

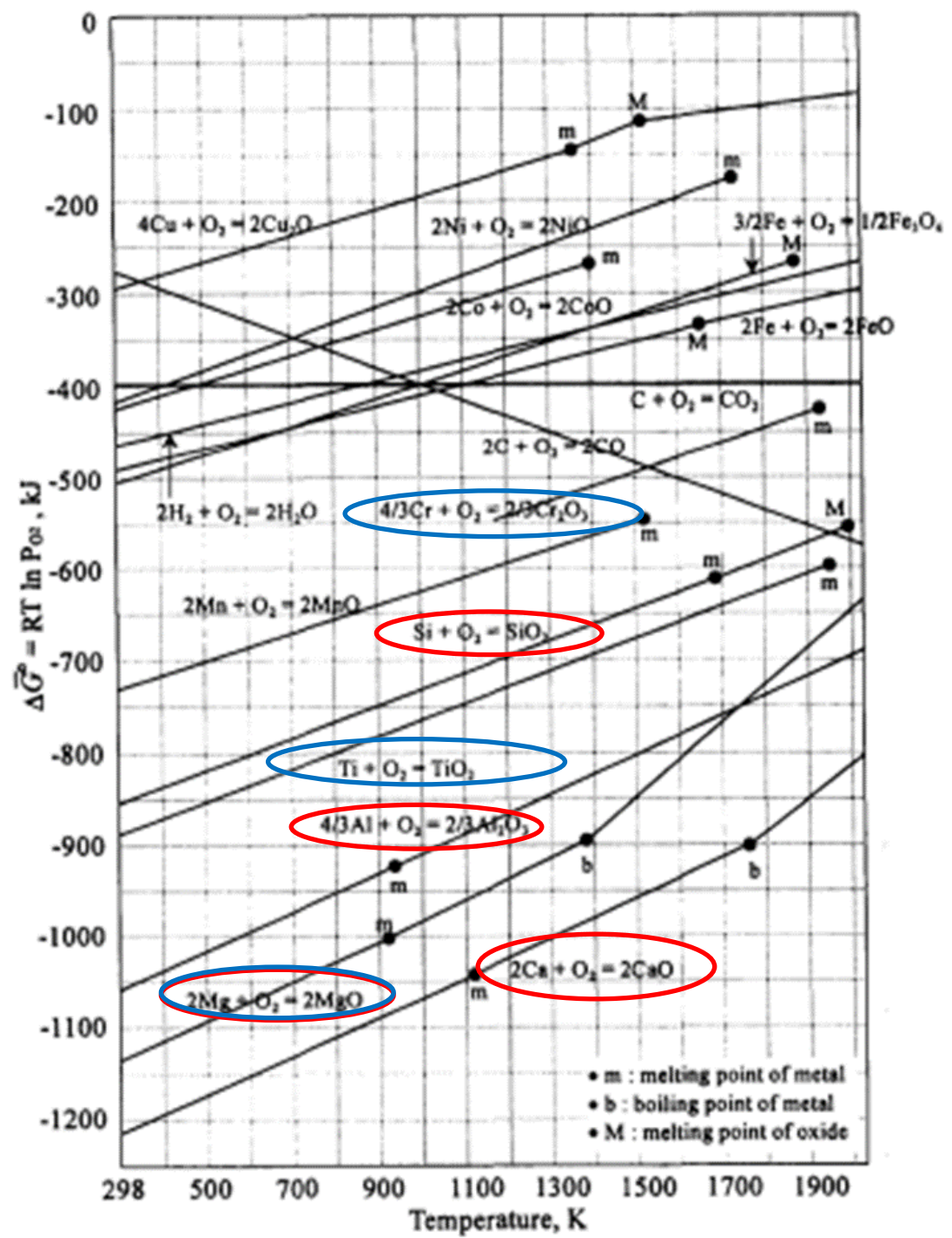
METALURGIA EXTRATIVA DOS NÃO FERROSOS

PMT 3409

REDUÇÃO METALOTÉRMICA

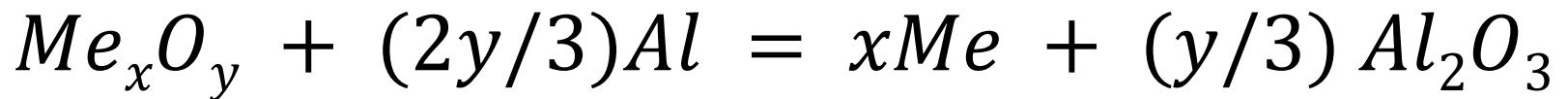
INTRODUÇÃO

- **Definição:** são os processos de redução que utilizam como redutor um metal
- **Redutores mais utilizados:** Al, Si, Mg, Ca
- **Metais produzidos:** Ti, Zr, Nb, Cr, Mg, terras raras, ferro-ligas



ALUMINOTERMIA

- Muito utilizada para a produção de ferro-ligas, Nb e Cr
- Pode estar associada a outro metal como o Si
- Função do redutor:
 - Redução dos óxidos
 - Gerar energia para aquecimento e fusão do sistema



ALUMINOTERMIA

- É preciso adicionar fundentes para fluidificar a escória (CaO , CaF_2 , ...)
- Para controlar a temperatura do sistema, pode ser adicionado metais (endotermia do aquecimento e fusão)
- Parte do Al pode ser substituído por meio de aquecimento externo (FEA)
- A ignição pode ser feita por meio de uma mistura metalotérmica de fácil acendimento (com Na ou Mg) ou com maçarico ou com arco elétrico

