

MINERÍA

INTRODUCCIÓN

Minería, obtención selectiva de minerales y otros materiales (salvo materiales orgánicos de formación reciente) a partir de la corteza terrestre. La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad. Casi desde el principio de la edad de piedra, hace 2,5 millones de años o más, ha venido siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas. Se puede decir que la minería surgió cuando los predecesores de los seres humanos empezaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas. Al principio, la minería implicaba simplemente la actividad, muy rudimentaria, de desenterrar el sílex u otras rocas. A medida que se vaciaban los yacimientos de la superficie, las excavaciones se hacían más profundas, hasta que empezó la minería subterránea. La mina subterránea más antigua que se ha identificado es una mina de ocre rojo en la sierra Bomvu de Suazilandia, en África meridional, excavada 40.000 años antes de nuestra era (mucho antes de la aparición de la agricultura). La minería de superficie, por supuesto, se remonta a épocas mucho más antiguas.

Mina subterránea. Las minas subterráneas se abren en zonas con yacimientos minerales prometedores. El pozo es la perforación vertical principal y se emplea para el acceso de las personas a la mina y para sacar el mineral. Un sistema de ventilación situado cerca del pozo principal lleva aire fresco a los mineros y evita la acumulación de gases peligrosos. Un sistema de galerías transversales conecta el yacimiento de mineral con el pozo principal a varios niveles, que a su vez están conectados por aberturas llamadas alzamientos. Las gradas son las cámaras donde se extrae el mineral.

Todos los materiales empleados por la sociedad moderna han sido obtenidos mediante minería, o necesitan productos mineros para su fabricación. Puede decirse que, si un material no procede de una planta, entonces es que se obtiene de la tierra. Incluso las otras actividades del sector primario agricultura, pesca y silvicultura no podrían llevarse a cabo sin herramientas y máquinas fabricadas con los productos de las minas. Cabe argumentar por ello que la minería es la industria más elemental de la civilización humana.

Los métodos de minería se dividen en cuatro tipos básicos. En primer lugar, los materiales se pueden obtener en minas de superficie, explotaciones a cielo abierto u otras excavaciones abiertas. Este grupo incluye la inmensa mayoría de las minas de todo el mundo. En segundo lugar, están las minas subterráneas, a las que se accede a través de galerías o túneles. El tercer método es la recuperación de minerales y combustibles a través de pozos de perforación. Por último, está la minería submarina o dragado, que próximamente podría extenderse a la minería profunda de los océanos.

La minería siempre implica la extracción física de materiales de la corteza terrestre, con frecuencia en grandes cantidades para recuperar sólo pequeños volúmenes del producto deseado. Por eso resulta imposible que la

minería no afecte al medio ambiente, al menos en la zona de la mina. De hecho, algunos consideran que la minería es una de las causas más importantes de la degradación medioambiental provocada por los seres humanos. Sin embargo, en la actualidad, un ingeniero de minas cualificado es capaz de limitar al máximo los daños y recuperar la zona una vez completada la explotación minera.

Por lo general, la minería tiene como fin obtener minerales o combustibles. Un mineral puede definirse como una sustancia de origen natural con una composición química definida y unas propiedades predecibles y constantes. Los combustibles más importantes son los hidrocarburos sólidos, que, por lo general, no se definen como minerales. Un recurso mineral es un volumen de la corteza terrestre con una concentración anormalmente elevada de un mineral o combustible determinado. Se convierte en una reserva si dicho mineral, o su contenido (un metal, por ejemplo), se puede recuperar mediante la tecnología del momento con un coste que permita una rentabilidad razonable de la inversión en la mina. Generalmente, se dice que una mina es explotable cuando la inversión para la explotación es inferior al beneficio obtenido por la comercialización del mineral.

Hay gran variedad de materiales que se pueden obtener de dichos yacimientos. Pueden clasificarse como sigue:

Metales: incluyen los metales preciosos (el oro, la plata y los metales del grupo del platino), los metales siderúrgicos (hierro, níquel, cobalto, titanio, vanadio y cromo), los metales básicos (cobre, plomo, estaño y cinc), los metales ligeros (magnesio y aluminio), los metales nucleares (uranio, radio y torio) y los metales especiales, como el litio, el germanio, el galio o el arsénico.

Minerales industriales: incluyen los de potasio y azufre, el cuarzo, la trona, la sal común, el amianto, el talco, el feldespato y los fosfatos.

Materiales de construcción: incluyen la arena, la grava, los áridos, las arcillas para ladrillos, la caliza y los esquistos para la fabricación de cemento. En este grupo también se incluyen la pizarra para tejados y las piedras pulidas, como el granito, el travertino o el mármol.

Gemas: incluyen los diamantes, los rubíes, los zafiros y las esmeraldas.

Combustibles: incluyen el carbón, el lignito, la turba, el petróleo y el gas (aunque generalmente estos últimos no se consideran productos mineros). El uranio se incluye con frecuencia entre los combustibles.

Los depósitos de mineral pueden adoptar casi cualquier forma. Pueden aflorar a la superficie o estar a gran profundidad. En algunas de las minas de oro de la República de Sudáfrica, la extracción empieza a profundidades muy superiores a los 1.500 m y baja hasta más de 3.500 metros. En las minas se puede

recuperar material poco compacto no consolidado, como los sedimentos del lecho de un río, o minerales situados en roca maciza más dura que cualquier hormigón.

Como se ha indicado antes, existen cuatro sistemas fundamentales de extracción minera: la minería de superficie (que incluye las canteras), la minería subterránea, la minería por dragado (que incluye la minería submarina) y la minería por pozos de perforación. A continuación se describe cada uno de estos sistemas. Dentro de cada uno, los puntos fundamentales permanecen constantes, pero los detalles varían según el material extraído, la dureza de la roca y la geometría del depósito. Por supuesto, existe un cierto solapamiento entre los distintos métodos.

MINERÍA DE SUPERFICIE

La minería de superficie es el sector más amplio de la minería, y se utiliza para más del 60% de los materiales extraídos. Puede emplearse para cualquier material. Los distintos tipos de mina de superficie tienen diferentes nombres, y, por lo general, suelen estar asociados a determinados materiales extraídos. Las minas a cielo abierto suelen ser de metales; en las explotaciones al descubierto se suele extraer carbón; las canteras suelen dedicarse a la extracción de materiales industriales y de construcción, y en las minas de placer se suelen obtener minerales y metales pesados (con frecuencia oro, pero también platino, estaño y otros).

MINAS DE CIELO ABIERTO

Son minas de superficie que adoptan la forma de grandes fosas en terraza, cada vez más profundas y anchas. Los ejemplos clásicos de minas a cielo abierto son las minas de diamantes de Sudáfrica, en las que se explotan las chimeneas de kimberlita, depósitos de mineral en forma cilíndrica que ascienden por la corteza terrestre. A menudo tienen una forma más o menos circular.

La extracción empieza con la perforación y voladura de la roca. Ésta se carga en camiones con grandes palas eléctricas o hidráulicas, o con excavadoras de carga frontal, y se retira del foso. El tamaño de estas máquinas llega a ser tan grande que pueden retirar 50 m³ de rocas de una vez, pero suelen tener una capacidad de entre 5 y 25 m³. La carga de los camiones puede ir desde 35 hasta 220 toneladas. Un avance de la minería moderna consiste en que las palas descarguen directamente en una trituradora móvil, desde la que se saca de la mina la roca triturada en cintas transportadoras.

El material clasificado como mineral se transporta a la planta de recuperación, mientras que el clasificado como desecho se vierte en zonas asignadas para ello. A veces existe una tercera categoría de material de baja calidad que puede almacenarse por si en el futuro pudiera ser rentable su aprovechamiento.

Muchas minas empiezan como minas de superficie y, cuando llegan a un punto en que es necesario extraer demasiado material de desecho por cada tonelada de mineral obtenida, se empiezan a utilizar métodos de minería subterránea.

EPLOTACION AL DESCUBIERTO

Las explotaciones al descubierto se emplean con frecuencia, aunque no siempre, para extraer carbón y lignito. En el Reino Unido se obtienen más de 10 millones de toneladas de carbón anuales en explotaciones al descubierto. La principal diferencia entre estas minas y las de cielo abierto es que el material de desecho extraído para descubrir la veta de carbón, en lugar de transportarse a zonas de vertido lejanas, se vuelve a dejar en la cavidad creada por la explotación reciente. Por tanto, las minas van avanzando poco a poco, rellenando el terreno y devolviendo a la superficie en la medida de lo posible el aspecto que tenía antes de comenzar la extracción. Al contrario que una mina a cielo abierto, que suele hacerse cada vez más grande, una explotación al descubierto alcanza su tamaño máximo en muy poco tiempo. Cuando se completa la explotación, el foso que queda se puede convertir en un lago o rellenarse con el material procedente de la excavación realizada al comenzar la mina.

Parte del equipo empleado en las explotaciones al descubierto es el mismo que el de las minas a cielo abierto, sobre todo el utilizado para extraer el carbón. Para obtener las rocas de desecho situadas por encima, la llamada sobrecarga, se emplean los equipos más grandes de toda la minería. En Alemania existe una excavadora de cangilones que puede extraer 250.000 m³ de material diarios. La máquina va montada sobre orugas y es automotriz. Otra máquina de gran tamaño que se emplea sobre todo en explotaciones al descubierto es la excavadora de cuchara de arrastre; una de estas máquinas, empleada en el Reino Unido en el pasado, extraía 50 m³ de sobrecarga cada vez.

