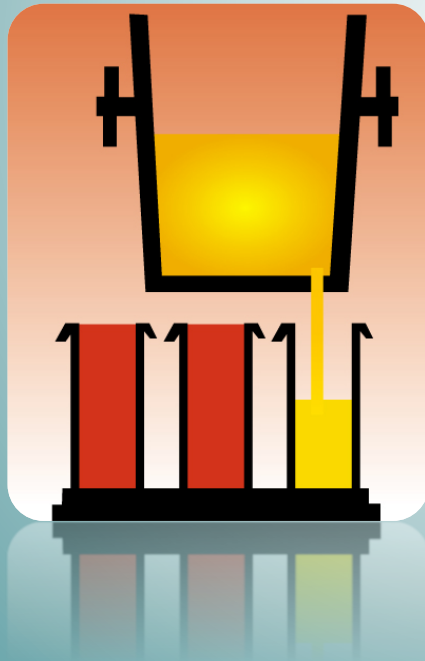


Metalurgia y Siderurgia

Bloque 1. Definición y Subdivisión de las Metalurgias



María Luisa Payno Herrera

Jesús Setién Marquínez

DPTO. DE CIENCIA E INGENIERÍA DEL
TERRENO Y DE LOS MATERIALES

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

DEFINICION Y SUBDIVISION DE LA METALURGIA

- La metalurgia constituye los fundamentos científicos y técnicos que se ocupan de investigar los procedimientos mediante los cuales se pueden extraer, con beneficio económico, de las menas los metales útiles, aprovechando los subproductos, así como las operaciones para darles las formas más adecuadas que optimice su posterior utilización. Se subdivide la metalurgia en:
 - o Metalurgia general o Metalurgia extractiva
 - o Metalogía o Estado Metálico.
 - o Metalurgias especiales.

Metalurgia general o extractiva

- **La metalurgia extractiva**: se estudia los procesos químicos , y su fundamento, necesarios para beneficiar una mena mineral primaria o un material susceptible de reciclar, obteniendo a partir de ellos, el metal más o menos puro, o bajo la forma de alguno de sus compuestos.
- La metalurgia extractiva comenzó siendo un arte empírico hasta llegar a ser una ciencia, a través del estudio de las características físico-químicas de los materiales que reaccionan y la aplicación de la termodinámica y leyes de la química física a los procedimientos de extracción.
- El término físico-química abarca una rama de la ciencia que comprende la aplicación de los principios de la física y de la química a las reacciones químicas: termodinámica, equilibrio, cinética química.....

• Procesos en la metalurgia extractiva :

- Concentración de menas.
- Metalurgia seca o Pirometalurgia.
- Metalurgia húmeda o Hidrometalurgia.
- Electrometalurgia o Electroquímica
 - o Electrometalurgia por caldeo o Electrotérmica
 - o Electrometalurgia por descomposición o Electrólisis.

Metalogía o Estado Metálico

- Trata de las transformaciones de los metales, de su forma o estructura interna, así como de los ensayos que permiten asegurar las características de los mismos. Para su estudio se divide en:
 - Metalografía y conformación de los metales y aleaciones.
 - Ensayos físicos.
 - Recubrimientos protectores y corrosión.
 - Fabricación de aleaciones.
 - Mecanizado y soldadura.
 - Polvometalotécnica o Polvometalogía.

- **Metalurgia especial**
- Considera los procedimientos necesarios la obtención económica de un determinado metal o aleación con la forma y la pureza necesaria que le exige la industria:
 - M. especial de los metales férreos
 - M. especial de los metales no férreos

Metalurgia como ciencia

- Los primeros pasos de la metalurgia se basaron en conocimientos empíricos y habilidades personales por lo que cabe mas hablar de arte que de ciencia.
- La importancia tan grande que han tenido los metales en la historia de la humanidad han hecho que en sus primeras épocas se cronifique con nombres de los metales o de las aleaciones más utilizados en aquellos periodos de tiempo.

- Hasta hace aproximadamente 200 años el hombre basó su civilización con sólo ocho metales (cobre, oro, plata, hierro, plomo, estaño, mercurio, zinc) y tres aleaciones (acero, bronce y latón).
- Sin embargo el desarrollo tecnológico basado en los avances del conocimiento científico vinculado a las ciencias básicas ha permitido que actualmente se disponga de setenta metales y miles de aleaciones, fundamentales para el progreso y calidad de vida de la humanidad.