ALUMINOTERMIA

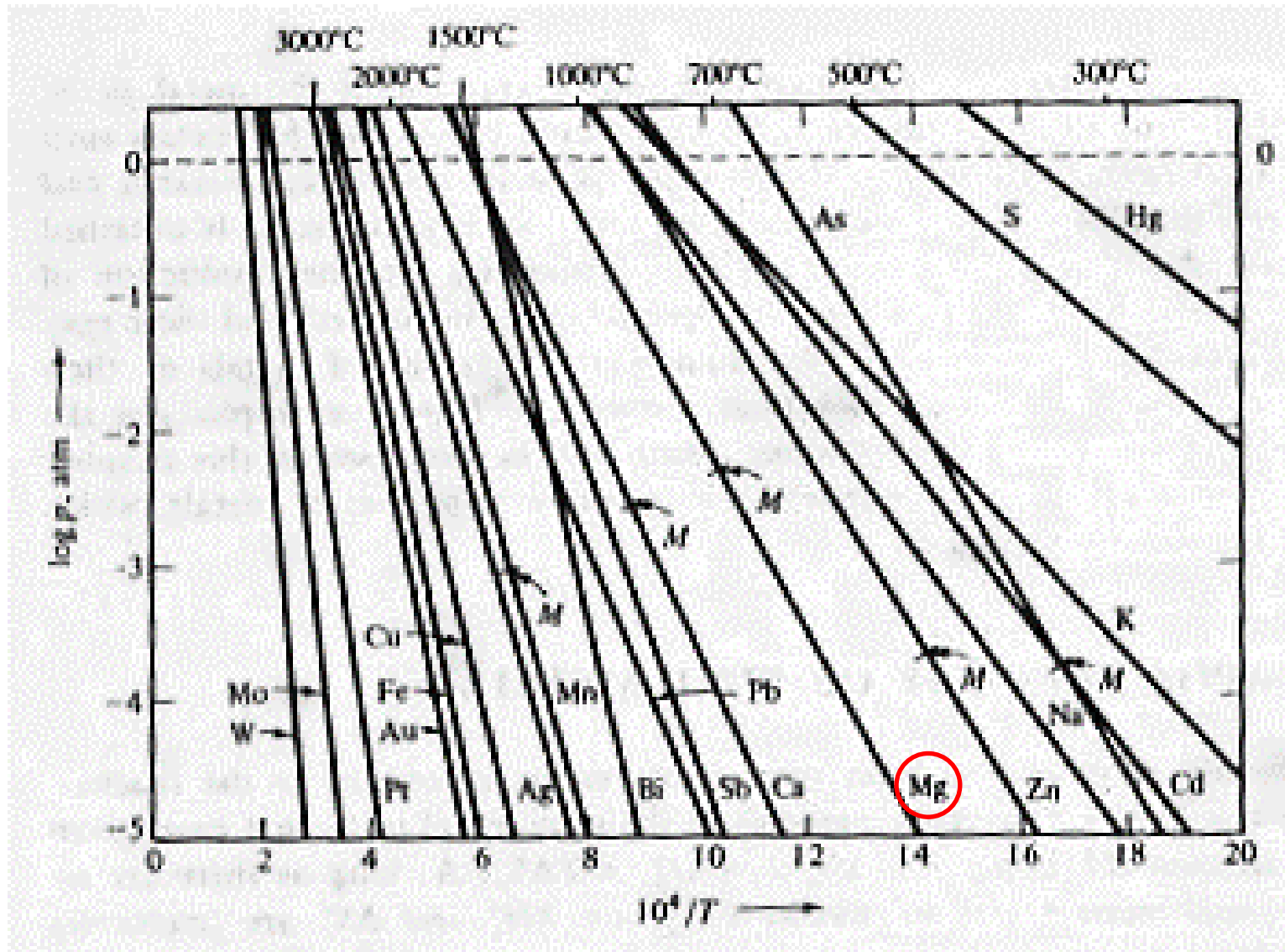
- O processo também pode ser utilizado para a soldagem de metais (processo Thermit)
 - Trilhos
 - Cabos elétricos

