

METAL·LÚRGIA

TECNOLOGIA INDUSTRIAL
2n BATXILLERAT

L'obtenció de metalls

▪ **Metalls en estat pur** (o *nadius*): or, coure, plata, mercuri i platí (quantitats petites).

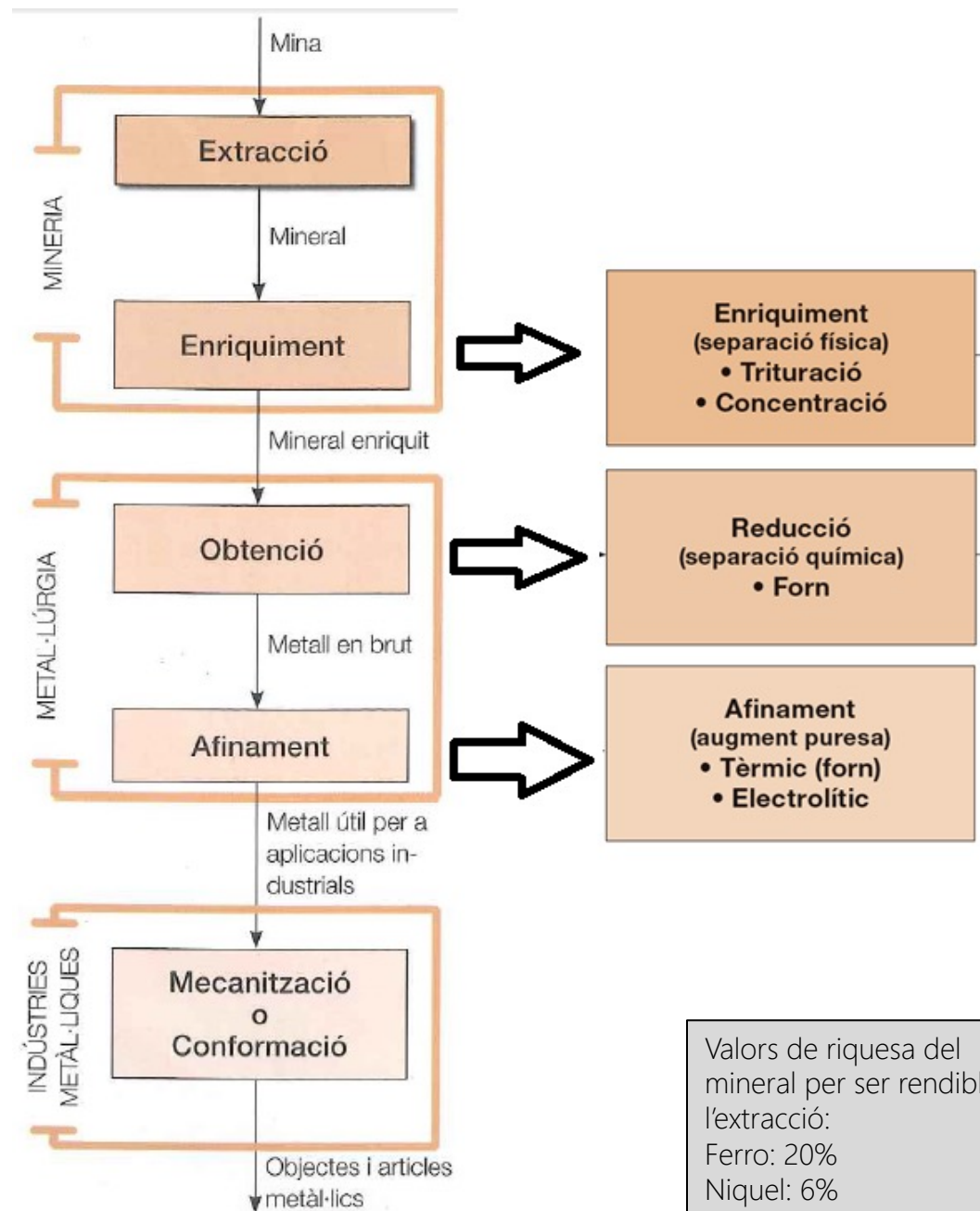
▪ **Procés d'obtenció de metalls:**

• **Mineria:** extracció mineral del jaciment, i separació física de la part rica (mena) de la ganga

• **Metal·lúrgia:** separació química del metall d'altres elements.

