

PRODUÇÃO DE FERRO METÁLICO – O ALTO-FORNO (THE IRON BLAST FURNACE)

Metalurgista Industrial

abril 2019

www.metalurgistaindustrial.com.br

Desde tempos imemoriais, e qualquer que seja o processo empregado, o ferro metálico sempre foi obtido por meio de uma mistura de minério, ar e combustível. Quase que certamente, o ferro foi descoberto acidentalmente, como um subproduto da metalurgia do bronze pois os minérios de ferro eram usados como fluxante.

O maior progresso na produção de grandes quantidades de ferro é datado de 1.200 a 1.000 AC. De sua origem até o fim da Idade Média, de aproximadamente 2.000 AC a 1.400 DC, o ferro metálico era produzido pela redução direta dos minérios de ferro em pequenos fornos carregados alternadamente com camadas de minério (usualmente hematita, Fe_2O_3) e carvão vegetal que cumpria o duplo papel de fonte de calor e agente redutor.

Teoricamente, a redução é possível a 900°C , mas as pressões prevalentes naquela época demandavam temperaturas bem mais elevadas, embora insuficientes para fundir o ferro. O processo produzia granulados esponjosos de ferro sólido misturado com escórias com numerosos poros criados por bolhas de gás. O metal era então repetidamente aquecido e martelado para expelir as impurezas aprisionadas antes da obtenção de um lingote uniforme.

O final do século XIV marca o início da utilização de potência hidráulica para a operação de foles, abrindo caminho para novos desenvolvimentos. O uso de quedas d'água permitiu o aumento da força e pressão do ar soprado e a obtenção de temperaturas mais elevadas em fornos com maiores dimensões. Se a altura do forno aumenta, o ferro fica progressivamente mais rico em carbono à medida que cai através das camadas inferiores de carvão.

A liga Fe-C assim formada funde a temperaturas inferiores à do ferro. Então, pelo aumento do volume de ar de sopro para permitir a utilização de fornos ainda maiores ou simplesmente incrementar a produtividade, os primitivos produtores de ferro descobriram um novo produto, o ferro lingotado, o ferro-gusa produzido continuamente.

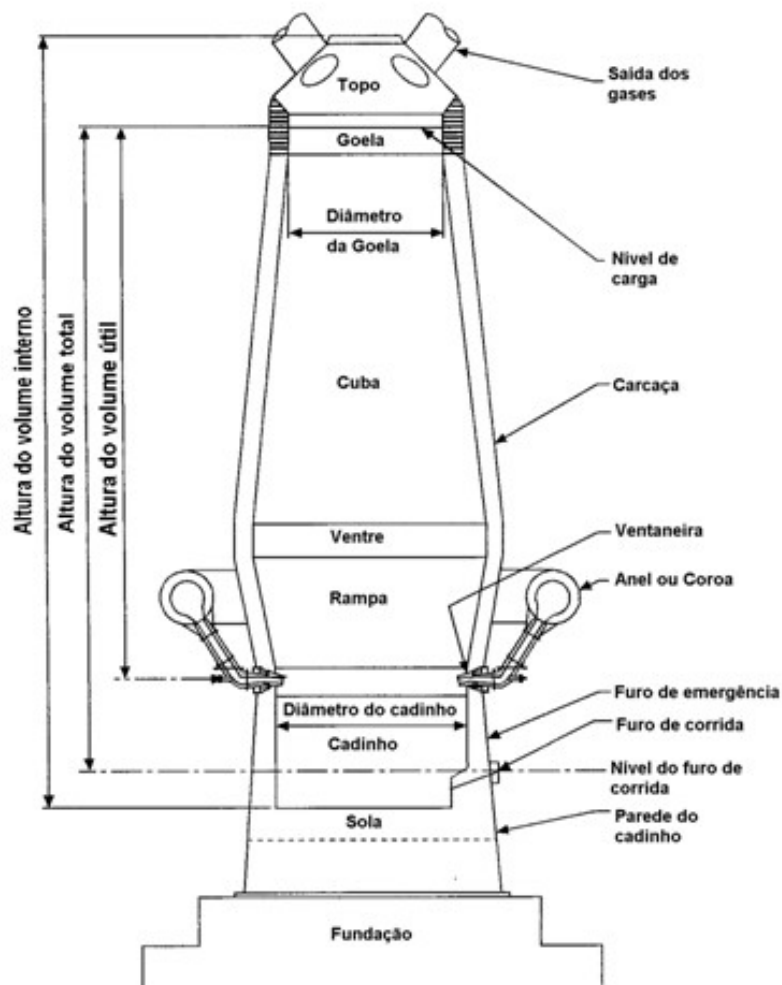


Modernos Altos-Fornos

O alto-forno é um reator de seção circular em contracorrente, cuja exata geometria é baseada mais na experiência do que em considerações teóricas, alcançando volumes de produção superiores a 10.000 t/dia no caso dos modernos altos-fornos a coque.