<http://www.youtube.com/watch?v=19jqMckL8bA>

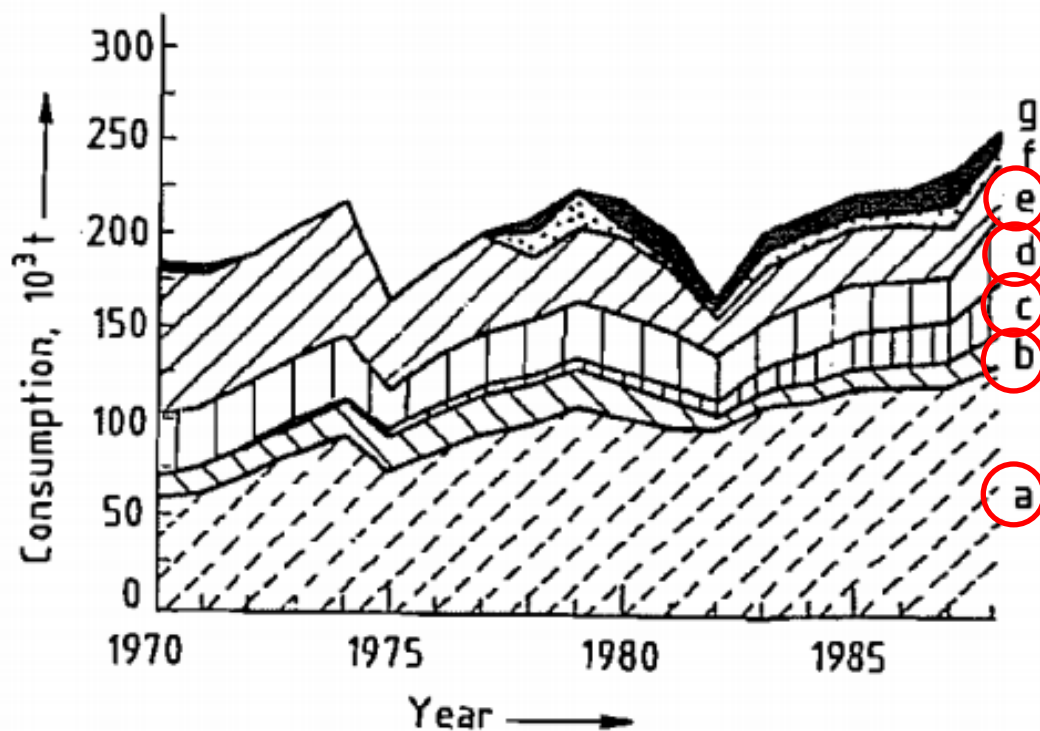
METALURGIA DO MAGNÉSIO

Propriedade	
Densidade (próximo à temperatura ambiente)	1,738 g/cm ³
Densidade do metal líquido (no ponto de fusão)	1,584 g/cm ³
Temperatura de Fusão	651°C
Temperatura de Ebulição	1107°C
Entalpia de Fusão	8,48 kJ/mol
Entalpia de Vaporização	128 kJ/mol
Capacidade Térmica Média	24,869 J/mol.K
Estrutura Cristalina	Hexagonal Compacto
Ordem Magnética	Paramagnético
Resistividade Elétrica (a 20°C)	43,9 nΩ.m
Condutividade Térmica	156 W/m.K
Coefficiente de Expansão Térmica (a 25°C)	24,8 μm/m.K
Módulo de Elasticidade (Young)	45 GPa
Módulo de Cisalhamento	17 GPa
Coefficiente de Poisson	0,29
Dureza Mohs	2,5
Dureza Brinell	260

METALURGIA DO MAGNÉSIO



METALURGIA DO MAGNÉSIO



Magnésio puro

- a) Ligas de Al;
- b) Nodularização de fofo;
- c) Desulfuração;
- d) Aplicações químicas.

Ligas de Magnésio

- e) Fundição sob pressão;
- f) Aplicações estruturais.

Mg puro e suas ligas

- g) Outros usos.

METALURGIA DO MAGNÉSIO

- Davy (1808): eletrólise de MgCl_2 anidro com catodo de Hg
- Bussy (1828): redução com Na vapor de MgCl_2
- Faraday (1833): eletrólise de MgCl_2 desidratado com catodo de C
- Pidgeon (1940): 1ª planta industrial – redução com FeSi sob vácuo

METALURGIA DO MAGNÉSIO

- Produção:
 - Redução metalotérmica do óxido
 - Redução eletrolítica do cloreto
- A redução carbotérmica do óxido é difícil pois:
 - Alta temperatura: $>1850^{\circ}\text{C}$
 - no resfriamento a seguinte reação pode ocorrer:
$$(\text{Mg}) + (\text{CO}) = \langle \text{MgO} \rangle + (\text{C})$$
 - necessário resfriamento muito rápido para evita-la

METALURGIA DO MAGNÉSIO

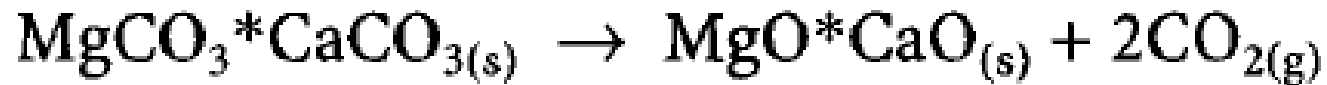
Material	Chemical formula
Magnesite	MgCO_3
Dolomite	$\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$
Bischofite	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Carnallite	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Serpentine	$3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Sea water	$\text{Mg}^{2+}_{(\text{aq})}$

METALURGIA DO MAGNÉSIO

- Redução metalotérmica do óxido
 - Processo Pidgeon
 - Processo Bolzano
 - Processo Magnetherm
 - Outros (Mintek)

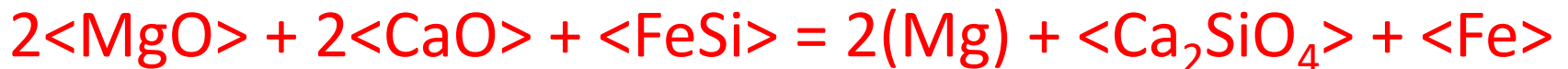
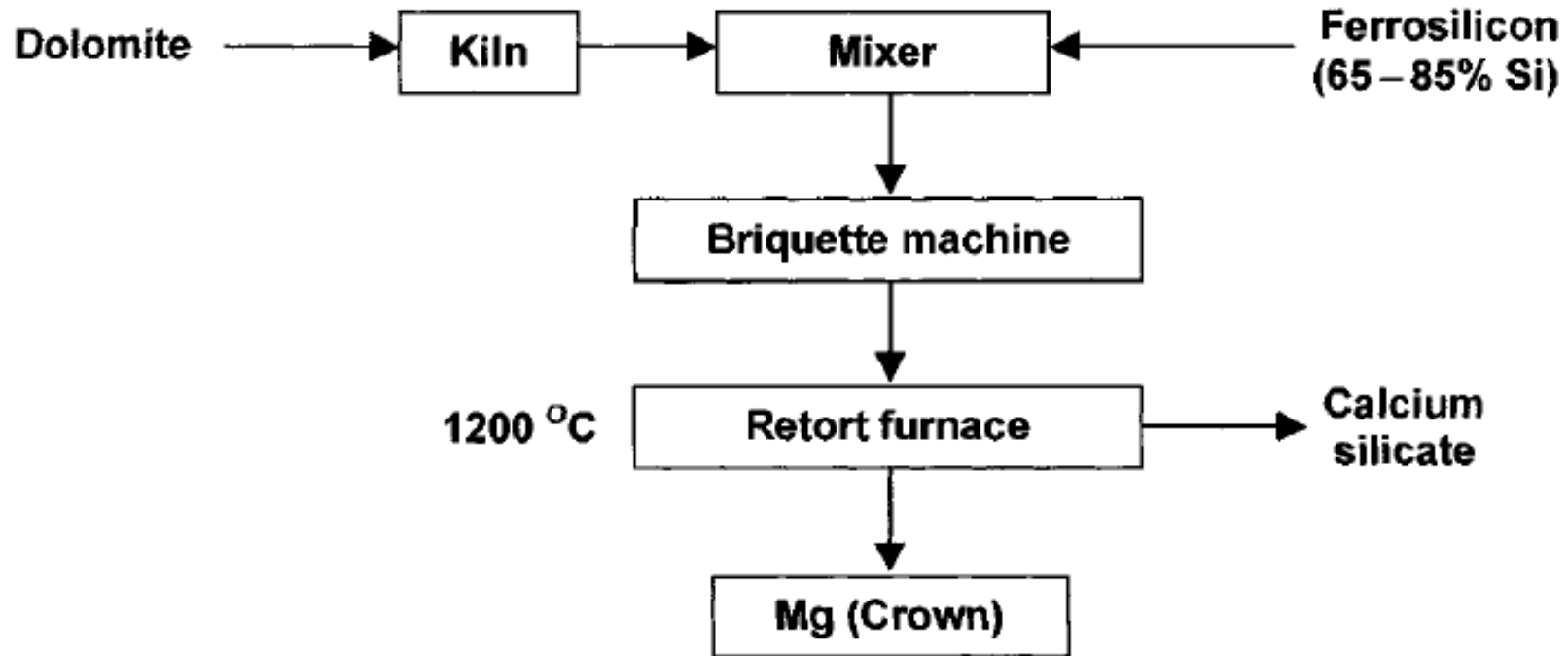
PROCESSO PIDGEON