• **Indústries metàl·liques:** elaboració de formes comercials per fer objectes.

▪ També es poden obtenir metalls a partir del **reciclatge de productes usats** (p.e: acer de carrosseries d'automòbils, coure de cables elèctrics vells, etc).



Valors de riquesa del mineral per ser rendible l'extracció:

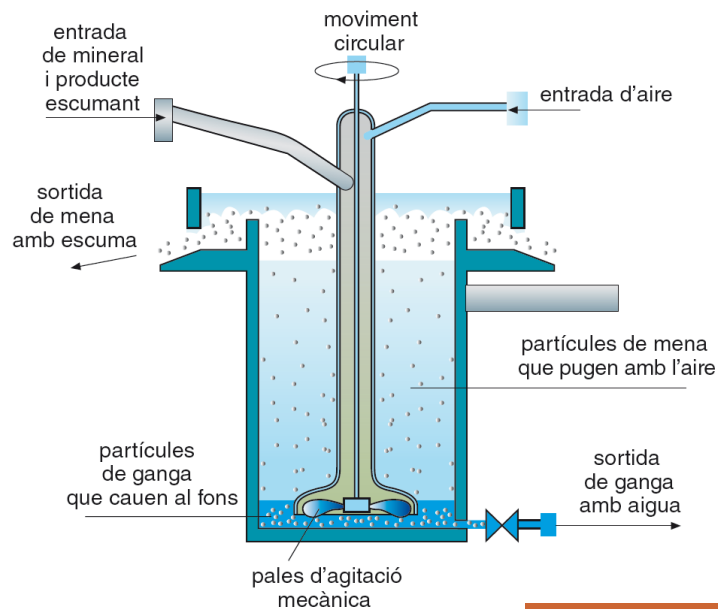
- Ferro: 20%
- Niquel: 6%
- Coure: 1%
- Or: 0,0005%

Enriquiment del mineral

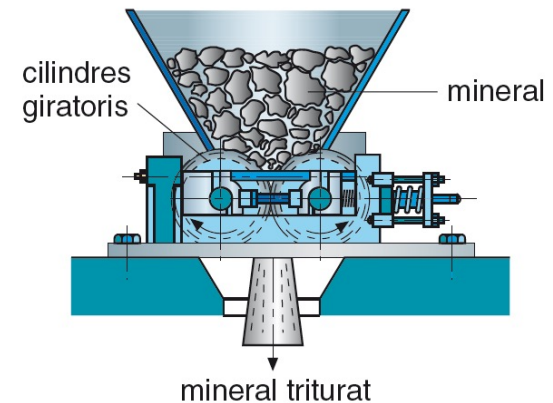
L'**enriquiment** del mineral consisteix a preparar el producte obtingut a la mina per a l'aplicació de les accions posteriors.

Processos d'enriquiment

- **Trituració**: reducció per mitjans mecànics de la grandària de les roques.
- **Concentració**: separació de la mena i la ganga per mitjans físics .



