

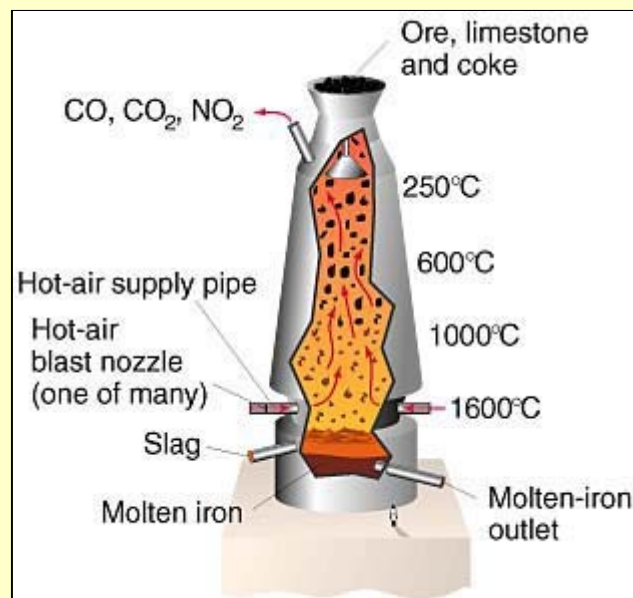


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA - EEL

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS - DEMAR

Disciplina Pirometalurgia



Professor: Carlos Angelo Nunes

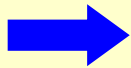
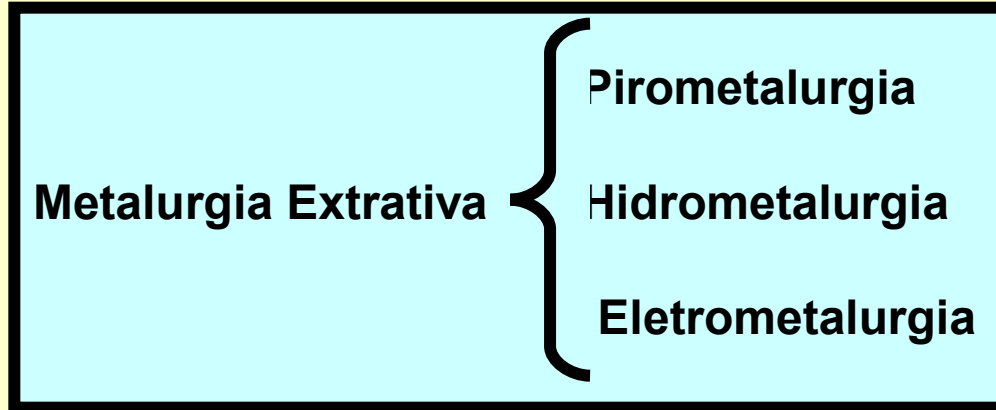
Programação do Curso (1º semestre 2009)

fev	mar	abr	mai	jun	jul
19	5	2	7	4	9(R)
26	12	16(P1)	14	18(P2)	
	19	23	21	25(D)	
	26	30	28		

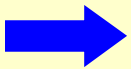
P1, P2 – avaliações escritas e sem consulta

D – aula de dúvidas para recuperação

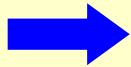
R – recuperação, escrita sem consulta



Primeiros metais utilizados pelo homem: Au, Cu (metais nativos, encontrados na forma pura.