CANTERAS

Las canteras son bastante similares a las minas a cielo abierto, y el equipo empleado es el mismo. La diferencia es que los materiales extraídos suelen ser minerales industriales y materiales de construcción. En general, casi todo el material que se obtiene de la cantera se transforma en algún producto, por lo que hay bastante menos material de desecho. A su vez, esto significa que al final de la vida útil de la cantera queda una gran excavación. No obstante, debido a los bajos precios que suelen tener los productos de la mayoría de las canteras, éstas tienen que estar situadas relativamente cerca de los mercados. Si no fuera así, los gastos de transporte podrían hacer que la cantera no fuera rentable. Por esta razón, muchas se encuentran cerca de aglomeraciones urbanas. También supone que las cavidades creadas por muchas canteras adquieren un cierto valor como vertederos de residuos urbanos. En las cercanías de las grandes ciudades, puede ser que la excavación creada por la cantera tenga un valor superior al del material extraído. Debido al bajo coste actual del transporte marítimo, se están abriendo nuevos tipos de grandes canteras costeras. Estas canteras pueden servir a mercados alejados porque los gastos de transporte son lo bastante bajos como para que sus productos sigan siendo competitivos.

MINAS DE PLACER

Minería de placer. La minería de placer implica la excavación de depósitos de aluvión poco compactos, como arena, grava, limo o arcilla. Los minerales valiosos se separan de los materiales de aluvión mediante un sistema de cribas y lavaderos. Entre los minerales de placer figuran metales como el oro, el platino o el estaño

y gemas como diamantes y rubíes.

Los placeres son depósitos de partículas minerales mezcladas con arena o grava. Las minas de placer suelen estar situadas en los lechos de los ríos o en sus proximidades, puesto que la mayoría de los placeres son graveras de ríos actuales o graveras fósiles de ríos desaparecidos. No obstante, los depósitos de playas, los sedimentos del lecho marino y los depósitos de los glaciares también entran en esta categoría. La naturaleza de los procesos de concentración que dan lugar a los placeres hace que en este tipo de minas se obtengan materiales densos y ya liberados de la roca circundante. Eso hace que el proceso de extracción sea relativamente sencillo y se limite al movimiento de tierras y al empleo de sistemas sencillos de recuperación física, no química, para obtener el contenido útil. El material extraído puede depositarse en zonas ya explotadas a medida que va avanzando la mina, a la vez que se recupera la superficie. Las minas de placer terrestres emplean equipos similares a los de otras minas de superficie. Sin embargo, muchas minas de placer se explotan mediante dragado (ver más adelante).

MINERÍA SUBTERRÁNEA

En todas las galerías subterráneas, los mineros se enfrentan a los mismos peligros: posible acumulación de gases peligrosos o polvo de carbón explosivo y riesgo de derrumbe del techo. Para reducir el peligro se emplean buenos sistemas de ventilación, se espolvorea la roca con caliza y se entiban las galerías con acero.

La minería subterránea se puede subdividir en minería de roca blanda y minería de roca dura. Los ingenieros de minas hablan de roca blanda cuando no exige el empleo de explosivos en el proceso de extracción. En otras palabras, las rocas blandas pueden cortarse con las herramientas que proporciona la tecnología moderna. La roca blanda más común es el carbón, pero también lo son la sal común, la potasa, la bauxita y otros minerales. La minería de roca dura utiliza los explosivos como método de extracción.

Minería subterránea de roca blanda: el carbón

En gran parte de Europa, la minería se asocia sobre todo con la extracción del carbón. En los comienzos se empleaban métodos de extracción que implicaban la perforación y la voladura con barrenos, pero desde 1950 ya no se utilizan esos métodos, salvo en unas pocas minas privadas.

En la minería de roca blanda se perforan en la veta de carbón dos túneles paralelos separados por unos 300 m (llamados entradas). A continuación se abre una galería que une ambas entradas, y una de las paredes de dicha galería se convierte en el frente de trabajo para extraer el carbón. El frente se equipa con sistemas hidráulicos de entibado extremadamente sólidos, que crean un techo por encima del personal y la maquinaria y soportan el techo de roca situado por encima. En la parte frontal de estos sistemas de entibado se encuentra una cadena transportadora. Los lados de la cadena sostienen una máquina de extracción, la cizalladora, que corta el carbón mediante un tambor cilíndrico con dientes, que se hace girar contra el frente de carbón. Los trozos de carbón cortados caen a la cadena transportadora, que los lleva hasta el extremo del frente de pared larga. Allí,

el carbón pasa a una cinta transportadora, que lo lleva hasta el pozo o lo saca directamente de la mina. Cuando se ha cortado toda la longitud del frente, se hace avanzar todo el sistema de soporte, y la cizalladora empieza a cortar en sentido opuesto, extrayendo otra capa de carbón. Por detrás de los soportes hidráulicos, el techo cede y se viene abajo. Esto hace que esta forma de extracción siempre provoque una depresión del terreno situado por encima.

En Sudáfrica, Estados Unidos y Australia, gran parte de la extracción se realiza mediante el método de explotación por cámaras y pilares, en el que unas máquinas llamadas de extracción continua abren una red de túneles paralelos y perpendiculares, lo que deja pilares de carbón que sostienen el techo. Este método desaprovecha una proporción importante del combustible, pero la superficie suele ceder menos.

Minería subterránea de roca dura: metales y minerales

En la mayoría de las minas de roca dura, la extracción se realiza mediante perforación y voladura. Primero se realizan agujeros con perforadoras de aire comprimido o hidráulicas. A continuación se insertan barrenos en los agujeros y se hacen explotar, con lo que la roca se fractura y puede ser extraída. Después se emplean máquinas de carga especiales muchas veces con motores diesel y neumáticos para cargar la roca volada y transportarla hasta galerías especiales de gran inclinación. La roca cae por esas galerías y se recoge en el pozo de acceso, donde se carga en contenedores especiales denominados cucharones y se saca de la mina. Más tarde se transporta a la planta de procesado, si es mineral, o al vertedero, si es material de desecho.

Para poder acceder al yacimiento de mineral hay que excavar una red de galerías de acceso, que se suele extender por la roca de desecho que rodea el yacimiento. Este trabajo se denomina desarrollo; una mina de gran tamaño, como la mina sudafricana de platino de Rustenberg, puede abrir hasta 4 Km. de túneles cada mes. La extracción del mineral propiamente dicho se denomina arranque, y la elección del método depende de la forma y orientación del yacimiento. En los depósitos tubulares horizontales hay que instalar sistemas de carga y transporte mecanizados para manejar la roca extraída. En los yacimientos muy inclinados, una gran parte del movimiento de la roca puede efectuarse por gravedad. En el método de socavación de bloques se aprovecha la fuerza de la gravedad incluso para romper la roca. Se socava el bloque que quiere extraerse y se deja que caiga por su propio peso.

La minería subterránea es la más peligrosa, por lo que se prefiere emplear alguno de los métodos superficiales siempre que resulte posible. Además, la explotación subterránea de un yacimiento exige una mayor complejidad técnica, aunque las instalaciones para la extracción varían notablemente según las características de la estructura del propio yacimiento, del tamaño de la unidad de producción y del coste de la inversión.

MINERÍA POR DRAGADO

El dragado de aguas poco profundas es con toda probabilidad el método más barato de extracción de minerales. Por aguas poco profundas se entienden aguas de hasta 65 m. En esas condiciones se pueden

recuperar sedimentos poco compactos empleando dragas con cabezales de corte situados en el extremo de tubos de succión, o con una cadena de cangilones de excavación que gira alrededor de un brazo.

La minería por dragado se está modernizando: por ejemplo, en la mina de Kovin, situada en territorio de la antigua Yugoslavia, se emplea una draga para extraer dos capas de lignito y los lechos de grava que las separan, en un lago artificial, junto al río Danubio, creado para este fin. Se prevé que en el futuro se introduzcan más dragas de este tipo, que permiten una extracción selectiva y precisa.

La minería oceánica es un método reciente. En la actualidad se realiza en las plataformas continentales, en aguas relativamente poco profundas. Entre sus actividades están la extracción de áridos, de diamantes (frente a las costas de Namibia y Australia) y de oro (en diversos placeres de todo el mundo).

Ya se ha diseñado y probado la tecnología para realizar actividades mineras en fondos marinos profundos. A profundidades de hasta 2.500 o 3.000 m hay conglomerados de rocas ricas en metales denominados nódulos de manganeso por ser éste el principal metal que contienen. En los nódulos también hay cantidades significativas de otros metales, entre ellos cobre y níquel. La tecnología de dragado para su recuperación está ya disponible, aunque ese tipo de actividades se encuentra en fase experimental hasta que las condiciones económicas y políticas las hagan factibles.

MINERÍA POR POZOS DE PERFORACIÓN

Numerosos materiales pueden extraerse del subsuelo a través de un pozo de perforación sin necesidad de excavar galerías y túneles. Así ocurre con los materiales líquidos como el petróleo y el agua. También se pueden recuperar materiales solubles en agua haciendo pasar agua por ellos a través del pozo de perforación y extrayendo la disolución. Este sistema se denomina extracción por disolución. También se puede emplear un disolvente que no sea agua para disolver algún mineral determinado; en ese caso suele hablarse de lixiviación in situ. El azufre es un caso especial: como funde a una temperatura bastante baja (108 °C) es posible licuarlo calentándolo por encima de dicha temperatura y bombear a la superficie el azufre fundido. En la actualidad también existen métodos para recuperar materiales insolubles a través de pozos de perforación. Algunos sólidos, como el carbón, son lo suficientemente blandos o están lo suficientemente fracturados para poder ser cortados por un chorro de agua a presión. Si se rompen en trozos pequeños, éstos pueden bombearse a la superficie en forma de lodo a través de un pozo de perforación. Naturalmente, este método también permite recuperar sólidos que ya de por sí se encuentran en forma de partículas finas poco compactas. En Hungría se están realizando experimentos serios para extraer carbón y bauxita mediante este método.