- Foi desenvolvido na década de 40 no Canadá
- É um processo silicotérmico
- A primeira etapa é a calcinação do carbonato

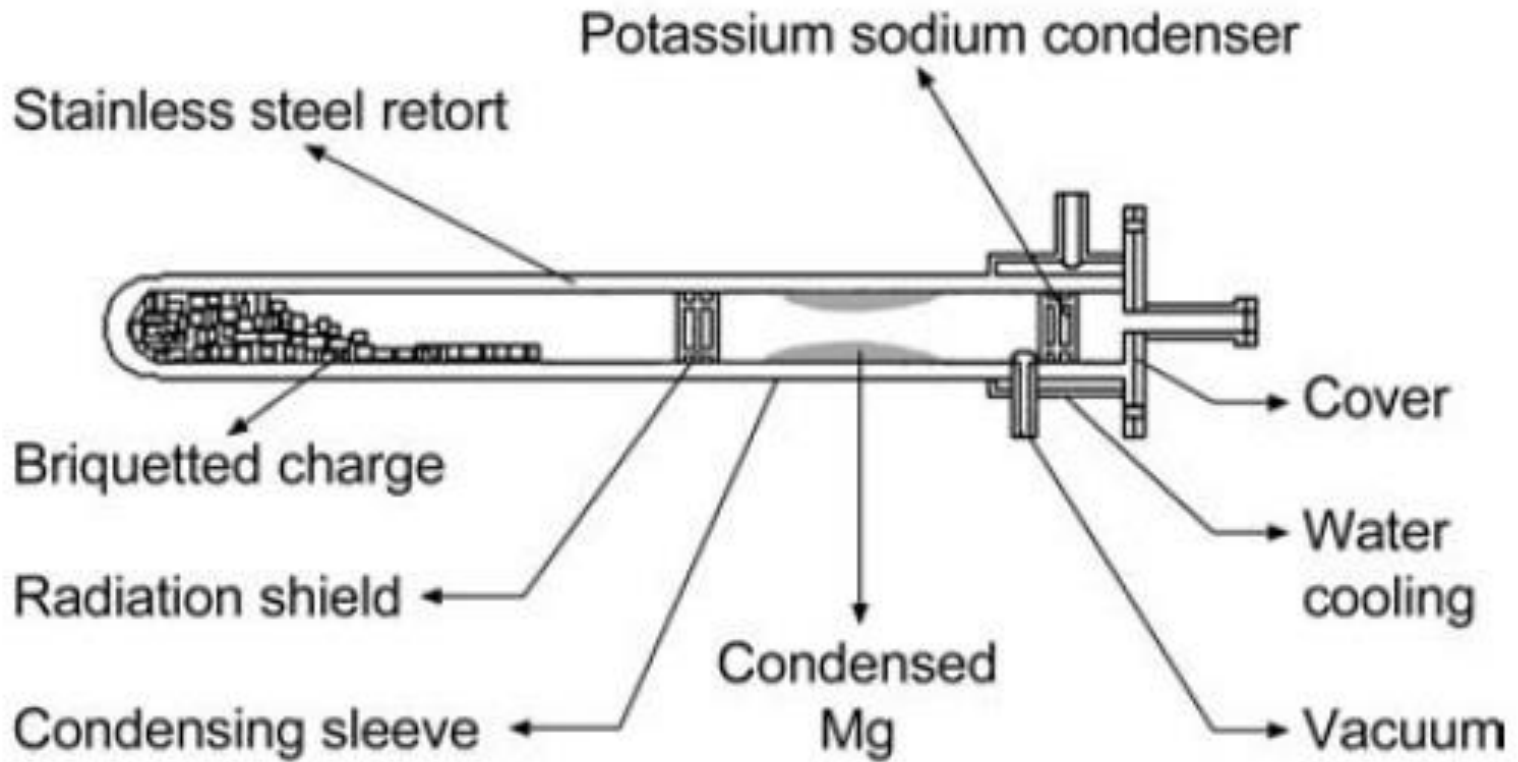


PROCESSO PIDGEON

- Utiliza retortas metálicas (aço refratário – 30%Cr+20%Ni) sob vácuo(13-670Pa)