Desenvolvimento inicial da metalurgia extrativa: tentativa e erro



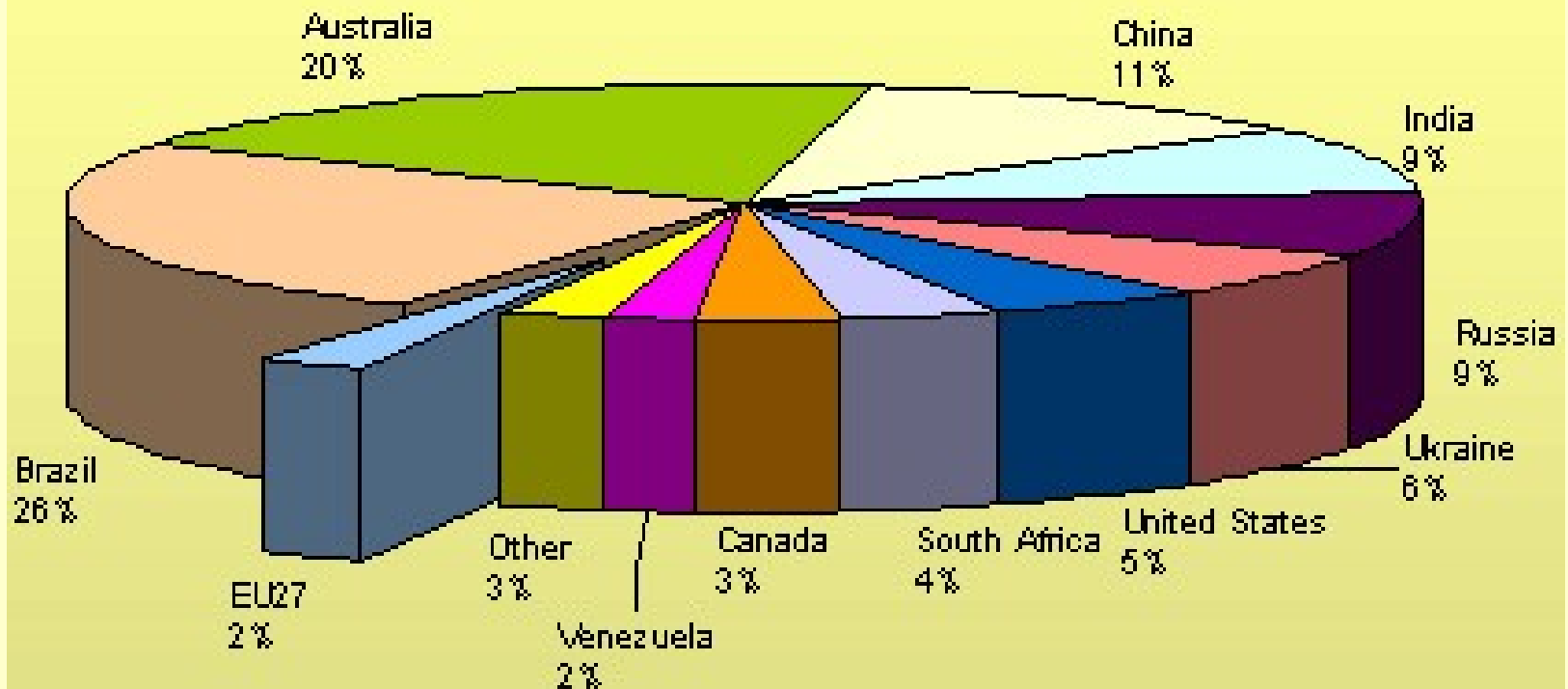
Plantas modernas: Em geral apresentam um grande número de operações complexas. Particularmente no campo da metalurgia dos não-ferrosos, as operações variam consideravelmente de um metal para outro.

Minérios

- Minério é uma rocha que pode ser extraída economicamente para servir de matéria-prima para produção de metal(is);
- 100 anos atrás um minério de cobre tinha que conter pelo menos 5% de Cobre de forma a ser aceito como um minério. Hoje, devido a evolução da tecnologia, rochas com até 0,5% de cobre são processadas economicamente;
- tipos de minérios: óxidos, sulfetos, haletos;
- Minérios tipo óxido:
 - Fe: hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), limonita (hidróxido), Siderita (carbonato)
 - Al: bauxita (hidróxido)
 - Si: quartzo (SiO_2)
 - Sn: cassiterita (SnO_2)Outros: Mn, Cr, Ti, W, U.
- Minérios tipo Sulfeto:
 - Cu: mistura de sulfetos de Cu e Fe;Outros: Ni, Zn, Pb, Hg, Mo.
- Minérios do tipo haleto:
 - Na: sal de rocha (NaCl)

