

**GOBIERNO DE GUATEMALA
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
DIRECCIÓN GENERAL DE MINERÍA
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO MINERO
SECCIÓN DE PROCESAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN**

“USO INDUSTRIAL DE MINERALES QUE SE ENCUENTRAN EN GUATEMALA “

ANTIMONIO (Sb)

Su nombre se deriva de las palabras griegas “anti” (contra) y “monos” (uno), lo que significa “un metal raramente encontrado solo”. El nombre describe su asociación mineralógica y su uso industrial, pues generalmente se utiliza en aleaciones con otros metales.

El Sb raramente se encuentra nativo en la naturaleza, a causa de su fuerte afinidad por el azufre y elementos metálicos como Cu, Pb y Ag. El Sb en su forma elemental es un sólido cristalino, blanco plateado, quebradizo, que presenta pobre conductividad eléctrica y calorífica. El Sb metálico refinado en lingotes se comercializa en dos grados. El grado A tiene un contenido mínimo de Sb de 99.8 % y el grado B tiene 99.5 %.

El Sb se usa en placas de acumuladores, tipos de imprenta, pinturas y lacas, fósforos y aleaciones para motores. El trióxido de antimonio, el más importante de sus compuestos, se usa en formulaciones como retardador de llama en muchos materiales.

El Sb se produce a partir de menas y también como un subproducto de la fundición de minerales metálicos y a partir del reciclado de baterías de plomo - antimonio.

Los depósitos de Sb raramente se explotan directamente por minado directo pues son generalmente pequeños, irregulares y difíciles de evaluar. Muchas de las minas típicas contienen cuerpos mineralizados irregulares y dispersos que no se pueden explotar por métodos de minado de gran escala. Los métodos de minado para recuperar metales tales como Au, Pb y Ag, recuperan el Sb como subproducto.

El contenido de Sb determina el método de recuperación. En general los más bajos grados de sulfuros, entre 5 % y 25 % de Sb, son tostados; de 25 % a 49 % de Sb son fundidos en altos hornos (blast); los minerales con 45 % a 60 % de Sb son licuados. En algunas minas, el mineral de sulfuro de alto grado es concentrado por clasificación manual y vendido como mineral de sulfuro a granel, con contenido de 60 % de Sb. A medida que los depósitos de alto grado se han agotado, se ha puesto énfasis en incrementar el grado por flotación.

Tostado. Produce un trióxido volátil y un tetróxido estable no volátil; es el

único procedimiento pirometalúrgico apropiado para menas de bajo grado (de 5 a 25 % de contenido de Sb). El azufre es oxidado y removido de los gases de salida y el óxido de antimonio volatilizado se recupera en chimeneas, tubos condensantes, bolsas, precipitadores o una combinación de estos. La temperatura y cantidad de oxígeno disponible determina la clase y cantidad del óxido producido.

Fundición. Los altos hornos con chaqueta de agua se usan para reducir los minerales que contienen de 25 a 40 % de Sb. Como cargas se pueden usar óxidos, sulfuros, menas mixtas, residuos, mata de fundición, escorias y finos prensados. Se usa una columna alta de fundición y baja presión de aire y la escoria y metal se separan en el corazón del horno.

Licuado. El sulfuro de Sb puede ser separado de la ganga de minerales de sulfuro por fundición en un horno de reverbero, con atmósfera reductora para prevenir la oxidación. El producto solidificado se llama antimonio licuado o antimonio de aguja y puede ser usado como sulfuro o convertido a Sb metálico por precipitación con Fe.

ARCILLAS

Las variedades de arcilla son muchas, pero generalmente se clasifican en seis grupos: caolín, arcilla de bola, arcilla de fuego, bentonita, tierra de fuller, arcilla común y esquistos.

El caolín o arcilla china se define como un material arcilloso blanco compuesto principalmente de caolinita y otros minerales del grupo del caolín, tal como la haluisita y dickita. Tiene un peso específico de 2.6 y un punto de fusión de 1,785° C.

La arcilla de bola es una arcilla plástica, que se vuelve blanca al incinerarla, usada principalmente para uniones y trastos de cerámica. Es de origen sedimentario y consiste principalmente de caolinita, mica sericitica y materia orgánica. Las arcillas de bola son de grano mucho más fino que los caolines y tienen mayor plasticidad.

La arcilla de fuego se define como el material detrítico, ya sea plástico o de forma de roca, que comúnmente ocurre como material subyacente debajo de vetas de carbón. Las bajas concentraciones de óxido de hierro, cal, magnesio y álcalis permiten que el material soporte temperaturas de 1,500° C o mayores. Está compuesta principalmente de caolinita y algunas contienen otras arcillas como diáspora, burley, arcilla de bola, arcilla bauxítica y esquistos. Las arcillas de fuego a menudo se usan para refractarios o para elevar la temperatura de vitrificación en productos de arcilla. Los colores de quemado de las arcillas de fuego van de dorado pálido a gris.

La bentonita es una arcilla compuesta primordialmente de montmorilonita. La bentonita de tipo hinchante tiene una alta concentración del ion sodio, la cual

incrementa su volumen de 10 a 15 veces cuando se humedece con agua. Las bentonitas no hinchantes usualmente son altas en calcio.

El término tierra de fuller (bataneo) se deriva del uso principal de este material, el cual es limpiar textiles por bataneo, que es agitar fuertemente la tela con el mineral. La tierra de fuller no se refiere a una arcilla con composición específica o mineralogía, sino que se define como una arcilla no plástica, usualmente alta en magnesio, que es apropiada para decolorar y purificar aceites minerales y vegetales. Está compuesta principalmente de minerales arcillosos de atapulguita o montmorilonita de forma de aguja o listón. También se producen tierras de fuller que contienen ópalo y otras formas de sílice coloidal.

La arcilla común se define como el material arcilloso que es suficientemente plástico como para moldearlo fácilmente. Su punto de vitrificación es usualmente por debajo de 1,100° C. El esquisto es una roca sedimentaria laminada que se forma por la consolidación de arcilla, lodo y cieno de aluvión. Las arcillas comunes y esquistosa se componen principalmente de illita o clorita y también pueden contener caolín y montmorilonita. Las arcillas comunes y esquistos a menudo contienen más álcalis, tierras alcalinas y materiales ferruginosos y menos aluminio que las arcillas de alta calidad como caolines, arcillas de bola y arcilla de fuego. El hierro presente a menudo les imparte color rojizo cuando se queman. La arcilla común y esquisto se usan en la fabricación de productos estructurales tales como ladrillos, tejas, cemento portland y agregados expandidos de bajo peso.

ARENA SILÍCEA

Probablemente ningún otro mineral no metálico tiene usos más diversificados que la arena silícea, principalmente a causa de su ocurrencia tan común alrededor del mundo y sus características físicas distintivas, tales como dureza, resistencia a la alta temperatura y acción química y relativamente bajo precio. La arena silícea es el principal componente del vidrio común, moldes de fundición, arena abrasiva para limpieza y pulido a chorro y corte hidráulico, fractura hidráulica de rocas para mejorar el rendimiento de pozos de petróleo.

La arena se define por la American Society for Testing and Materials (ASTM) como las partículas granulares de roca que pasan por la malla No. 4 (5.16 mm) y se retienen en la malla No. 200 (0.0737 mm) de la serie de mallas estándar de E.U., y que son el resultado de la desintegración natural o conminución de la roca cementante. La arena silícea es aquella que tiene un porcentaje muy alto de dióxido de silicio (SiO₂). Estas arenas consisten principalmente de granos de cuarzo.

La mayoría de arenas silíceas se nombran por sus usos específicos. La arena para vidrio tiene que llenar especificaciones rígidas con respecto a su pureza y contenido de sílice. Sólo se puede tolerar una pequeña cantidad de óxidos de hierro y cromo y es indeseable un alto porcentaje de óxidos de aluminio, calcio y magnesio.

La arena para fundición se usa para moldear aleaciones de hierro, aluminio y cobre. Las propiedades incluyen cohesividad suficiente para mantener la forma cuando se humedecen con un agente que la enlace, y textura apropiada para producir un moldeado parejo.

La arena de fractura hidráulica se bombea dentro de los pozos petroleros como una mezcla de arena-líquido, para romper las formaciones que contienen petróleo y actuar como un agente apuntalante, para que el petróleo o gas se muevan más libremente hacia los pozos de producción. Los principales requerimientos es que los granos sean esféricos, limpios y bien secos, libres de feldespato, calcita y arcilla.

La arena molida o harina de sílice tiene aplicaciones como relleno en pintura, plásticos, hule, cerámicas y otros productos.

El carburo de silicio, que se usa como abrasivo, refractario y cerámicas especiales, se produce por la reacción de 60 % de arena silícea y 40 % de hulla, a temperatura de 2,400° C, lo que se logra por calentamiento eléctrico con electrodos de grafito.