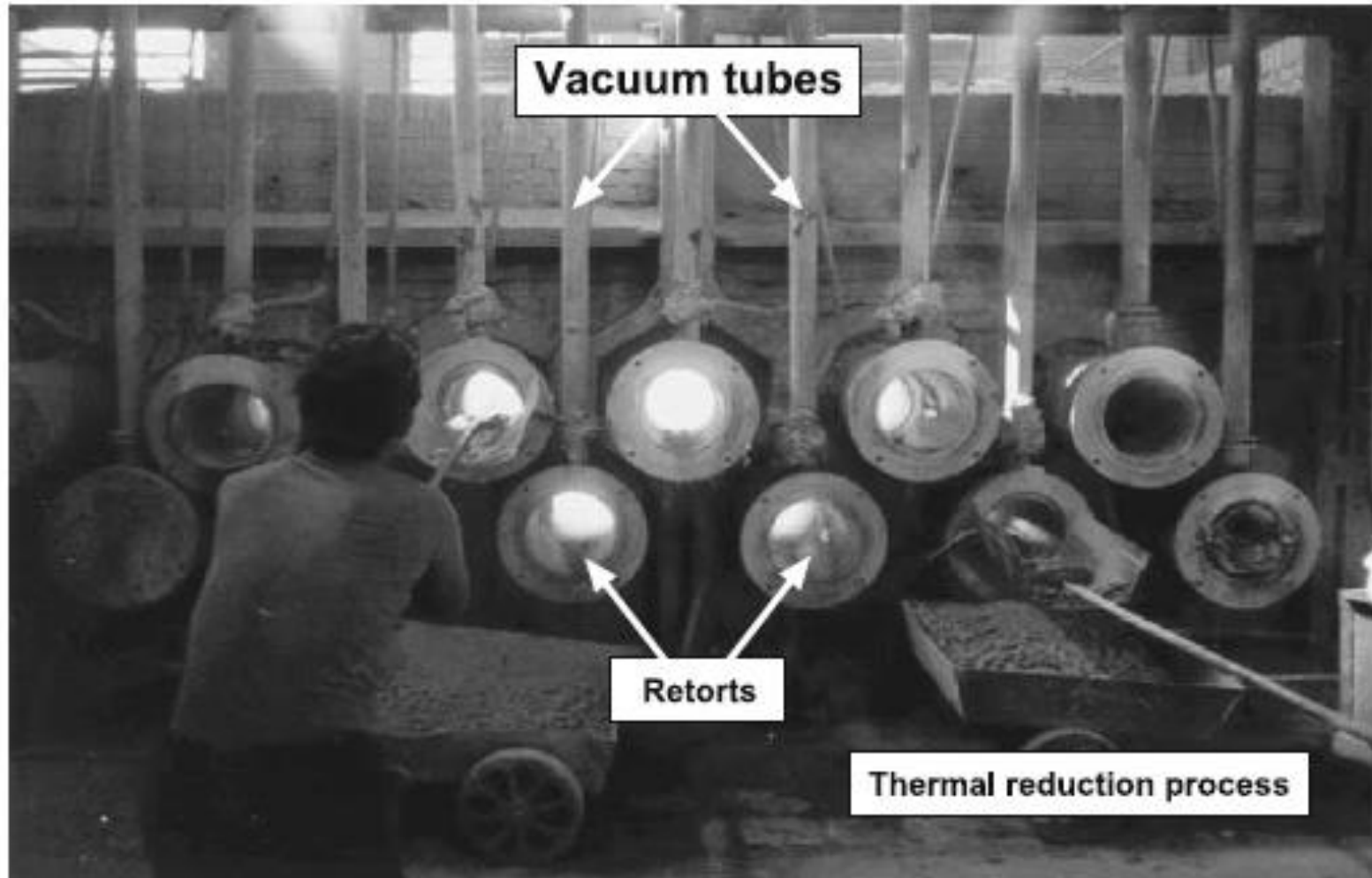
PROCESSO PIDGEON



PROCESSO PIDGEON

- Timminco:
 - Comprimento: 3 m
 - Diâmetro interno: 273 mm
 - FeSi: 75%; quanto mais melhor
 - 70 kg Mg/dia
 - Tempo de processo: 8h
 - Manuseio: 1h/dia (automatizado)
 - Energia: 30 kWh/kg
 - Mg: 99,95-99,98%
 - Recuperação: 90%