Bloque 1. Definición y Subdivisión de las Metalurgias

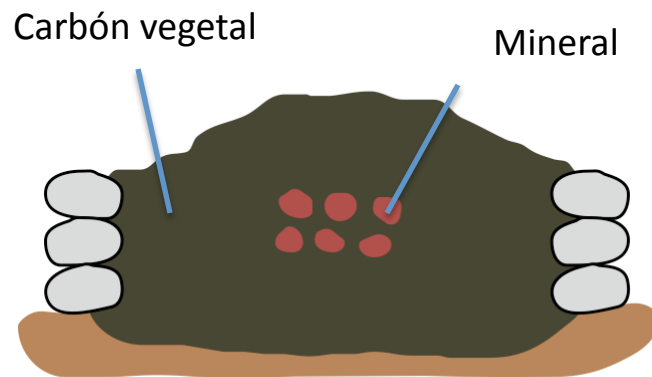
Descubrimiento de los elementos químicos																		[ocultar]													
H																		He													
Li	Be																B	C	N	O	F	Ne									
Na	Mg																Al	Si	P	S	Cl	Ar									
K	Ca													Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr													Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo
Antes de 1800				1800-1849					1850-1899					1900-1949					1950-2000				2001-presente								

Leyenda

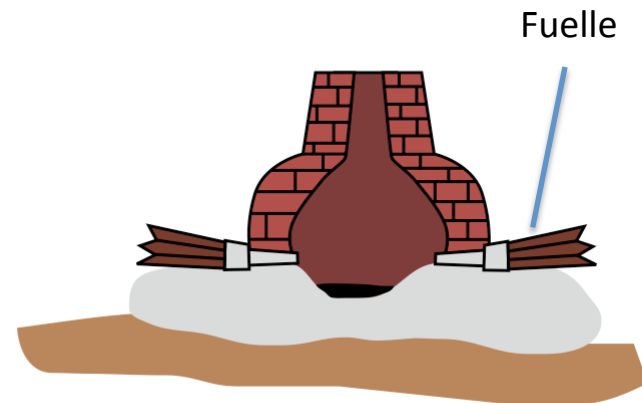
- **Antes de 1800** (34 elementos): descubrimientos durante y antes del **Siglo de las Luces**.
- **1800-1849** (+24 elementos): **Revolución científica** y **Revolución industrial**.
- **1850-1899** (+26 elementos): el periodo de las clasificaciones de los elementos recibió el impulso del análisis de los **espectros**: Boisbaudran, Bunsen, **Crookes**, **Kirchhoff**, y otros "cazadores de trazas en las **líneas de emisión** de los espectros".
- **1900-1949** (+13 elementos): impulso con la **antigua teoría cuántica** y la **mecánica cuántica**.
- **1950-2000** (+17 elementos): descubrimientos "después de la bomba atómica": elementos de números atómicos 98 y posteriores (colisionadores, técnicas de bombardeo).
- **2001-presente** (+4 elementos): descubrimientos muy recientes, que no están confirmados.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Descubrimiento_de_los_elementos_qu%C3%ADmicos

- Primeros metales
- Razones que permitieron disponer de los primeros ocho metales:
 - Algunos aparecen en estado nativo: Au, Ag, Fe (meteorito), Hg
 - Los óxidos de Cu, Fe, Sn, Pb, se pueden obtener por reducción en fuegos con materias carbonáceas
 - Algunos como el (Pb, Sn) pueden fundir con extrema facilidad sobre todo a partir de sus menas