Extracción del azufre

El proceso empleado en el caso del azufre es relativamente sencillo. Se bombea agua salada caliente por un tubo exterior insertado en el pozo que se ha perforado en los lechos que contienen el azufre. Se emplea agua salada porque su punto de ebullición es más alto, por lo que puede calentarse a una temperatura superior al punto de fusión del azufre. El azufre fundido se bombea a la superficie por un tubo interior situado dentro del tubo de agua. Por otro tubo situado dentro de los otros dos se inyecta aire comprimido para contribuir a

impulsar el azufre a la superficie. El azufre no es soluble en agua, por lo que no existe el problema de perder el azufre por disolución. Las dos zonas más conocidas donde se emplea este método son Polonia donde se desarrolló por primera vez el método y el golfo de México.

Extracción por disolución

Mina de cobre a cielo abierto El cobre metálico y los minerales cupríferos como la calcopirita y la bornita situados en yacimientos poco profundos se extraen en minas a cielo abierto. Posteriormente se separa el cobre de impurezas como sulfuros, carbonatos, hierro y silicatos. El cobre se emplea mucho en componentes eléctricos por su elevada conductividad.

Muchas sustancias las más habituales son la sal común y la potasa son solubles en agua. El método empleado para extraerlas consiste en perforar pozos hasta el yacimiento, insertar un sistema de tubos como el usado en el caso del azufre, bombear agua por el pozo dejando que disuelva la sal, bombear la salmuera resultante hacia la superficie y recuperar allí la sal disuelta. Según las minas, se puede utilizar el tubo exterior para el agua y el intermedio para la salmuera, o al contrario. En cualquier caso, el tubo interior se emplea para inyectar aire comprimido para elevar la salmuera. En Italia existen numerosas minas de disolución para extraer sal común.

Lixiviación in situ

Este sistema se considera un método alternativo de extracción para algunos metales. En particular, se ha empleado con éxito para extraer uranio y cobre. En este caso siempre se emplean pozos separados para inyectar el disolvente y para extraer la disolución de mineral. El yacimiento debe ser poroso para que el disolvente pueda fluir a través del mismo desde un pozo a otro disolviendo el mineral o metal en cuestión. Es preferible que la roca que rodea el yacimiento sea impermeable para poder controlar mejor el disolvente. Siempre que sea posible, conviene utilizar disolventes no tóxicos, ya que parte del disolvente puede pasar a la roca circundante. Este tipo de minería presenta importantes ventajas medioambientales, ya que se mueve una cantidad de roca mucho menor y las operaciones de limpieza posteriores resultan mucho más sencillas.

Lixiviación y Asentamiento.

La sección de lixiviación consistirá de 4 estanques con capacidad de 50 m³ cada uno, equipados con un mezclador de 20 HP. En esta sección la pulpa proveniente de los concentradores gravimétricos será mezclada con la solución agotada y reciclada de la planta de extracción por solventes SX. El solvente consistirá de tiosulfato de amonio, sulfato de amonio e hidróxido de sodio para operar a un PH de 9.5 promedio. Este solvente será agregado a cada estanque para iniciar el proceso de lixiviación procurando mantener el tiempo de contacto adecuado para llevar a cabo este proceso.

El lixiviado obtenido es bombeado de este punto al primer espesador en el área de asentamiento o decantación. Esta sección consiste de 3 espesadores de decantación a contracorriente en serie; los primeros dos tienen 12 mt. de diámetro y 3 mt. de altura y el tercero tiene 7.25 mt. de diámetro y 2.5 mt. de altura.

Los sólidos de lixiviación se sedimentan y compactan en el fondo de los estanques, formando una mezcla más gruesa. El líquido de los asentadores pasa al rebosar a la canaleta periférica de los estanques. Cada uno de los asentadores está equipado con paletas mecánicas para impulsar los sólidos alimentados a un pozo de bombeo localizado en el fondo del estanque.

El primer asentador el lixiviado alcanza una concentración de 25 % de sólidos. El líquido claro que pasa a la canaleta por rebose en este asentador es la solución cargada (PLS), contenido los metales extraídos del lixiviado. El lixiviado espesado pasa al segundo y de aquí al tercer asentador para finalmente enviarse al tranque de relaves. Para formar la pulpa en el molino de bolas, se utiliza el agua recuperada de este tranque de relaves. Al primer asentador se le agrega solución a contracorriente del segundo asentador y a este del tercero, adicionándose agua este último para lavar el lixiviado en este estanque y remover la solución cargada residual antes de que el lixiviado o relaves del proceso se envíe al tranque de relaves.

SEGURIDAD EN LAS MINAS

Todas las minas presentan problemas de seguridad, pero se considera que las subterráneas son las más peligrosas. El peligro se deriva de la naturaleza de la mina: una construcción de roca natural, que no es un buen material de ingeniería. Estadísticamente, las minas subterráneas son más peligrosas que las de superficie y, por lo general, las de roca blanda son más peligrosas que las de roca dura. Las causas principales de accidentes en la mayoría de las minas son los derrabes, esto es, los derrumbamientos de grandes rocas de las paredes de la mina. Este tipo de accidentes también incluye las caídas de rocas desde los mecanismos de transporte. La segunda causa más frecuente de accidentes en las minas es la maquinaria en movimiento. Otros riesgos son los explosivos, las inundaciones y las explosiones debidas a gases desprendidos por las rocas, como el metano (grisú). Este último fenómeno se da especialmente en las minas de carbón.

La profundidad de las minas puede producir riesgos, ya que las tensiones a que están sometidas las galerías por el peso de las rocas situadas encima pueden superar la resistencia de la roca y hacer que ésta se derrumbe de forma explosiva. Se lleva investigando muchos años para mejorar el diseño de las minas de modo que se elimine o reduzca el peligro de dichos derrumbes.

Además del riesgo de accidentes, los mineros pueden contraer una serie de enfermedades laborales. Esto ocurre sobre todo en las minas subterráneas. En todas las minas se produce polvo, y su inhalación puede causar diversas enfermedades de los pulmones, como la silicosis o neumoconiosis en las minas de carbón, la asbestosis y otras. Además, en las minas pueden aparecer gases tóxicos, como sulfuro de hidrógeno o monóxido de carbono. Muchas minas, en especial las de uranio, pueden presentar problemas de radiación por las emanaciones de radón procedentes de la roca.

Debido al carácter peligroso de estos trabajos, los principales países mineros tienen leyes y normativas muy

estrictas sobre la seguridad en las minas. Dichas normas cubren la calidad del aire, el entibado de las galerías, los explosivos, la iluminación, el ruido y todos los demás riesgos que pueden darse en las minas.

Minerales y sus beneficios

Elementos nativos:

Oro: (Au) En joyería y como patrón monetario, igualmente en electrónica o para aplicaciones de la industria aeroespacial.

Plata: (Ag) Como la mena de plata, aunque la mayor parte de este metal se extrae de los sulfuros de plata (acantita, proustita, pirargirita).

Grafito: (C) Se emplea en la fabricación de crisoles refractarios para las industrias del acero, latón y bronce. Igualmente como lubricante mezclado con aceite. Mezclado con arcilla fina forma las minas de los lápices. Se emplea también en la fabricación de pintura para la protección de estructuras de acero, en el barnizado de moldes y machos de fundición, para electrodos, escobillas de generadores, en galvanotipia, para barras de aislamiento en centrales nucleares.

Diamante: (C) Es la gema más importante. Los diamantes que no tienen dicha calidad gema (diamantes industriales) se utilizan como abrasivos y para otros usos técnicos. Actualmente el diamante se sintetiza tanto para abrasivos, como para su empleo en joyería

Azufre: (S) Como abono e insecticida; para la fabricación de ácido sulfúrico y de caucho. También se usa en producción de jabón, textiles, papel, piel, tintes y en refinado de petróleo.

Haluros:

Halita: (NaCl) En la industria química como fuente de sodio y cloro. Como condimento, para conservación de alimentos y para curtido de pieles. Igualmente para abono, alimento de ganado y herbicida.

Fluorita: (CaF₂) Como fundente en la fabricación de aceros, de vidrios opalescentes, también en esmaltados y en la fabricación de ácido fluorhídrico.

Oxidos:

Hematita: (Fe₂O₃) Es la mena más importante de hierro. Se emplea también como pigmento, ocre rojo y para polvo de pulir.

Magnetita: (Fe₂+Fe₃+2O₄) Importante mena de hierro

Ilmenita: (Fe₂+TiO₃) Es la mayor fuente de titanio. Este se emplea en aleaciones especiales para la industria aeroespacial y para pigmentos.

Carbonatos:

Calcita: (CaCO₃) Para cementos, materiales cerámicos, obtención de la cal, para carga, fabricación de cemento Portland, en industria química, como fundente en menas metálicas, el Espato de Islandia (variedad incolora y transparente de calcita. Su propiedad óptica de doble refracción lo hace útil para fabricar prismas de Nicol para microscopios de polarización y otros instrumentos ópticos. Hay yacimientos de este mineral en Islandia, México y Estados Unidos)

en industria óptica etc. Los mármoles como roca ornamental.

Dolomita: ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) Para la fabricación de materiales refractarios y como mena de Mg.

