcán de Colima. *Armando Reyes-Lagos*. P. 73-75, Pte. 6—Notas sobre geología glacial del Nevado de Colima. *J. L. Lorenzo*. P. 77-92, 12 figs. Los glaciares de México. *Luis Blásquez-L.* P. 93-108, 7 figs., 4 tablas. 1961. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 62.—En preparación.
- 63.—Contribución al estudio de minerales y rocas; Pte. 1—Curvas de análisis térmico diferencial cualitativo, obtenidas de estudios de bauxitas, arcillas bauxíticas y otros minerales. *Eduardo Schmitter*. P. 1-57, 31 figs. Pte. 2—Estudio de un nuevo método para la determinación de alúmina por titulación. *Ruth R. de Gómez*. P. 59-66, 2 tablas. 1962. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 64.—Agotado.
- 65.—Estudio mineralógico y petrográfico de algunos domos salinos del Istmo de Tehuantepec. *Salvador Enciso-de la Vega*. 48 p., 3 láms., 3 figs., 7 tablas. 1963. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 66.—Revisión crítica de los minerales mexicanos; 1.—La boleíta. *Francisco J. Fabregat*. 106 p., 29 figs., 3 tablas. 1964. \$40.00 M.N. o \$4.00 Dlls.
- 67.—Pte. 1—Batimetría, salinidad, temperatura y distribución de los sedimentos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Amado Yáñez-C.* 47 p., 17 figs. 1963. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls. Pte. 2—Sistemática y distribución de los géneros de diatomeas de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Angel Silva-Bárceñas*. 31 p., 12 figs., 1963. \$15.00 M.N. o \$1.50 Dlls. Pte. 3—Sistemática y distribución de los foraminíferos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Agustín Ayala-Castañares*. 130 p., 11 láms., 60 figs. 1963. \$50.00 M.N. o \$4.00 Dlls. Pte. 4—Sistemática y distribución de los micromoluscos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Antonio García-Cubas, Jr.* 55 p., 4 láms., 24 figs. 1963. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 68.—Sistemática y distribución de los foraminíferos litorales de la "Playa Washington", al sureste de Matamoros, Tamaulipas, México. *Luis R. Segura*. 92 p., 42 figs. 1963. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 69.—Geología del área delimitada por El Tomatal, Huitzoco y Mayanalan, Estado de Guerrero. *J. M. Bolívar*. 34 p., 5 láms., 8 figs. 1963. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 70.—Mezcla de vidrios en los derrames cineríticos Las Américas de la región de El Oro-Tlalpujahua, Estados de México y Michoacán, parte centromeridional de México. *Carl Fries, Jr., C. S. Ross y Alberto Obregón-Pérez*. En prensa.
- 71.—Estudios geológicos en los Estados de Durango y San Luis Potosí; Pte. 1—Geología de la región entre Río Chico y Llano Grande, Municipio de Durango, Estado de Durango. *Diego A. Córdoba*. P. 1-22, 7 láms., 3 figs. Pte. 2—Geología de la Sierra de Alvarez, Municipio de Zaragoza, Estado de San Luis Potosí. *E. G. Cserna y Alejandro Bello-Barradas*. P. 23-63, 12 láms., 2 figs. 1963. \$40.00 M.N. o \$4.00 Dlls.
- 72.—Revisión crítica de los minerales mexicanos; 2.—La plumosita. *Francisco J. Fabregat*. En prensa.
- 73.—Contribuciones del Laboratorio de Geocronometría; Pte. 1—Discusión de principios y descripción de la determinación geoquímica de edad por el método plomo-alfa o Larsen. *César Rincón-Orta*. Pte. 2—Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronometría. *Carl Fries, Jr. y César Rincón-Orta*. Pte. 3—Compendio de edades de radiocarbono de muestras mexicanas de 1962 a 1964. *Josefina Valencia y Carl Fries, Jr.* En prensa.
- 74.—Estudios geológicos en el Estado de Chihuahua; Pte. 1—Geología del área de Plomosas, Chihuahua. *Luther W. Bridges II*. Pte. 2—Notas sobre la geología de la región de Placer de Guadalupe y Plomosas, Chihuahua. *Zoltan de Cserna*. En prensa.
- 75.—Estudios mineralógicos. *Richard V. Gaines*. Pte. 1—Mineralización de telurio en la mina La Moctezuma, cerca de Moctezuma, Sonora. P. 1-15, 1 fig. Pte. 2—Métodos de laboratorio para la separación y purificación de muestras minerales. P. 17-36, 1 tabla. 1965. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.

Se terminó de imprimir el día 12 de febrero de 1965, en los Talleres Gráficos de la EDITORIAL HELIO MÉXICO, S. A., Calle de Geranio N° 262, Col. Santa María Insurgentes, México 4, D. F.