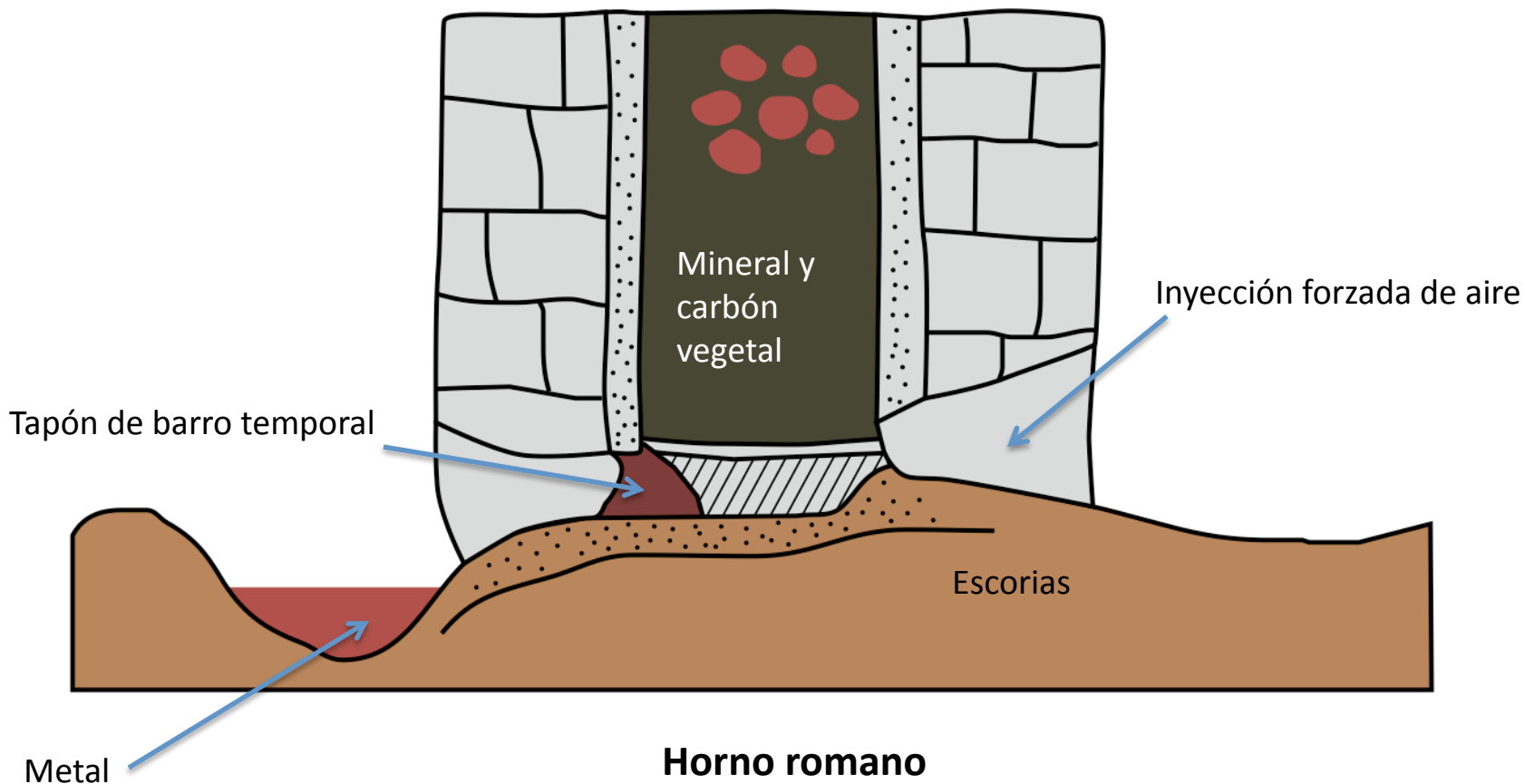


Hogar precursor de un horno



Horno primitivo

Reelaborado a partir de Habashi, F.: *Extractive Metallurgy: General Principles*, 1968.



Reelaborado a partir de Habashi, F.: *Extractive Metallurgy: General Principles*, 1968.

Arte metalúrgico

- Hasta la revolución científica del siglo XVIII: habilidad transmitida de padres a hijos.
- Lenta evolución y esporádicos y distanciados descubrimientos en el espacio y en el tiempo.
- Basados en descubrimientos.

Breve historia de la metalurgia

- Junto a la evidente importancia del gran significado que el descubrimiento, obtención, transformación y aplicación de los metales ha tenido para la humanidad, existe una gran oscuridad sobre los antecedentes históricos de la obtención de los metales.
- Posiblemente los dos metales que primero utilizó el hombre prehistórico fueron los dos que pueden existir en forma nativa: el oro y el cobre.
- El uso que se hizo de estos dos metales se limitó prácticamente a objetos decorativos pues sus características mecánicas en estado nativo no permitían, sobre todo su blandura, usos mas prácticos.

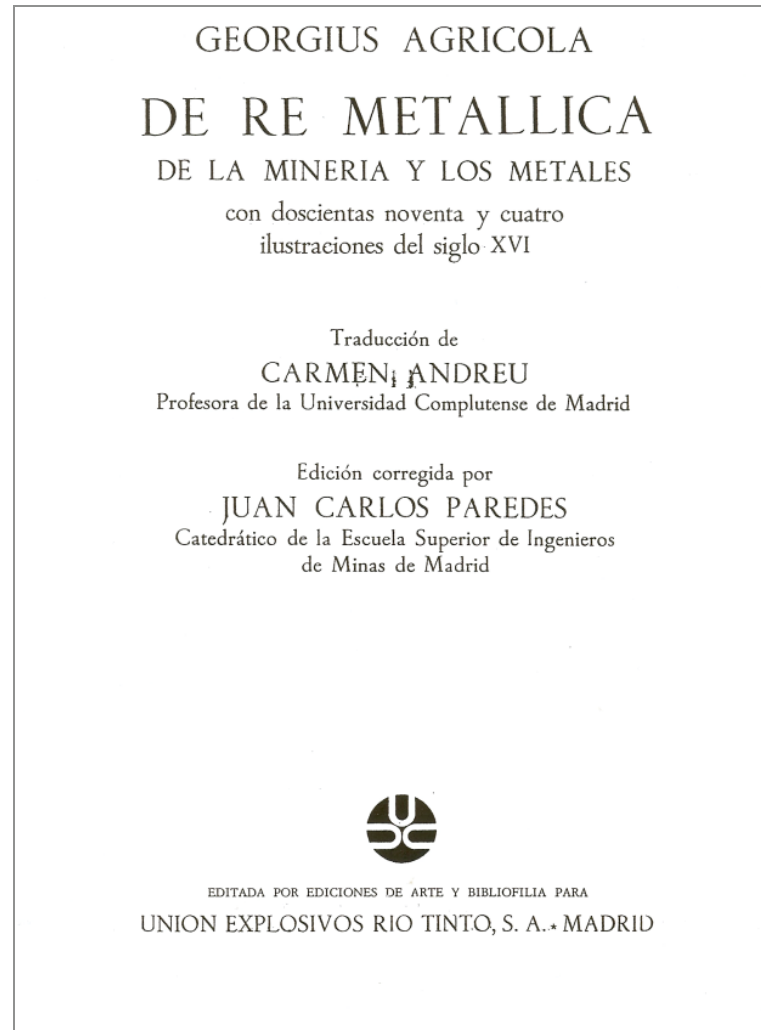
- Su valor ornamental se basaba en su inalterabilidad frente al fuego y los agentes atmosféricos. El cobre se usó ya en el año 4.000 a. J.C.
- Probablemente de forma casual se comprobó que el martilleo del oro y del cobre mejoraba las propiedades de estos, particularmente su dureza
- Así mismo el primer hierro que utilizó la humanidad fue casi seguro de origen meteorítico, aleación de Fe y Ni. También de forma casual se comprobaría que su calentamiento permitía doblar, forjar y así hacer flechas y herramientas.