Tanc de flotació

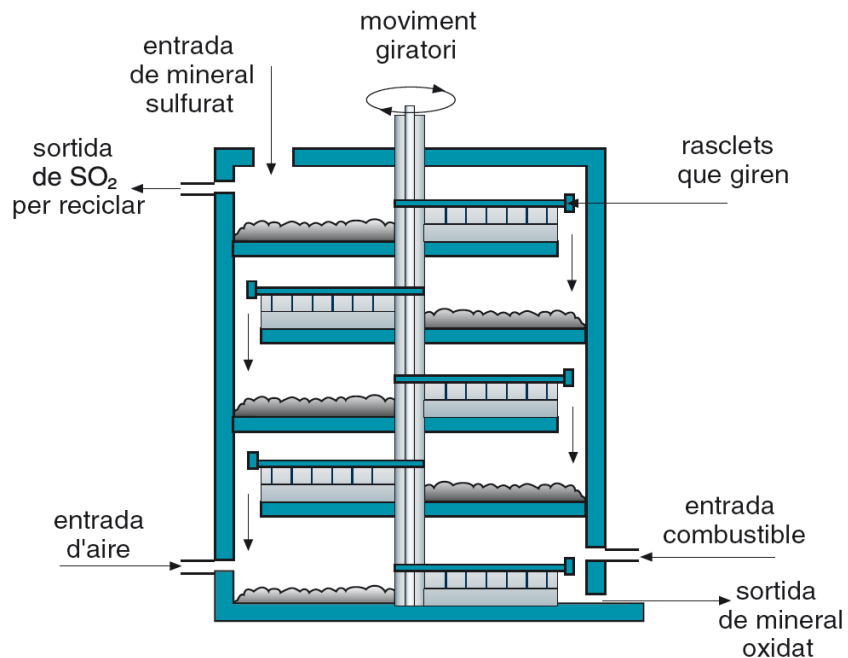


Triturador

Reducció

La **reducció** consisteix en la separació de la màxima quantitat del metall de la resta d'elements químics com l'oxigen o impureses. Es fa en forns amb el carboni com a reductor, i d'altres productes per aglutinar les impureses en forma d'escòries

Si el metall no es troba en forma d'òxid, cal aplicar una **torrefacció** o **calcinació** prèvia per transformar-lo en un òxid abans d'aplicar-hi la reducció.



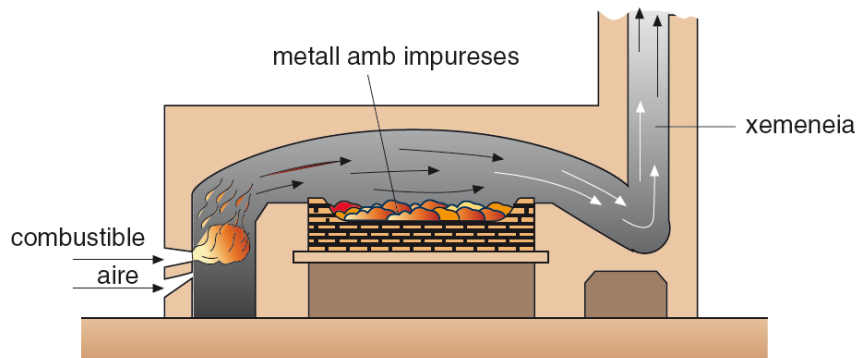
Forn de torrefacció

Afinament

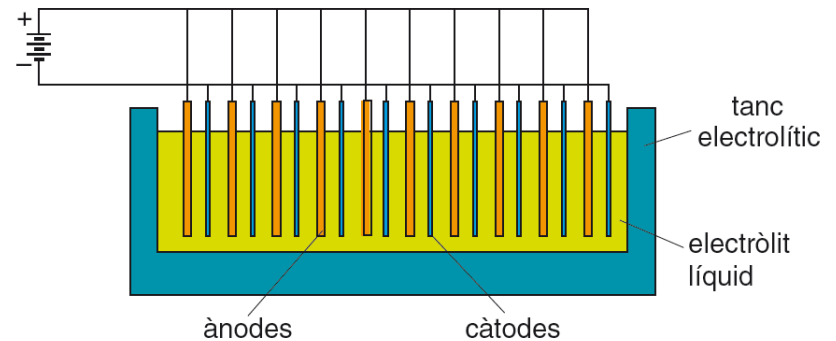
L'**afinament** és el procés d'eliminació d'impureses del metall fos per tal d'obtenir-lo amb la màxima puresa.

Tipus d'afinament

- **Afinament tèrmic**: es realitza en forns (convertidors o de reverber) aplicant-hi oxigen, aire o alguns productes químics.
- **Afinament electrolític**: es realitza en uns tancs electrolítics on se submergeixen ànodes i càtodes. Les impureses es queden dissoltes a l'electròlit o precipiten al fons. Metall queda enganxat als ànodes o càtodes.



Forn de reverber



Afinament
electrolític del coure

Els productes metal·lúrgics

Productes metal·lúrgics	Fèrrics	Ferros	
		Acers	No aliats (al carboni)
			Aliats
		Foses	
	No fèrrics	Purs	Coure (Cu)
			Alumini (Al)
			Plom (Pb)
			Estany (Sn)
			Zinc (Zn)
			Níquel (Ni)
			Crom (Cr)
		Aliatges	Llautons
			Bronzes
			Aliatges lleugers (a base d'alumini)
			Aliatges ultralleugers (a base de magnesi)
			Altres aliatges (a base de titani i níquel)

Propietats dels metalls (I)

Els **metalls** en general són bons conductors elèctrics i són materials plàstics degut a la presència de dislocacions en la seva estructura cristal·lina, afavorint el lliscament de capes. Abans, per aconseguir un metall més dur i resistent, s'havia de colpejar repetidament per disminuir les dislocacions.

