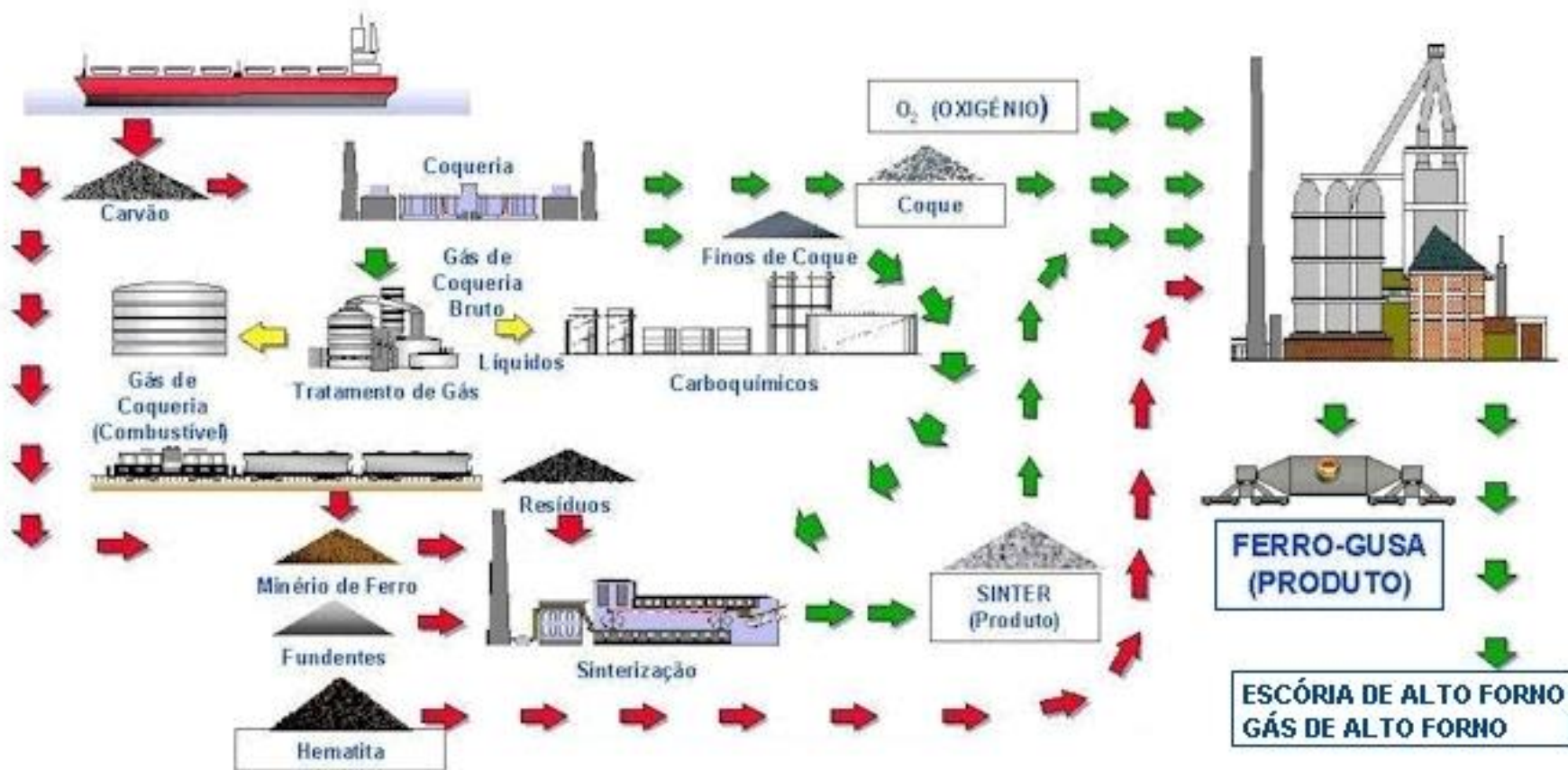


# Fluxograma parcial de uma usina integrada até o Alto Forno



alto forno: primeiro estágio na produção de aço a partir dos óxidos de ferro

primeiros altos fornos >>século 14 >> 1 tonelada de ferro gusa / dia

atualmente: 13.000 toneladas por dia

**alto forno:** sistema destinado a produzir ferro gusa em estado líquido a uma temperatura em torno de 1500°C, com a qualidade e em quantidade necessárias para o bom andamento dos processos produtivos subsequentes

matérias primas básicas (carregadas pelo topo do forno):

carga metálica ( sinter, pelotas, minério granulado )

combustível sólido ( coque ou carvão vegetal )

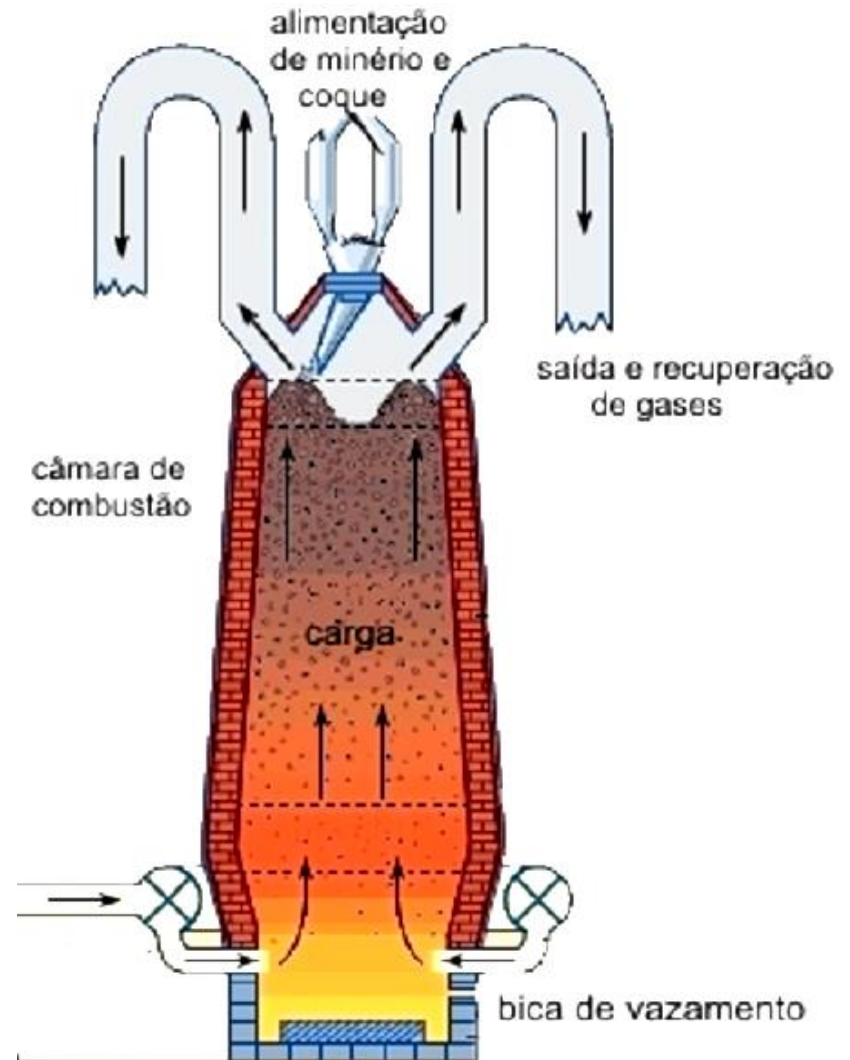
fundentes

reator mais complexo da metalurgia.