PROCESSO PIDGEON



PROCESSO PIDGEON



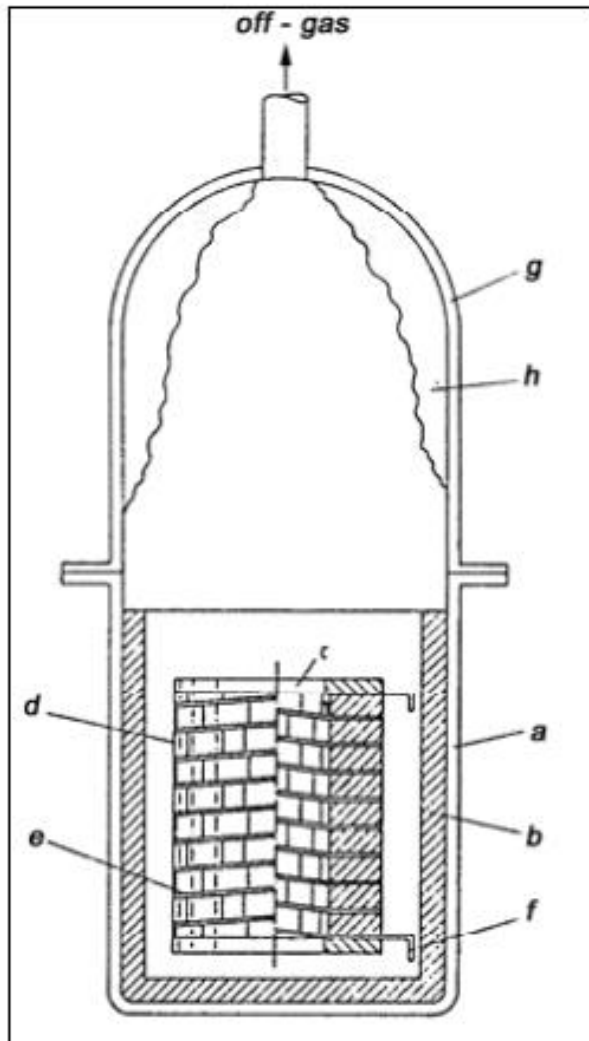
PROCESSO PIDGEON



PROCESSO PIDGEON



PROCESSO BOLZANO



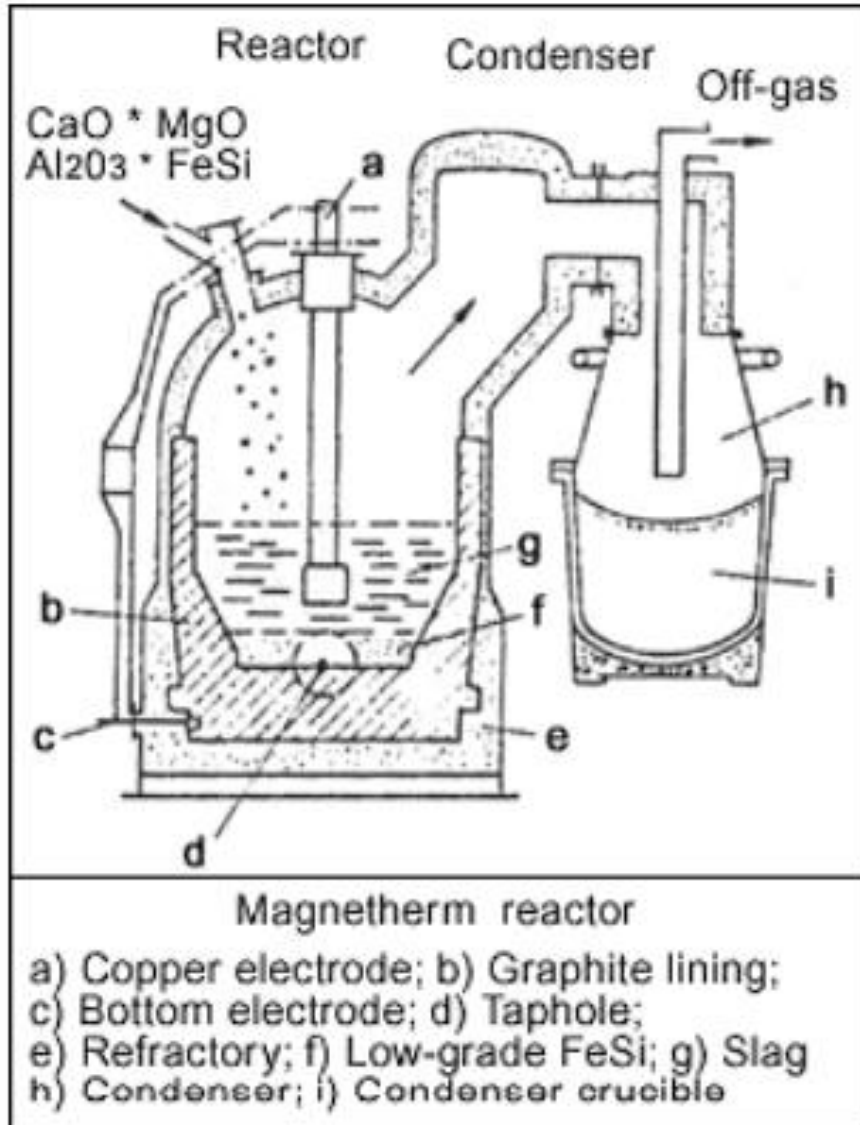
a) Steel mantle; b) Refractory;
c) Removable charge pack; d) Charge briquettes;
e) Charge support; f) Electric heating connection
g) Removable condenser; h) Condensed magnesium

- Temperatura: 1200°C
- Pressão: <400 Pa
- Mg vapor: condensador (água): 400-500°C
- Produção: batelada de 2t
- Ciclo: 20-24 h
- Manuseio: 0,5-0,75 h
- Consumo de energia: 7-7,3 MWh/t