Produção Mundial de Minério de Ferro em 2002

World Production of Iron Ore in 2002



Mina de Minério de Ferro



Mina de Minério de Ferro





Hematita



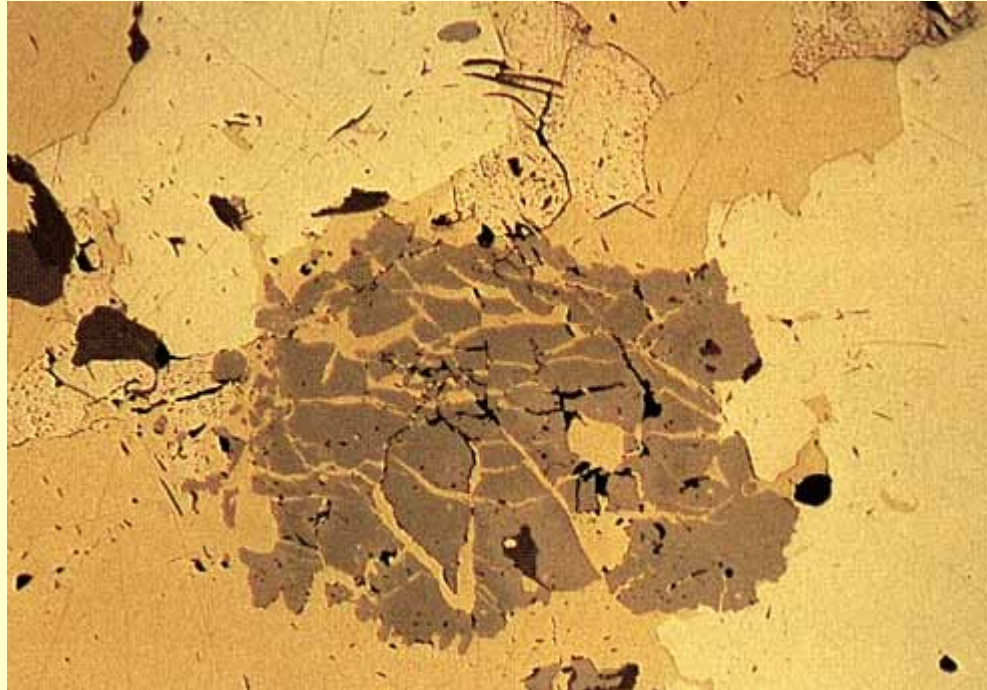
Colar de Hematita



Minérios de Cobre



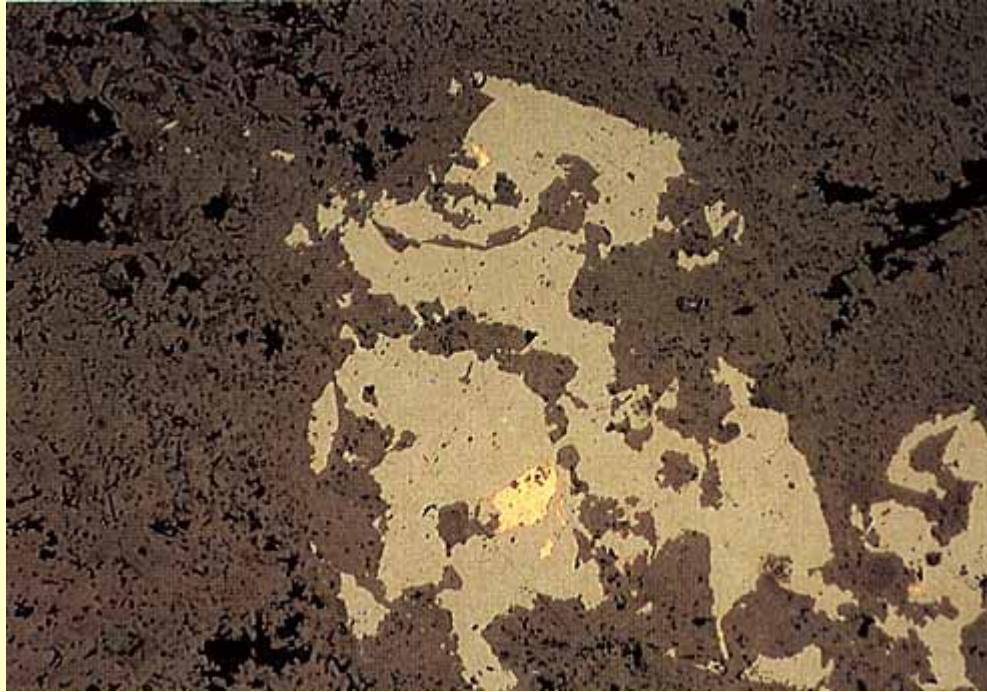
A maioria dos minérios contém vários minerais diferentes, isto é, cristais de composições diferentes.