La mayoría de arena silícea se extrae a cielo abierto, pero hay algunas operaciones subterráneas. La extracción incluye limpieza del sitio, remoción de la sobrecapa, minado de la roca o arena, procesamiento del mineral incluyendo molido, tamizado y clasificación.

Ocasionalmente se recuperan pequeñas cantidades de oro y plata, como subproducto, en algunos depósitos no consolidados de arena silícea. También, durante el procesamiento de algunas canteras, se producen otros minerales incluyendo arcillas, feldespatos, mica y cristales de cuarzo.

ASBESTO

Los asbestos son silicatos de magnesio y calcio que se presentan en forma de fibras. Sus seis variedades comerciales son: crisotilo, actinolita, tremolina, amosita, crocidolita y antigorita.

La principal fuente de asbesto es el crisotilo. El uso del asbesto depende de su naturaleza fibrosa y flexible, lo que permite que sea hecho en forma de tela y otros tejidos, y también debido a su incombustibilidad y baja conducción de calor. También presenta alta resistencia a la tensión, estabilidad química, alta flexibilidad y gran área superficial

Los productos que contienen asbesto tienen una amplia variedad de aplicaciones, por ejemplo materiales para fricción (frenos y embragues), aislamiento

térmico y eléctrico, empaques de máquinas, plásticos reforzados con asbesto, construcción, etc. En Estados Unidos se consume para techos 44 %, productos para fricción 28 %, tubo de asbesto cemento 11 %, empaques 8 % y otros 9 %.

El consumo de asbesto ha declinado dramáticamente, debido principalmente a dos factores. Primero, muchos mercados han madurado, de manera que la demanda para productos que contienen asbesto ha declinado. Segundo, la controversia que rodea a los riesgos de salud por el uso de asbesto ha hecho que muchos fabricantes dejen de utilizarlo, sustituyendo gradualmente este mineral con otros diferentes, diseñando otros productos para eliminar la necesidad de asbesto,

Ejemplos de materiales que sustituyen al asbesto son: fibra aramida, silicato de calcio, fibra de carbono, fibra de celulosa, fibra cerámica, fibra de vidrio, hojuelas u fibra de grafito, fibra de acero, y wollastonita.

Asuntos relacionados con la salud

Se determino hace tiempo que las fibras de asbesto pueden producir cáncer. El uso seguro de asbestos es una preocupación principal en la industria, por lo que se constituyó de Grupo Internacional sobre Seguridad de Fibras, cuyo propósito es promover el uso seguro y controlado de asbestos y otras fibras industriales. Un estudio patrocinado por el Instituto de Investigación de Asbestos y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos reportó que la remoción de materiales que contienen asbesto no proporciona garantías de salud adicionales en edificios bien mantenidos.

Una Corte de Apelaciones en los Estados Unidos revocó una resolución de la EPA que hubiera erradicado prácticamente todos los usos del asbesto en 1997, porque no se habían evaluado suficientemente los riesgos de salud presentados por los sustitutos del asbesto.

La principal variedad de asbesto, crisotilo, se produce de minas de serpentinita. El producto se extrae con agua y se usa un proceso húmedo para beneficiar la fibra. Los principales productores son Canadá, Brasil, Zimbabwe, Sudáfrica y Rusia.

AZUFRE (S)

El azufre, a través de uno de sus principales derivados, el ácido sulfúrico, es uno de los más importantes elementos utilizados por la industria como materia prima. El consumo de ácido sulfúrico se cataloga como uno de los mejores índices del desarrollo industrial de una nación.

El azufre se produce como un subproducto de la refinación de petróleo y gas natural y por el proceso Frasch, que consiste en inyectar agua caliente a presión a

los depósitos de azufre natural subterráneos. A causa de las preocupaciones ambientales, el azufre recuperado del petróleo, del tostado de metales (SO_2) y otros productos ha superado la producción por el método Frasch. De hecho, algunas minas están cerrando porque hay más oferta que demanda de azufre.

El azufre ha sido usado, en pequeñas cantidades, por miles de años, como colorante, fumigante, para blanqueado de textiles y para propósitos medicinales. El azufre es un constituyente principal para la fabricación de pólvora (junto con salitre y carbón).

El azufre es uno de los pocos elementos que ocurren en estado nativo. También se presenta combinado con hierro y metales básicos como minerales de sulfuro y con metales alcalinos y alcalinotérreos como minerales de sulfato. En el petróleo se presenta en una variedad de compuestos orgánicos complejos y el gas natural como sulfuro de hidrógeno (H_2S). En el carbón se presenta como compuestos complejos.

Desde los inicios de la civilización, hasta los años 1700 y 1800, el azufre se obtenía de depósitos de azufre nativo, principalmente en Sicilia, Italia. El incremento de demanda hizo que se adoptara la pirita (sulfuro de hierro) como fuente principal desde mediados hasta finales del siglo XIX, pero en ese momento, el desarrollo del método Frasch para extraer grandes depósitos nativos asociados con domos de sal proporcionó una importante fuente de azufre. El método Frasch y las piritas mantuvieron su predominancia hasta la mitad de los años 70. Los problemas de dióxido de azufre de la combustión de petróleo y gas natural hicieron mandatoria la extracción del azufre y su recuperación, sobrepasando las cantidades obtenidas por los métodos mencionados.

BARITA

La barita es sulfato de bario y se deriva del nombre griego "barus", que significa pesado. Su uso principal es para lodos de perforación de pozos, lo cual contabiliza más del 90 % del material vendido en USA. El uso de barita como relleno o extendedor y otros usos es el otro 7 % del consumo total

La barita tiene un alto peso específico, baja absorción de aceite, fácil mojabilidad por aceites y buenas condiciones de lija. En la pintura de automóviles, la barita se usa como relleno en las capas de fondo, lo cual contribuye al brillo de la capa superior.

La barita también se usa como relleno o extendedor en algunos productos de plástico o hule. Los procesadores de espuma de poliuretano usan la barita en productos tales como alfombrillas y respaldos de carpetas para adicionar peso y mejorar el procesamiento. También se usa para la cara blanca de llantas. Otras industrias, como la de papel, la barita blanca y densa sirve como una base para las

capas sensibilizadas en impresiones fotográficas. En la impresión se usa en tintas.

La barita es la única fuente comercial de bario y sus compuestos. Los depósitos de barita generalmente se explotan a cielo abierto. El mineral se beneficia entonces en plantas de lavado, para separar la barita de otros materiales.

BENTONITA (ver Arcillas)

CALIZA

La cal es un importante producto con cientos de usos en química, industria y ambiente. Sus usos principales son la manufactura de acero, pulpa y papel, construcción, tratamiento de agua, desagües y emisiones de chimeneas.

La cal es un producto manufacturado hecho por calcinación de caliza (carbonato de calcio o una combinación de carbonato de calcio y magnesio) u otros materiales carbonatados a temperaturas que van de 1,800° F (980° C) a 2,400° F (1300° C). La caliza nunca se encuentra en estado nativo.

El proceso de calcinación emite dióxido de carbono, formando óxido de calcio (cal viva). La subsecuente adición de agua produce hidróxido de calcio (cal hidratada o apagada). El término caliza incluye todas estas formas

La fabricación de cal involucra tres procesos principales: preparación de rocas, calcinación e hidratación. La preparación de roca involucra extracción, incluyendo perforación, voladura y transporte de la roca quebrantada, molienda y tamizado para proporcionar el tamaño apropiado de alimentación al horno. Se toma cuidado en no contaminar con impurezas indeseables, tales como óxido de hierro, sílice y alúmina.

La calcinación es una reacción química simple, que consiste en la adición de calor a la caliza para causar descomposición termal. Este proceso se realiza en un horno, el cual puede ser rotatorio o vertical.

Subproductos y coproductos

La mayoría de compañías minan su propia caliza y dolomita para alimentación al horno. Algunas compañías producen como coproducto la roca quebrantada y pulverizada. Si es práctico y existe mercado, los finos de la alimentación al horno y de la salida son también comercializados. El carbonato de calcio precipitado (PCC) se produce en algunas plantas como coproducto al combinar la cal apagada con el CO₂ recuperado de la chimenea. El CO₂ también es recuperado para uso en el paso de carbonatación de la refinación del azúcar.