Sulfatos:

Yeso: ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) Su principal utilización es la producción de escayola. Igualmente como material de construcción en edificios temporales, para enyesado de paredes, molduras y vaciados. Junto con arcilla se emplea como fertilizante y sin fraguar es un aditivo retardador en el cemento Portland. El Espato Satinado y la variedad Alabastro se tallan y pulen con fines ornamentales.

Anhidrita: (CaSO_4) Para la construcción y ornamentación en el caso de la variedad azulada Vulpinita de Vulpino (Italia).

Baritina: (BaSO_4) La principal utilización es para perforación como lodos densos en pozos de petróleo o gas. Como pigmento y para la fabricación de agua oxigenada. También en la fabricación del litopón (combinación de sulfuros y sulfatos para recubrimientos), como estándar del blanco y como carga mineral.

Fosfatos:

Apatito: ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$) Como fertilizante sobre todo cuando aparece como Fosforita (roca en forma de masas terrosas o reniformes criptocristalinas concrecionadas, constituida por Carbonoapatito y Francolita, con formas coloidales de Colofana).

Silicatos:

Cuarzo: (Tectosilicato) (SiO_2)

Ampliamente utilizado en la industria de la óptica, en aparatos de precisión y científicos, para osciladores de radio, como arena se emplea en morteros de hormigón, como polvo en fabricación de porcelanas, pinturas, papel de esmeril, pastillas abrasivas y como relleno de madera. Sus variedades coloreadas como piedras de adorno, siendo muy cotizados en joyería los ópalos de diversos colores (tripletes).

Cordierita: (Ciclosilicato) ($(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) La variedad transparente a sido empleada como gema, siendo conocida como Zafiro de agua o de Lince o Dicroita.

Circon: (Nesosilicato) ($\text{Zr}(\text{SiO}_4)$) Cuando es transparente se emplea como una gema. Se emplea como mena del óxido de circonio que es una de las sustancias más refractarias que se conocen.

Estauroлита: (Nesosilicato) ($(\text{Fe}^{2+})_2\text{Al}_9\text{O}_6(\text{SiO}_4)_4(\text{O}, \text{OH})_2$) Se utiliza como refractario de alto contenido de alúmina

Feldespatos:

Ortoclase: (Tectosilicato) (KAlSi_3O_8) Se emplea fundamentalmente en la fabricación de porcelanas. Cuando se calienta a altas

temperaturas funde y obra como un cemento. Se emplea para elaborar los esmaltes para pintar sobre porcelanas. Igualmente se emplean en la fabricación de vidrios

Albita: (Tectosilicato) ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) Para cerámica muy fina

Anortita: (Tectosilicato) ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) Para cerámica muy fina

Feldespatoides:

Leucita: (Tectosilicato) (KAlSi_2O_6) Ninguno determinado

Nefelina: (Tectosilicato) ($(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$) Las variedades sin Fe se han empleado en la industria del vidrio. La nefelina procedente de las minas de la península de Kola en Rusia se emplea en industria cerámica, cuero, textil, madera, goma y aceite.

Arcillas:

Caolinita: (Filosilicato) ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) La arcilla más pura conocida como caolín o tierra de porcelana posee abundantes aplicaciones, no solo la fabricación de vajillas y lozas, si no también como carga de papel, en la industria del caucho y en la fabricación de refractarios.

Micas:

Biotita: (Filosilicato) ($\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})(\text{Al},\text{Fe}^{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$) Aislante

Moscovita: (Filosilicato) ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$) Se emplea como material aislante en aparatos eléctricos dadas sus excelentes propiedades dieléctricas y de resistencia al calor. El producto comercial isinglass es mica laminar y se utiliza en puertas de hornos y estufas. También como aditivo en el papel en forma de polvo de mica junto con aceite. Se emplea como aislante térmico incombustible. Para impresión de tejidos, lubricante y como absorbente de la nitroglicerina.

Clorita: (Filosilicato) ($\text{A}_4-6\text{Z}_4\text{O}_{10}(\text{OH},\text{O})_2$) Grupo muy parecido a las micas

A = Al, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Li, Mg, Mn^{2+} , Ni, Zn

Z = Al, B, Fe^{3+} , Si

Piroxenos:

Augita: (Inosilicato) ($\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})\text{Si}_2\text{O}_6$) Ninguno determinado

Enstatita: (Inosilicato) ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) Como gema secundaria

Anfiboles:

Hornblenda: (Inosilicato) ($\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg},\text{Fe})_4(\text{Al},\text{Fe})(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$) Ninguno determinado

Granates

Piropo: (Nesosilicato) ($\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$) Algunos ejemplares se emplean como gemas, se utilizan en general como abrasivos dada su enorme dureza y su fractura angular poco común.

Almandino: (Nesosilicato) ($\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$) Algunos ejemplares se emplean como gemas, se utilizan en general como abrasivos dada su enorme dureza y su fractura angular poco común.

Polimorfos de $\text{Al}_2(\text{SiO}_5)$

Sillimanita: (Nesosilicato) Endurece a los productos cerámicos. Material refractario aluminoso

Cianita: (Nesosilicato) Mena secundaria de aluminio. Para la fabricación de bujías de encendido y refractarios aluminicos o como endurecedor cerámico. Los cristales transparentes se pueden emplear como gemas.

Andalusita: (Nesosilicato) Como refractario aluminico y en bujías de encendido. Las variedades verdes transparentes son usadas como gemas.

Grupo del Olivino:

Forsterita: (Nesosilicato) (Mg_2SiO_4) Como arena refractaria en fundición

Fayalita: (Nesosilicato) (Fe_2SiO_4) Como arena refractaria en fundición

FUNDICION

Productos carburados presentados o que se pueden presentar, después de la solidificación, eutéctica (eutéctica de cementita en las fundiciones blancas y eutéctica con grafito laminar en los grises). En ausencia de otros elementos distintos del carbono, este corresponde a $c > 1,7\%$. Este contenido limite varia con los demás elementos, pero puede ser definido en función del análisis químico como la red de eutéctica de cementita (o las plaquitas de grafito) se oponen a las deformaciones plásticas, estos productos son pocos o nada maleables.

Es en esencia una aleación hierro carbono que contiene eutéctica.

En las etapas iniciales de la manufactura del hierro y del acero, la fusión del metal no constituía una parte integral de proceso. El mineral se reducía químicamente empleando carbón vegetal y la masa esponjosa. Resultante se forjaba para darle una consistencia compacta. La técnica de la producción de las altas temperaturas no había avanzado lo suficientemente en una época para hacer posible la fusión del hierro en una escala industrial, aun hoy en día, algunos metales como por ejemplo: el tungsteno, que tienen punto de fusión muy elevados, se producen mas convenientemente por métodos de metalúrgica de polvo. Sin embargo, en el grueso de la producción metalúrgica, la fusión y vaciado constituyen los pasos primarios de los procesos de manufactura.

La introducción de metales tales como el titanio en la esfera de las operaciones metalúrgica, trajo consigo nuevas dificultades a resolver. El titanio fundido reacciona no solamente con la mayor parte de los gases, sino que también ataca a todos los refractarios artodoxos empleados en los hornos. El método un tanto nuevo de fundir el titanio, por medio de un arco eléctrico en un crisol de cobre enfriado por agua, es el que se emplea actualmente.

CLASIFICACION DE LOS HORNOS usado para la fusión:

Los hornos que se usan para fundir metales y sus aleaciones varían mucho en capacidad y diseño. Varían desde los pequeños hornos de crisol que contienen unos cuantos kilogramos de metal a hornos de hogar abierto hasta 200 toneladas de capacidad. El tipo de horno usado para un proceso de fundición queda determinada por los siguientes factores:

- a) Necesidades de fundir la aleación tan rápidamente como sea posible y elevarla a la temperatura de vaciado requerida.
- b) La necesidad de mantener tanto la pureza de la carga, como precisión de su composición.
- c) La producción requerida del horno.
- d) El costo de operación del horno.

LOS HORNOS PARA FUSION DE METALES:

Pueden clasificarse convenientemente en cuatro grupos principales, según el grado de contacto que tenga lugar entre la carga y combustible o sus productos de combustibles.

- 1) Hornos en los cuales la carga se encuentra en contacto íntimo con el combustible y los productos de combustión. El horno más importante en este grupo es el de cubilote.
- 2) Hornos en los que la carga está aislada del combustible pero en contacto con los productos de la combustión. Este tipo de hornos es el horno hogar abierto para la fabricación de acero.
- 3) Hornos en que la carga se encuentra aislada tanto del combustible como de los productos de la combustión. El principal es el horno que se emplea un crisol que puede calentarse ya sea por coque, gas o petróleo.
- 4) Hornos eléctricos. Pueden ser de tipo de acero o de inducción.

TIPOS DE HORNOS USADOS EN FUNDICION:

- 1)El cubilote de fundición.
- 2)Los hornos de reversos.
- 3)Hornos rotatorios.
- 4)Hornos de crisol.
- 5)Hornos de crisol de tipo sosa.
- 6)Hornos basculantes.
- 7)Hornos de aire.
- 8)Hornos eléctricos. Pueden ser de acero o de inducción.

Convertidores: no es fundamentalmente un horno de fusión, aun cuando se use en la producción de acero para manufactura de vaciado.

PUNTO DE FUSION APROX. DE LOS METALES:

Los metales se funden a diferentes temperaturas.

La tabla siguiente muestra los puntos de fusión de los metales mas comunes.