The central spinel phase is zoned with a lower reflectance core (light grey, centre) of chrome-rich spinel (ferrochromite) and a higher reflectance iron-rich rim (magnetite) (bottom centre). It is extensively shattered and the fractures are infilled with chalcopyrite. Chalcopyrite (yellow, left) is intergrown with pyrite (pale yellow-white, higher reflectance, right) and euhedral to subhedral highly altered pentlandite (light yellow brown, many polishing pits, top centre). Violarite (brown, top right) is the main alteration product of pentlandite. Dark grey areas are silicates. Polished block, plane polarized light, x 80, air



Bornite (brown) is intergrown and replaced by chalcopyrite (yellow) along (100), some of which forms irregular spindle-shaped lamellae growing from the margin of bornite towards its centre. Magnetite (light grey, right) is inclusion-free. Small TiO_2 crystals (medium grey, top centre) have lower reflectance than magnetite. Silicate minerals (centre left, top left) have lower reflectance than trigonal carbonate (centre), which shows bireflectance associated with polysynthetic twinning. Pseudobrookite, rather than rutile, is the main TiO_2 mineral at Palabora. Polished block, plane polarized light, x 80, air



Native copper (orange-yellow, high reflectance, centre bottom) is present within cuprite (blue, centre) which in turn occurs within fine-grained malachite (light green-grey), which is replacing chalcocite (left). Polished block, plane polarized light, x 80, air

Operação Unitária: etapa que é caracterizada por certas características físicas (ex. britagem, moagem, peneiramento, transporte)

Processo Unitário: etapa que é caracterizada por uma certa reação química (ex. ustulação de um sulfeto ou redução gasosa de um óxido)

- Um processo unitário tem como principal propósito a ocorrência de uma reação química. Fundamentos:

Termodinâmica (Como fazer a reação ocorrer no sentido desejado?)

Cinética (velocidade da reação ? => produção)

Transferência de calor (Conhecendo-se os calores de reação, qual a energia deve ser suprida para atingir a temperatura desejada para o processo?)

Cinética + transferência de calor + transferência de massa (para projeto do reator, de forma a definir a capacidade de produção)

Fluxogramas

- O processo ou combinação de processos que são usados em uma dada planta é ilustrado convenientemente por meio de um fluxograma
- Figura 1: fluxograma relativo à produção de cobre a partir de um minério tipo sulfeto de baixo grau;
- Figura 2: fluxograma para produção de aço;
- Figura 3: fluxograma para produção de zinco