El término “cal” se refiere principalmente a los seis químicos producidos por la calcinación de piedra caliza calcítica o dolomítica de alta pureza, seguida de la hidratación cuando sea necesario. Estos son:

- (1) cal viva u óxido de calcio: CaO
- (2) cal hidratada o hidróxido de calcio: Ca(OH)_2
- (3) cal viva dolomítica: CaOMgO
dos tipos de hidrato dolomítico:
- (4) tipo N: $\text{Ca(OH)}_2\text{MgO}$ y
- (5) tipo S: $\text{Ca(OH)}_2\text{Mg(OH)}_2$, y,
- (6) dolomita calcinada: CaMgO_2

La cal viva no dolomítica y la cal hidratada son también llamadas “cal de alto calcio”. La cal también puede ser producida a partir de una variedad de materiales calcáreos, tales como aragonita, yeso, coral, mármol y conchas. La cal también es regenerada; esto es, producida como un subproducto en molinos de papel, plantas de carburo de calcio (acetileno) y plantas de tratamiento de agua.

La cal se usa en la industria del hierro y acero como fundente. Este es uno de los usos más grandes de la caliza en la industria. En la metalurgia no ferrosa, la cal es usada en el beneficio de minerales de cobre para neutralizar los efectos ácidos de la pirita y otros sulfuros de hierro y para mantener el pH apropiado en los procesos de flotación. Se usa para procesar aluminio y magnesio, para extraer uranio de lodos de oro, para recobrar níquel por precipitación, y para controlar el pH de la solución de cianuro de sodio usada para extraer oro y plata del mineral. Tales procesos de extracción se llaman “extracción de descarga” cuando involucran grandes piezas del mineral, “extracción de apilamiento” cuando se trata de pequeñas piezas de mineral, y cianidación “carbón en pulpa” cuando el mineral se extrae en tanques agitados. La extracción de descarga y de apilamiento involucran la trituración del mineral, mezclarlo con cal para control del pH y aglomeración, y depositar el mineral en pila para tratamiento con la solución de cianuro.

La cal se usa para mantener el pH de la solución de cianuro a un nivel entre 10 y 11 para maximizar la recuperación de metales preciosos y para prevenir la creación de cianuro de hidrógeno (que es venenoso). Las colas que resultan de la recuperación de metales preciosos pueden contener niveles elevados de cianuros. La cal es usada en procesos de tratamiento, tales como Cyanisorb, cloración alcalina y dióxido de azufre/aire, para recobrar los cianuros.

En el sector ambiental la cal es usada en el suavizado y clarificación de agua potable municipal y para neutralizar las descargas de ácido de minas y de la industria. En tratamiento de aguas de drenajes, el papel tradicional de la cal es para controlar el pH en el digestor de lodos, el cual remueve los sólidos disueltos y suspendidos que contienen compuestos de fosfatos y nitrógeno. También ayuda en la clarificación y en la destrucción de bacterias dañinas. Mas recientemente, el mayor uso en tratamiento de drenajes ha sido para estabilizar los lodos de desecho.

La estabilización de lodos de drenaje, también llamada estabilización de biosólidos, reduce olores, patógenos y putrefacción de los sólidos. En la estabilización con cal, el proceso básico involucra mezcla cal viva con el desecho para subir la temperatura y pH de éste a niveles mínimos por un período específico de tiempo. El consumo de cal para todo el tratamiento de drenajes se incrementó en un 17%. El mercado de lodos de drenaje actualmente decreció un 3%, pero los mercados industrial y de desechos peligrosos incrementó en un impresionante 85%.

En los sistemas de desulfurización de gases de chimenea que sirven a las plantas de generación eléctrica y plantas industriales e incineradores, la cal se usa para reaccionar con los óxidos de azufre en los gases y para estabilizar los lodos resultantes antes de su disposición. En 1998, el mercado de desulfurización de gases resurgió a partir de un pequeño decrecimiento en 1997 que fue causado por suaves temperaturas estacionales. Reforzado por un incremento de 14% en ventas a las plantas de energía eléctrica, el mercado superó los 3 millones de toneladas por primera vez, con un total de 3.11 millones de toneladas.

La cal se usa en la industria de pulpa y papel en proceso de pulpeo básico Kraft, donde las astillas de madera y una solución acuosa de hidróxido de sodio u sulfuro de sodio (llamada licor) con calentadas y digeridas. Las astillas de madera cocinada (pulpa) son descargadas bajo presión junto con el licor no usado. La pulpa es tamizada, lavada y enviada directamente a la máquina de papel o a blanqueado. La cal es a veces usada para producir blanqueador de hipoclorito de calcio para blanquear la pulpa de papel. El licor desechado es procesado a través de un horno de recuperación donde los orgánicos disueltos son quemados para recuperar el calor desperdiciado y donde se recuperan el sulfuro de sodio y carbonato de sodio. Estos son diluidos con agua y entonces tratados con cal diluida para recaustizar el carbonato de sodio a hidróxido de sodio (soda cáustica) para reutilizarlo. La industria de papel también usa la cal como ayuda de coagulación en la clarificación de agua de proceso de la planta. En 1998 el consumo de cal para producción de pulpa y papel, excluyendo la producción de carbonato de calcio precipitado (CCP) decreció en un 14%. La industria de pulpa y papel experimentaron incrementos en importaciones y altos niveles de inventarios, los cuales resultaron en producción disminuida de pulpa. Al mismo tiempo, la industria continuó haciendo mejoras de capital para reciclar tanto carbonato de calcio como fuera posible, por razones económicas como ambientales.

En el ablandamiento de agua, la cal es usada, generalmente en conjunto con la ceniza de soda (carbonato de sodio), para ablandar agua de proceso de planta. Este proceso de precipitación remueve los iones de calcio y magnesio bivalentes solubles (y en menor grado hierro ferroso, manganeso, estroncio y cinc), los cuales contribuyen a la dureza del agua. Este proceso también reduce la alcalinidad de carbonato y contenido de sólidos disueltos.

En la industria química, la cal se utiliza para hacer CCP (carbonato de calcio precipitado), un relleno de especialidad usado para papeles de primera calidad

recubiertos y no recubiertos, pinturas y plásticos. El proceso de producción de CCP más común usado en los Estados Unidos es el proceso de carbonación, en el cual se burbujea dióxido de carbono a través de una lechada de cal, que es una suspensión de cal hidratada en agua, para formar un precipitado de carbonato de calcio y agua. Las condiciones de reacción determinan el tamaño y forma de los cristales de CCP resultantes. La cal se usa también en la fabricación de álcalis. La cal viva es combinada con carbón para producir carburo de calcio, el cual se usa para hacer acetileno y cianuro de calcio. La cal se usa para hacer hipoclorito de calcio, ácido cítrico, petroquímicos y otros químicos.

CAOLÍN (Ver Arcillas)

CINC (Zn)

El cinc es un elemento esencial para la salud humana y para el desarrollo y mantenimiento de la sociedad moderna. El cinc se ha usado por más de 2,000 años y sus usos van desde medicinas y hule a productos metálicos. Su uso principal es para proporcionar protección a la corrosión de hierro y acero (galvanizado).

El cinc se encuentra en una gran cantidad de productos manufacturados, pero su papel no es obvio porque tiende a perder su identidad en los productos. En todo tipo de construcción se usa recubrimiento de cinc para lámina de acero, formas estructurales, cercas, tanques de almacenamiento, clavos y laso de acero. Se usan ánodos de sacrificio de cinc para proteger cascos de barcos, plataformas de perforación marítimas, tubos y tanques sumergidos o enterrados, etc.

Otro uso importante es en la forma de óxido de cinc, para alimentación de animales, propósitos de agricultura, medicinales y como pigmentos. El latón (aleación de cobre y cinc) se usa en cartuchos de municiones y en tubos, válvulas, motores, equipo de refrigeración, intercambiadores de calor y aparatos electrónicos. Las partes troqueladas de cinc, tales como manecillas, parrillas, biseles, abrazaderas, chapas, bisagras, medidores, bombas, montajes y cajas se usan extensamente en vehículos, maquinaria, electrodomésticos, equipo científico, etc. El polvo de cinc se usa en imprimados y pinturas, en baterías secas, galvanizar tuercas, tornillos y partes pequeñas, para la precipitación de metales nobles de sus soluciones. La funda de metal de las baterías secas de carbón - cinc se hace de este metal, y se utiliza en la producción de monedas.

Se usan compuestos de cinc en imprimados (fondos) de pinturas inhibitorias de la corrosión, catalizadores químicos, flujos para soldadura, fungicidas y farmacéuticos, hule, fósforos, tubos catódicos, cerámicas y aditivos para aceites y grasas lubricantes. Las ferritas de cinc se utilizan en aparatos eléctricos como transformadores, bobinas, amplificadores, motores, sintonizadores en radio televisión y computadoras.

COBALTO (Co)

El cobalto es un elemento metálico, gris plateado, duro, dúctil, algo maleable y magnético; su punto de fusión es de 1,493° C. El cobalto 60 se produce irradiando Co en un reactor nuclear y se utiliza en terapia por radiación y en esterilización de suministros médicos.