Propietats	Fe (ferro)	Cu (coure)	Al (alumini)
ρ : densitat (kg/m^3)	7 870	8 940	2 710
t_f : temperatura de fusió ($^{\circ}\text{C}$)	1 539	1 083	660
E : mòdul elàstic (Pa) $\cdot 10^9$	207	110	69
σ_e : límit elàstic (Pa) $\cdot 10^6$	130	69	85
σ_r : resistència al trencament (Pa) $\cdot 10^6$	260	220	100
ε : allargament unitari (%)	45	45	25
HBW : duresa	90	40	20
ρ : resistivitat elèctrica ($\Omega \cdot \text{m}$) $\cdot 10^{-9}$	97,1	17,8	28
λ : conductivitat tèrmica ($\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	78,5	398	231
α : coeficient de dilatació lineal (K^{-1}) $\cdot 10^{-6}$	11,7	16,5	23,6
Minerals d'obtenció	Hematites (Fe_2O_3) Magnetita (Fe_3O_4) Siderita (FeCO_3) Pirita (FeS_2)	Calcocita (Cu_2S) Calcopirita (CuFeS_2) Cuprita (Cu_2O) Malaquita ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$)	Bauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{altres}$)

Propietats dels metalls (II)

Propietats	Mg (magnesi)	Ti (titani)	Pb (plom)	Sn (estany)	Zn (zinc)	Ni (níquel)
ρ : densitat (kg/m^3)	1 740	4 510	11 340	7 298	7 136	8 900
t_f : temperatura de fusió ($^{\circ}\text{C}$)	650	1 670	327	232	419,5	1 453
E : mòdul elàstic (Pa) $\cdot 10^9$	45	107	14,7	53,9	103,5	207
σ_e : límit elàstic (Pa) $\cdot 10^6$	41	240	3,5	2,55	—	138
σ_r : resistència al trencament (Pa) $\cdot 10^6$	165	330	19,6	34,3	117	483
ε : allargament unitari (%)	6	30	50	40	32	40
HBW : duresa	30	265	6,9	12	36	85
ρ : resistivitat elèctrica ($\Omega \cdot \text{m}$) $\cdot 10^{-9}$	44,5	20	205	120	57	72
λ : conductivitat tèrmica ($\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	157	17	35	63,9	112	80
α : coeficient de dilatació lineal (K^{-1}) $\cdot 10^{-6}$	27,1	10	28,3	20,5	29,8	13,3
<i>Minerals d'obtenció</i>	Dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)	Ilmenita (FeTiO_3)	Galena (PbS)	Casiterita (SnO_2)	Blenda (ZnS)	Pentlandita ($\text{Fe,Ni}_9\text{S}_8$)

Els aliatges

Un **aliatge** és un producte obtingut a partir de la unió de dos elements químics o més (com a mínim un dels dos ha de ser un metall) i que, un cop format, presenta les característiques pròpies d'un metall.

En general baixa la conductivitat, i augmenta la duresa i la resistència als esforços mecànics, augmentant l'elasticitat.

Composició de l'aliatge	Denominació específica
Fe (ferro) + (0,1-1,76 %) C (carboni)	Acer
Cu (coure) + Zn (zinc)	Llautó
Cu (coure) + Sn (estany)	Bronze
Cu (coure) + Ni (níquel)	Cuproníquel
Cu (coure) + Ni (níquel) + Zn (zinc)	Alpaca
55 % Cu (coure) + 45 % Ni (níquel)	Constantà
64 % Fe (ferro) + 36 % Ni (níquel)	Invar
Al (alumini) + Cu (coure) + Mg (magnesi) + Mn (manganès) + Si (silici)	Duralumini
94,95 % Zn (zinc) + 4 % Al (alumini) + 1 % Cu (coure) + 0,05 % Mg (magnesi)	Zamak

Propietats dels aliatges (I)