METALES	PUNTO DE FUSION
Estaño	240°C (450°F)
Plomo	340°C (650°F)
Cinc	420°C (787°F)
Aluminio	620°–650°C (1150°–1200°F)
Bronce	880°–920°C (1620°–1680°F)
Latón	930°–980°C (1700°–1800°F)
Plata	960°C (1760°F)

Cobre	1050°C (1980°F)
Hierro fundido	1220°C (2250°F)
Metal monel	1340°C (2450°F)
Acero de alto carbono	1370°C (2500°F)
Acero medio para carbono	1430°C (2600°F)
Acero inoxidable	1430°C (2600°F)
Níquel	1450°C (2640°F)
Acero de bajo carbono	1510°C (2750°F)
Hierro forjado	1593°C (2900°F)
Tungsteno	3396°C (6170°F)

HERRAMIENTAS, EQUIPOS Y MEDIOS AUXILIARES PARA LA FUNDICION:

Durante la ejecución de los diversos trabajos que el obrero moldeador o fundidor realiza en la fabrica, sean artesanales o con algún desarrollo, es necesario utilizar distintos tipos de herramientas manuales para formar los moldes.

Tipos de herramientas:

- Ø palas
- Ø picos y horquillas
- Ø reglas
- Ø agujas de ventilar
- Ø paletas de alisar
- Ø alisadores
- Ø espátulas
- Ø puntas o extractores de moldeo
- Ø martillos y macetas

ð mordaza o presillas

EQUIPOS DE MOLDEO

Bajo el nombre de equipos de moldeo se designan a todos los tipos de herramientas y medios que dispone el taller de moldeo, fundición o fabrica para realizar diferentes trabajos.

ð pisones o atacadores

ð pisones neumáticos.

Medios auxiliares;

-

ð cribas atomices

ð pulverizadores

ð fuelle de mano

ð estuches para herramientas.

VACIADOS DE LINGOTES

Cuando debe producirse un metal en forma forjado?, primero se vacía como un lingote de forma y tamaño adecuados para su proceso en la planta de que se disponga. Aun cuando el acero se vacía en lingotes de sección aproximadamente cuadrada las aleaciones no ferrosas frecuentemente se vacían como placas planas, que se lamina para formar cinta o laminas, barras para la producción de alambre, y biletts cilindros para extruir secciones.

Vaciado de lingotes de acero: cuando la carga de un horno productor esta lista se vacía en una cuchara llenadora que ha sido llevada a la plataforma de llenado por medio de una grúa viajera eléctrica. la cuchara es un recipiente de acero cubierto con refractario y equipada con un muñón en cada lado, que sirven para levantarla con el objeto de que la escoria que flota en la superficie del acero fundido no entre a los lingotes , la carga vacía por el fondo de la cuchara.

Cuando ha sido vertido el acero fundido en la cuchara puede dosificarse con ferromagnesio, ferrosilicio o aluminio, entonces se le permite reposar por un tiempo para que la escoria y otros materiales no metálicos floten en la superficie, después de lo cual es vaciado a moldes para lingotes.

Tipos de lingotes de acero:

- colmado
- semicolmado
- efervescente.

Defectos de los lingotes de acero:

Los defectos que comúnmente se encuentran en los lingotes de acero se pueden clasificar en dos grupos principales:

- a) los que ocurren interiormente
- b) los que se manifiestan sobre o muy cerca de la superficie.

Otras fallas son el resultado de una mala operación y pueden ser eliminadas completamente corrigiendo errores en los procesos de fundido o de vaciado.

Tratamientos Térmicos

Los tratamientos térmicos son combinaciones de calentamiento y enfriamientos a tiempos determinados aplicados a un metal o aleación en estado sólido con el fin de modificar propiedades de acuerdo a las condiciones de uso. Los tratamientos térmicos tienen como objetivo el estudio del efecto de la composición, temperatura, tamaño de grano y atmósfera del horno de calentamiento, sobre la microestructura y dureza de los aceros.

Todos los procesos básicos de tratamientos térmicos para los aceros incluyen la transformación o descomposición de la austenita. La naturaleza y la apariencia de estos productos de transformación determinan las propiedades físicas y mecánicas de cualquier acero.

El primer paso en el tratamiento térmico del acero es calentar el material a alguna temperatura en o por encima del intervalo crítico para formar austenita. En la mayoría de los casos, la rapidez de calentamiento a la

temperatura deseada es menos importante que otros factores en el ciclo de tratamiento térmico. Los materiales altamente forzados producidos por trabajado en frío deben calentarse mas lentamente que los que se haya libres de esfuerzos para evitar distorsión. Se puede considerar la diferencia en temperatura que tiene lugar dentro de las secciones gruesas y delgadas de artículos de sección transversal variable y, siempre que sea posible, se debe tomar alguna medida para ser más lento el calentamiento de las secciones más delgadas, de tal modo que sea posible minimizar el esfuerzo térmico y distorsión. Por lo general se hará menos daño al acero al utilizar una rapidez de calentamiento tan lenta como sea práctico.

Primero, definiremos lo que es Temple y Revenido. Ambos son tratamientos térmicos en aceros, el Temple es un calentamiento desde la zona austenítica, (no se puede templar aceros con bajo contenido carbono $< 0.15\% \text{ C}$), y seguido de un enfriamiento acelerado, la velocidad de enfriamiento depende del tipo de acero y depende del medio refrigerante. La alta velocidad de enfriamiento no permite la difusión del carbono, para formar ya sea ferrita o ferrita más carburo o también carburo proeutectoide, lo que implica que no hay tiempo para la transformación de austenita ferrita o austenita a cementita. Entonces se forma una estructura tetragonal sobre saturada en carbono, por lo tanto el carbono queda atrapado en esta estructura tetragonal centrada en el cuerpo llamada Martensita.

Microscópicamente la martensita aparece de forma acicular y las características de esta transformación son:

- Ø Esta transformación es adifuncional, hubo un cambio, pero no hubo difusión que implica sin cambio de en la composición química.
- Ø La transformación es atérmica, quiere decir, que opera o prosigue solo si la temperatura desciende.
- Ø La variación de la temperatura de inicio M_s esta fuertemente influenciada por el contenido de carbono.
- Ø La propiedad más importante es dureza, la cual también se ve afectada por el contenido de carbono.

El Revenido es un tratamiento que se aplica luego de un temple, ya que los aceros suelen quedar demasiado duros y frágiles para los usos que van a ser destinados. Estos inconvenientes se corrigen con un revenido, que es un tratamiento que consiste en calentar el acero a una temperatura más baja que su temperatura crítica inferior, enfriándolo luego generalmente al aire y otras veces en aceite o agua, según la composición.

En la condición martensítica sin tratamiento térmico anterior, el acero es demasiado frágil para la mayoría de las aplicaciones. La formación de martensita origina grandes tensiones residuales en el acero; por tanto, el endurecimiento casi siempre sigue de un tratamiento de revenido, el cual consiste en calentar el acero a alguna temperatura menor que la inferior crítica. El propósito del revenido es liberar los esfuerzos residuales y mejorar la ductilidad y tenacidad del acero. Este aumento en ductilidad generalmente se obtiene a costa de la dureza o de la resistencia.

En general, sobre el amplio intervalo de temperaturas de revenido, la dureza disminuye y la tenacidad aumenta conforme se incrementa la temperatura de revenido

El intervalo de revenido de 400 a 800°F es una línea divisoria entre las aplicaciones que requieren alta dureza y aquellas que requieren alta tenacidad. Si la principal propiedad deseada es la dureza o la resistencia al desgaste, la pieza se reviene por debajo de 400°; si el principal requisito es la tenacidad la pieza se reviene por arriba de 800°F

El objetivo del revenido no es eliminar los efectos del temple sino modificarlos, disminuyendo la dureza y resistencia, aumentando la tenacidad y eliminando también las tensiones internas que tiene los aceros templados. Para comprender el fundamento de este tratamiento, es interesante estudiar el efecto que ejerce sobre las propiedades mecánicas de los aceros.

Todos los procesos de tratamientos térmicos para aceros incluyen la transformación de la austenita. Los tratamientos térmicos tienen como objetivo mejorar las propiedades de los aceros, y consiste en calentar y mantener las piezas a temperaturas adecuadas, durante un cierto tiempo, para luego enfriarlas en condiciones convenientes. Por ello el tiempo y temperatura son los factores principales.

Por lo antes mencionado, para realizar un tratamiento térmico se debe tener en cuenta que según el uso de la pieza a tratar es el tratamiento a efectuar. Luego para una buena realización, existen tres condiciones generales:

• Materiales sometidos a esfuerzos para trabajado en frío deben calentarse levemente para evitar distorsiones o agrietamientos.

• Materiales de sección gruesa o variable deben calentarse lentamente, para evitar distorsiones.

• Materiales de secciones gruesas deben mantenerse más tiempo a temperatura para lograr una buena homogeneidad térmica.

Como los tratamientos térmicos mencionados son aplicados a tipos de aceros, es necesario describir el sistema de equilibrio del diagrama Hierro–Carbono.

Las aleaciones de hierro y carbono que tienen desde una pequeña cantidad (aproximadamente un 0.03%) a un 1.2% de carbono, y de un 0.25 a un 1% de manganeso y menores cantidades de elementos reciben la denominación de aceros ordinarios al carbono o de bajo carbono.

En el diagrama de fases que luego se adjunta se puede apreciar las fases presentes en las aleaciones hierro carbono enfriadas muy lentamente a varias temperaturas y composiciones de hierro con carbono hasta del 6.67%. Este diagrama de fases no es un diagrama verdadero, puesto que el compuesto carburo de hierro que se forma no es verdadera fase de equilibrio. En ciertas condiciones, la cementita o Fe_3C , puede descomponerse en las fases más estables del hierro y en carbono (grafito). Sin embargo en la mayor parte de las condiciones, la cementita es muy estable, y por tanto, será tratado como una fase de equilibrio.