Figura 1

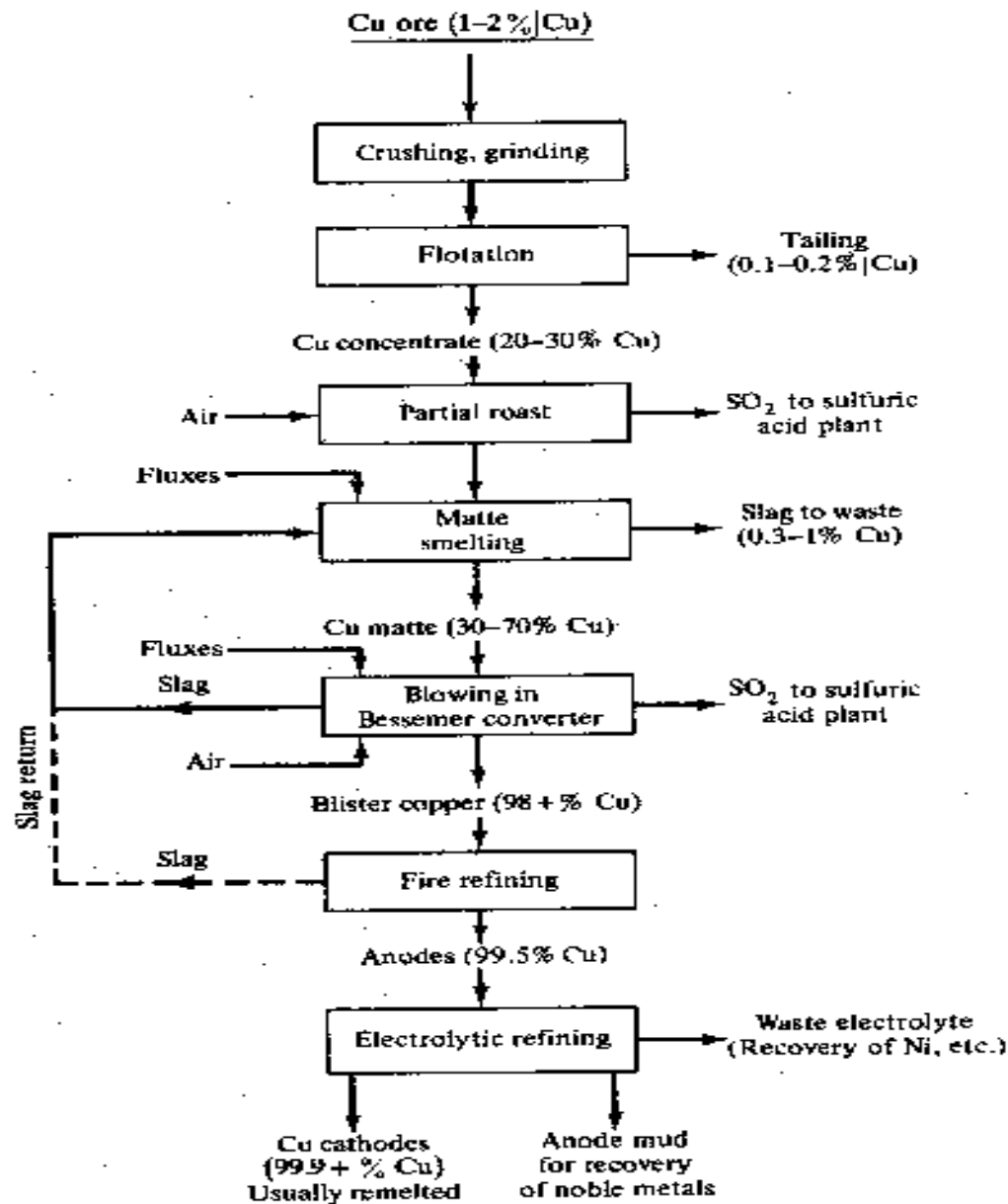


Figure 1-1 Typical flow sheet for the production of copper from a low-grade copper sulfide ore.