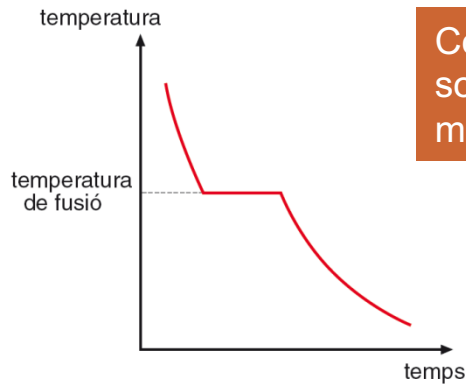
Propietats	Fosa (esferoïdal)	Acer (baix en C)	Acer (mitja en C)	Acer (alt en C)	Duralumini
<i>Composició aproximada</i>	Fe + 3,5% C	Fe + 0,2% C	Fe + 0,5% C	Fe + 1% C	Al + 4% Cu + 0,5% Mg + 0,5% Mn
ρ : densitat (kg/m^3)	7 120	7 860	7 850	7 840	2 800
t_f : temperatura de fusió ($^{\circ}\text{C}$)	1 225	1 516	1 485	1 445	650
E : mòdul elàstic (Pa) $\cdot 10^9$	165	207	207	207	73
σ_e : límit elàstic (Pa) $\cdot 10^6$	275	295	350	380	420
σ_r : resistència al trencament (Pa) $\cdot 10^6$	415	395	520	615	500
ε : allargament unitari (%)	18	37	30	25	6
HBW : duresa	230	115	170	350	135
ρ : resistivitat elèctrica ($\Omega \cdot \text{m}$) $\cdot 10^{-9}$	1 000	166,7	—	—	50
λ : conductivitat tèrmica ($\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	46	52	—	—	147
α : coeficient de dilatació lineal (K^{-1}) $\cdot 10^{-6}$	—	—	—	—	22,5

Propietats dels aliatges (II)

Propietats	Llautó	Bronze	Aliatge ultralleuger	Zamak
<i>Composició aproximada</i>	Cu + 30% Zn	Cu + 5% Sn	Mg + 8% Al + 0,5% Zn + 0,2% Mn	Zn + 4% Al + 1% Cu + 0,04% Mg
ρ : densitat (kg/m^3)	8 340	8 750	1 820	6 700
t_f : temperatura de fusió ($^{\circ}\text{C}$)	950	1 050	630	380
E : mòdul elàstic (Pa) $\cdot 10^9$	103	90	—	85
σ_e : límit elàstic (Pa) $\cdot 10^6$	510	101	—	250
σ_r : resistència al trencament (Pa) $\cdot 10^6$	524	188	294	326
ε : allargament unitari (%)	9,5	20	2	7
HBW : duresa	160	65	75	91
ρ : resistivitat elèctrica ($\Omega \cdot \text{m}$) $\cdot 10^{-9}$	62,5	150	—	65
λ : conductivitat tèrmica ($\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	120,54	122	—	109
α : coeficient de dilatació lineal (K^{-1}) $\cdot 10^{-6}$	20	17	—	27,4

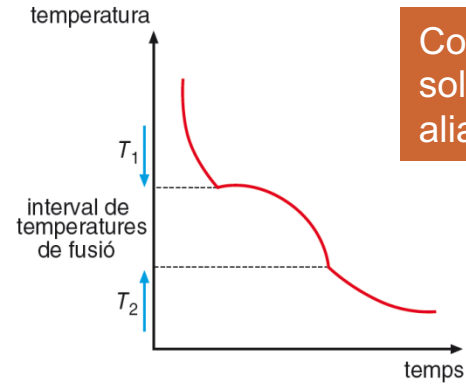
Solidificació dels aliatges (I)

- La temperatura de fusió dels metalls purs és un valor fix.