El Co es un metal estratégico y crítico usado en muchas aplicaciones industriales y militares diversas. El mayor uso del cobalto es en super aleaciones, que son aleaciones diseñadas para resistir esfuerzo y corrosión a altas temperaturas. El principal uso de estas super aleaciones es en partes para motores de propulsión a chorro y en magnetos permanentes. El cobalto actúa como un adherente en carburos cementados y herramientas de diamante, que se usan para corte de metales, minería y perforación de pozos. Los compuestos de cobalto tienen usos como catalizadores en la industria petroquímica, como agentes secantes en pinturas, barnices y tintas, aditivos para esmaltes de porcelana y pigmentos para cerámica, pinturas y plásticos.

La producción de cobalto se concentra en número limitado de áreas geográficas. Más de la mitad del suministro mundial proviene de África central, primariamente Zaire y Zambia.

COBRE (Cu)

El cobre se comercializa en muchas formas que se relacionan con las diferentes etapas del procesamiento. En la mina el cobre se vende como mineral, concentrados o precipitados. El mineral puede contener desde 0.40 % hasta 10 % de cobre. Los concentrados se producen por molienda y concentración del mineral y pueden contener entre 18 % y 40 % de cobre. El precipitado de cobre o cemento de cobre se recupera de soluciones de lixiviación por precipitación química con hierro de chatarra y puede contener hasta 90 % de cobre.

Los productos de las fundidoras incluyen mata de cobre, ampollas, escoria y ánodos. La mata contiene entre 15 y 65 % de cobre, junto con el azufre y otros metales no ferrosos y preciosos. La mata se transfiere a un horno convertidor donde el azufre y hierro se oxidan y se remueven. La porción enriquecida se vierte como cobre de ampollas (97 a 98.5 %). La ampolla se refina al fuego, oxidando las impurezas en un horno de reverbero y posteriormente se elimina el exceso de oxígeno insertando leños verdes o un gas reductor. La ampolla se funde en ánodos y posteriormente se trata en un baño electrolítico para formar cátodos de cobre refinado (pureza de 99.3 %). Las impurezas en el ánodo de cobre, tales como oro, selenio y plata se recolectan al fondo del tanque electrolítico como residuo y se recuperan. Se comercializan más de 370 tipos y aleaciones de cobre. Las cinco clases principales son: **cobres**, las cuales contienen más de 99.3 % de Cu;

aleaciones de alto cobre, las cuales contienen al menos 94 % de Cu; **latones**, las cuales contienen cinc como el agente de aleación dominante; **bronces**, los cuales normalmente contienen estaño como el agente de aleación dominante, pero también pueden contener otros metales tales como aluminio, plomo, fósforo y silicio, pero sólo pequeñas cantidades de cinc; **cobres - niqueles**, las cuales contienen níquel como metal de aleación principal; **níquel - plata**, los cuales contienen cobre, níquel y cinc como los metales principales; **cobre - plomo**, que contienen 20 % o más de plomo pero no cinc o estaño. Para aleaciones especialmente duras se agrega berilio y para otras especiales se agrega fósforo.

De acuerdo con su origen, los depósitos de cobre se agrupan en las siguientes clases: (1) depósitos de cobre porfírico; (2) depósitos asociados con rocas ultramáficas, máficas y alcalinas ultrabásicas y carbonatitas; (3) depósitos volcánicos y metavulcanogénicos; (4) depósitos sedimentarios y metasedimentarios; y (5) vetas y cuerpos de reemplazo asociadas con secuencia metamórficas.

La exploración de depósitos de cobre puede tomar lugar en áreas potenciales que han sido cubiertas por rocas aluviales, volcánicas o sedimentarias. Posterior al descubrimiento por medio geofísicos y geoquímicos, se hacen campañas sucesivas incrementales de perforación para caracterizar y cuantificar el depósito, antes de tomar la decisión de ponerlo en producción. Durante la vida de producción del depósito se debe continuar con los programas de perforación para extender las reservas identificadas del depósito. Las compañías mineras desarrollan un inventario de propiedades de exploración a través de programas continuos de exploración de adquisición y con posterior examen, estas propiedades eventualmente se vuelven candidatas para desarrollo. Tomar un prospecto a través de todas las etapas hasta una mina productora está lleno de riesgos y requiere complejos análisis en geología, metalurgia, ingeniería y finanzas. Actualmente las consideraciones ambientales son también importantes en el proceso de decisión.

Buenos conceptos geológicos conducirán al equipo de exploración dentro de un ambiente regional con la mayor probabilidad de descubrimiento económico. En adición, antes que ocurra la exploración y desarrollo, serán considerados los factores políticos y económicos, los cuales incluyen el potencial para expropiación, disponibilidad de la tierra, facilidad de adquisición de la tierra y actitud local de la gente hacia la minería, incluyendo preocupaciones ambientales. Los factores económicos incluyen política de impuestos, facilidades de transporte, costos de infraestructura de energía, disponibilidad de mano de obra, incentivos para desarrollo y requisitos ambientales y de restauración.

CROMO (Cr)

El cromo tiene un amplio rango de usos en metales, químicos y refractarios. Es un importante material estratégico que se usa en hierro, acero y aleaciones no ferrosas para incrementar la dureza y resistencia a la corrosión y oxidación. Su uso

principal es para producir acero inoxidable. Otras aplicaciones son en recubrimiento de metales, alambre para resistencias eléctricas, pigmentos, procesamiento de cuero, catalizadores, tratamientos de superficies y refractarios.

El mineral de cromita se puede minar a cielo abierto y subterráneo, en minas altamente mecanizadas, aunque al suministro mundial contribuye una gran cantidad de operaciones mineras intensivas en mano de obra.

El beneficiado de depende de la fuente del mineral y el uso final requerido. Cuando la cromita está limpia sólo se requiere clasificación manual del material grueso y separación por gravedad del material fino. Cuando la mena es en grandes trozos y mezclada con la roca encajonante se puede usar separación por medio pesado. Cuando la cromita ocurre en granos finos entremezclados con la roca encajonante, se puede usar trituración en conjunción con separación por gravedad y separación magnética.

Fundición. La fundición de cromita para producir ferrocromo requiere tecnología de horno de arco eléctrico. Se produce mezclando cromita, materiales de flujo (cuarzo, dolomita, caliza, y aluminosilicatos) y un reductor carbonáceo.

La cromita se mina como el producto primario y no hay coproductos o subproductos de ningún tipo, ni es subproducto ninguna explotación minera.

CUARZO (Ver arena silícea)

DIATOMITA

La diatomita es una roca sedimentaria formada por sílice, proveniente de los restos esqueletizados de las diatomeas (plantas acuáticas celulares); sus sinónimos son tierra diatomacea, tierra de infusorios, kiesselguhr y tripolita.

Este material posee una gran estabilidad química, que permite su uso como aislante, medio filtrante, abrasivo fino para dentífricos, pastas para lustrar y pulir pintura de carros, fabricación de vidrio y esmaltes.

El método más económico de minado es a cielo abierto, aunque en Sudamérica y partes de Asia se extrae de depósitos subterráneos. El minado subterráneo consiste simplemente en seguir cada estrato hasta donde sea económico. La molienda y procesamiento se debe hacer cerca de la mina, porque los depósitos de diatomita suelen tener gran cantidad de humedad. Se debe tener cuidado durante la molienda para no triturar las partículas (esqueletos) de la diatomita, que le confieren muchas de sus propiedades.

FELDESPATO

Feldespato es un término general para designar un grupo de minerales estrechamente relacionados que consiste principalmente de silicatos de aluminio en combinación con proporciones variables de potasio, sodio y calcio. Los tipos principales de feldespato son ortoclasa y microclina, ambos con la siguiente fórmula: $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, y anortita $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. El feldespato es uno de los mayores componentes en la mayoría de rocas ígneas y constituye una gran parte de la corteza terrestre.

El feldespato, ya sea del tipo calcio o soda o una mezcla de ambos, tiene aplicaciones en la fabricación de vidrio, porcelana, azulejos, ladrillo vidriado, artefactos sanitarios, lana de vidrio, abrasivo en compuestos limpiadores y jabones. En el vidrio, el feldespato es una fuente de alúmina, la cual incrementa la resistencia al rayado y a la quebradura e incrementa la estabilidad química. En la cerámica, el feldespato actúa como fundente y baja la temperatura de fusión.

La mayoría de rocas de feldespato se pueden minar por procedimientos a cielo abierto. El feldespato minado selectivamente de pegmatitas puede ser procesado en seco, pasándolo sucesivamente a través de quebrantadores de quijadas, rodillos y molinos de guijarros, antes de sujetarlo a tratamiento magnético de alta intensidad o electrostático.