- Una verdadera revolución tecnológica que abrió una nueva época de la cultura humana comienza con el descubrimiento de que al calentar en ciertas condiciones otro tipo de piedras se obtiene un nuevo material de asombrosas posibilidades :se puede forjar, moldear, tiene dureza y permite darle aristas cortantes.Esta época se conoce como la **Edad del Bronce** ,aproximadamente 4.000 años a. J.C.
- Es el comienzo de la metalurgia: producir cobre de menas oxidadas y bronce a partir de menas oxidadas de cobre y estaño, mezcladas con carbón en un horno.

- Con el Renacimiento se inició la Era Científica y se renovó el interés por los metales y aleaciones
- El descubrimiento de la imprenta por Gutemberg contribuyó a la difusión de todas las ciencias y entre ellas la Metalurgia

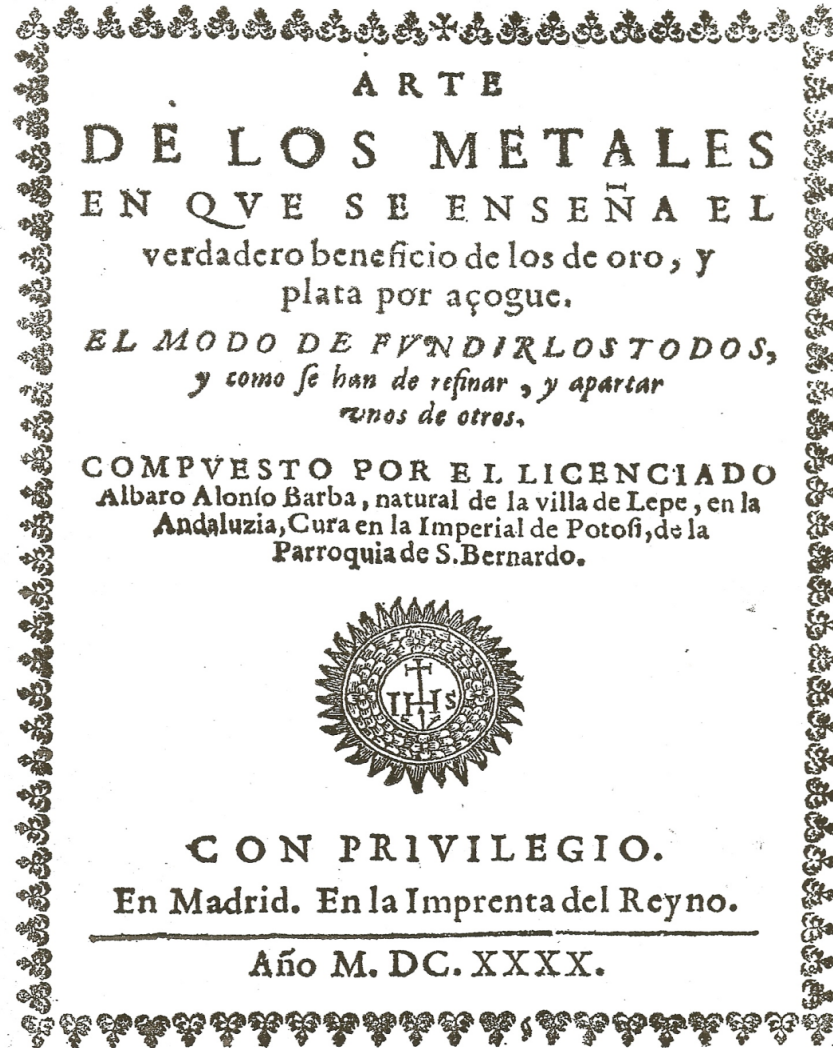
- Tres son los libros que marcan el comienzo de la era científica de la Metalurgia:
 - “DE LA PIROTECNIA” de Vannocio Biringnecio (1.480-1.539)
 - “DE RE METÁLICA” de Georgius Agrícola (1.556)
 - “BERCHREINBUNG ALLERFÜRNIMISTEN MINERALISCHEN ERTZT UND BERGKWERCKSARTER” de Lazarus Erker (1.574), que puede traducirse por “Tratado en el que se describen los aspectos más relevantes de las menas metálicas y minerales”