PROCESSO BOLZANO

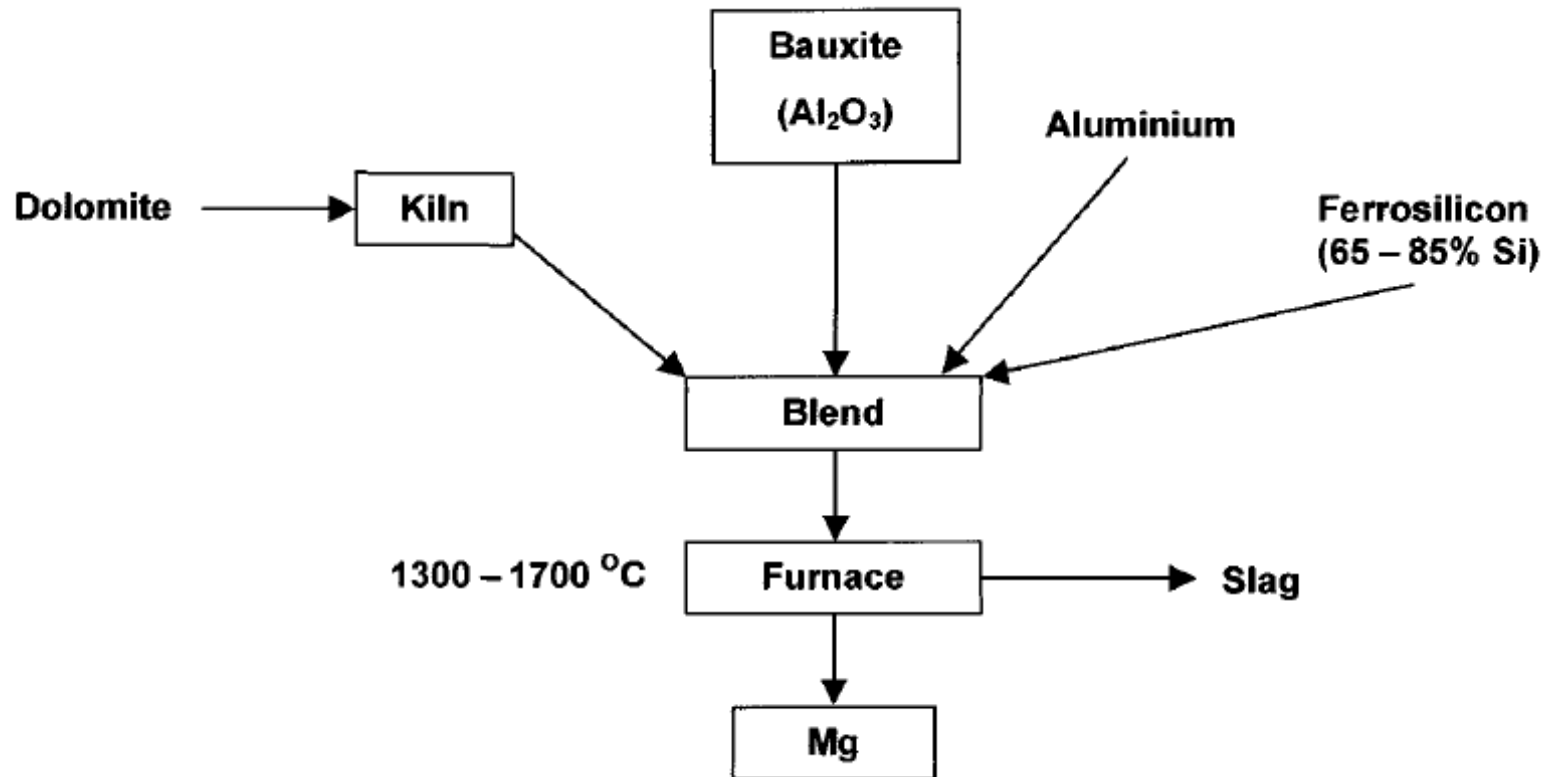
- Carga
 - 5-5,2 t de dolomita calcinada
 - 0,7 t de Si no FeSi 78%
- Recuperação: 81%
- Produto:
 - Mg: 99,98-99,99%
 - Escória: 5-5,2 t/t Mg

PROCESSO MAGNETHERM



- Desenvolvido pela Pechiney em 1963
- Carga:
 - dolomita calcinada
 - alumina
 - FeSi 75%
- Temperatura: 1550-1600°C
- Pressão: 0,5-10 kPa
- Tempo: 18h

PROCESSO MAGNETHERM



PROCESSO MAGNETHERM

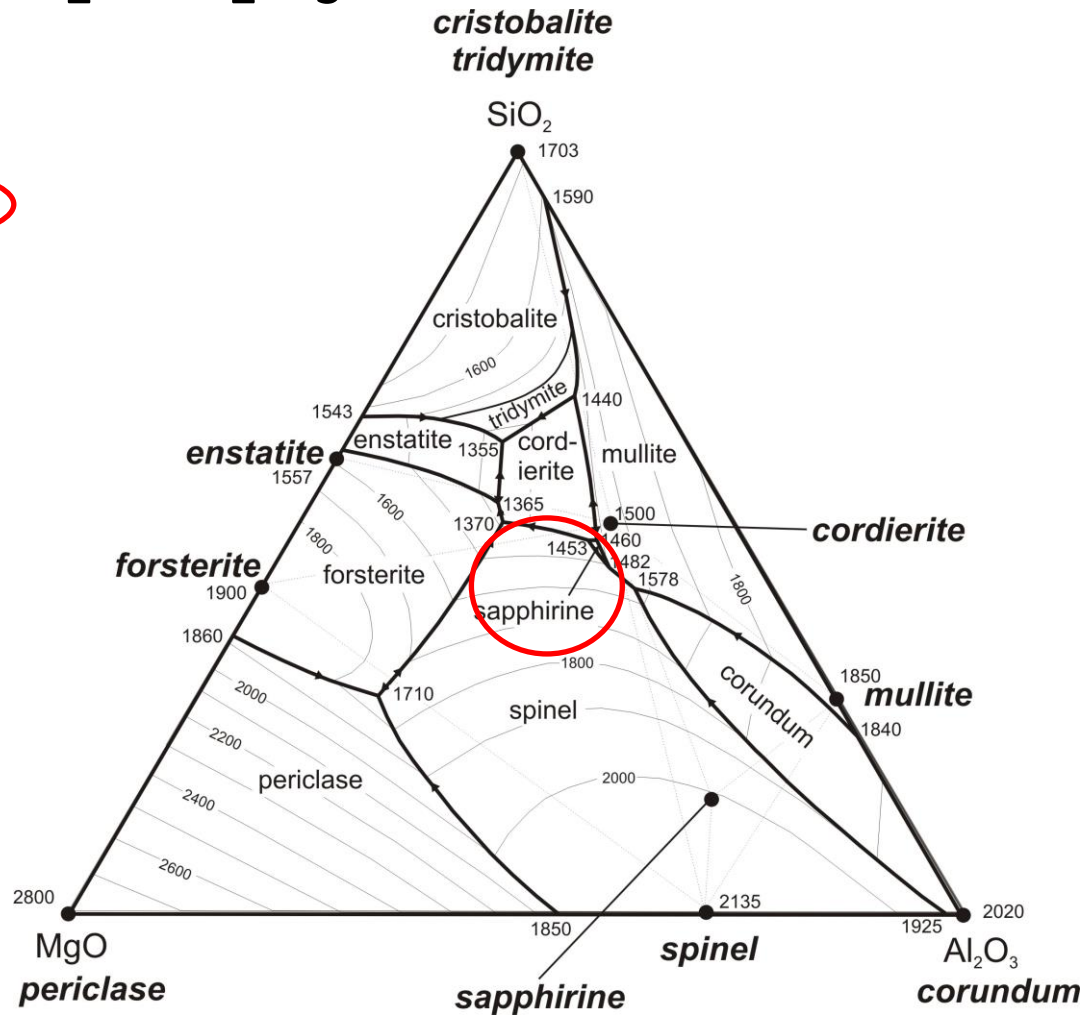
- Opera com escória parcialmente líquida ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$)