centenas de reações

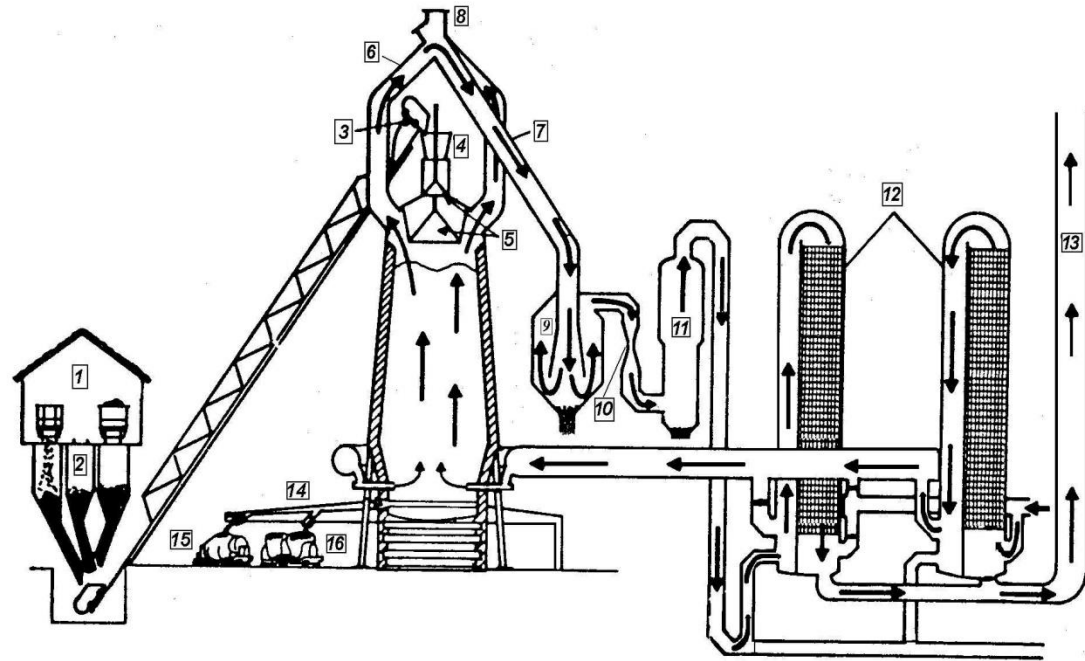
3 estados da matéria:  
sólidos, líquidos e gases

grandes gradientes de temperatura, variando de mais de 2000 °C na zona em frente as ventaneiras, até cerca de 150 °C, na região superior onde os gases deixam o forno.



# Esquema simplificado do alto forno, indicando os principais equipamentos

- “casa de silos” (1)
- silos separados (2) equipados com balanças
- carro “skip” (3) ou correia transportadora
- tremonha de recebimento no topo do forno (4)
- cones (5), responsáveis pela selagem dos gases e pela distribuição circunferencial dos materiais na “goela” do forno.
- “uptakes” (6), o gás quente e sujo de pós deixa o forno e flui para cima
- “downcommer” (7)
- válvulas “bleeders” (8) cuja função é permitir a liberação do gás e proteger o topo no caso de uma súbita elevação de pressão do gás
- coletor de pó (9)
- “venturi” (10), onde são removidas as partículas mais finas na forma de lama.
- desumidificador (11) cuja função é reduzir o teor de umidade do gás.
- regeneradores (12)
- chaminé (13).
- o gusa e a escória são separados por diferença de densidade no canal principal (14)
- carros torpedos (15)
- potes de escória (16)



# Produtos do Alto-Forno

## **Ferro gusa :**

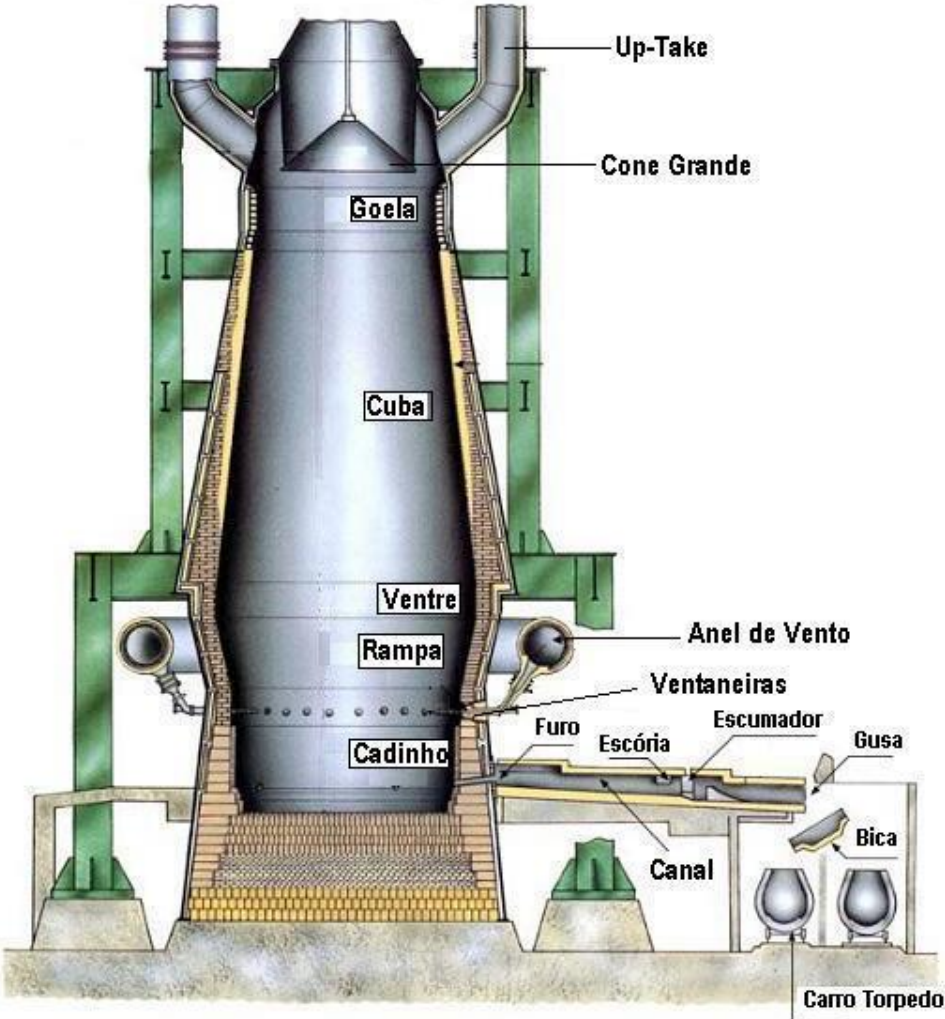
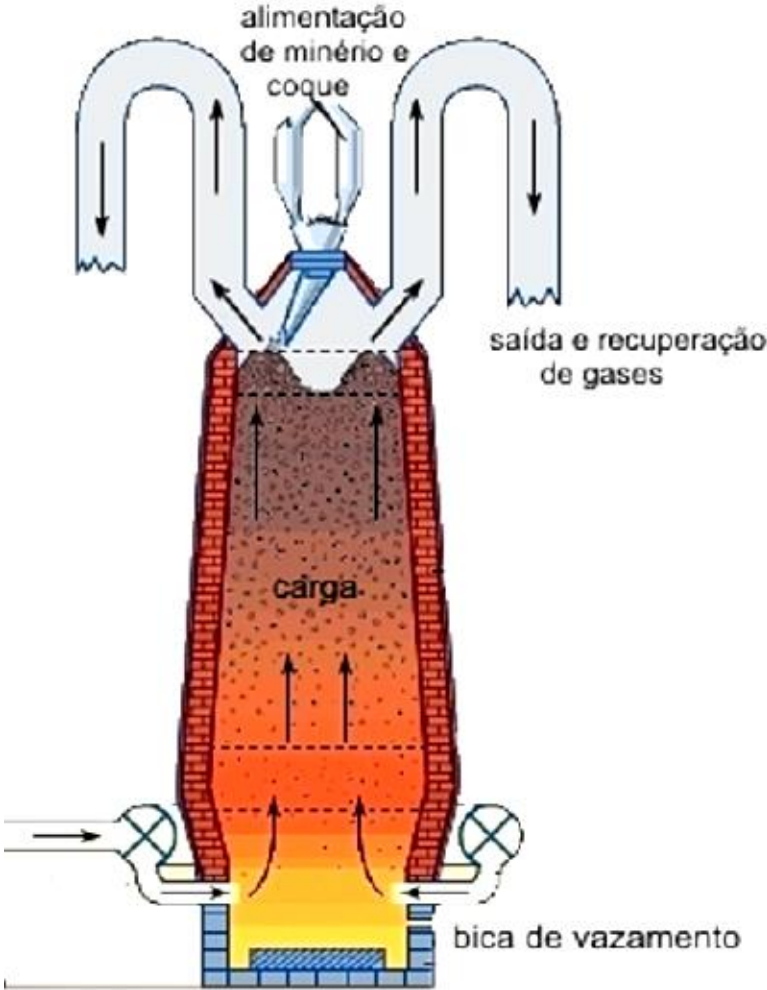
- 4,5 % Carbono
- 0,4% Silício
- 0,3% Manganes
- 0,1 % Fósforo
- 0,03% Enxôfre