El diagrama de fases $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ contiene las siguientes fases sólidas: ferrita (F), austenita(A), cementita(Fe_3C), y ferrita(G).

• Ferrita (F) : esta fase es una solución sólida de carbono en la red cristalina de hierro BCC. Como se indica en el diagrama de fases, es muy poco soluble en ferrita alcanzando la máxima solubilidad sólida, de un 0.02% a 723°C. La solubilidad del carbono en ferrita disminuye a un 0.005% a 0°C.

• Austenita (A) : la solución sólida intersticial de carbono en hierro se llama austenita. La austenita tiene estructura cristalina FCC y mucha mayor solubilidad sólida para el carbono que la ferrita. La máxima solubilidad del carbono en austenita es de 2.08% a 1148°C y disminuye a 0.8% a 723°C.

• Cementita : el compuesto intermetálico Fe_3C se llama cementita. Tiene límites despreciables de solubilidad y una composición del 6.67% en carbono y 93.3% en hierro. Es un compuesto duro y quebradizo.

• Ferrita (G) : la solución sólida intersticial de carbono en hierro se llama ferrita. Tiene estructura cristalina BCC como la ferrita (F), pero con una constante de red mayor. La máxima solubilidad del carbono en ferrita es de 0.09% a 1465°C.

Ahora se estudiara la reacción eutectoide, la cual en el punto eutectoide la austenita sólida de 0.8% de carbono produce ferrita(F) con 0.02% de carbono y Fe_3C que contiene 6.67% de carbono. Esta reacción, que ocurre a 723°C, se puede escribir del siguiente modo:

AUSTENITA(0.8%C) ----- FERRITA()(0.02%C) + Fe₃C(6,67%C) 723°C

Esta reacción eutectoide, que tiene lugar completamente en estado sólido, es importante para algunos tratamientos térmicos de aceros de bajo carbono. Un acero que contiene un 0.8% se denomina acero eutectoide, puesto que se forma una estructura eutectoide de ferrita y Fe₃C cuando se enfría lentamente la austenita de esta composición por debajo de esta temperatura eutectoide. Si un acero contiene menos de un 0.8% de carbono, recibe el nombre de acero hipoeutectoide, y si contiene más del 0.8% se llama hipereutectoide.

Los microconstituyentes de equilibrio del acero son ferrita y perlita, siendo este último una combinación de las fases ferrita y cementita con una morfología de placas alternadas de cada una de las fases. El grosor de las placas depende de la velocidad de enfriamiento, siendo más finas para velocidades de enfriamiento más rápidas. La perlita para velocidades de enfriamiento lentas es más basta, ya que las placas tienen más tiempo para crecer. En cambio a velocidades de enfriamiento más rápidas no pueden crecer demasiado debido a que el subenfriamiento es más grande, formándose muchos núcleos, los cuales entorpecen entre sí al crecer.

EL HIERRO :

-

Química : El hierro es el elemento químico de número atómico 26 y peso atómico Fe =55.85. Es un sólido grisáceo de densidad 7.85 que funde hacia 1530° C y hierve más allá de 3200° C. Antes de fundir se ablanda y se vuelve pastoso, lo cual permite labrarlo. Es dúctil, maleable, duro, y el más tenaz de los metales corrientes. Es también el principal de los metales magnéticos. Sin embargo, el aire húmedo ataca lentamente, formando herrumbre, óxido férrico hidratado. Como esta herrumbre es porosa, la corrosión profundiza y prosigue hasta la destrucción total del metal ; por lo tanto, es indispensable protegerlo para su uso.

Minerales de los cuales se extrae : El hierro es extraído de varios minerales entre ellos la pirita, la magnetita, la hematites y la siderita.

La pirita : Son agregados granulares o fibrosoradiados, informe y en masas compactas. Tiene un brillo metálico y raya de color negro verdoso. Es frágil y opaca. Además es muy poco magnética. Es del grupo de los sulfuros. En España hay yacimientos en Riotinto, Huelva , en Almadén, Ciudad Real y en la Rioja. También sirve para la obtención del ácido sulfúrico y sus sales.

La MAGNETITA : Ésta es una masa compacta de grano grueso o fino, granos sueltos, agregados hojosos y también en cristales aislados o agrupados. En España hay bastantes yacimientos, como los de Cabo de Gata y Sierra Almagrera en Almería, El Pedroso en Sevilla, o el Figueró en Barcelona.

La hematites: Es normalmente terrosa. Se puede presentar en forma de cristales implantados, incluidos o agrupados en rosetas (rosas de hierro). Es del grupo de los óxidos. En España lo podemos encontrar en : Somorrostro, Vizcaya, en Hiendelaencina, Guadalajara y El Pedroso, en Sevilla. También podemos encontrar yacimientos en Sierra Almagrera, Almería, Jumilla, Murcia o Vall de Ribes, en Girona.

La siderita : Es una masa compacta espática de grano grueso o fino. Es del grupo de los carbonatos. En Catalunya la encontramos en Sant Llorenç de la Muga, Costabona y Bossot.

Historia de la metalurgia del hierro : En la prehistoria, el hierro se obtenía directamente del mineral, reduciéndolo en hornos bajos mediante carbón vegetal. El metal se obtenía en estado pastoso, y la escoria debía eliminarse en la forja. Durante la antigüedad y hasta la edad media, el procedimiento de obtención del hierro continuó siendo fundamentalmente el mismo : se utilizaba los hornos de cuba, la forja catalana y los hornos bajos. En el siglo XIV aparecieron los primeros hornos continuos para la producción de fundición líquida, que pueden considerarse los antecesores de los modernos altos hornos. El gran consumo de carbón vegetal en los procedimientos metalúrgicos, que dañaba considerablemente la riqueza forestal, hizo que los gobiernos de muchos países impusieran medidas restrictivas a su uso. Entonces el carbón vegetal fue sustituido por el carbón mineral, y, posteriormente, cuando se conoció su destilación, por el coque, 1735. A finales del siglo XVIII, el procedimiento del pudelado permitió la fabricación de hierro puro. En el siglo XX, este procedimiento ha sido sustituido gradualmente por los modernos procedimientos de fabricación de acero

Clasificación y obtención de los hierros industriales : Los tipos de hierro utilizados industrialmente se clasifican según su modo de producción.

1. Hierro pudelado : Se obtiene por oxidación del arrabio líquido, con ayuda de una escoria ferruginosa, en el suelo de un horno de reverbero. Debido a la combustión del carbono, el hierro se presenta en estado pastoso, en forma de zamarras, que deben ser batidas para eliminar la escoria. Este procedimiento ha sido abandonado desde hace años.
2. Hierro forjado : Se elabora, partiendo de minerales muy puros, por vía pastosa, y se trabaja por forja o laminación. El hierro de Suecia, obtenido de la fundición blanca, se utiliza como materia prima para la confección de aceros finos.
3. Hierro dulce : Este tipo de hierro se confunde con el acero extradulce, con un porcentaje de carbono inferior al 0.05 %. Se obtiene por los procedimientos clásicos de elaboración de acero : hornos Martin, Thomas o eléctrico.
4. Hierro Armco : Está caracterizado por su alta pureza, sus propiedades magnéticas y su satisfactoria resistencia a la corrosión ; se obtiene por procedimientos especiales de afinado en el horno Martin y el horno eléctrico .
5. Hierro electrolítico : Se obtiene por electrólisis de cloruro ferroso con ánodo soluble de acero o fundición. Esta clase de hierro, de alta pureza, pero frágil debido a los gases que contiene, hidrógeno principalmente, es muy apreciado por sus propiedades magnéticas.
6. Hierro aluminotérmico : Se forma con la reacción exotérmica del óxido de hierro y el polvo de aluminio
7. Hierro carbonilo : Este hierro, de alta pureza, preparado en forma de polvo muy fino por descomposición del pentacarbonilo de hierro gaseoso, se emplea en cantidades limitadas, en pluvio-metalurgia, para la fabricación de piezas de elevadas características mecánicas.
8. Hierro reducido : Se obtiene en estado de polvo por reducción de óxidos, minerales o virutas, en un medio gaseoso reductor (hidrógeno, óxido de carbono). Un procedimiento nuevo, de origen norteamericano – iron process –, permite la obtención directa del hierro, por reducción y pulverización del mineral fundido en un medio reductor.

Producción : Los yacimientos españoles de mineral de hierro se concentran principalmente en Vizcaya, Granada y León y han alimentado a una industria siderometalúrgica que se encontraba especialmente en el País Vasco y en Asturias. Esta industria ya no produce tanto como antes debido a las reconversiones industriales. La gran mayoría de los países, altamente industrializados, tienden a depender de manera creciente, de las importaciones de países no desindustrializados, para proveerse de mineral de hierro.

EL COBRE :

Química : El cobre es el elemento químico de número atómico 29 y de masa atómica $Cu = 63.54$. es un metal de color rojo que cristaliza en el sistema cúbico. Tiene por densidad 8.9 y funde a $1084^{\circ}C$. Entre los metales industriales, es el mejor conductor del calor y de la electricidad. Es de dureza media, muy maleable y dúctil. Se puede oxidar si está en un ambiente frío, o con ácidos.