Bloque 1. Definición y Subdivisión de las Metalurgias



- “DE RE METALICA”, es el tratado clásico de todos los aspectos de la minería, la prospección, la apertura de pozos y socavones, los cálculos de los geómetras, los hornos de ensayos y de fundición
- Durante trescientos años ha sido el tratado no superado de todas las técnicas mineras, el resumen de todos los métodos de extracción y fundición y el único tratado de: química aplicada, de geología y de técnica industrial
- El tercero describe los aspectos más relevantes de la preparación de menas y de la obtención y afino de los metales

- En los siglos XVI, XVII quedaron también testimonios escritos de la preocupación minero-metalúrgica entre los que destacan:
- “Repertorio perpetuo o Fabrica del Universo” 1.563 sobre el empleo de los metales y “De Re Metálica” (1.569) , ambos de BERNARDO PEREZ DE VARGAS
- Sin embargo, sobresale entre todos la obra de ALVARO ALONSO BARBA, cura de Potosí, “ARTE DE LOS METALES” que fue sin duda el mejor tratado de metalurgia escrito en el siglo XVII
- Hay una reedición patrocinada por Unión Explosivos Río Tinto, como aportación al bicentenario de la fundación de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, que se conmemoró en el año 1.977



Metalurgia en el siglo XVIII

- Papel importante de expediciones científicas que incluían mineralogistas, naturalistas, analistas (Darwin, Cook, Malaspina, Humboldt)
- Se descubren 15 nuevos metales entre los que hay que destacar: Co, Pt, Zn, Ni, Bi, Mn, Mo, W, U, Zr, Ti, Be, Cr
- Creación de las primeras Escuelas de Minas: Friburgo, San Petesburgo, Potosí (1757), Paris (1783), Méjico (1792)
- Avance de conocimientos químicos (Lavoisier, Dalton, Proust)
- Uso del carbón mineral y coque.

Metalurgia en el siglo XIX

- Más de cuarenta nuevos metales
- Descubrimiento de la célula de Volta y con ella obtención de metales alcalino y alcalinotérreos
- Obtención del aluminio
- Invención del espectroscopio y otras técnicas analíticas que permitieron identificar menas y nuevos metales
- El descubrimiento de la tabla periódica permite predecir la existencia de nuevos elementos y de sus propiedades
- Avance en la tecnología del acero y de los aceros aleados
- Comienzo de la electrometalurgia y de la electrolisis de sales fundidas
- Descubrimiento a finales de siglo de los metales radiactivos

Metalurgia en el siglo XX

- Descubrimiento de los metales de las tierras raras (lantánidos, actinidos) y de los transuránidos (americio, plutonio..)
- Descubrimiento de la fisión del uranio y necesidad de nuevas técnicas metalurgistas para su obtención
- Avances tecnológicos como el motor de reacción, la electrónica o naves espaciales que necesitan metales y aleaciones con prestaciones extraordinarias
- Avance en la Ingeniería química que permitió operaciones metalúrgicas más selectivas y eficientes

Metalurgia extractiva hoy

- Avances en la ingeniería y control de procesos que permiten obtener metales más puros a partir de menas más pobres y complejas y a precios competitivos
- Importancia de la metalurgia secundaria a partir de residuos por razones de sostenibilidad
- Mayor atención a los problemas ambientales

Composición de la corteza terrestre

	%
Oxígeno	46,600
Silicio	27,720
Aluminio	8,130
Hierro	5,010
Calcio	3,630
Sodio	2,850
Potasio	2,600
Magnesio	2,090
Bario	0,050
Cromo	0,037
Carbono	0,032
Circonio	0,026
Níquel	0,020
Vanadio	0,017
Cerio e itrio	0,015
Cobre	0,010
Volframio	0,005
Litio	0,004
Cinc	0,004
Niobio y tantalio	0,003
Hafnio	0,003
Cobalto	0,001
Boro	0,001
Berilio	0,001
Molibdeno	0,0001
Arsénico	0,0001
Estaño	0,0001
Cadmio	0,00001
Mercurio	0,00001
Plata	0,000001
Selenio	0,0000001
Oro	0,00000001