FLOURITA (FLUOROESPATO)

El mineral fluorita puro es CaF_2 y contiene 51 % de calcio y 49 % de flúor. En forma natural está asociado con cuarzo, barita, calcita, galena, calcopirita y fosfatos. Ocurre en cristales isométricos bien formados, en formas masivas o terrestres y como costras o agregados globulares. Hay tres grados principales de fluoroespato disponibles comercialmente: ácido, cerámico y metalúrgico.

El fluoroespato grado ácido contiene al menor 97% de CaF_2 , el grado cerámico contiene de 95 a 96 % y el grado metalúrgico contiene un mínimo de 60 %. El grado ácido se utiliza para fabricar ácido fluorhídrico. El grado cerámico se usa para producir vidrio y esmaltes, recubrimientos de varillas de soldadura y como fundente en la industria de acero. El grado metalúrgico se usa como fundente en la industria de acero, agregándolo a la escoria para hacerla más reactiva y fluida.

Los métodos de minado varían de acuerdo con las condiciones geológicas de los depósitos, pudiendo usarse métodos a cielo abierto y subterráneos. En algunos casos se usa método a cielo abierto y cuando se alcanza una excesiva remoción de material estéril se pasa a método subterráneo.

La mayoría del fluoroespato debe beneficiarse para comercializarlo. El grado metalúrgico a menudo se produce por clasificación manual de grandes trozos de

mineral y se quiebra y tamiza para eliminar la mayoría de finos. Los grados cerámico y ácido se producen por flotación por espuma multietapas. Se debe tener cuidado de no sobremoler porque el fluoroespato tiende a formar lamas.

GRAFITO

El grafito es una forma cristalina de carbón, a veces llamado plumbagina y plomo negro, que cristaliza en un sistema hexagonal lamelar, tiene lustre metálico de gris a negro y es grasoso al tacto. Se suele llamar "grafito amorfo", pero éste es un término erróneo y se debe usar el término "microcristalino".

Es práctica común mezclar los diferentes tipos de grafito para obtener un producto que tenga ciertas propiedades físicas y químicas deseadas. Sirve para fabricar minas de lápices, pigmentos, lubricantes, explosivos, escobillas de motores eléctricos, ánodos, carbones de arco voltaico y electrodos en galvanoplastia.

El grafito en trozos se mina en forma subterránea en venas que buzan profundamente. A veces se usa perforación manual para evitar finos no deseados y contaminación del producto.

Este producto es muy difícil de concentrar y se han ensayado prácticamente todos los equipos que existen en minería, a veces con pobres resultados.

GRANATE

Los granates son silicatos que contienen calcio, aluminio, hierro y más raramente magnesio, manganeso y cromo. Se encuentra como mineral accesorio en muchas rocas, pero es común encontrarlo en las rocas metamórficas denominadas esquistos. Las principales variedades son el almandino, la andradita, la grosularita, el piropo, la espesarita y la uvarovita.

Sus usos principales son: pulido de lentes ópticos y placas de vidrio, lija para acabado de madera, cuero, hule duro, plástico, y acabados finos de metales blandos como el cobre, latón y aluminio. Corte hidráulico con agua a presión. Limpieza de toberas y depósitos de hidrocarburos, con agua a presión. También se usan como gemas semipreciosas, cuando la calidad es apropiada. En el mercado de los polvos abrasivos, compite con los diamantes industriales y los óxidos de aluminio

HIERRO (Fe)

El hierro es el cuarto elemento formador de rocas más abundante, constituyendo alrededor del 5% de la corteza terrestre. También constituye el núcleo de la Tierra, combinado con níquel. Una pequeña parte del hierro de la corteza ha

sido concentrado por procesos sedimentarios, ígneos o metamórficos, formando depósitos que contienen hasta 70% del elemento. Las mayores concentraciones se encuentran en formaciones sedimentarias bandeadas de la era precámbrica, las que proporcionan la mayoría del hierro mundial y constituyen el grueso de las reservas mundiales. Las formaciones de hierro bandeado se concentran localmente por procesos naturales para formar depósito de alto grado de hematita al extraer la sílice y oxidar los minerales ferrosos; estos depósitos contienen de 20% a 40% de hierro. Depósitos masivos de magnetita, a veces con hematita, que se creen de origen ígneo, son fuentes importantes de mineral de hierro en el mundo; estos depósitos contienen hasta 65% de hierro y a menudo son ricos en titanio y vanadio.

El mineral se enriquece por flotación en columna, por las ventajas que ofrece sobre el método convencional de flotación, porque produce un concentrado de alto grado; otros beneficios constituyen bajos costos de capital y de operación y control y estabilidad mejorados.

Los usos principales del hierro son en siderurgia, ferroaleaciones, alambre y varillas de construcción y planchas.

MAGNESIO (Mg)

La magnesita o carbonato de magnesio ($MgCO_3$) tiene un contenido teórico de magnesio de 47.6%. La dolomita es un carbonato de calcio y magnesio que tiene un contenido teórico de 22%. Estos minerales son la mayor fuente de magnesio y sus compuestos; sin embargo, el agua de mar, las salmueras y agua madre de sal representan vastas fuentes de magnesio, pues en Estados Unidos más del 60% de los compuestos de magnesio se producen a partir de estas últimas fuentes.

Varios productos de magnesio se hacen calcinando carbonato de magnesio o hidróxido de magnesio a diferentes temperaturas. La magnesia cáustica calcinada, la cual es muy reactiva con el agua, es calcinada a temperaturas hasta de 890° C. La magnesia muerta calcina, también llamada magnesia refractaria o sinterizada, es calcinada a temperaturas hasta de 1,450° C y no reacciona con el agua. La magnesia fundida se produce a temperatura mayores de 3,000° C.

El uso principal para el magnesio metálico es como una aleación con aluminio, pues mejora la dureza y resistencia a la corrosión del aluminio puro. Estas aleaciones se usan en componentes estructurales en automóviles, camiones, aviones, electrodomésticos, matrices y moldes, herramientas y costaneras para casas. Las latas de bebidas contienen alrededor de 2% de magnesio y son el uso simple mayor para esta aleación. Los compuestos de magnesio se usan para señales luminosas, aislamiento térmico, pigmentos, polvos dentífricos, pulido, carga para hule, cementos de magnesio, extinguidores de incendios, apresto para tejidos, secador para gases, descamador de calderas, curtido de cuero, abonos, fósforos, papel escarchado y pulpa de papel. La producción de metales no ferrosos, berilio,

hafnio, titanio, uranio y circonio involucra el uso de magnesio como un agente reductor. Para la protección catódica de tubería y tanques subterráneos se usan ánodos de magnesio. Los refractarios basados en magnesio se usan para fabricar ladrillos de los hornos para fabricar vidrio, acero y cemento. La magnesia cáustica o calcinada se usa en agricultura, alimentos para animales y fertilizantes. La magnesia se usa para remover el azufre de los gases de chimenea y para la neutralización de ácidos en el agua de desagües.

El magnesio es el octavo elemento más abundante de la Tierra y constituye el 2% de la corteza. Es el tercer elemento más abundante disuelto en agua de mar, con una concentración promedio de 0.13%. Aun cuando muchos minerales contienen magnesio, los únicos de los que se puede recuperar comercialmente son la magnesita, dolomita, brucita y olivino. La dolomita es una roca sedimentaria comúnmente entrelazada en capas con caliza. La magnesita se encuentra en cuatro tipos de depósitos: camas sedimentarias, alteraciones de serpentina, rellenos de venas y reemplazos de dolomita y caliza. La brucita se encuentra en caliza cristalina y como producto de la descomposición de silicatos de magnesio asociados con serpentina, dolomita, magnesita y cromita. El olivino ocurre generalmente como masas granulares o granos diseminados de rocas ígneas básicas tales como basalto y gabro. La dunita es una roca rica en olivino.

Para recuperar el magnesio metálico de la dolomita se usa un proceso térmico. Se mezcla dolomita y ferrosilicón formados en briquetas y se calientan en cuan retorta al vacío. El óxido de magnesio reacciona con el ferrosilicón para producir vapor de magnesio, que se enfría y condensa en una sección separada de la retorta.

MANGANESO (Mn)

El manganeso es un constituyente esencial del hierro y el acero, en virtud de sus propiedades fijadoras de azufre, desoxidante y aleación. No existen materiales que puedan reemplazarlo, y las economías de Estados Unidos, Japón y Europa dependen de fuentes extranjeras para su abastecimiento.

La fabricación de hierro y acero consumen alrededor del 90% del manganeso. Relativamente pequeñas cantidades de manganeso se usan para aleación con aluminio. Las aplicaciones no metalúrgicas para manganeso incluyen alimentación para animales, coloración de ladrillos, despolarizante de pilas secas, fabricación de esmaltes y pinturas, mordientes, abonos, curtiembre, desinfectantes, pavonado de hierro, mordientes para telas.