Minerales de cobre : Los minerales de cobre explotados para la obtención de metal se clasifican en tres categorías :

1. Minerales de cobre nativo : Sus principales yacimientos actualmente explotados se encuentran en E.U.A., cerca del lago Superior, y contienen aproximadamente un 1% de cobre puro. En Bolivia también hay yacimientos de cobre nativo, rico en cobre puro.
2. Minerales oxidados : Este tipo de mineral se utiliza muy poco. Los principales minerales son : cuprita (óxido rojo), malaconita (óxido negro), malaquita (carbonato verde hidratado), azurita (carbonato azul hidratado), crisocola (silicato hidratado), y atacamita (oxocloruro hidratado) y se encuentran en E.U.A., Chile, Rhodesia y Extremo oriente.
3. Minerales sulfurados : Estos son los más utilizados. El principal es la calcopirita o pirita cuprosa, cuyo contenido de cobre llega por lo general al 4%. Los demás minerales sulfurados explotados son la calcosina, la tetraedrita, la bornita y la energita. Estos minerales se explotan en E.U.A., Japón, Rusia y, a escala más limitada, en Alemania y España.

Metalurgia del cobre : Según su naturaleza y la riqueza de los minerales, el cobre es tratado de una manera diferente:

1. Tratamiento de los minerales sulfurados : El método consiste en separar el hierro del cobre por vía seca, utilizando por una parte la gran afinidad del cobre para el azufre y, por otra, la del hierro para el oxígeno. El mineral enriquecido por flotación, sufre sucesivamente : a) Una tostación oxidante parcial, que transforma en óxido parte del sulfuro de hierro. b) Una fusión escorificante en horno de reverbero en contacto con sílice, que permite eliminar hierro en forma de escoria silícea. Queda una mata (capa separada por diferencia de densidad) enriquecida en un 40 % de cobre aproximadamente . c) Una conversión permite separar totalmente el sulfuro del hierro de la mata para obtener el cobre bruto. Esta última operación se efectúa en dos fases : primeramente la corriente de aire oxida el hierro remanente, que se escorifica en contacto con la sílice y es separado de la mata que tiene una riqueza de un 80% de cobre. En la segunda fase la oxidación de la mata se prosigue con formación de óxido y de sulfuro de cobre. En este momento ambos productos reaccionan mutuamente con desprendimiento de anhídrido sulfuroso y formación de cobre bruto.

2. Tratamiento de los minerales oxidados; El método por vía seca se practica en horno de cuba (water-jacket), por reducción del mineral fundido en presencia de carbono ; la adición de fundente permite eliminar la ganga del mineral en forma de escoria. Existe un método por vía húmeda, poco empleado, análogo al utilizado para los minerales sulfurados.
3. Afinado del cobre bruto (cobre blister); Este afinado tiene la doble ventaja de obtener cobre puro y recuperar impurezas de interés, tales como el oro , plata, bismuto, etc. El afinado por vía seca en horno de reverbero permite , al oxidar gran parte de las impurezas y obtener cobre que contiene pro lo menos un 99.5% de mineral puro.
4. Afinado electrolito : Permite obtener cobre de pureza superior al 99.5%. El cobre bruto colado en ánodos en forma de placas, es electrolizado en una solución de sulfato de cobre ácido. El cobre puro se deposita en los cátodos que posteriormente son refundidos para constituir lingotes.

Historia del cobre : El uso mas antiguo del cobre se remonta al imperio egipcio del 5000 al 4500 A.C., su uso fue en principio ornamental, posteriormente se fabricaron con él pequeños objetos(agujas, tijeras, anillos etc.). Alrededor del 4000 3500 A.C. apareció el cobre forjado y moldeado, pero no se extendió a Mesopotamia del Norte, hasta el 3000 A.C., donde el cobre fundido empezó a sustituir al cobre forjado. Durante el tercer milenio A.C., el uso de este metal se extendió a las regiones del Mediterráneo oriental y a la desembocadura del Danubio. Entre 2500 y 2000 apareció en Europa Central y Occidental, y fue llevado a Italia y España por navegantes, y a Bohemia y Baviera por los pueblos de las estepas. Posteriormente, se empleo, principalmente, bajo la forma de aleaciones, para confeccionar armas, herramientas, joyas, adornos, objetos domésticos, estatuas, etc. El cobre se encuentra después en el bronce antiguo. Durante la edad media, los centros principales de extracción de cobre fueron las minas alemanas de Rammelsber y Mansfeld ; sin embargo, su producción fue sobrepasada por las minas de Cornualles y, a principios del siglo XIX, por las minas españolas de Riotinto. A partir de la segunda mitad del siglo XIX, el intenso desarrollo de las minas de Chile, Canadá, y mas tarde E.U.A. y el Congo eclipsó las explotaciones europeas.

Producción : Actualmente la mayor producción mundial de minerales de cobre, corresponde a E.U.A., gracias a las minas de Arizona, Utah, Nuevo México y Montana cuyas reservas son considerables. Les siguen inmediatamente Rusia cuya producción aumenta de un modo regular, así como Chile, Canadá , Zambia y Zaire. Los mayores productores de este mineral, son igualmente los primeros suministradores de fundición, puesto que la transformación de mineral, se realiza en el mismo lugar de su extracción.

EL ALUMINIO :

Química : El aluminio es el elemento químico de número atómico 13 y de masa atómica Al = 26.9815. Es un metal blanco, brillante y de densidad 2.7. Su punto de fusión es de 660° C y el de ebullición 2056° C. Su resistividad eléctrica es de 2.63 ohmios. En estado puro es blando y muy maleable. Aunque es muy oxidable no se altera en el aire ni se descompone en el agua ya que queda protegido por una delgada capa de óxido de aluminio amorfo. Arde en el oxígeno y en el cloro.

Historia y utilización : Es un mineral descubierto en el siglo XIX. Fue aislado por primera vez por Wöhler en 1827 tratando cloruro de aluminio con potasio. Su fabricación industrial se inició en 1854, gracias

a Sainte–Claire Deville ; su metalurgia por electrólisis la consiguieron simultáneamente, en 1886, el francés Héroult y el norteamericano Hall. Actualmente es el metal más utilizado junto al hierro. La industria aeronáutica debe su desarrollo a las aleaciones ligeras, así como, los progresos realizados por la industria del aluminio se deben en gran parte a los trabajos consagrados a mejorar el rendimiento de los aviones.

La industria del automóvil es la que más utiliza el aluminio a causa de su ligereza (pistones, cárteres, puente posterior y carrocería), de su buena conducción térmica (bloques y culatas) y de sus posibilidades decorativas (rejillas, cercos de faros, empuñaduras). La industria eléctrica hace gran uso del aluminio, cuya conductibilidad es igual al 62% de la del cobre, con una densidad tres veces menor, así, un conductor de aluminio es dos veces mas ligero y menos costoso que un conductor equivalente de cobre. Se hacen con aluminio todas las líneas aéreas, barras de conexión, cables aislados, bobinados, etc. También se usa en lugar del plomo para enfundado de cables armados. El aluminio es un excelente material de envoltura por su inocuidad, impermeabilidad y opacidad a los rayos ultravioletas.

Metalurgia del aluminio : La metalurgia actual del aluminio se basa en la reducción electrolítica de la alumina obtenida a partir de la bauxita. La alumina disuelta en la criolita fundida se somete, a alta temperatura, a la acción de una corriente eléctrica continua, descomponiéndose en aluminio y oxígeno. Prácticamente, se produce un depósito de aluminio fundido en el fondo de la cuba (cátodo) y un desprendimiento de oxígeno en el ánodo de carbón que se oxida. Los gases liberados se componen de óxido de carbono y anhídrido carbónico. La operación se efectúa en una cuba rectangular de hierro revestida interiormente con briquetas de carbono precocidas (antracita). La corriente es conducida por numerosas barras de hierro soldadas a los bloques del fondo que sirven de cátodo. Se pueden emplear ánodos precocidos , constituidos por bloques o briquetas de coque de petróleo, aglomerados con alquitrán, prensados y recogidos a 1200°C, o bien ánodos continuos Söderberg. La intensidad de la corriente alcanza ordinariamente 100'000 amperios a una tensión media de 4.9 voltios. La temperatura se mantiene por efecto Joule entre 950 y 1000°C. El aluminio así obtenido tiene una pureza de 99.5 a 99.8%. Se elabora el aluminio refinado de 99.99% de pureza mediante afinado electrolítico.

Roca de la cual se extrae el aluminio, la bauxita : Es una roca por lo general blanda que puede rayarse con el corta plumas. Es de color amarillento, aunque a veces se presenta en colores rojizos o oscuros debido al hierro. Antes de la segunda guerra mundial, no se conocían los yacimientos más importantes en la actualidad. En 1974 Australia y Jamaica eran los primeros productores mundiales, seguidos de Surinam, Guinea, Rusia y Guayana.

Aglomeración

Es el efecto producido por la acción de un aglomerante, que provoca la reunión de una o más partículas. Los aglomerantes pueden ser sustancias químicas o condiciones extremas de estado; que causan efectos físicos como la cohesión u adhesión de dos o más materiales; un ejemplo, es la temperatura que provoca la mezcla de sustancias con el agua; o bien la presión.

Una de las fases de la metalurgia que es mas importante es la Aglomeración o Concentración. La concentración pretende aumentar la riqueza metálica del mineral por medio de la eliminación de la mayor cantidad posible de sustancias no aprovechables. La separación entre la ganga y la mena se realiza depende del mineral. Puede ser de las siguientes formas:

- Manual.
- Por agitación o por arrastre con corriente de agua, previa trituración en molinos adecuados.
- Por flotación.
- Por formación de escoria.