Figura 2

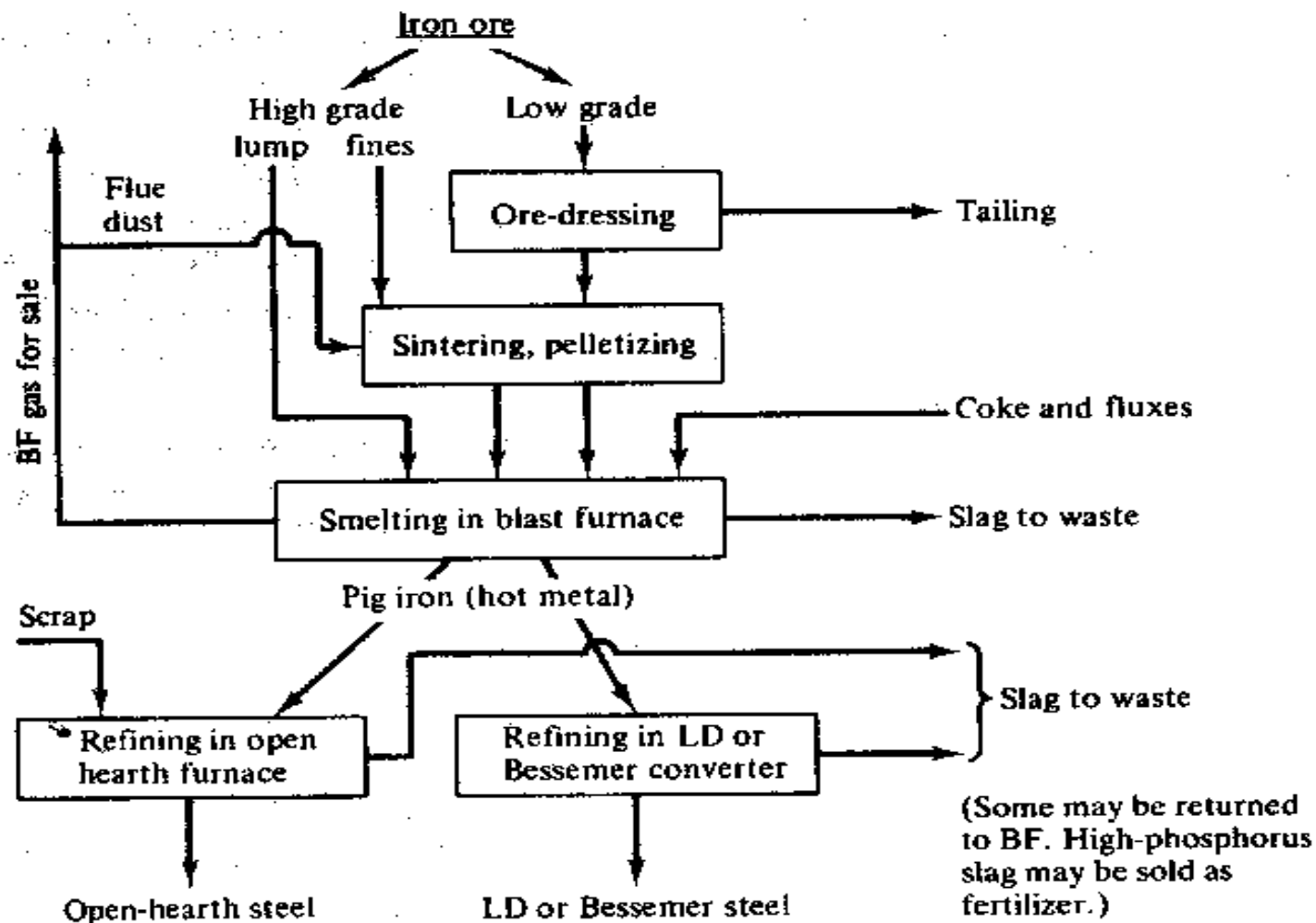


Figure 1-2 Flow sheet for iron- and steel-making. Left: open hearth; right: pneumatic steel-making.