Los recursos mundiales más grandes de manganeso en la corteza terrestre son de dos tipos principales: sedimentos químicos marinos y depósitos de enriquecimiento secundario. El potencial mundial de suministro incluye acumulaciones marinas extensas, tales como nódulos en los pisos oceánicos

profundos y costras en riscos del océano medio, cuyo futuro es aun indeterminado.

Entre los minerales más comunes de manganeso está la pirolusita, que es una forma mineral de dióxido de manganeso; el oxisilicato de braunita; y la rodocrosita, que es un mineral de carbonato de magnesio

En cuanto a exploración, no existen métodos altamente selectivos de localizar depósitos de manganeso, pero la interpretación de ambientes geológicos puede ayudar en la prospección.

La mayoría del mineral de manganeso se produce por operaciones mecanizadas. Se usan técnicas a cielo abierto y subterráneas y en algunos casos se utiliza minado selectivo para producir grados para batería y químicos.

El procesamiento se hace por molienda, tamizado, lavado, y separación por medio denso, así como por flotación y por magnetos de alta intensidad. Para manufacturar las ferroaleaciones de manganeso se usa el método electrotermal y en algunas localidades utilizan hornos de hogar abierto. El manganeso metálico se produce por electrólisis de una solución de sulfato de manganeso preparada a partir de mineral que ha sido tostado para reducirlo.

MERCURIO (Hg)

El mercado para el mercurio ha estado disminuyendo desde hace algunos años, a causa del desarrollo de sustitutos, por su potencial como un peligro para la salud y contaminante ambiental. La industria de las baterías ha reducido el contenido de algunas baterías en hasta un 98% y se han desarrollado baterías libres de mercurio. En los países industrializados se está sustituyendo los termómetros orales de mercurio por termómetros electrónicos digitales, para evitar la ingestión accidental de este elemento.

El mercurio se utiliza para fabricar productos medicinales y farmacéuticos, preparaciones odontológicas, fulminantes y detonadores para explosivos, agricultura, pinturas antiincrustantes para barcos, catalizador para cloro, soda cáustica y ácido acético, lámparas de arco de mercurio, amalgama para la extracción de oro y plata, fabricación de espejos, galvanoplastia, pavonado de hierro y acero, preservador de madera, estampado de telas, curtido de cueros, mordiente para pieles, desinfectantes, dorado al fuego, pinturas para porcelana, oscurecedor de latón.

MICA

Mica es el nombre de un grupo de minerales complejos de silicato de potasio hidratado, con diferentes composiciones químicas y diferentes propiedades físicas. Los cristales de mica tienen excelente clivaje basal y se parten fácilmente en hojas

flexibles y resistentes. Los minerales de mica más importantes son la muscovita y la flogopita (¿biotita?).

Las calidades comerciales de hojas de mica están relativamente libres de defectos y son lo suficientemente fuertes para ser troqueladas en formas específicas. La hoja de mica se clasifica en bloque, en planchas o molida. La mica en bloque es no menor de 0.018 cm de espesor y tiene un área usable mínima de 2.54 cm². La mica en planchas es partida a espesores especificados que oscilan en espesores de 0.03 mm a 0.1 mm. Las particiones son hojas con una espesor máximo de 0.03 mm y un área usable mínima de 1.9 cm². La mica troquelada, que incluye mica en círculos y roldanas, es mica de baja calidad, cortada a mano en círculos de 5 cm de diámetro. La mica formada, o micanita, consiste de particiones traslapadas de forma irregular y cementadas con un pegamento orgánico o inorgánico. La mica reconstituida o papel de mica es un material semejante al papel hecho por deposición de hojuelas finas de mica.

La hoja de mica se usa principalmente en las industrias de electrónica y electricidad, a causa de sus propiedades aislantes térmicas y eléctricas y sus propiedades mecánicas, que permiten cortarla y troquelarla a tolerancias ajustadas. Se usan bloques de mica de alta calidad para forrar los vidrios de los medidores de calderas de alta presión. La película de mica de moscovita se usa como dieléctrico para condensadores. Los usos generales son como sigue. En planchas o bloques: Aislamiento, fabricación de bujías y condensadores. Molida: techados, pistas asfálticas de aterrizaje, aislamiento de cables telefónicos, pinturas impermeabilizantes de telas, caucho, plástico, aislamientos eléctricos moldeados, aislamiento de casas, nieve para árboles de navidad, fabricación de grasas y aceites para ejes, recocido de metales, esmalte para oleoductos, textiles, perforación de pozos de petróleo, soldadura.

Las hojas de muscovita se obtienen de rocas ígneas llamadas pegmatitas, las cuales también contienen feldespato, cuarzo y varios minerales accesorios. Los diques y venas de pegmatita que oscilan desde 1 km de largo y 100 m de ancho a venas de 2 cm de ancho.

Los depósitos de flogopita están en áreas de rocas sedimentarias metamorfoseadas intruidas por masas de rocas graníticas ricas en pegmatita. La flogopita se encuentra como venas o bolsillos de capas de piroxenita intercalada o intersectada por mármol o gneis.

La mayoría de mica se recobra de esquistos micáceos, esquistos de sericita y como producto del procesamiento de feldespato, caolín y litio.

NÍQUEL (Ni)

El níquel es vital para la industria del acero inoxidable y su mayor valor es

como agente de aleación con otros elementos metálicos, agregando fuerza y resistencia a la corrosión sobre un amplio rango de temperaturas.

El níquel se comercializa ya sea como metal, como óxido de níquel sinterizado o como ferroníquel. El níquel comercial es más de 99.5% puro y puede estar en forma de placas cuadradas, polvo, ladrillos, partículas y lingotes.

Los usos del níquel son en acero inoxidable, acero resistente al calor y ácidos, plata alemana, alambre de níquel y cromo para resistencias eléctricas, metal monel (cobre, hierro, níquel y manganeso), niquelado, monedas, electrotipos, acumuladores, magnetos, puntas de pararrayos, electrodos, bujías, cojinetes y chumaceras, catalizador en la hidrogenación del aceite, catalizador para endurecer grasas, barnices para cerámica, pigmentos resistentes a la luz solar, mordiente para tinte y estampado, productos medicinales y farmacéuticos.

El níquel es el quinto elemento más abundante en la Tierra y se cree que está concentrado en el núcleo. Los estudios geológicos indican que la mayoría de depósitos se han derivado de rocas ultramáficas, tales como periodotita o serpentinita. Estas son rocas ígneas bajas en cuarzo y feldespato, pero altas en silicatos ferromagnésicos. El contenido de níquel en rocas ultramáficas, aun cuando es relativamente alto comparado con otras rocas, raramente excede 0.3% en peso. Estos valores son muy bajos para hacerlo económicamente minable. Las fuentes comerciales son:

Las lateritas de níquel se forman por la intemperización de rocas ultramáficas. A medida que la roca se intemperiza, el níquel, hierro y a veces cobalto son solubilizados por el agua descendente y redepositados a mayor profundidad, produciendo una zona de enriquecimiento.

Los depósitos de sulfuro de níquel se forman por algún tipo de actividad ígnea o metamórfica, tales como la intrusión de roca ultramáfica fundida o la alteración de la roca huésped por soluciones hidrotermales. Estos depósitos se encuentran en asentamientos volcánicos y plutónicos y pueden ocurrir como menas masivas, burbujas diseminadas, rellenos en brechas y venas.

El principal problema asociado con la producción de níquel es la emisión de dióxido de azufre (SO_2) a partir de fundidoras que usan menas sulfurosas, porque este compuesto se combina con agua en la atmósfera y produce lluvia de ácido sulfúrico. Las fundiciones de níquel tienen muchos más problemas que las de cobre, pues, por cada tonelada de cobre se produce una tonelada de azufre, mientras que por cada tonelada de níquel se producen ocho toneladas de azufre. Para reducir el contenido de SO_2 se lavan de los gases en una lechada de carbonato de calcio, lo que produce sulfato de calcio (yeso).

Toxicidad: Los trabajadores expuestos a muy altas concentraciones de óxidos y sulfuros de níquel ($1 \text{ mg} / \text{m}^3$) tienen un riesgo incrementado de padecer cáncer de

pulmones o senos nasales. No hay evidencia que la exposición al níquel metálico incremente el riesgo de ningún tipo de cáncer.

OBSIDIANA ÓPALO Y JASPE

ORO (Au)

El uso principal del oro es en joyería y como acumulador de riqueza, pero debido a su conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión y otras combinaciones de propiedades físicas y químicas, el oro es un metal industrial esencial. El oro realiza funciones críticas en computadoras, equipo de comunicaciones, equipo aerospacial, máquinas de aviones a chorro y muchas otras.