Temperatura: 1400-1500 C

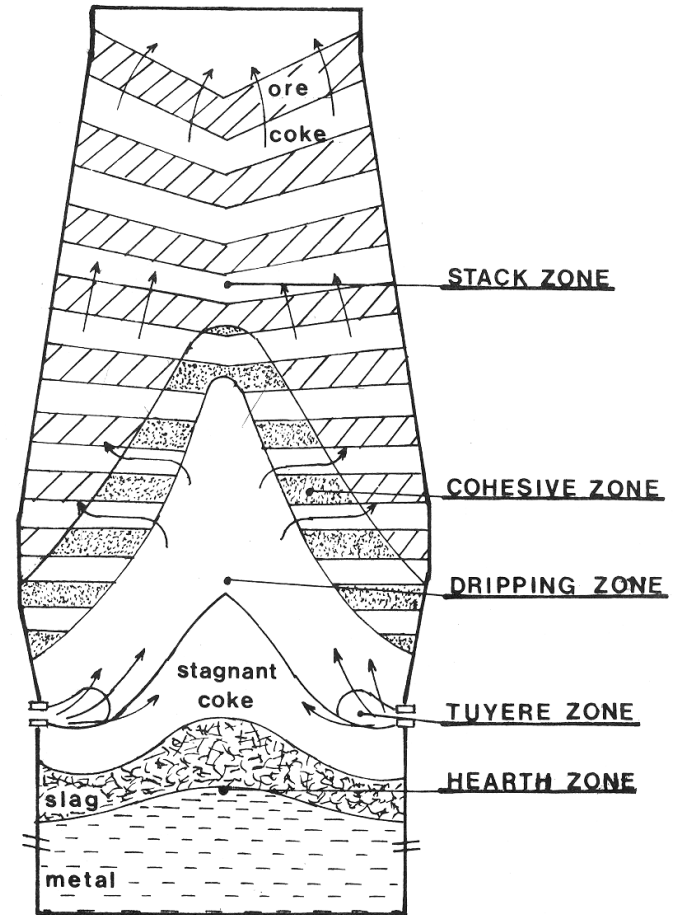
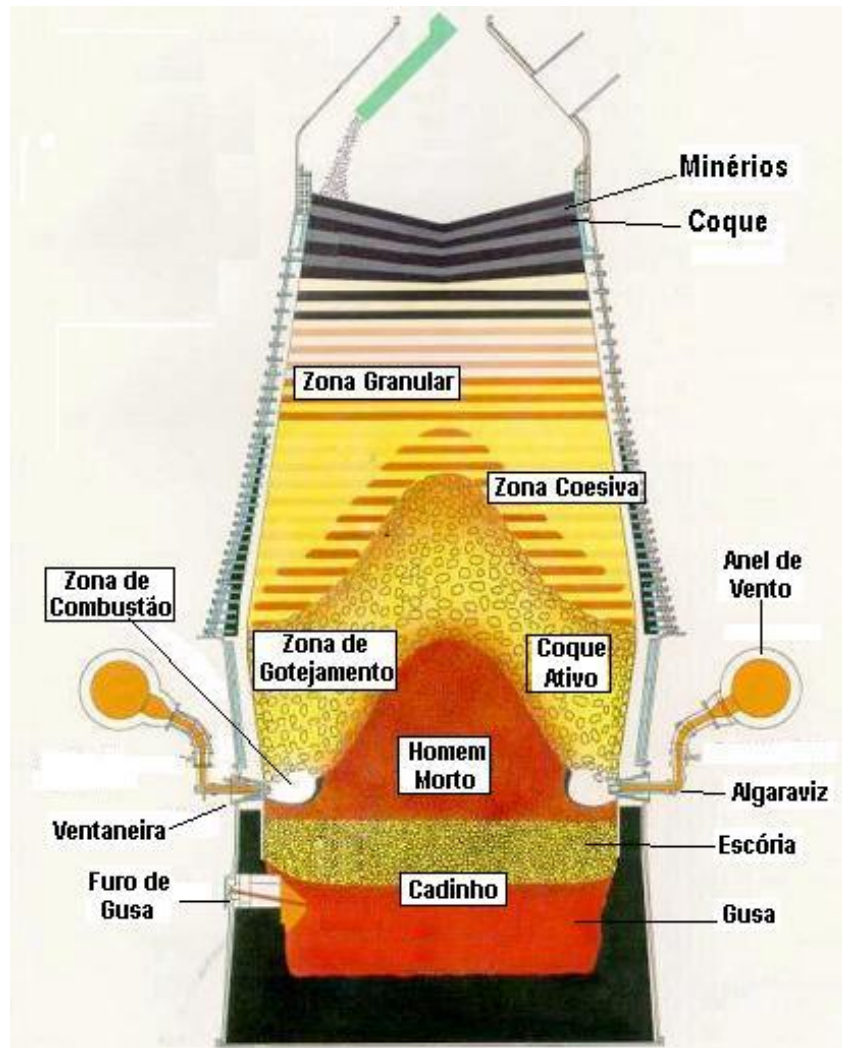
**Escória:**  $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$

**Gás:**  $\text{CO-CO}_2\text{-N}_2$

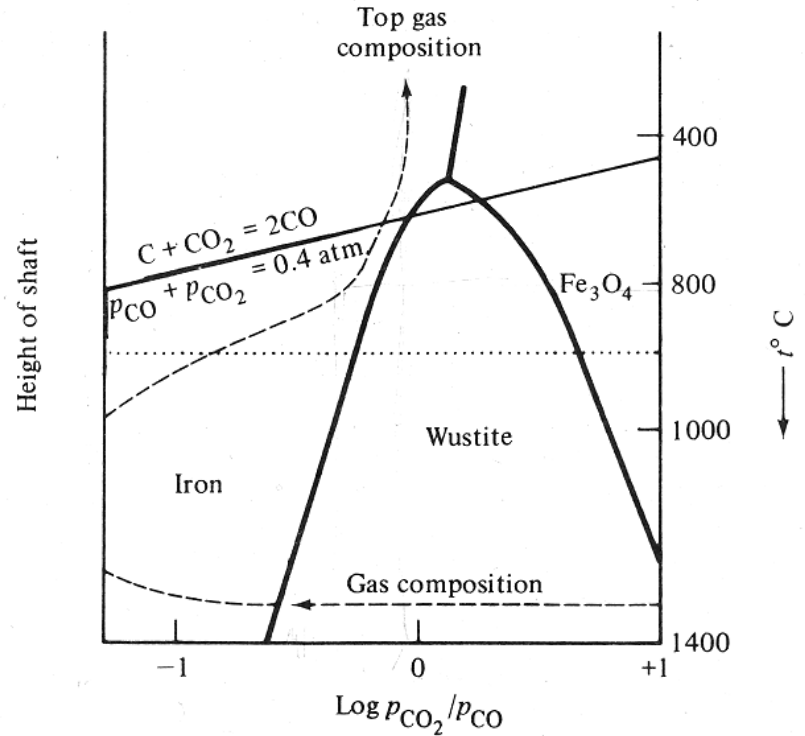
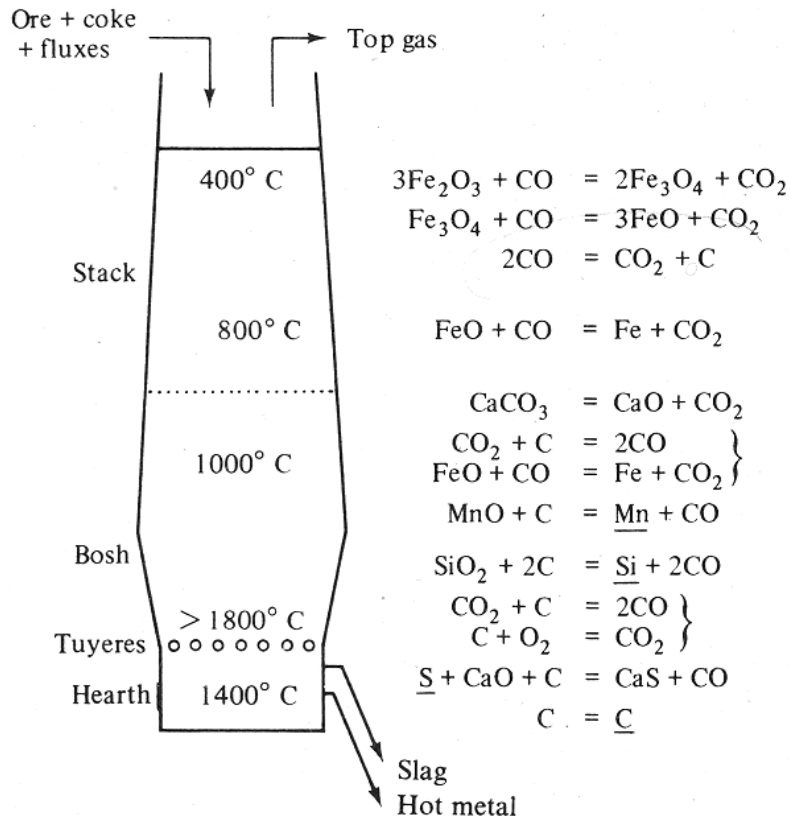
# Regiões do AF