Figura 3

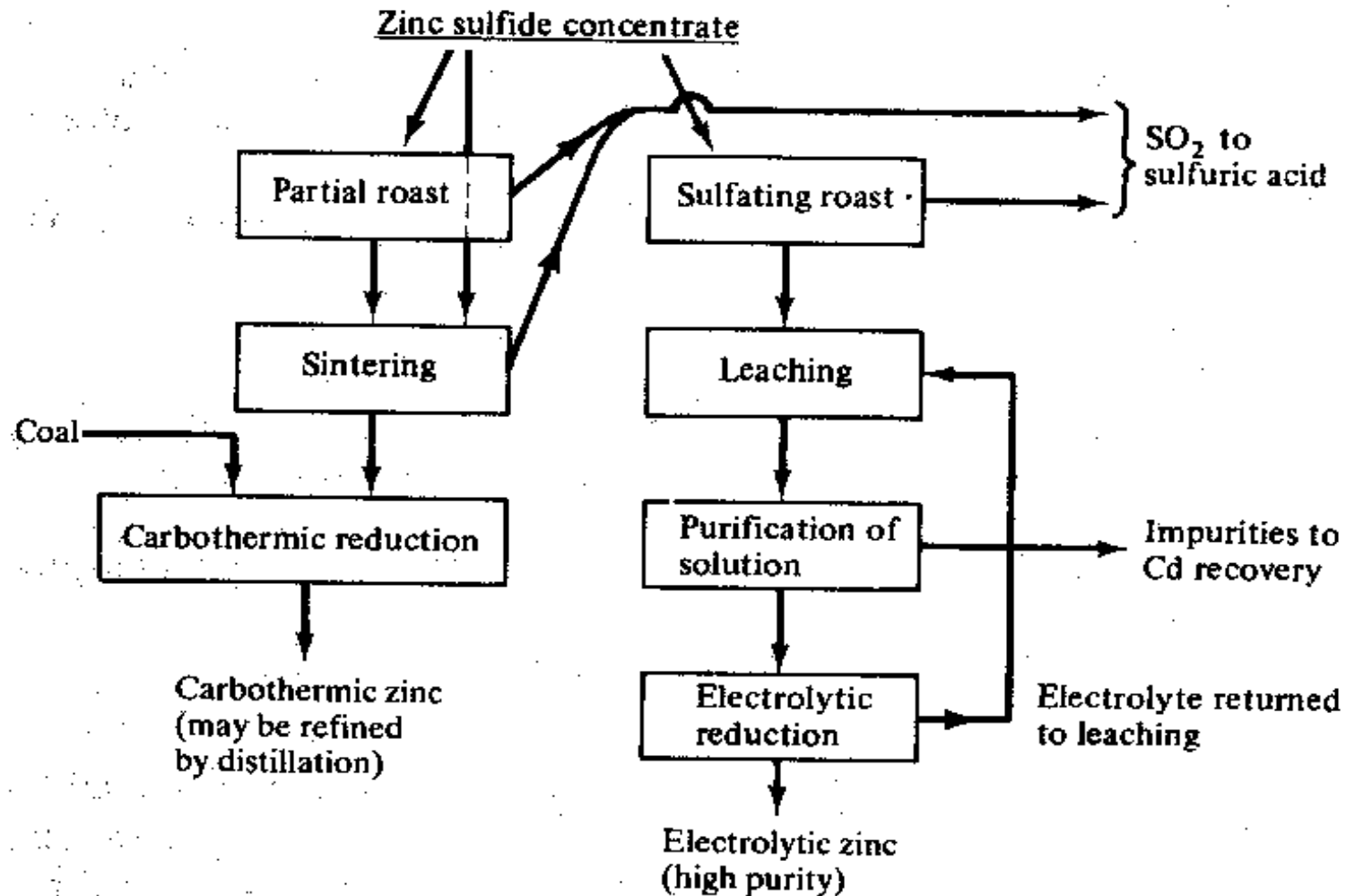


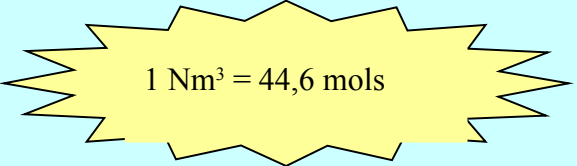
Figure 1-3 Flow sheet for production of zinc from zinc sulfide concentrate. Left: carbothermic reduction; right: leaching and electrolysis.