Corba de solidificació d'un metall pur

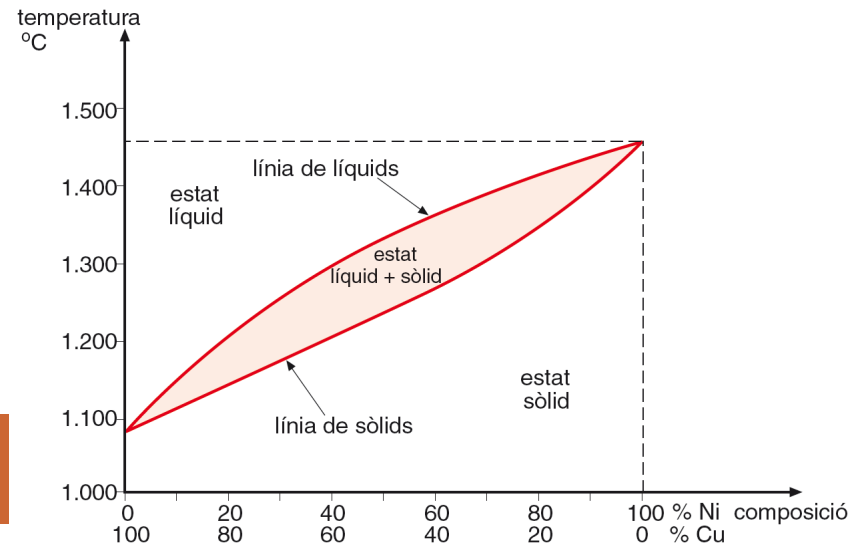
- La temperatura de fusió dels aliatges no és fixa.



Corba de solidificació d'un aliatge binari

- Diagrama d'equilibri:** s'utilitza per il·lustrar el procés de fusió i solidificació dels aliatges binaris.

Diagrama d'equilibri de l'aliatge níquel + coure



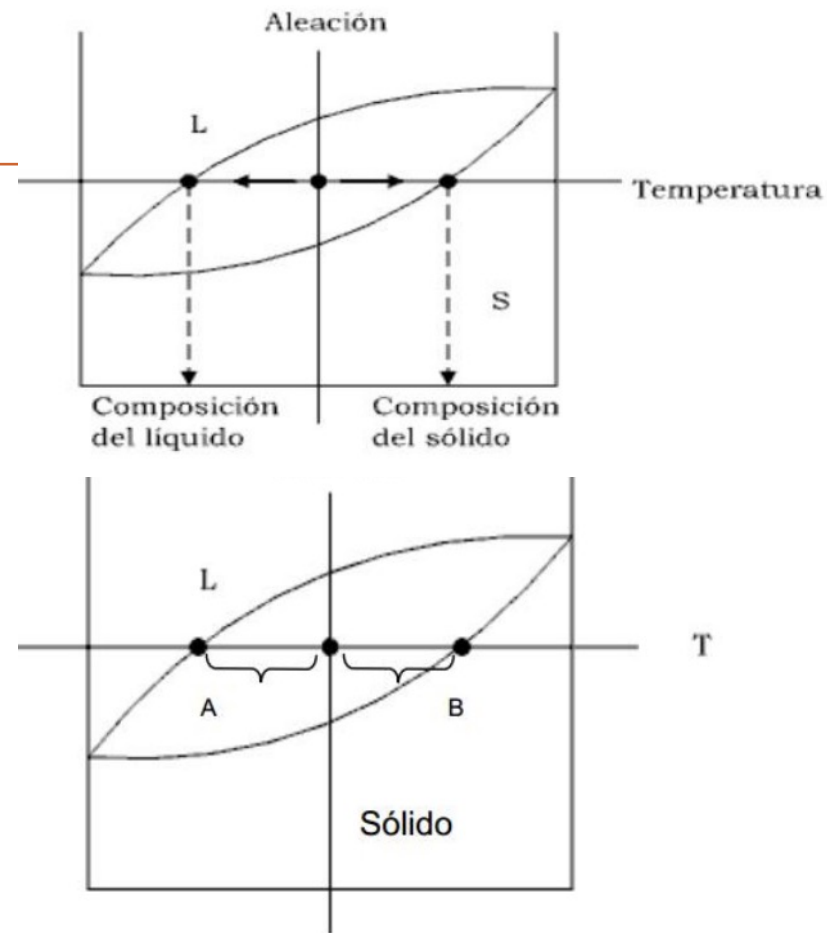
Solidificació dels aliatges (II)

Càlcul de composició química de les fases presents:

- Quan l'aleació està en una única fase, la composició de la fase és igual a la del aliatge
- Quan l'aleació té dos fases, la composició de cada fase té les proporcions tal i com es veu al diagrama de sota

La quantitat de cada fase en fracció o percentatge respecte a la massa total de l'aleació, es calcula amb la regla de la palanca tal (quan més gran el braç, menys proporció):

Proporció Líquid: distància B/ distància A+B



Durant la solidificació de l'aliatge, es produeix la **segregació**, que consisteix en que la composició química del sòlid que es forma primer és diferent a la del sòlid que es forma al final. Això provoca que la composició química de la peça sòlida no sigui uniforme, i per tant, tampoc les propietats mecàniques.

