

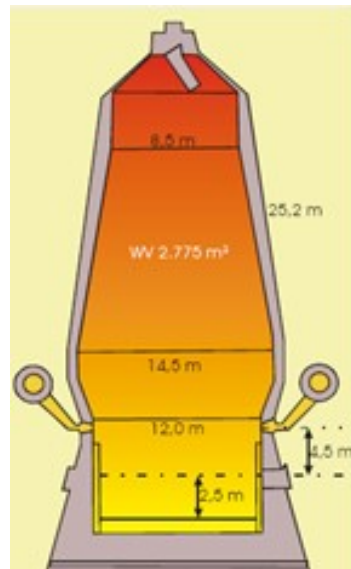
CERTIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE ALTO-FORNO

Metalurgista Industrial

maio 2019

www.metalurgistaindustrial.com.br

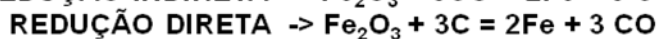
O caso em pauta prende-se à certificação da capacidade nominal de produção de um alto-forno a coque com o perfil indicado:



Volume total 3.567 m³
Volume interno 3.284 m³
Volume de trabalho (WV) 2.775 m³

Com esse propósito, foram consideradas as premissas que se seguem:

- Sistema reacional



“In a modern blast furnace, direct reduction removes about 1/3 of the oxygen from the burden, leaving the remaining 2/3 to be removed by the gas reduction reaction (indirect reduction). Direct reduction uses carbon (coke) as the reductant and generates extra CO gas. Direct reduction is also called solution loss”.

- Fundamento:

A produtividade de um alto-forno depende da quantidade de carbono queimado nas ventaneiras na unidade de tempo, o consumo de carbono (coque) para produzir uma unidade de ferro. Ou seja, uma função do gás gerado nas ventaneiras na unidade de tempo e aquele requerido para produzir uma unidade de ferro: o chamado “coke throughput” ou “coke burning rate” (“driving rate”) por dia.

Capacidade de produção

Ar de sopro – 290.000 Nm³/h

21% O₂ – 60.900 Nm³/h

2C + O₂ = 2CO

22,4 Nm³ de O₂ → 44,8 Nm³ de CO

Geração de monóxido de carbono:

60.900 Nm³/h de O₂ = 60.900 x 44,8/22,4 = 121.800 Nm³/h de CO

121.800 Nm³/h de CO → 121.800 / 22,4 = 5.437,5 moles de CO /h

1 mol de CO = 12 + 16 = 28 Kg de CO

5.437,5 moles de CO/h = 5.437,5 x 28 = 152.250 Kg de CO /h

Enriquecimento do ar de sopro por oxigênio: 16.000Nm³/h

Geração adicional de monóxido de carbono:

2C + O₂ = 2CO

16 2x28

22,4 44,8 (volumes molares)

16.000x 44,8/22,4 = 32.000 Nm³/h → 32.000 / 22,4 = 1.428,6 moles de CO/h

1.428,6 x 28 = 40.000 kg de CO /h

Total geração de monóxido de carbono:

152.250 + 40.000 = 192.250 kg de CO /h

Gás de topo com 22% CO

Monóxido de carbono envolvido na redução (dedução gás de topo 100 – 22 = 78%):

0,78 x 192.250 = 149.955 kg de CO /h

Produção resultante de ferro-gusa:

84 kg de CO → 112 kg de Fe

149.955 kg de CO/h → 149.955 x 112 /84 = 199.940 kg de Fe/h

Capacidade de produção via redução indireta (2/3):

199.940 x 24 h/dia/1.000 = 4.798,6t/ dia

Capacidade → 4.798,6 t/dia / (3/2) = 7.198 t/dia

Para 94,5% de ferro no ferro-gusa:

7.198 / 0,945 = 7.617 t/ dia de ferro-gusa no cadinho do alto-forno

2% de perdas no vazamento 7.617 x 0,98 = 7.464,7 → **7.500 t/dia**

AVALIAÇÃO DO PERFIL DOS ALTOS-FORNOS EM FUNÇÃO DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO

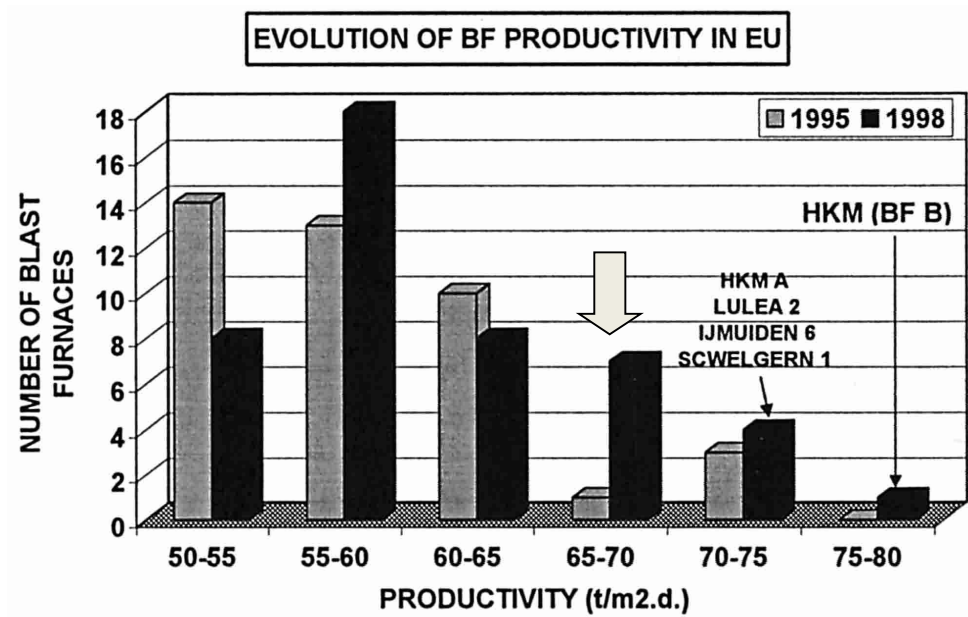
Índices resultantes de produtividade:

- pelo volume de trabalho: 7.500 / 2.775 = 2,70 t/m³.dia
- pelo volume interno: 7.500 /3.284 = 2,30 t/m³.dia
- pela área da soleira:

Diâmetro 12.000mm

(3,1416 x 12²)/4 = 113m² → 7.500 t/dia / 113 = 66,4 t/m².dia

Valor compatível com a experiência internacional:



BALANÇO DO FERRO

Carga metálica prevista

Burden

Sinter	970	kg/ thm
Pellets	480	kg/ thm
Lump ore	150	kg/ thm
Additives	5-10	kg/ thm

Ferrous burden data

	Lump ore	Sinter	Pellets
Ferrous burden charge (Kg/ thm)	145 -155	965 - 975	475 - 485
Fe (tot) (%)	64 - 66,5	57 - 59	64 - 66
Teores médios (%):	65,3	58	65

Input em ferro por tonelada de ferro-gusa:
 $970 \times 0,58 + 480 \times 0,65 + 150 \times 0,653 = 562,6 + 312 + 97,95 = 972,55 \text{ kg de Fe/t de ferro-gusa} \rightarrow 97,3\%$

Composição química do ferro-gusa:

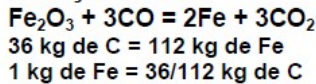
Elemento	Típico (peso%)
Ferro	Fe 94.5
Carbono	C 4.5
Silício	Si 0.40
Manganês	Mn 0.30
Enxofre	S 0.03
Fósforo	P 0.07

Compatível com a capacidade de produção de 7.500 t/dia

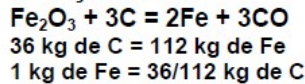
BALANÇO DO CARBONO

Demanda pela redução dos óxidos de ferro:

Redução indireta



Redução direta



1.000 kg de Ferro $\rightarrow \frac{2}{3} \times \frac{36}{112} + \frac{1}{3} \times \frac{36}{112} = \frac{36}{112} \times 1.000 = 321,4 \text{ kg/t ferro}$
 $\rightarrow 321,4 / 0,973 = 330,3 \text{ kg de C/t ferro-gusa}$

Perdas por solução (4,5%) $\rightarrow (330,3/0,955) - 330,3 = 15,6 \text{ kg de C/t ferro-gusa}$

Total: $330,3 + 15,6 = 345,9 \text{ kg de C/t ferro-gusa}$

Oferta (parâmetro usado pela Paul Wurth):

Fuel rate:	490	kg/ thm
Coke rate with PCI	330 (incl. nut coke)	kg/ tHM
Injection rate:	160	kg/tHM
Coke rate	330 kg/t ferro-gusa	$0,90 \times 330 = 297$
(8 a 10% cinzas + enxofre e matéria volátil residual, ~ 90% de C)		
Carvão pulverizado	160 kg/t ferro-gusa	$0,81 \times 160 = 129,6$
(78/84% de C, média 81%)		
Total:	$297 + 129,6 = 426,6$	kg de C/t ferro-gusa

Balanco

Excesso de carbono sobre as relações estequiométricas:
 $426,6 - 345,9 = 80,7 \text{ kg de C/t-ferro-gusa}$

Relação de balanço: $(345,9/426,6) \times 100 = 81\%$

Resultado: compatível com a capacidade de produção de 7.500 t/dia

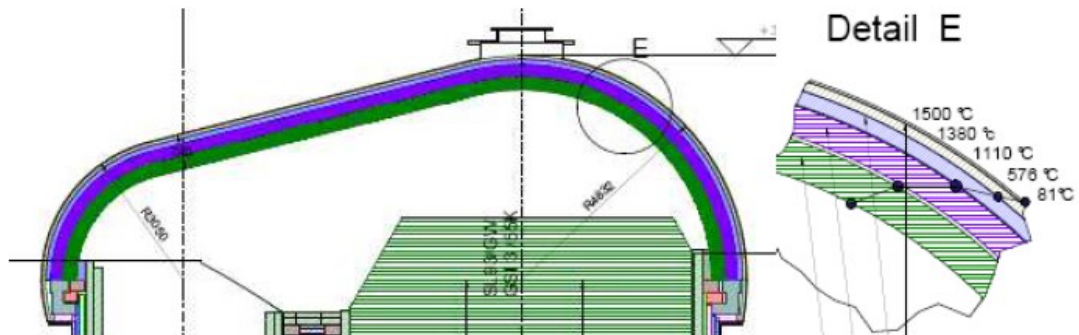
PERFIL TÉRMICO DOS REGENERADORES

Hot Stove Plant

Main data

Heating surface per hot blast stove: 53.267 m²

Hot blast temperature 1.250 °C



Dome Temperature : (Operation) 1435 °C
Dome Temperature : (Design) 1485 °C
Waste Gas Temperature : 420 °C
Controlled Hot Blast Temperature 1250 °C
Cold Blast Temperatur : 120 °C
Hot Blast Volume (incl.O₂) : 310.000 Nm³/h
3 Stoves

Resultado: as temperaturas de projeto e operação de domo, respectivamente 1.485° C e 1.485° C compatibilizam-se com a de sopro de ar quente – 1.250° C