# Zonas Internas



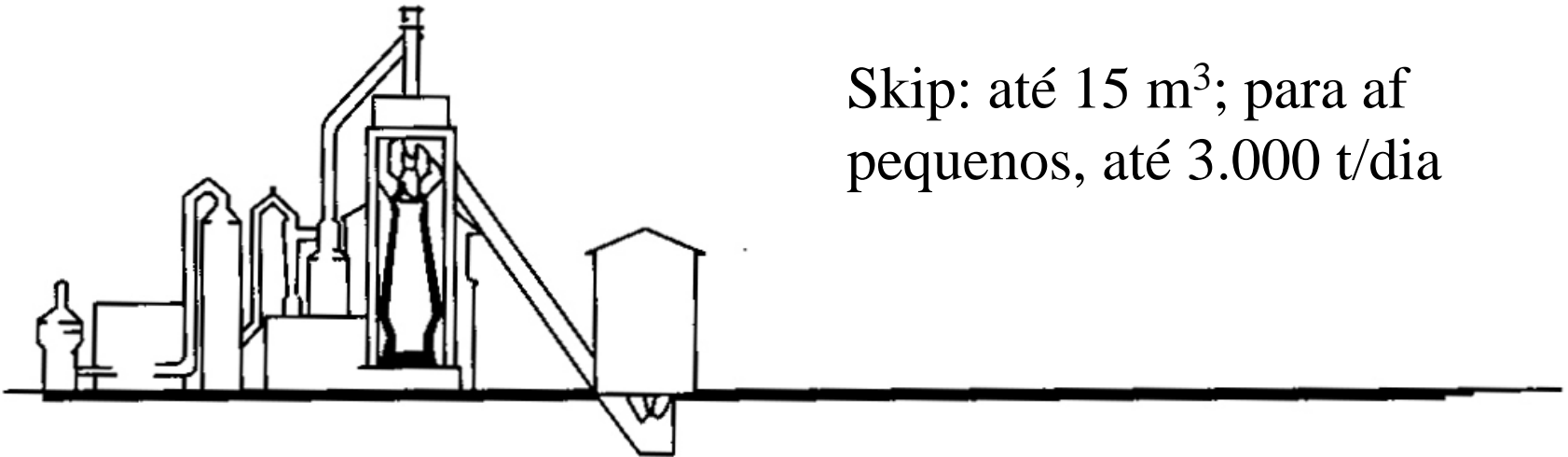
# Reações





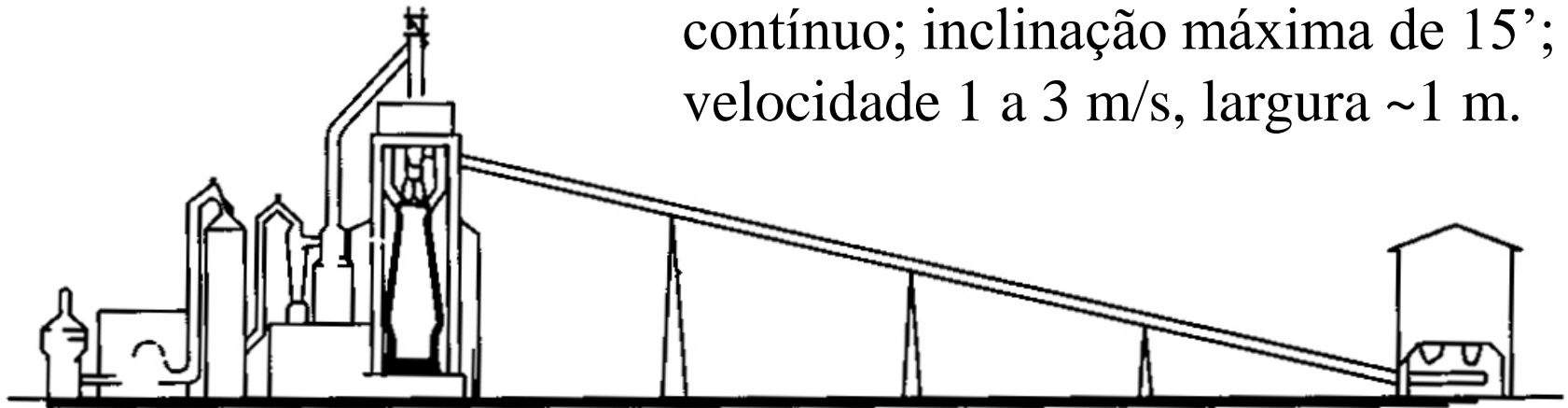
# Carregamento

Skip: até  $15 \text{ m}^3$ ; para af  
pequenos, até  $3.000 \text{ t/dia}$



(a) Skip-fed blast furnace

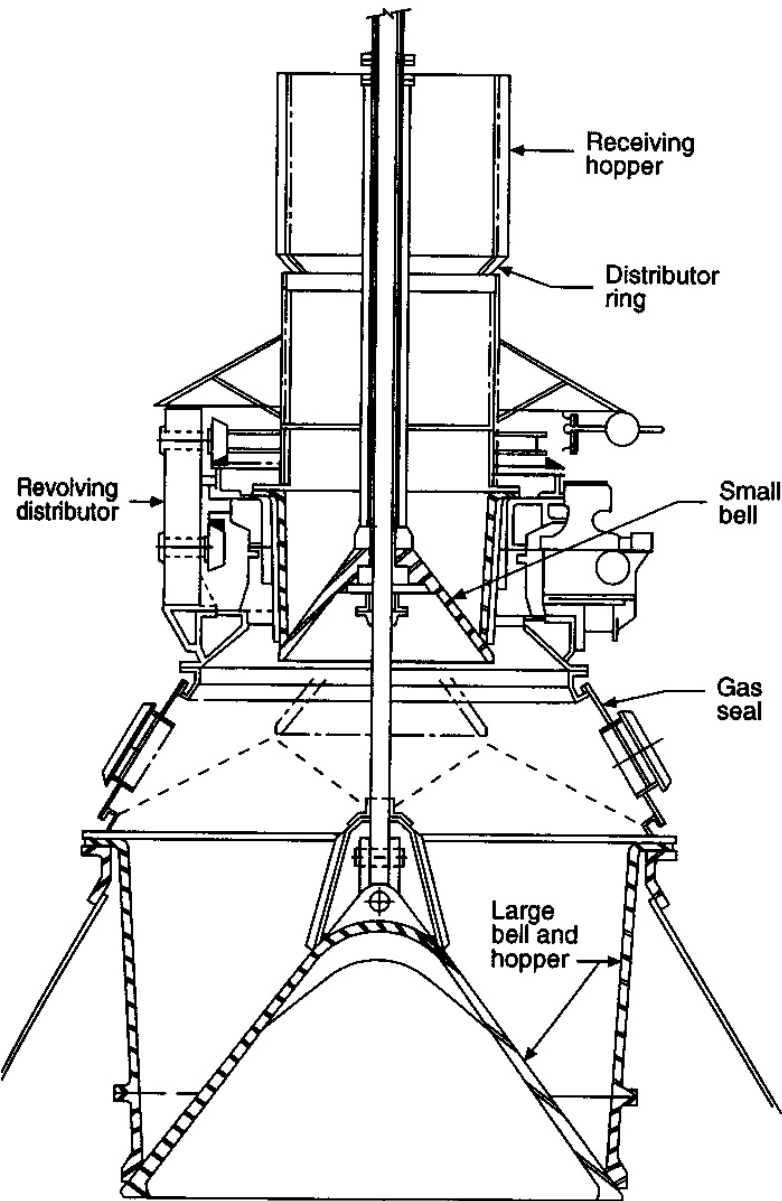
Esteira ou correia; carregamento  
contínuo; inclinação máxima de  $15^\circ$ ;  
velocidade 1 a 3 m/s, largura  $\sim 1 \text{ m}$ .