Solidificació dels aliatges (III)

Aliatge de proporcions eutèctiques: els components de l'aliatge són totalment solubles en estat líquid i insolubles en estat sòlid.

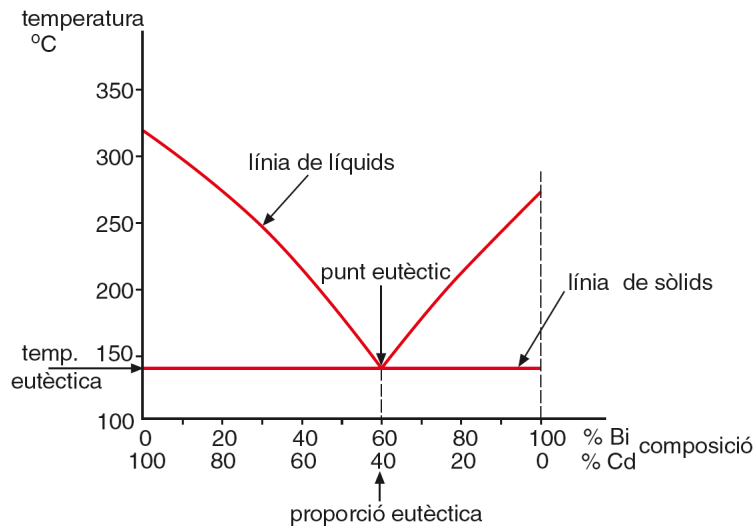


Diagrama d'equilibri de l'aliatge amb proporció eutèctica cadmi + bismut

Característiques dels aliatges de proporcions eutèctiques:

- Se solidifiquen a una temperatura constant i no en un interval.
- La temperatura de solidificació (o de fusió) és la més baixa de totes les possibles, inclús les dels metalls purs corresponents.
- Són mescles finíssimes i íntimes de cristalls purs dels elements d'aliatge, el que facilita la fabricació per emmotllament.

MATERIALS NO FÈRRICS

El coure

Característiques del coure

- És un dels primers metalls utilitzats per la humanitat (4500 aC)
- No és un metall abundant en la natura (Xile, principal productor amb el 16%)
- Obtenció: normalment amb forns i afinament electrolític.
- És dens, tou, plàstic i presenta acritud.
- Té conductivitat elèctrica i tèrmica i és resistent a la corrosió.
- **Aplicacions:** cables elèctrics, calderes, canonades d'aigua i gas, etc.
- **Aliatges:**
 - Llautons: Cu i Zn que millora propietats mecàniques (fins el 50% de Zn. Més es tornaria massa dur i fràgil) i baixa Tf per poder emmotllar millor)
 - Llautons ordinaris (només Zn)
 - Llautons especials (Zn i d'altres elements)
 - Bronzes: Cu i qualsevol metall que no sigui Zn, normalment Sn, que li dóna bones propietats d'emmotllament, i augmenta duresa, si <12%, i resistència a la corrosió).

Acritud: augment de duresa i resistència mecànica al ser deformat en fred.



Coure:

Cable elèctric, calderes, bescanviadors de calor, canonades d'aigua i gas, calderes, etc.



Llautó:

Engranatges, cargols, instruments, maquinària marina, vàlvules, coixinets, vàlvules, decoració, etc.



Bronze:

Coixinets i vàlvules a la indústria del petroli, àleps de turbines, campanes, maquinària naval, decoració, etc.

MATERIALS NO FÈRRICS

L'alumini

Característiques de l'alumini

- Material modern (es comença a utilitzar industrialment a finals del segle XIX).
- Metall més abundós de l'escorça terrestre i el més utilitzat després de l'acer
- S'obté de la bauxita.
- Procediment d'obtenció complicat (Al es combina fàcilment amb altres compostos) i costós energèticament: *Separació de l'alumina de la bauxita i electròlisi per extreure l'alumini en bany de criolita fosa*
- És lleuger, bon conductor tèrmic i elèctric, molt dúctil, mal·leable i tou en estat pur, tot i que presenta acritud. Resistent a la corrosió de la humitat però no a l'aigua de mar, ni àcids. Tf baixa, que fa que sigui emmotllable.
- **Aplicacions:** cables elèctrics, bescanviadors d'alumini, envasos i embolcalls en la indústria alimentària, etc.
- **Aliatges:** **aliatges lleugers** per a fusió i emmotllament (blocs de motors, pistons, fusteria d'alumini, estris de cuina), i aliatges lleugers per a forja o laminatge (construcció aeronàutica, perfils laminats per estructures).