$50\% \text{Ca}_2\text{SiO}_4$

18% Al_2O_3

14% MgO

18% CaO



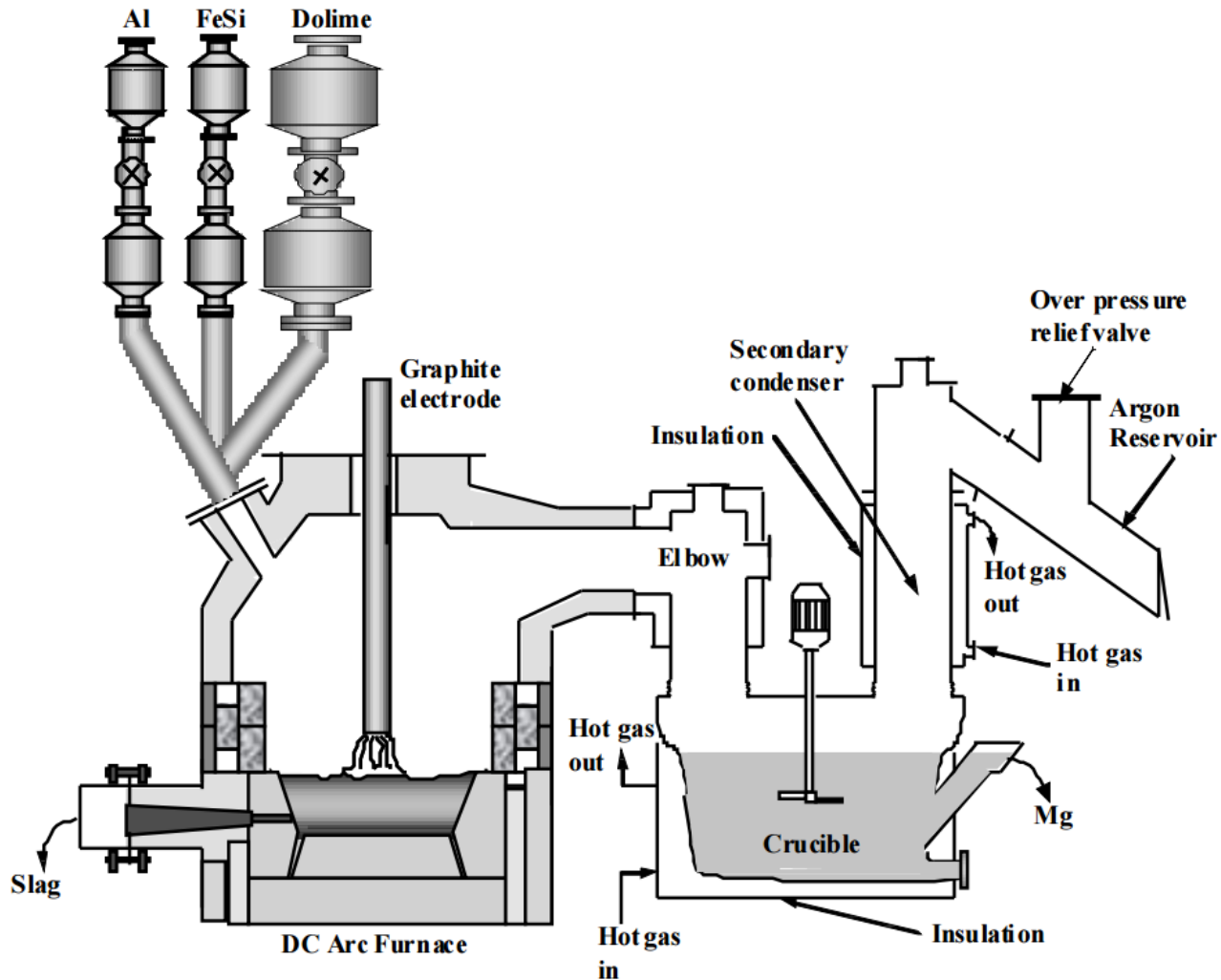
PROCESSO MAGNETHERM

- Energia entra por um eletrodo de Cu refrigerado a água (4500kW)



- FeSi do fundo: ~20%
- Granulometria da carga: 3-30 mm
 - 5,7t dolomita calcinada
 - 0,75t bauxita
 - 0,65t Si no FeSi
- Recuperação: 88%
- Potência: <9MWh
- Produto:
 - 1 t de Mg
 - 6 t de escória

PROCESSO MINTEK (MTMP)



PROCESSO MINTEK (MTMP)

- Opera à pressão atmosférica
- Temperatura: 1700-1750°C
- Operação contínua
- Reações no estado líquido
- Alta produtividade
- Alta concentração de impurezas (97,9%)