- En la tabla tenemos la composición media de la corteza terrestre, debemos de tener en cuenta que la palabra corteza se emplea en el sentido más estricto, ya que la composición interna de la tierra es muy densa y está formada casi totalmente por Fe y Ni
- Podemos observar que:
 - de los metales mas corrientes, la tabla solo incluye el **Al, Fe, Cu, Zn, Pb**
 - que **ocho** elementos constituyen el **98,58 %** de la corteza terrestre
 - resulta sorprendente ver que el zirconio abunda mas que el cobre y el zinc
 - que algunos metales poco conocidos **como el niobio y el tantalio abundan mas que el plomo,**
 - **que el** estaño es de los menos abundantes
 - Podemos decir también que la corteza terrestre solo contiene **trazas de cadmio, mercurio y plata** y que ha sido una suerte para el hombre que la naturaleza haya encontrado los metales mas corrientes en yacimientos susceptibles de beneficio

Bloque 1. Definición y Subdivisión de las Metalurgias

Distribución de elementos en la corteza terrestre

<i>Rango</i>	<i>Elementos (%)</i>
> 10%	O (46,6) Si (27,7)
1- 10%	Al (8,1) Fe (5,0) Ca (3,6) K (2,6) Na (2,8) Mg (2,1)
0,1- 1%	C, H, Mn, P, Ti
0,01- 0,1%	Ba, Cl, Cr, F, Rb, S, Sr, V, Zr
10- 100 ppm	Cu, Ce, Co, Ga, La, Li, Nb, Ni, Pb, Sn, Th, Zn, Y
0,1- 1 ppm	As, B, Br, Cs, Hf, Mo, Sb, Ta, U, W, Lantánidos
0,1- 1 ppm	Bi, Cd, Y, In, Tl
0,01- 0,1 ppm	Ag, Pd, Se
0,001- 0,01 ppm	Au, Ir, Os, Pt, Re, Rh, Ru

Fuente: Goldschmidt, V. M. (1954): *Geochemistry*. Clarendon Press. Londres.

Primeras materias y productos metalúrgicos

- Las primeras materias de las operaciones metalúrgicas son: las menas y los reactivos.
- Los productos metalúrgicos son los obtenidos al final del proceso metalúrgico y son: productos útiles, productos intermedios y los residuos
- **Mena metálica** : asociación de minerales a partir de la cual uno o varios metales pueden ser obtenidos de forma económicamente favorable

Tipos de menas

- La clasificación de la menas puede efectuarse según:
 - la naturaleza de la combinación química
 - la naturaleza de la ganga
 - el punto de vista económico.

- Según la naturaleza de la combinación química, se divide en:
 - menas sulfuradas
 - oxidadas
 - halogenadas.

Bloque 1. Definición y Subdivisión de las Metalurgias

Asociaciones típicas de metales en menas

<i>Asociación</i>	<i>Combinaciones principales</i>	<i>Tipo de yacimiento</i>
Cr / Ti / Fe Ni / Cu / Pt	Óxidos Sulfuros	Magmático
Be / U / Nb / Ta Sn / W / Mo	Óxidos / silicatos (Be) Óxidos / sulfuros (Mo)	Pegmatítico - neumatólítico
Au / SiO ₂ / FeS ₂ / FeAsS Cu / FeS ₂ Pb / Zn Pb / Zn / Ag Cu / Zn / Pb / Ag / Au Cu / Ni / Ag / Bi / U Sn / Zn / Ag Hg / Sb	Metal nativo Sulfuros Sulfuros Sulfuros Sulfuros / metal (Au) Sulfuros / óxidos (U) Sulfuros Sulfuros	Hidrotermal o posvolcánico
Mn / Fe Al / Fe	Óxidos Óxidos	Sedimentario

Menas sulfuradas

- Son las que contienen al metal útil en la forma de sulfuro, arseniuro, antimoniuro, sulfoarseniuro, sulfoantimoniuro, telurio o sulfato.
- Son menas pesadas, con brillo metálico, y su ganga está constituida principalmente por sílice, arcilla, carbonatos de cal y magnesia, óxidos de hierro. En menor proporción tienen baritina, sulfatos de calcio y magnesio, carbonatos de hierro y sulfuros de hierro.

Menas oxidadas

- Son las que contienen al metal útil en forma de óxidos o de silicatos.
- Dentro del grupo de las que el metal útil está en forma de óxido, también se comprenden las menas en las que el metal útil está en forma de hidróxido, fosfato o carbonato.
- En general, sin brillo metálico (excepto el hierro especular, que tiene brillo metálico). Su ganga está constituida por sílice, arcilla, carbonatos de calcio y magnesio y óxidos de hierro.