(b) Conveyor-fed blast furnace

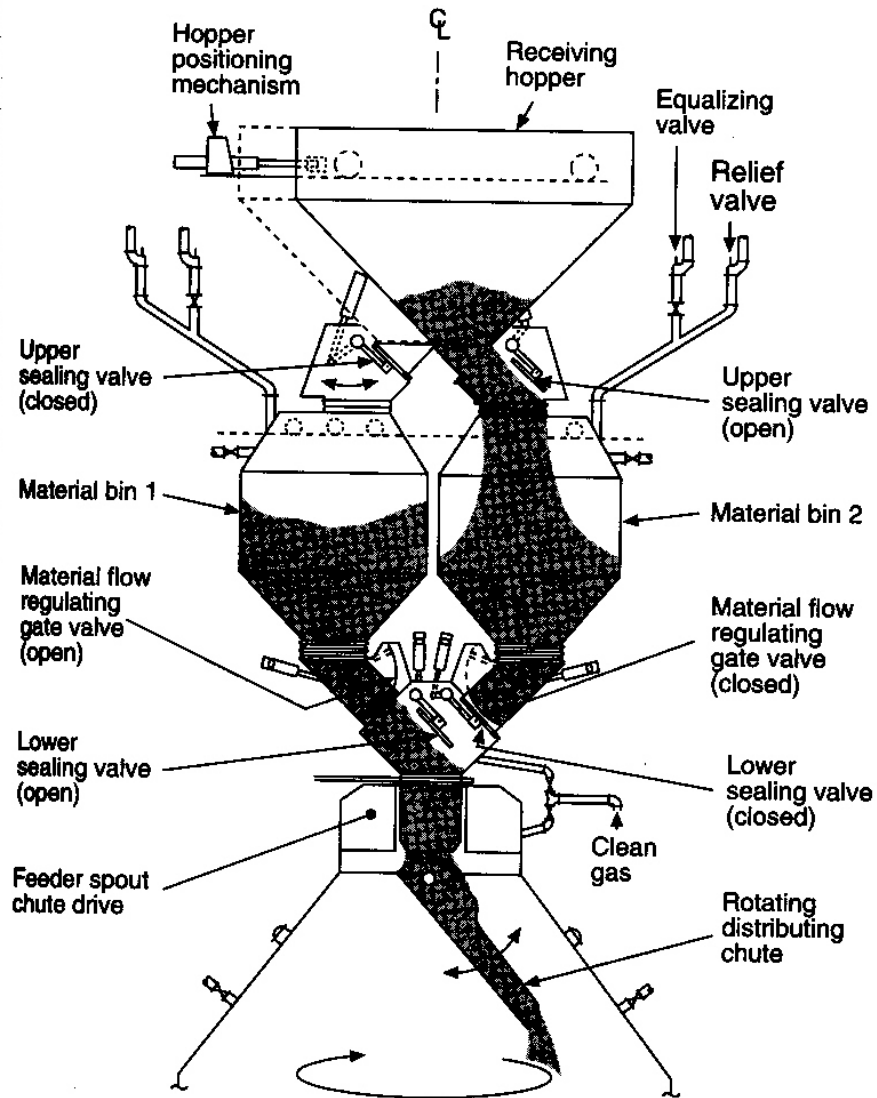
Methods for delivering raw materials to the furnace top.

# Topo- Duplo cone



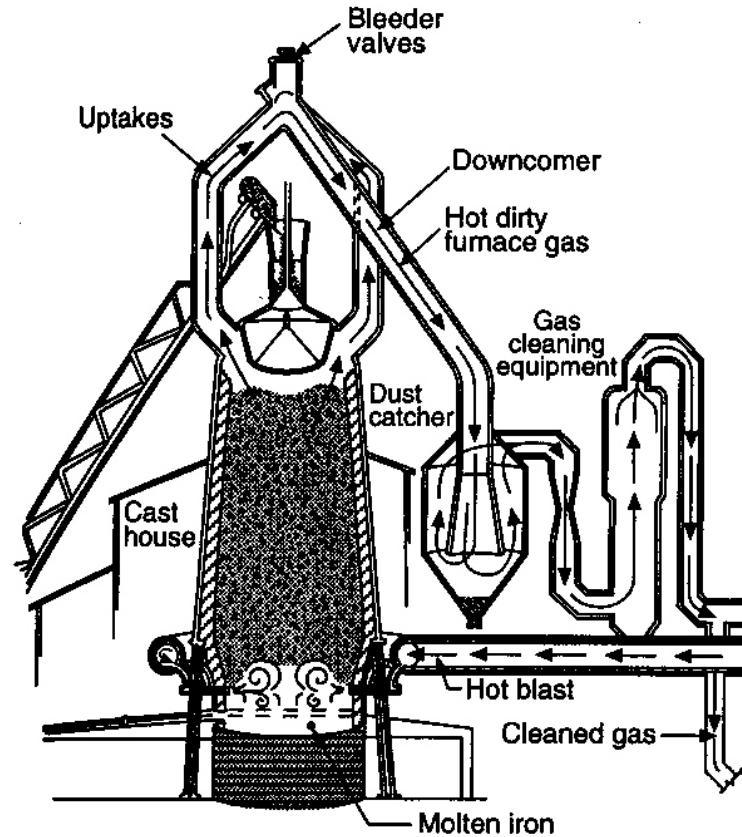
Schematic of a typical two-bell top.

# Topo sem cone- calha rotativa-Paul Wurth



Schematic of a bell-less top with pressurized hoppers and a rotating distributing chute.

# Sistema de gases



General arrangement of blast furnace gas equip-

Gás de saída do alto forno: 10 a 40 g de partículas finas por  $\text{Nm}^3$ , dos quais ~ 35 % pó de coque.

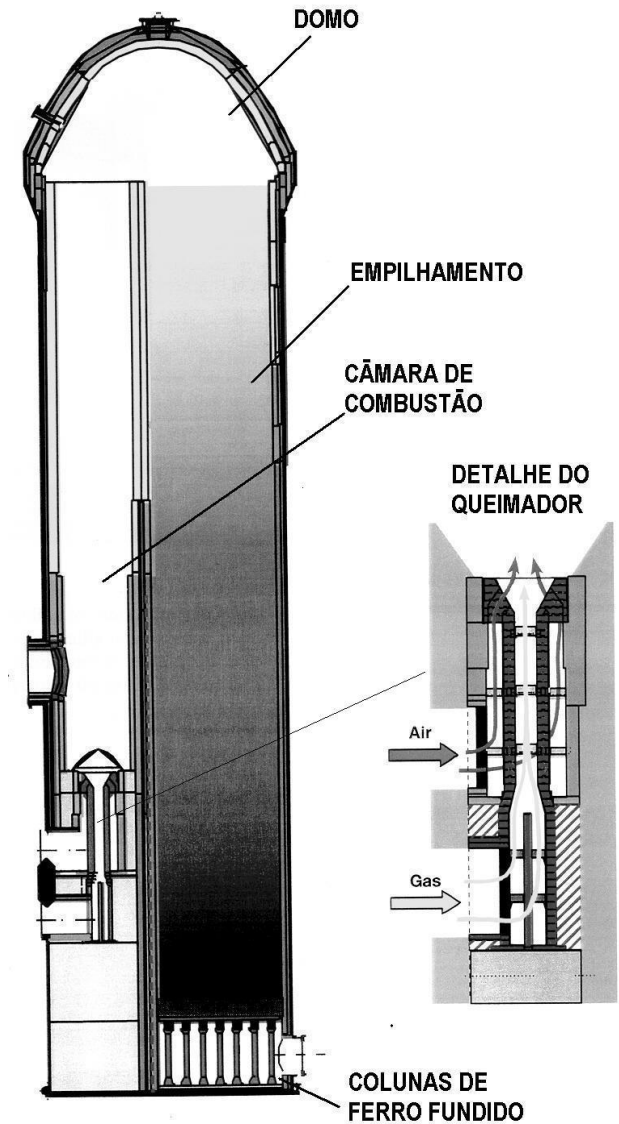
# Pré-aquecimento de ar-regeneradores

Têm por função aquecer o ar injetado através das ventaneiras para a combustão do coque. O regenerador recebe o ar na temperatura entre 150 a 200 °C, chamado ar frio, e eleva esta temperatura para a faixa de 1000 a 1250 °C, dependendo de sua capacidade, passando a ser chamado de ar quente.

Combustível utilizado: gás misto, mistura de gases provenientes do próprio alto forno ( 86 a 94% de GAF ) e da coqueria ( 14 a 6% de GCO).

A câmara de combustão tem grande altura e diâmetro, para evitar o impacto da chama no domo e para alargar mais a chama.

Dimensões típicas: 10,4 m diâmetro, 40 m altura.