Algumas características da Extração de Metais

- Um mesmo metal pode ser produzido por vários métodos diferentes (ex. zinco obtido por pirometalurgia – redução carbotérmica ou via hidrometalúrgica – eletrólise);
- A maioria dos metais são produzidos a partir de minérios impuros. O metal normalmente obtido é impuro: ferro gusa, cobre blíster, chumbo bullion, nióbio aluminotérmico. Este deve então sofrer “refino” para remoção das impurezas e gerar um produto de qualidade desejada;
- Uma característica comum a vários fluxogramas é a circulação ou retorno de produtos intermediários (ex. escória) às etapas anteriores [ver Figuras 1 e 2]
- Recuperação de sub-produtos: por exemplo enxofre nos processos de ustulação; Au e Ag da lama anódica do processo de obtenção eletrolítica do cobre; alumina da redução aluminotérmica do Nb_2O_5 para construção de refratário.

Gases e Composição dos Gases

- Assumindo comportamento ideal $\Rightarrow pV = nRT$
 $T = 0^\circ\text{C}$; $p = 1 \text{ atm}$; $V = 1 \text{ m}^3 \Rightarrow n = 44,6 \text{ mols}$


$$1 \text{ Nm}^3 = 44,6 \text{ mols}$$

- A concentração de um componente em uma mistura gasosa é usualmente expressa por sua porcentagem em volume, que é igual à sua porcentagem molar

$$\%vol(x) = \frac{n_x}{n_t} \times 100$$

Pressão parcial:

$$p_x = \frac{n_x}{n_t} \times p_t = x_x \times p_t$$

- Os gases de combustão frequentemente contém vapor d'água. A composição pode então ser expressa em base úmida ou base seca. A base úmida inclui o vapor d'água. Na base seca a água é desconsiderada, a quantidade dos componentes restantes somando 100%.

Balanço de Massa

- A equação básica em balanço de massa é a lei de conservação da massa. Para cada componente x, temos:

$$\sum_{i=1}^{i=n} m_i \times (\%x) = \sum_{j=1}^{j=m} m_j \times (\%x) + \Delta m_x$$

entrada = saída + acúmulo

onde:

m_i representa a massa de cada tipo de matéria-prima que entra;

m_j representa a massa de cada tipo de produto que deixa o processo;

$\%x$ é a porcentagem em massa do elemento x na matéria-prima ou produto;

Δm_x é a massa de x que se acumula no processo.

OBS. Se $\Delta m_x = 0 \Rightarrow$ estado estacionário.

- A eficiência de um processo de extração pode ser convenientemente expressa pela recuperação. A recuperação é a quantidade de um dado componente em um dado produto relativo à total quantidade do mesmo elemento nas matérias-primas.

Lista de Exercícios:

- 1) Expresse em porcentagem molar (atômica) a composição de um aço inoxidável com 18%Cr, 8% Ni, o balanço sendo Fe.
- 2) O ar contém 21% O_2 (volume), 78% N_2 (volume) e 1% Ar (volume). Expresse sua composição em porcentagem em massa (peso).
- 3) Pirita (FeS_2) é ustulada com excesso de ar para formar Fe_2O_3 e SO_2 . O gás de ustulação contém 6,3 % de SO_2 , o balanço sendo O_2 e N_2 . Determine por tonelada métrica de pirita: (a) a quantidade de ar teórico (em Nm^3); (b) a quantidade de ar utilizada; (c) a composição do gás de ustulação em porcentagem em volume; (d) o volume do gás de ustulação a $500^\circ C$.
- 4) Uma carga de alto-forno contém 160 kg de Fe_2O_3 , 54 kg de SiO_2 , 20 kg de Al_2O_3 , 100 kg de $CaCO_3$ e 78 kg de C. Para o processamento desta carga, $266 Nm^3$ de ar são utilizados. O gusa produzido contém 4% (peso) de C e 1% (peso) de Si, o restante sendo ferro. Considere que todo o ferro da carga passe para o gusa. Os óxidos restantes formam a escória e o CO_2 do calcário é expelido e se mistura com o gás do forno. O carbono no gás é presente parcialmente como CO_2 e parcialmente como CO e não há oxigênio livre. Calcule o peso de gusa formado, bem como o peso e a composição da escória; calcule o volume e a composição do gás do forno.