El uso industrial más importante de oro es en computadoras, especialmente en circuitos impresos, pues se emplean muy bajos voltajes que requieren conectores, contactos de conmutación, soldaduras y ciertos otros componentes que deben permanecer estables química y metalúrgicamente estables durante toda la vida del aparato, especialmente los equipos aerospaciales que están sometidos a condiciones ambientales muy exigentes.

El oro tiene algunas definiciones de grados pureza distinto de los otros metales: la "fineza" se refiere a la proporción de peso de oro puro expresado en partes por mil, por ejemplo los lingotes comerciales son 995 finos. El término "quilates" se refiere también a pureza, pero expresada en 1/24 partes, así, el oro de 10k tiene 10/24 o 41.7% o fineza de 417. El oro suele usarse en aleaciones con cobre, plata y pequeñas adiciones de cinc y níquel, y a veces platino o paladio.

Los lingotes de oro refinado deben contener 350 a 430 onzas troy (1 oz troy = 31.1035 gramos) con una fineza mínima de 995. El sistema de pesos troy se usa en el mundo para oro y otros metales preciosos, pero los acuerdos de globalización dictan el uso del Sistema Internacional (S.I.) La barra debe llevar estampado el sello de uno de los 49 fundidores aprobados en el mundo.

La corteza terrestre tiene un estimado de 0.0034 gramos de oro por tonelada métrica (0.0001 onzas por tonelada corta, o 3.5 partes por billón, (ppb). Las rocas sedimentarias, especialmente arenas, tienen un contenido superior al promedio. En rocas ígneas, el contenido es ligeramente más alto en rocas coloreadas máficas que en rocas claras félsicas. El agua de mar contiene en promedio, 0.011 ppb de oro, pero no se ha desarrollado un procedimiento comercial de extracción. Los depósitos de oro se encuentran en muchos tipos de rocas, como depósitos hidrotermales. El oro ocurre principalmente como metal nativo, y en aleaciones con plata y otros

metales y está comúnmente asociado con sulfuros de antimonio, arsénico, cobre, hierro y plata. La erosión química y mecánica causan que el oro en forma metálica sea liberado de la veta o depósito primario y se acumula como pepitas y granos en depósitos residuales llamados “placer” en inglés.

Aun cuando se tienen técnicas modernas para exploración de oro, la batea de oro permanece como la técnica más simple y de bajo costo para encontrar oro visible y rastrearlo hasta su origen. Un procedimiento básico común para rastrear vetas tipo bonanza (venas en ganga de cuarzo) es recolectar, moler y lavar en batea en áreas geológicamente favorables.

La tecnología de minado de oro y mucha de la producción mundial viene de venas profundas y angostas, bastante difíciles de trabajar, por la alta temperatura y humedad subterránea y la extremada presión de las rocas, que a menudo causan estallidos peligrosos. Una parte importante se explota a cielo abierto usando modelos computarizados para analizar varios factores de producción y establecer la configuración y extracción óptima del pozo.

El oro se recupera por molienda y tratado por amalgamación, concentración por flotación o por gravedad y por extracción química con cianuro.

PERLITA

La perlita es un vidrio volcánico natural formado por el enfriamiento rápido de material rocoso fundido, comúnmente con un contenido de 3 – 4% en peso de agua, la cual al ser calentada entre 900 y 1250°C, se infla o expande 15 o 20 veces su volumen original. De esta manera, el material es excelente para el agregado liviano en concreto, aislante térmico, relleno, filtro, empleo en la agroindustria y como purificador de aguas contaminadas.

La perlita se usa principalmente para los equipos de frío y calor en la industria en general, petroquímica, generación de potencia, pulpa, azúcar, plásticos, fibras sintéticas, construcción de barcos, producción de acero y fábricas de alimentos congelados. También se usa para forrar tuberías para protección térmica y ahorro energético. Es un material incombustible usado en la industria de la construcción de edificios como material a prueba de fuego, aislamiento de calor y protección del ruido. Otros usos importantes incluyen abrasivos, estuco acústico y fachaletas, base de carbón para barbacoa, base para limpiadores, agregados para concreto de construcción, extendedor para fertilizantes, auxiliar para filtros, material inerte para dar cuerpo a otros productos, texturizador de pinturas y aislante.

La perlita puede ser descrita como una roca riolítica, vidriosa, volcánica, que tiene un lustre perlado y que generalmente presenta numerosas fracturas concéntricas semejantes a la piel de una cebolla. Químicamente la perlita es esencialmente un silicato de aluminio amorfo metaestable. Un análisis químico típico

muestra un rango de 71-75% de SiO₂, 12.5-18% de Al₂O₃, 4-5% de K₂O, 1-4% de óxidos de sodio y calcio y trazas de óxidos metálicos. La perlita es químicamente inerte y tiene un pH aproximadamente de 7 cuando se pone en solución acuosa. El peso específico de la perlita varía de 2.2 a 2.4 y tiene una dureza entre 5.5 y 7 en la escala de Mohs. En la mena la perlita puede variar de gris claro transparente a negro vidrioso; sin embargo, cuando está expandida varía de blanco nieve a blanco grisaseo.

PLATA (Ag)

La plata ha jugado un papel importante como metal para ornamentos y utensilios de mesa y como metal para uso en monedas, pero este último uso se ha reducido modernamente, por el relativamente precio alto de la plata y se ha sustituido por metales más baratos.

La pureza de la plata, al igual que el oro, se expresa en "fineza", que son partes por millar, por ejemplo la plata esterlina es 925 fina.

El uso industrial más importante de la plata es en material fotográfico y de rayos X. También se usa en productos eléctricos y electrónicos por su alta conductividad eléctrica y termal, que es la más alta de todos los metales y su alta resistencia a la corrosión. Las baterías de plata producen una alta salida por tamaño unitario y peso, pero tienen corta vida y alto costo, por lo que su principal uso es en aplicaciones aeroespaciales y militares y las baterías de tamaño botón de plata - cinc para calculadoras y audífonos para sordos. La plata esterlina es el material que se usa para hacer utensilios de mesa y es una aleación de 92.5% de plata y 7.5% de cobre. La plata también se usa para hacer espejos, catalizadores, medicinas, amalgamas dentales, cojinetes, monedas, medallones y objetos conmemorativos.

La plata ocurre como metal nativo pero a menudo se encuentra combinada con azufre, siendo el mineral principal la galena, que es sulfuro de plomo. Los depósitos de cobre y cinc también son fuente importante de plata.

La plata se mina en sistema de cielo abierto y subterráneos y el procesamiento es casi totalmente por flotación. Los concentrados contienen plata junto con cobre, plomo y cinc. La plata se recupera de los productos intermedios que resultan de la fundición de los concentrados. En los minerales en que predomina el plomo la plata se acarrea con éste en la fundición y se separa del mismo por la adición de cinc a la mezcla fundida de plomo - plata. La mezcla se enfría y la aleación plata - cinc que es insoluble en plomo flota en éste, donde es desnatada. El cinc se destila en retorta para su reutilización y el residuo de la retorta se tuesta para recuperar el oro y plata como doré y el plomo litargirio.

En los minerales en que predomina el cobre, la plata se acarrea con éste y se separa en la refinación electrolítica como lodos del ánodo.

Los minerales de oro y plata generalmente se tratan por cianidación, moliéndolos previamente y extrayendo con solución diluida de cianuro de sodio o potasio. Se usa polvo de cinc para precipitar la plata y el oro de la solución.

PLOMO (Pb)

El plomo es un metal pesado y suave, siendo el más resistente a la corrosión de los metales comunes. El principal uso es en las baterías plomo - ácido para toda clases de sistemas de potencia, incluyendo automóviles. Debido a su bajo costo relativo, este tipo de baterías no ha podido ser sustituido por sistemas más modernos.

Un problema mayor con el plomo en alguno de sus usos es su toxicidad, ya que la acumulación, aunque sea de minúsculas cantidades, en el sistema acuoso del cuerpo puede causar daño cerebral permanente y/o problemas en el sistema nervioso central, hígado y riñones, y aun la muerte. Los problemas de toxicidad están presentes tanto en su producción como en el uso y las emisiones de las fundidoras y refinerías deben ser cuidadosamente reguladas. Las gasolinas con plomo han prácticamente eliminadas de todos los países.

Aun cuando hay mucha información acerca de los efectos de la sobreexposición al plomo, no existe acuerdo sobre cual es el nivel máximo permisible.

Los minerales de plomo son relativamente simples, siendo el principal la galena (PbS). La mayoría de depósitos contienen galena asociada con esfalerita, (ZnS), pirita (FeS₂), calcopirita (CuFeS₂). La galena a menudo contiene cantidades variables de plata (galena argentífera). Los depósitos de plomo son de cuatro tipos: sulfuros masivos, reemplazo, metamórfico de contacto y venas.