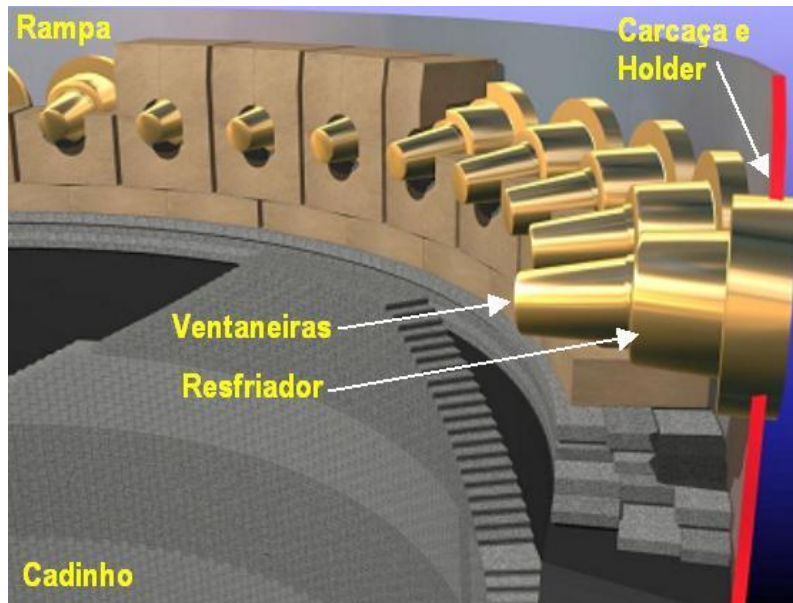


**Esquema de um regenerador de alto forno**

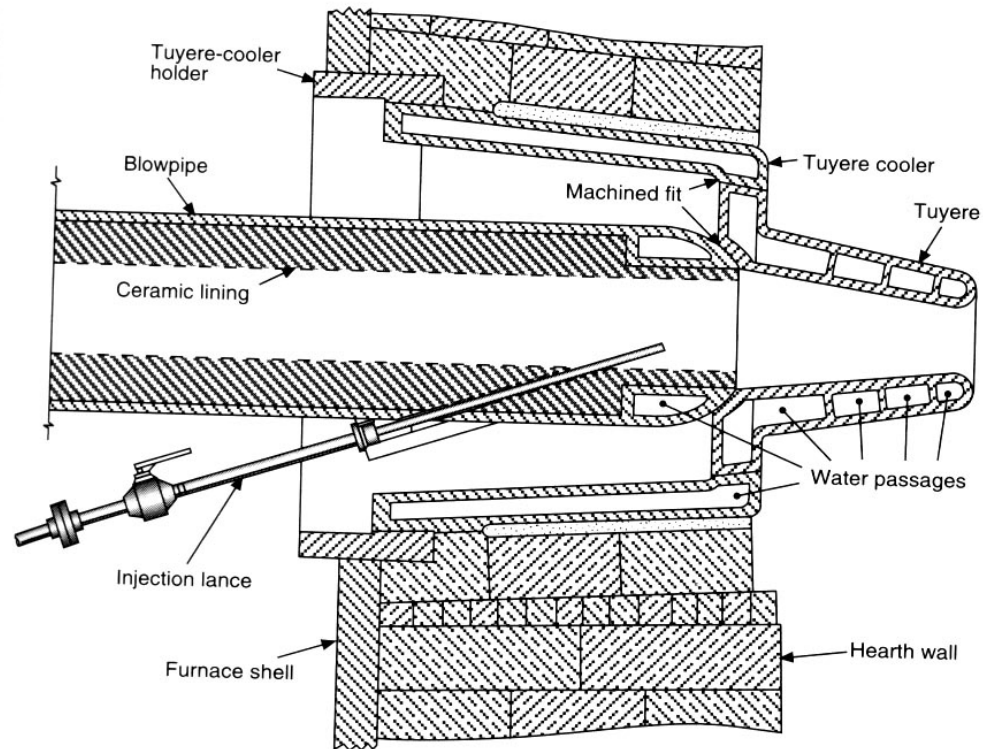
# Regeneradores



# Arranjo das ventaneiras no interior do forno e detalhes internos.



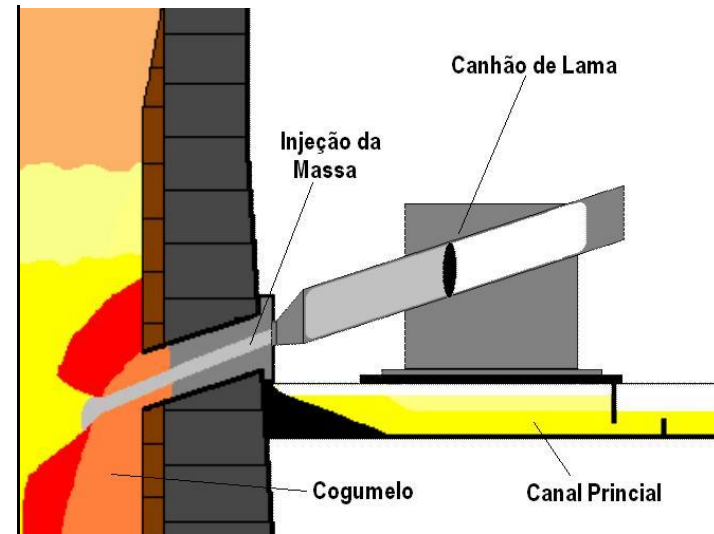
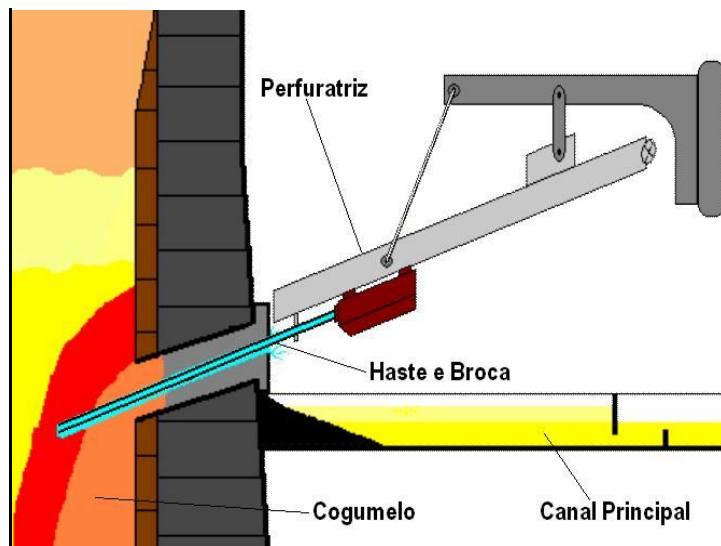
# Ventaneira com lança de injeção



Tuyere and blowpipe assembly, with injection lance.



# Operação de abertura e fechamento do furo de gusa



# Sequência de eventos durante uma corrida do alto forno

Início de Corrida



NO INÍCIO DA CORRIDA O NÍVEL DO GUSA NORMALMENTE ESTÁ ACIMA DO NÍVEL DO FURO. CONSEQUENTEMENTE, O GUSA GERALMENTE É O PRIMEIRO MATERIAL A SAIR.

Início de Escória



QUANDO O NÍVEL DE GUSA ABAIXA ATÉ O NÍVEL DO FURO INICIA-SE A SAÍDA DA ESCÓRIA. DEVIDO A SUA ALTA VISCOSIDADE A SUPERFÍCIE DA ESCÓRIA TENDE A ABAIXAR NA REGIÃO ACIMA DO FURO