Beneficios de Minerales

Los beneficios de los minerales, comienzan desde el momento de su estudio. El estudio de los minerales constituye una importante ayuda para la comprensión de cómo se han formado las rocas. La síntesis en laboratorio de las variedades de minerales producidos por presiones elevadas está contribuyendo a la comprensión de los procesos ígneos que tienen lugar en las profundidades de la litosfera. Dado que todos los materiales inorgánicos empleados en el comercio son minerales o sus derivados, los minerales tienen una aplicación económica directa. Usos importantes de los minerales y ejemplos de cada categoría son las gemas o piedras preciosas y semipreciosas (diamante, granate, ópalo, circonio); los objetos ornamentales y materiales estructurales (ágata, calcita, yeso); los refractarios (asbestos o amianto, grafito, magnesita, mica); cerámicos (feldespato, cuarzo); minerales químicos (halita, azufre, bórax); fertilizantes (fosfatos); pigmentos naturales (hematites, limonita); aparatos científicos y ópticos (cuarzo, mica, turmalina), y menas de metales (casiterita, calcopirita, cromita, cinabrio, ilmenita, molibdenita, galena y esfalerita).

Calcinación

La Calcinación es el proceso químico e industrial en el que se calienta un material, sin fundirlo, con el fin de eliminar sus componentes volátiles. La calcinación es importante industrialmente en la obtención de cal a partir de la caliza y en la fabricación de cemento Portland. También es la primera etapa para extraer los metales de sus menas. Para tratar los carbonatos y sulfuros metálicos se emplea el proceso de calcinación, calentándolos hasta una temperatura por debajo del punto de fusión del metal. En el caso de los carbonatos, en el proceso se desprende dióxido de carbono, y queda un óxido metálico.

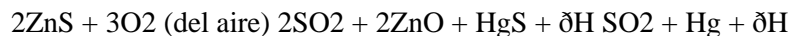


Cuando se calcinan sulfuros, el azufre se combina con el oxígeno del aire para formar dióxido de azufre gaseoso, y también resulta un óxido metálico. Los óxidos se reducen después por fundición.



Tostación

Se utiliza en la obtención de óxidos de metales pesados (Hierro, Cobre, Plomo, Zinc, Mercurio, entre otros). Se practica calentando fuertemente el mineral en presencia de aire (su diferencia de la calcinación). Esta operación se aplica a los sulfuros:



Una variante es la Tostación magnética que se aplica a ciertos minerales susceptibles de convertirse en fuertemente magnéticos, como la limonita y los hematites, la siderita, la pirita, etc.

• Flotación

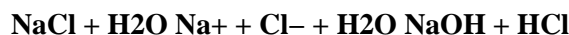
La flotación es hoy el método más importante de concentración mecánica. En su forma más simple, es un proceso de gravedad modificado en el que el mineral metálico finamente triturado se mezcla con un líquido. El metal o compuesto metálico suele flotar, mientras que la ganga se va al fondo. En algunos casos ocurre lo contrario. En la mayoría de los procesos de flotación modernos se emplean aceites u otros agentes tensioactivos para ayudar a flotar al metal o a la ganga. Esto permite que floten en agua sustancias de cierto

peso. En uno de los procesos que utilizan este método se mezcla con agua un mineral finamente triturado que contiene sulfuro de cobre, al que se le añaden pequeñas cantidades de aceite, ácido y otros reactivos de flotación. Cuando se insufla aire en esta mezcla se forma una espuma en la superficie, que se mezcla con el sulfuro pero no con la ganga. Esta última se va al fondo, y el sulfuro se recoge de la espuma. El proceso de flotación ha permitido explotar muchos depósitos minerales de baja concentración, e incluso residuos de plantas de procesamiento que utilizan técnicas menos eficientes. En algunos casos, la llamada flotación diferencial permite concentrar mediante un único proceso diversos compuestos metálicos a partir de un mineral complejo.

PROCESOS ELECTROLÍTICOS

La electrólisis, es el proceso químico mediante el cual un compuesto es separado por medio del paso de una corriente eléctrica durante un tiempo determinado, por la propiedad de un compuesto de disociarse en solución, para provocar el paso de electricidad.

La descomposición electrolítica o electrólisis (electro: electrón, electricidad; lisis: ruptura, separación) es la base de un gran número de procesos de extracción y fabricación muy importantes en la industria moderna. La sosa cáustica ó Hidróxido de Sodio (un producto químico importante para la fabricación de papel, rayón y película fotográfica) se produce por la electrólisis de una disolución de sal común en agua. La reacción produce cloro y sodio. El sodio reacciona a su vez con el agua de la pila electrolítica produciendo sosa cáustica. El cloro obtenido se utiliza en la fabricación de pasta de madera y papel.



Una aplicación industrial importante de la electrólisis es el horno eléctrico, que se utiliza para fabricar aluminio, magnesio y sodio. En este horno, se calienta una carga de sales metálicas hasta que se funde y se ioniza. A continuación, se deposita el metal electrolíticamente.

Los métodos electrolíticos se utilizan también para refinar el plomo, el estaño, el cobre, el oro y la plata. La ventaja de extraer o refinar metales por procesos electrolíticos es que el metal depositado es de gran pureza. La galvanotecnia, otra aplicación industrial electrolítica, se usa para depositar películas de metales preciosos en metales base. También se utiliza para depositar metales y aleaciones en piezas metálicas que precisen un recubrimiento resistente y duradero. La electroquímica ha avanzado recientemente desarrollando nuevas técnicas para colocar capas de material sobre los electrodos, aumentando así su eficacia y resistencia. Tras el descubrimiento de ciertos polímeros que conducen la electricidad, es posible fabricar electrodos de polímeros.

Reducción Química

Existen una variedad de compuestos o elementos químicos, con la capacidad de reducir otras partículas; el Hidrogeno, es capaz de hacer pasar carbonos sobresaturados, a saturados, así como los aldehídos a alcoholes.

Para la reducción de compuestos que pueden combinarse con el carbono, se emplea la reducción química, esto ocurre con elementos como el Wolframio.



Níquel:

Níquel, de símbolo Ni, es un elemento metálico magnético, de aspecto blanco plateado, utilizado principalmente en aleaciones. Es uno de los elementos de transición del sistema periódico y su número atómico es 28. Durante miles de años el níquel se ha utilizado en la acuñación de monedas en aleaciones de

níquel y cobre, pero no fue reconocido como sustancia elemental hasta el año 1751, cuando el químico sueco, Axel Frederic Cronstedt, consiguió aislar el metal de una mena de niquelita.

El níquel aparece en forma de metal en los meteoros. También se encuentra, en combinación con otros elementos, en minerales como la garnierita, milerita, niquelita, pentlandita y pirrotina, siendo estos dos últimos las principales menas del níquel. Ocupa el lugar 22 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre.

Las menas de níquel contienen generalmente impurezas, sobre todo de cobre. Las menas de sulfuros, como las de pentlandita y pirrotina niquelífera se suelen fundir en altos hornos y se envían en forma de matas de sulfuro de cobre y níquel a las refinerías, en donde se extrae el níquel mediante procesos diversos. En el proceso electrolítico, el níquel se deposita en forma de metal puro, una vez que el cobre ha sido extraído por deposición a un voltaje distinto y con un electrolito diferente. En el proceso de Mond, el cobre se extrae por disolución en ácido sulfúrico diluido, y el residuo de níquel se reduce a níquel metálico impuro. Al hacer pasar monóxido de carbono por el níquel impuro se forma carbonilo de níquel ($\text{Ni}(\text{CO})_4$), un gas volátil. Este gas calentado a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ se descompone, depositándose el níquel metálico puro.

Zinc:

Cinc o Zinc, de símbolo Zn, elemento metálico blanco azulado que tiene muchas aplicaciones industriales. El cinc es uno de los elementos de transición del sistema periódico; su número atómico es 30. Los minerales de cinc se conocen desde hace mucho tiempo, pero el cinc no fue reconocido como elemento hasta 1.746, cuando el químico alemán Andreas Sigismund Marggraf aisló el metal puro calentando calamina y carbón de leña.

El primer paso en el proceso metalúrgico es transformar los minerales en óxidos, sometiéndolos a altas temperaturas. Después se reducen los óxidos con carbono en un horno eléctrico y el cinc hierve y se destila en la retorta, en donde tiene lugar la reducción. El cinc obtenido por destilación contiene pequeñas cantidades de hierro, arsénico, cadmio y plomo, y es conocido en metalurgia como peltre. En otro método de refinarlo, los minerales se calcinan y se lixivian con ácido sulfúrico. Después de separar las impurezas, la disolución se electroliza. El cinc electrolítico es puro y tiene cualidades superiores como, por ejemplo, una mayor resistencia a la corrosión.

Plomo:

Plomo, de símbolo Pb (del latín plumbum, 'plomo'), es un elemento metálico, denso, de color gris azulado. Es uno de los primeros metales conocidos. Su número atómico es 82, y se encuentra en el grupo 14 del sistema periódico.

Hay referencias al plomo en el Antiguo Testamento, y ya lo empleaban los romanos para tuberías, aleado con estaño. El plomo se encuentra ampliamente distribuido por todo el planeta en forma de galena, que es sulfuro de plomo. Ocupa el lugar 36 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. La cerusita y la anglesita son sus menas más importantes después de la galena. La extracción del plomo de la galena se lleva a cabo por calcinación de la mena, convirtiéndola en óxido y reduciendo el óxido con coque en altos hornos. Otro método consiste en calcinar la mena en un horno de reverbero hasta que parte del sulfuro de plomo se transforma en óxido de plomo y sulfato de plomo. Se elimina el aporte de aire al horno y se eleva la temperatura, reaccionando el sulfuro de plomo original con el sulfato y el óxido de plomo, para formar plomo metálico y dióxido de azufre.