PÓMEZ

El mercado más importante para la pómez es la fabricación de bloques para construcción. También se consume en las lavanderías de textiles y como agente abrasivo. Otros usos menores es como absorbente, en horticultura, agregado para concreto, diluyente sólido para ciertos alimentos, material de relleno, ayudas para filtro, medio de aislamiento y como piedra dimensional en arreglo de paisajes, un uso que tiene mucha demanda en países como Japón.

SAL GEMA

La sal (cloruro de sodio), cuyo mineral se llama halita, es un producto que es conocido y usado virtualmente por cada persona en el mundo. La sal es un

importante compuesto que tiene una gran cantidad de aplicaciones, especialmente como materia prima para la fabricación de cloro y soda cáustica. Estos dos productos químicos tienen una gran cantidad de productos finales para uso del consumidor, tales como cloruro de polivinilo (PVC), plásticos clorados y productos para la fabricación de pulpa de papel.

La sal ha sido una mercadería importante a través de la historia. La palabra salario se deriva del latín, porque la sal era parte del pago de los soldados.

La sal se obtiene evaporando agua de mar o minando los depósitos de mares desecados. Esta última se conoce como roca de sal, y se extrae disolviendo la roca con agua fresca, a la que después se le evapora el agua. Actualmente se hace utilizando vacío, lo que reduce el punto de ebullición del agua y se ahorra energía.

La sal se utiliza como alimento para animales, prensándola en bloques de 50 lb, con la adición de azufre, yodo, elementos traza y vitaminas, para proporcionar los nutrientes faltantes en la alimentación del ganado.

SERPENTINA

TALCO

La producción comercial de talco es a partir de depósitos formados por alteración hidrotermal de rocas ultrabásicas y metamorfismo de bajo grado de dolomitas silíceas. Ocurre generalmente en lentes en rocas, y pueden estar presentes minerales accesorios como magnesita, cuarzo, clorita, magnetita, serpentina, antrofilita, tremolina, dolomita y actinolita. La mayoría de la producción se hace en minas a cielo abierto; típicamente se remueve la sobrecapa y se usan explosivos para fracturar la roca.

El talco se usa en una amplia variedad de productos, a causa de su suavidad (1 en la escala de Mohs), pureza, fragancia, retención, blancura, lustre, contenido de humedad, absorción de aceites y grasas, inercia química, baja conductividad eléctrica, alta resistencia dieléctrica y alta conductividad termal. Estas propiedades no son universales a todos los minerales talcosos, a causa de la diferencia en su composición mineralógica y forma de partícula. El principal consumidor de talco es la industria de la construcción, con aplicaciones en tejas cerámicas, artefactos sanitarios, compuestos para unión, cerámica, pinturas, papel, techos y plásticos.

TITANIO (Ti)

El titanio es un metal de peso liviano conocido por su resistencia a la corrosión y su cociente de alta resistencia por peso. El titanio forma alrededor del 0.62% de la corteza terrestre y ocurre primariamente en los minerales anastase, brookita,

ilmenita, leoxeno, perovskita, rutilo y esfeno. Aunque el titanio es mejor conocido por su uso como aleación, su uso principal es en la forma de dióxido de titanio (TiO_2), que se usa ampliamente en pinturas, papel y plásticos. Otros usos menores de los minerales de titanio incluyen cerámicas, productos químicos, recubrimiento de varillas para soldar y fundente de hornos de acero.

La ilmenita es el mineral de titanio más abundante, con fórmula FeTiO_3 . El rutilo es esencialmente TiO_2 cristalino, así como el anastase, pero con una estructura cristalina diferente.

TUNGSTENO (W)

El tungsteno es un metal color gris plateado, cuya propiedad más sobresaliente es su elevado punto de fusión de $3,410^\circ\text{C}$, el más alto de todos los metales. Es también uno de los elementos más pesados, con una densidad de 19.3 g/cm^3 . Tiene buena resistencia a la corrosión, buena conductividad térmica y eléctrica y bajo coeficiente de expansión.

La extrema dureza del carburo de tungsteno los hacen el metal de preferencia para cuchillas de corte en máquinas herramienta sujetas a desgaste o abrasión intensa y para superficies metálicas en troqueles. La industria del petróleo y minería utiliza el carburo de tungsteno en taladros y en los bordes de corte de las máquinas de movimiento de tierra y las de trituración.

El tungsteno es un importante constituyente en una amplia variedad de superaleaciones y aleaciones no ferrosas. Las superaleaciones han sido incrementalmente utilizadas en aplicaciones de alta temperatura, por su alta resistencia a la oxidación. El tungsteno en aleación con el cobre o plata se usa para contactos eléctricos para proporcionar resistencia al desgaste con adecuada conductividad eléctrica.

Las aleaciones de tungsteno, tales como varillas, alambre y planchas son producidas a partir de polvo de tungsteno metálico reducido con hidrógeno. El carburo de tungsteno producido a partir del polvo es cementado, usualmente con cobalto, para formar diferentes herramientas de corte resistentes al desgaste.

Los productos químicos de tungsteno tales como paratungstato de amonio, ácido tungstico y tungstato de sodio se producen como coproductos en algunas plantas de procesamiento de tungsteno y como productos primarios en otras. Cuando estos químicos no se procesan posteriormente a polvo metálico, generalmente se usan en la industria química.

Los materiales de tungsteno pueden ser divididos en cuatro clases principales, dependiendo del uso: (1) carburo, en materiales de corte y resistentes al desgaste, varillas de soldadura y de cara dura; (2) productos hechos esencialmente de metal

puro; (3) una aleación constituyente de aceros de alta velocidad, de herramientas y de troqueles; y (4) diferentes químicos y compuestos para aplicaciones no metalúrgicas.

Los productos hechos de tungsteno puro se usan en cantidades significativas en la industria eléctrica y electrónica. El alambre de tungsteno se usa como el filamento en lámparas eléctricas y cátodos para tubos electrónicos. Discos producidos a partir de varillas o planchas de tungsteno se usan como puntos de contacto en distribuidores de automóviles, así como en muchos otros productos. El tungsteno metálico es utilizado como blindaje de radiación y calor, como electrodos para soldadura por gases inertes, como componentes de tubos de rayos X y rayos catódicos y como elementos calentadores en hornos de resistencias de alta temperatura. Se usa en la industria aeroespacial porque retiene su resistencia a elevada temperatura en atmósferas reductoras o inertes. También se usa como metal pesado en contrapesos y balances en elementos rotantes en la industria aeroespacial, pero este uso se está sustituyendo paulatinamente por uranio agotado.

En la mayoría de las aplicaciones el carburo de tungsteno es generalmente cementado con cobalto metálico en polvo, por compactación y sinterización.

La scheelita natural o sintética, en forma de nódulos, es ideal para la adición directa a hornos de acero porque el calcio se remueve como escoria.

TURMALINA

URANIO (U)

El uranio es un elemento radiactivo de importancia estratégica que se utiliza para la producción de energía nuclear y la fabricación de armas atómicas.

Se conocen quince tipos principales de ocurrencias y depósitos de uranio. Los depósitos se formaron durante la zonación de la Tierra por migración en un movimiento hacia arriba por convección de una fuente de calor radiactiva. Las soluciones son los mejores agentes de movilización del uranio. Su generación principia con la separación de agua de los reservorios locales permeables y termina con la disociación de agua a partir de los minerales durante su deshidratación. Tales soluciones pueden ser endógenas o exógenas, dependiendo de las rocas ígneas o sedimentarias que han sido deformadas.

Los principales productores de uranio son Estados Unidos, Canadá y Sudáfrica, que producen arriba del 75% del total mundial. También son importantes productores Francia, Australia, Zaire, Gabón y más recientemente, Nigeria y Namibia.

La producción de uranio se ha visto un poco limitada en años recientes, pero debido a las preocupaciones acerca del efecto del CO₂ en el calentamiento global, se

está tratando de disminuir el consumo de carbón, sustituyéndolo por energía nuclear. Esto anticipa una nueva era de exploración y explotación de este elemento.

YESO

El yeso tiene una composición de 79% de sulfato de calcio y 21% de agua. La variedad cristalina bien formada se llama selenita y la variedad masiva se llama alabastro y puede ser fácilmente tallada. La variedad fibrosa y sedosa se llama espato satinado. La anhidrita es sulfato de calcio CaSO_4 , sin agua de cristalización. Es un mineral que ocurre naturalmente, comúnmente asociado con el yeso. Cuando este se calcina a altas temperaturas, se convierte en anhidrita.

El yeso calcinado comercialmente se produce por calcinación parcial del yeso a 176°C (350°F). Este se llama "Emplasto de París" y cuando se le agrega agua forma una pasta que se endurece rápidamente, formando yeso nuevamente.

El yeso es un subproducto de los procesos de manufactura del ácido fosfórico, ácido fluorhídrico, ácido cítrico y del dióxido de titanio.