Otras clasificaciones

- Según la naturaleza de la ganga, se dividen en: menas siliciosas, arcillosas, calcáreas y ferruginosas, según que contengan cantidades considerables de sílice, arcilla, caliza o hierro.
- Menas ácidas y menas básicas.
- Las primeras son las que contienen un exceso de sílice libre (sin combinar), y las segundas a las que, aun conteniendo sílice libre la tienen en poca cantidad y en las que predominan los compuestos de calcio, magnesio, hierro u otros metales básicos.
- Desde el punto de vista económico, se dividen en menas ricas y menas pobres.

Factores que influyen: rentabilidad de la mena

- Ley de los metales potencialmente extraíbles
- Precio del metal (10% Al no, 10 ppm Au si)
- Costes de explotación minera
- Costes de procesos de extracción metalúrgica
- Presencia de elementos tóxicos como impurezas

- Como ejemplo, se acompaña un cuadro en que se indica qué % de metal es actualmente necesario para su concentración y qué % de metal es preciso en la mena para su extracción metalúrgica.
- Estos datos varían con el tiempo, en función de los adelantos de concentración y de extracción.

Mena de:	% de metal en la mena para su concentración	% de metal en el concentrado para la obtención del metal
Aluminio	30 % de Al_2O_3	50 % de Al_2O_3
Cobre	0,9 % en los pórfidos	6 %
Cromo	10 %-20 % de Cr_2O_3	40 % de Cr_2O_3
Estaño	1 al 8 %	60 %
Magnesio	0,13 % (agua del mar)	12 % como cloruro 25 % como óxido
Manganeso	25 %	40 %
Mercurio	0,4 %	2 %
Molibdeno	0,5 %	50 %
Níquel	0,5 %	2 %
Oro	6 gr/Tn	—
Plata	300 gr/Tn	—
Plomo	2 %	40 %
Vanadio	2 % de V_2O_5	60-90 % de V_2O_5
Volframio	1 % de WO_3	50-60 % de WO_3
Zinc	3 %	50 %

TIPOS DE MINERALES

- Los tipos de minerales naturales que se ofrecen en el mercado son:
 - a) El llamado todo-uno, en el que gruesos y finos aparecen mezclados, bien según como se produjo la explotación de la mena, o bien se realizó la mezcla de finos y gruesos, según la conveniencia del minero.
 - b) Los gruesos o cribados, que son aquellos de tamaños superiores a 6 milímetros, el tamaño máximo de estos gruesos es variable, dependiendo del fijado por el consumidor. Los gruesos de tamaños entre 6 y 25 mm., actualmente se les conoce con el nombre de Pellets naturales.
 - c) Los finos, cuando su granulometría es inferior de 6 u 8 mm..
 - d) Los concentrados finos, son los obtenidos por medio de un procedimiento de concentración, que a su vez, se clasifican en: concentrados que pueden sinterizarse y los que no pueden sinterizarse, debido a tener una granulometría muy fina, pero en cambio pueden peletizarse.

Reactivos

- Son las sustancias que tienen por objeto modificar, durante el transcurso del proceso metalúrgico, la composición:
 - de la mena
 - del metal útil o
 - de la ganga.
- Su característica principal, es que son sustancias abundantes en la naturaleza, y por tanto de poco precio.
- Se clasifican según la función que desempeñan en:
 - oxidantes
 - reductores
 - fundentes
 - de precipitación
 - adiciones.

- Los reactivos oxidantes

Tienen por objeto oxidar a la mena en general o a la combinación en que se presente el metal útil. Son el oxígeno, el vapor de agua y el anhídrido carbónico. También se agrupan como reactivos oxidantes, a los agentes sulfurantes como la pirita y a los agentes clorurantes como la sal común.

- Los reactivos reductores

Tienen por objeto reducir a la combinación en que se presenta el metal útil, aun cuando pueden hacerlo a la mena en general. Son: el carbono, el monóxido de carbono y los hidrocarburos.

- Los reactivos fundentes

Son las sustancias que, mezcladas con la mena, tienen por objeto el hacer que su ganga sea fusible y separarla por diferencia de densidad del resto del fundido. Los más utilizados son: las calizas, las dolomías, las arcillas, baritina, espato-flúor, y entre los fundentes metálicos se utilizan los óxidos de hierro y manganeso.

- Los reactivos de precipitación

Son las sustancias que desplazan al metal útil de su combinación química, ocupando ellos su lugar y dejando al metal útil al estado metálico (libre). En general son del tipo metálico como el Fe, Zn, Ca, y están contenidos en el fundente en forma de base fuerte.

- Los reactivos de adición

Son las sustancias que se introducen a lo largo del proceso metalúrgico con objeto de modificar las características del producto a obtener. Son específicos de cada metalurgia especial. La mezcla de mena, reductores (oxidantes), fundentes y adiciones constituye lo que se denomina lecho de fusión o parva.