Elements d'aliatge	Proporció	Característiques
<i>Coure</i>	< 15 %	Augmenta la duresa i la resistència mecànica.
<i>Silici</i>	5 % a 20 %	Augmenta la duresa i la resistència a la corrosió, millora molt la facilitat per a l'emmotllament però dificulta el mecanitzat.
<i>Zinc</i>	< 20 %	Igual que el coure, però més barat, baixa la resistència a la corrosió i augmenta la densitat.
<i>Magnesi</i>	< 10 %	Millora les propietats mecàniques, augmenta la resistència a la corrosió i facilita el mecanitzat.
<i>Manganès</i>	< 2 %	Augmenta la duresa, la resistència mecànica i la resistència a la corrosió.
<i>Ni, Cr, Co, Ti...</i>	< 1 %	Augmenten la duresa, la resistència mecànica i la resistència a la corrosió.

Taula 8.3. Influència dels elements d'aliatge en les propietats dels aliatges lleugers.

Altres metalls d'aplicació industrial (I)

Metall	Propietats	Aplicacions	Aliatges	Observacions
<i>Magnesi</i>	Molt lleuger. Resistent a l'aire sec però no a la humitat. Baixa plasticitat a temperatura ambient.	Indústria química i piro-tècnica. Formació d'aliatges <i>ultralleugers</i> .	Anomenats <i>ultralleugers</i> , es formen amb alumini (Al), zinc (Zn) i manganès (Mn). S'utilitzen per a peces estructurals a la indústria aeronàutica i peces de maquinària que requereixin una baixa inèrcia.	
<i>Titani</i>	Resistent als esforços. Lleuger. Resistent a la corrosió.	Formació d'aliatges de titani. En forma d'òxid s'utilitza com un potent pigment blanc.	Amb l'alumini (Al), l'estany (Sn), el crom (Cr) i el vanadi (V). Resistents i dúctils, forjables, admeten tractaments tèrmics. S'utilitzen a les indústries aeronàutica, aeroespacial, naval, petrolera i química.	És un metall car per les dificultats que comporta la seva obtenció.
<i>Plom</i>	Molt dens. Molt poca resistència mecànica. Tou. Dúctil. Mal·leable. No presenta acritud. Resistent a la corrosió.	Revestiments interiors de dipòsits en la indústria química. Barrera de protecció de sorolls, vibracions, raigs X i raigs γ .	Amb antimoni (Sb), estany (Sn) i coure (Cu). Acumuladors elèctrics, material de soldadura, revestiments antifricció en coixinets.	Metall pesant molt tòxic que pot arribar a les persones a través de la cadena alimentària.

Altres metalls d'aplicació industrial (II)

Metall	Propietats	Aplicacions	Aliatges	Observacions
<i>Estany</i>	Molt mal·leable. Resistent a la corrosió. Dúctil. Tou. Poc resistent als esforços.	Revestiment antioxidant de làmines d'acer (llauna).	Amb el coure (Cu) per a bronzes. Amb el plom (Pb) per a soldadura. Amb bismut (Bi) i antimoni (Sb). Fusibles elèctrics, materials antifricció per a coixinets.	
<i>Zinc</i>	Resistent a la corrosió. Poc resistent als esforços.	Galvanització de l'acer (zincatge) per protegir-lo de l'oxidació.	Amb alumini (Al), magnesi (Mg) i coure (Cu). Fabricació de tota mena de peces per fusió i emmotllament. Obtenció de llautons.	
<i>Níquel</i>	Resistent a la corrosió. Molt mal·leable. Magnètic. Resistent a la tracció. Resistent al desgast.	Fabricació d'instrumental quirúrgic i de laboratori. Revestiment antioxidant de peces metàl·liques (níquelatge).	Amb molts elements. Acumuladors elèctrics. Acers inoxidable. Bronzes. Alpaca. Imants. Nuclis magnètics. Resistències elèctriques de precisió.	Dóna un acabat molt lluent i decoratiu.