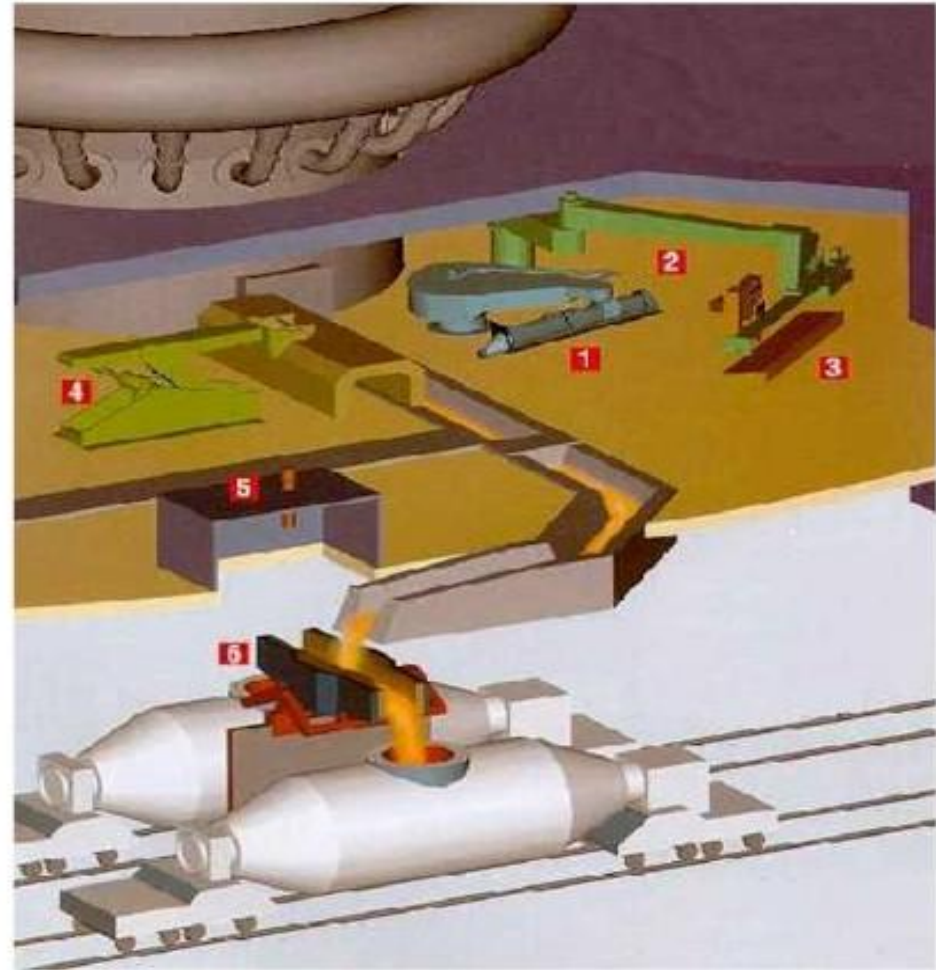
Fim de Corrida



QUANDO A SUPERFÍCIE DA ESCÓRIA ATINGE O FURO O GÁS COMEÇA A SAIR. É O FINAL DA CORRIDA. NESTE INSTANTE, DEVIDO À INCLINAÇÃO DA SUPERFÍCIE, PARTE AINDA FICA DENTRO DO FORNO

# Drenagem do gusa para os carros torpedo

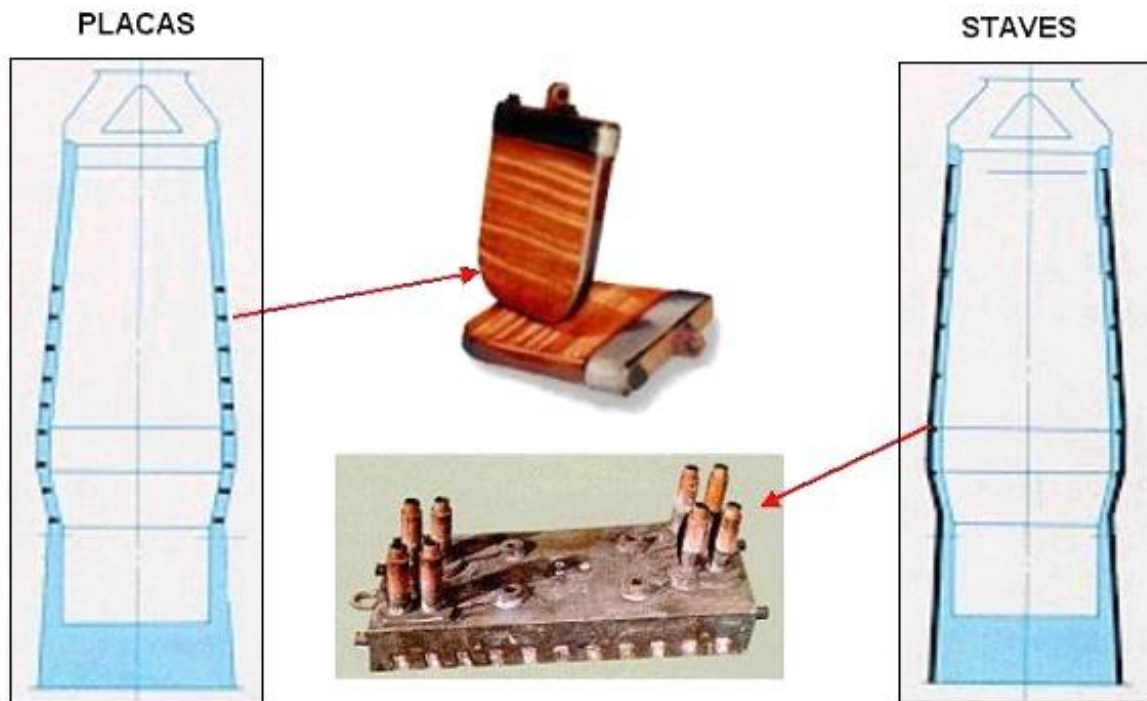
O canhão de lama (1) e a perfuratriz (2) são os equipamentos utilizados para fechar e abrir o furo de gusa. O gusa e a escória, após deixarem o furo na forma de um jato de material líquido, são separados por diferença de densidade no canal principal (3). A escória é direcionada para um sistema de granulação através do canal de escória. O gusa após passar também pelo canal secundário (4), é direcionado para carros torpedos posicionados no piso inferior da casa de corrida, por meio da bica basculante (6), cuja função é permitir a troca dos carros torpedos, direcionando o fluxo de gusa para o carro ao lado. O enchimento do carro torpedo pode ser monitorado automaticamente através de um medidor de nível (5).



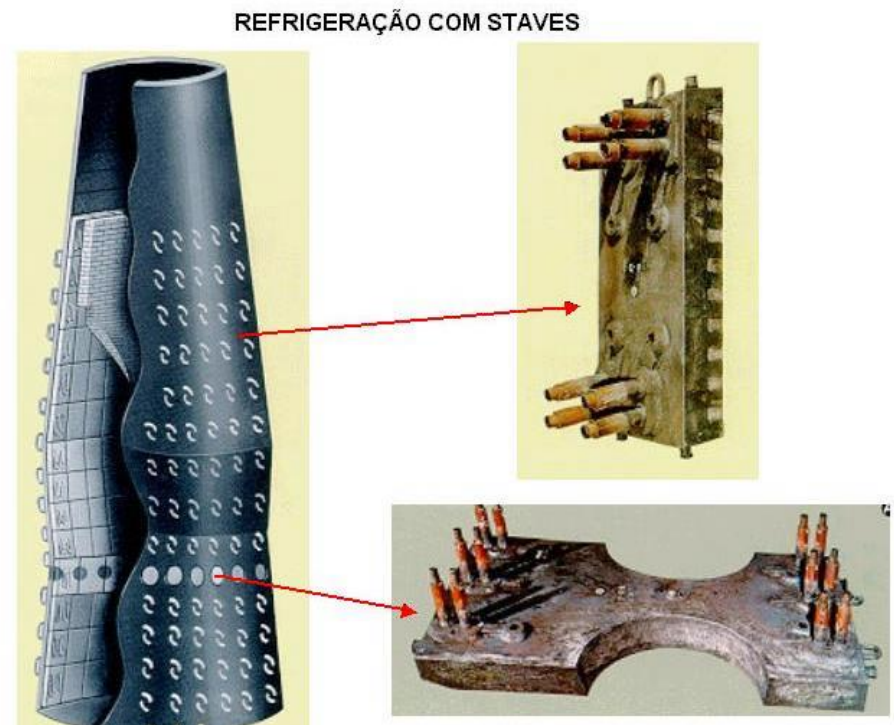
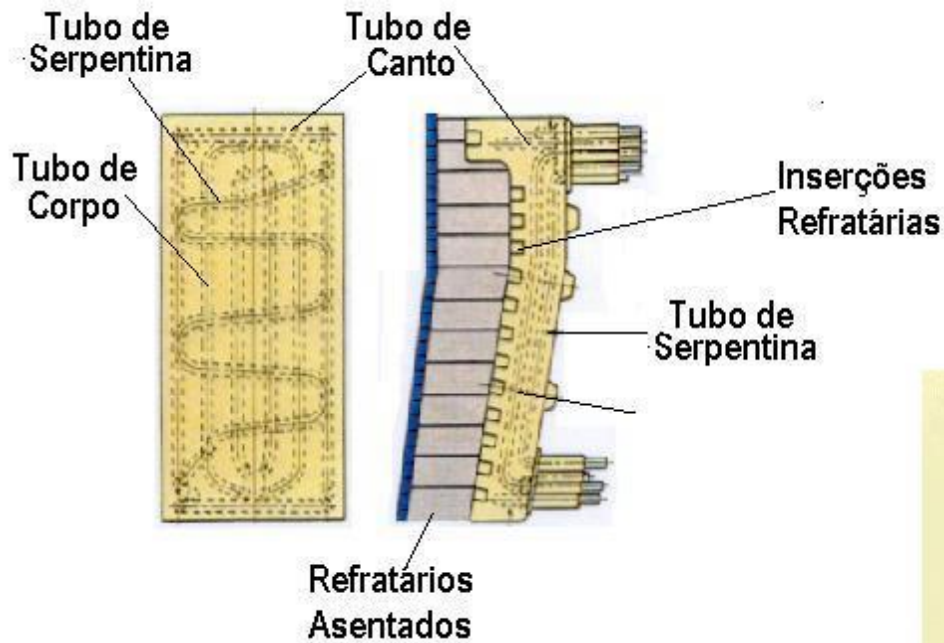