PRODUCTOS METALÚRGICOS

- Productos útiles

- Están constituidos por los metales útiles o sus aleaciones, que en general se obtienen al estado líquido (vía seca) o en forma de lodos, grumos o placas catódicas (vía electroquímica o húmeda).

- Productos intermedios

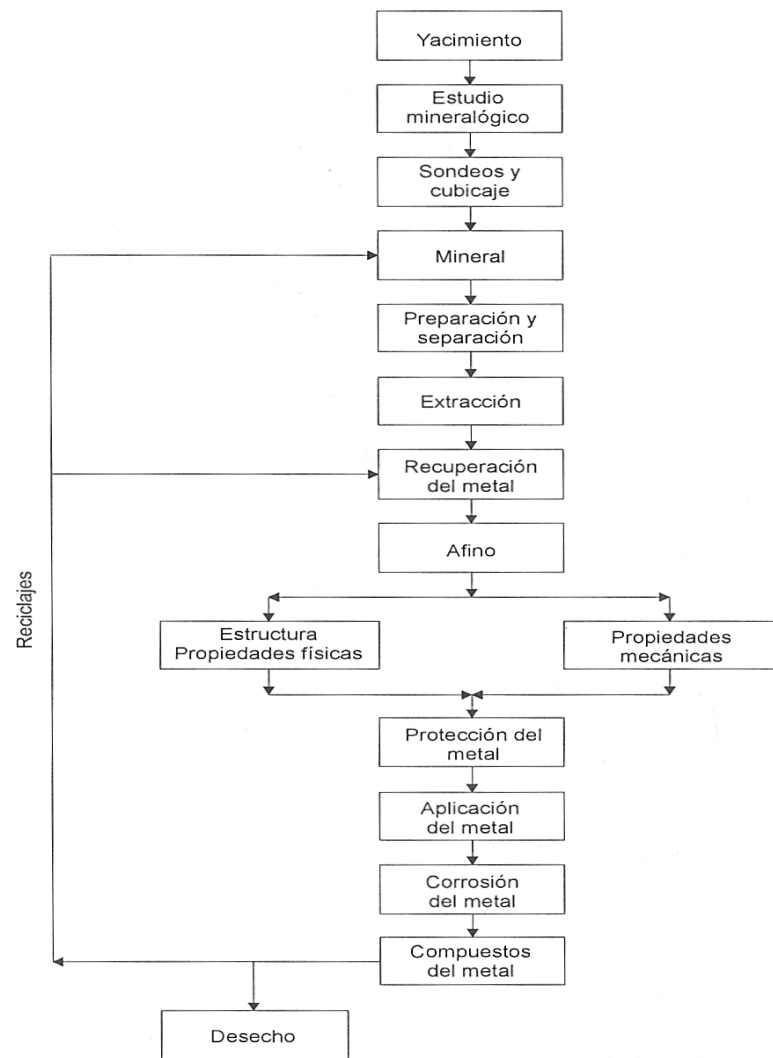
- Son aquellos en los que se encuentra el metal útil liberado de la mayor parte de las impurezas que le acompañaban en la mena y posee, por tanto, una riqueza más elevada en el metal. Reciben distinta denominación según el tipo de combinación química en que se encuentre el metal útil. Si el metal está en forma de sulfuro, el producto intermedio se conoce por el nombre de "mata". Si está en forma de arseniuro o antimoniuro, recibe el nombre de "speiss"

- **Residuos**

- Son los productos obtenidos, en los que se han acumulado todas las materias no interesantes de la mena (principalmente ganga).
- Cuando este residuo se obtiene al estado líquido, se denomina "escoria".

La preparación de minerales en procesamiento metalúrgico de una determinada materia prima

- 1) Detectar el yacimiento
- 2) Conocer las diferentes constituyentes mineralógicas
- 3) Acotar las zonas mas ricas
- 4) Cubicaje del yacimiento
 - método de extracción
 - relación estéril/mineral
 - Evaluación si el yacimiento es económicamente rentable
- 5) Diseño del proceso a emplear incluyendo:
 - Etapas de preparación del mineral
 - tratamiento químico, para la recuperación del metal
 - Afino del metal
- 6) Ensayo en laboratorio
- 7) Ensayo en planta piloto
- 8) Proyecto definitivo
 - Costes
 - Inversión
 - rentabilidad
- 9) Tratamientos
 - Térmicos
 - Mecánicos
- 10) Evitar la corrosión y su transformación de nuevo en compuestos oxidados del mismo



- **Fundamentos teóricos de la metalurgia**
 - Termodinámica: calor, trabajo, entalpía, entropía, energía libre, equilibrio
 - Diagramas de Ellingham y Richardson, para energía libre en reacciones metalúrgicas
 - Teoría de disoluciones: actividad
 - Cinética de reacciones heterogéneas
 - Electroquímica

PRIMERAS MATERIAS PRIMAS

MENAS