- O volume interno, o qual determina o diâmetro do cadinho, é fixado pela capacidade de produção requerida, valores satisfatórios entre 2 e 2,5 t/m³/dia.
- O carregamento da carga metálica e a saída de gases são situados na região da goela, cujo diâmetro é tal que a velocidade do gás é de 1 a 1,4m/s.
- O diâmetro da carcaça aumenta na direção do ventre de modo a facilitar o fluxo descendente dos materiais particulados sólidos e o fluxo ascendente do gás.
- A região da rampa, onde o ferro se torna líquido, decresce em diâmetro em direção ao cadinho devido à diminuição do volume dos sólidos associada à fusão.
- Na região do cadinho, onde as fases líquidas são coletadas e separadas, encontram-se de um a quatro furos de corrida ou de vazamento para remoção dos líquidos.

A carcaça é termicamente protegida por revestimento refratário equipado com sistemas de resfriamento.



Os modernos altos-fornos a coque utilizam o sinter autofundente como matéria-prima principal e incorporam uma série de instalações auxiliares:

- Sistemas de carregamento. O coque e o sinter são estocados em silos intermediários antes de serem carregados na goela do alto-forno por uma correia transportadora.
- O ar de sopro é aquecido em regeneradores nos quais o combustível principal é o gás de alto-forno que contém monóxido de carbono residual das reações de redução.
- Nas casas de corrida, uma rede de canais refratários conduz os líquidos. O ferro-gusa líquido é separado da escória por um sifão e vazado em carros-torpedo ou painéis de vazamento. A escória é geralmente granulada a água para emprego como matéria-prima na fabricação de cimento.
- O gás de topo é devidamente depurado e reciclado.
- O emprego de combustíveis auxiliares, tais como gás natural, gás de coqueria ou carvão pulverizado, é atualmente uma prática difundida. Nesse último caso são incorporadas instalações de moagem, com o carvão pulverizado transportado pneumáticamente para sua injeção via as ventaneiras.

O reator de redução exerce três tipos de funções metalúrgicas essenciais:

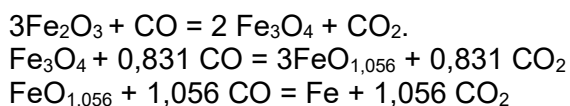
- Trocas químicas, principalmente via a redução dos óxidos de ferro e a combustão e gaseificação do carvão.
- Trocas térmicas por transferência entre o gás e os sólidos ou líquidos.
- Preservação aerodinâmica da permeabilidade da carga, já que os fenômenos de transferências térmicas ocorrem em um leito granular no qual o gás se move na direção oposta à dos sólidos, os quais são introduzidos em camadas alternadas pelo topo do forno.

A combustão do carbono provê mais de 50% dos requerimentos térmicos do alto-forno e produz o CO necessário à redução dos óxidos. Devido ao excesso de carbono, o produto final da combustão é CO e não CO₂: $C + \frac{1}{2} O_2 = CO$.

O craqueamento de compostos de hidrogênio e carbono injetado pelas ventaneiras junto com a redução do vapor contido no ar de sopro produz hidrogênio que também contribui para os processos de redução.

A composição do gás deixando as ventaneiras é 35% CO, 2 a 5% H₂ e o restante nitrogênio.

A redução do Fe₂O₃ envolve dois óxidos intermediários, Fe₃O₄ e FeO_x não estequiométrico com x = 1,056 sob as condições prevalentes nos altos-fornos:



Enquanto a temperatura for inferior a 950°C, CO₂ é estável na presença de carbono. As duas primeiras reações acima, que ocorrem na parte superior do forno, então correspondem a uma simples troca de oxigênio entre os sólidos e o gás e não contribuem para o consumo total de carbono, simplesmente enriquecendo o gás com CO₂.

A redução final do ferro pela última reação ocorre a temperaturas acima de 950°C, onde o carbono no coque reage com o CO₂ produzido a temperaturas inferiores conforme a reação de Boudouard $CO_2 + C = 2CO$.

Então a reação global de redução pode ser escrita como:
 $\text{FeO}_{1,056} + 1,056 \text{ C} = \text{Fe} + 1,056 \text{ CO}$.