# Sistemas de refrigeração por Placas e por “Staves”



# Constituição típica de um stove



# Avaliação da Performance do Alto-Forno

- **1- Vida Útil Elevada:**
- **2 - Alta Produtividade**
- **3 - Baixo Consumo de Combustível:**
- **4 – Qualidade Adequada:**



# Vida Útil Elevada

- altíssimo investimento na construção ou reforma de um alto-forno
- grande esforço para prolongar a vida útil média, ou campanha
- atualmente na faixa de 12 a 18 anos

# produtividade

- critério de avaliação: razão entre produção média diária e volume interno do alto-forno (toneladas/dia/m<sup>3</sup> )
- produtividade média dos altos-fornos brasileiros de 1,80 a 2,80 t/dia/m<sup>3</sup>

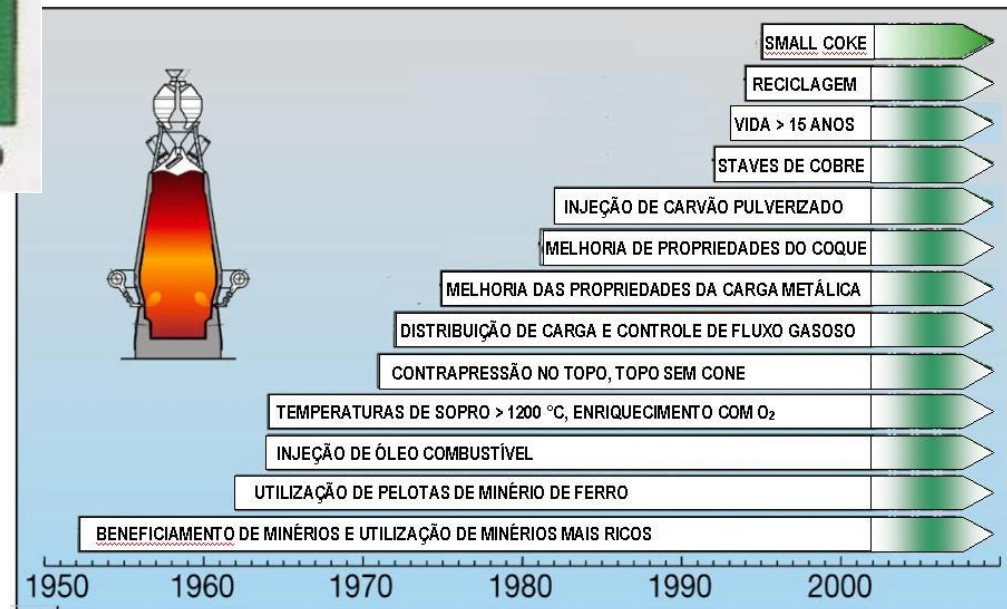
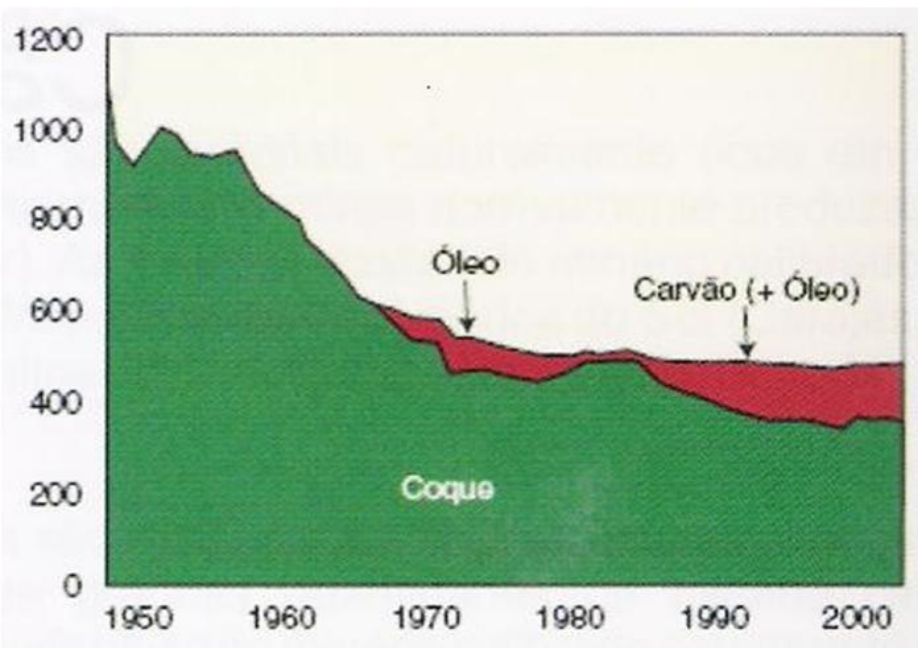
## **depende de**

- idade do forno
- particularidades de cada usina
- condições do mercado de aço
- ocorrência de problemas operacionais
- disponibilidade de oxigênio para enriquecimento do ar soprado
- melhoria da permeabilidade da carga
- redução do “fuel rate

# consumo de combustível

- medido em kilogramas combustível consumido para a produção de uma tonelada de ferro gusa.
- elevado custo de combustíveis,
- carvão pulverizado injetado diretamente é de custo mais baixo
- importante atingir altas taxas de injeção, mantendo a estabilidade operacional

# Desenvolvimentos na tecnologia de alto-forno nas últimas décadas



# Qualidade Adequada

- A qualidade do gusa deve estar dentro dos padrões exigidos pelo processo seguinte (Aciaria)
- Isto implica no atendimento de requisitos de composição química e de temperatura cada vez mais restritivos
- A escória também deve ter uma composição adequada à sua utilização mais freqüente, que é a indústria cimenteira

# operação do alto-forno

- carregamento periódico de sólidos pelo topo,
- drenagem contínua ou periódica de líquidos pela parte inferior,
- contínua injeção de ar quente e hidrocarbonetos através das ventaneiras e
- remoção de gás e poeira pelo topo.

- procedimentos operacionais básicos (carregamento, sopro de ar quente, operação dos regeneradores, etc. ) executados sob controle automático,
- Entre temperaturas, pressões, fluxos, valores calculados e outros, mais de 3000 variáveis são tipicamente monitoradas em alto-forno moderno.
- Normalmente existe Sistema Supervisório ou equivalente que permite o acompanhamento destas variáveis ou grupos de variáveis tanto na forma gráfica como na forma de índices operacionais.

# principais variáveis operacionais

## **Taxa de Injeção Auxiliar ( Carvão Pulverizado, Gás Natural, etc. ):**

- uma das principais variáveis de controle térmico e deve ser usada preferencialmente devido ao curto tempo de resposta.
- é limitada na faixa inferior pela mínima taxa de injeção e na faixa superior pela mínima temperatura de chama aceitável.



- **Temperatura de Sopros:** curto tempo de resposta; para minimizar o “coke rate”, procura-se trabalhar com temperaturas mais elevadas,
- **Umidade do Ar:** excelente variável de controle térmico e é também útil no controle da pressão de base; na operação com injeções auxiliares, procura-se trabalhar com umidade mais baixa para não diminuir ainda mais a temperatura de chama

- **Vazão de Oxigênio:** A sua disponibilidade está ligada ao controle da temperatura de chama, que deve ser mantida na faixa de 2000 a 2400 °C.
- **Pressão de Topo:** A sua disponibilidade está ligada ao controle da velocidade de gás na cuba, que deve ser mantida na faixa de 2,6 a 3,2 m/s.
- **Coke Rate:** A disponibilidade do “coke rate” para atuação térmica é limitada pelo tempo de resposta muito longo ( em torno de 6 horas para alcançar as regiões inferiores do forno ).
- **Vazão de Ar:** Quando o forno estiver termicamente deficiente, mau drenado ou com pressão alta, pequenas reduções de vazão são sempre efetivas e não prejudicam sensivelmente a produção do forno.