

MODIFICAÇÕES NOS COWPERS DA USINA DE MONLEVADE, EM CONSEQUÊNCIA DO AUMENTO DE CAPACIDADE DOS ALTOS FORNOS ⁽¹⁾

PANTSCHO SALABASCHEFF ⁽²⁾

RESUMO

O autor apresenta um balanço térmico dos cowpers atuais e indica modificações para melhorar o seu rendimento. Demonstra que, para aquecer 30.000 Nm³ de ar por hora a 800°C, tornou-se necessário adicionar mais um cowper por forno. Desenvolve, finalmente, considerações sôbre empilhamento eficiente realizado com tijolos standards.

1. INTRODUÇÃO

O aumento de capacidade dos altos fornos, previsto no programa de expansão da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira para 500.000 t/ano, deu origem ao problema dos cowpers. A antiga capacidade dos altos fornos era de 140-160 t/24 horas. Cada forno é equipado com dois cowpers, com inversões de marcha de hora em hora. A capacidade atual é de 300-350 t/24 horas. Para se obter esta produção, é necessário aquecer 30.000 Nm³ de ar por hora, à temperatura de 800-850°C.

Antes de pôr em prática o plano de instalação de um terceiro cowper, fizemos um estudo do aproveitamento dos cowpers existentes.

2. CÁLCULO DOS COWPERS ATUAIS

A figura 1 representa a disposição geral dos cowpers atuais.

(1) Contribuição Técnica n.º 419. Discutida na Comissão «A» do XV Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; do Departamento de Pesquisas da Usina de Monlevade da CSBM; Monlevade, MG.

Altura total	19,0 m
Diâmetro exterior	4,70 m
Diâmetro de empilhamento, inclusive câmara de combustão	3,84 m
Espessura da parede exterior	0,43 m
Diâmetro interno da câmara de combustão	1 m
Espessura da parede da câmara de combustão .	0,52 m
Diâmetro exterior da câmara de combustão ...	2,40 m
Altura de empilhamento	14,0 m
Volume de empilhamento	123,4 m ³
Pêso do empilhamento	140 t

a) *Composição do gás dos altos fornos* — O gás dos altos fornos utilizado no período de experiências para o aquecimento dos cowpers apresentava a seguinte composição, em %:

CO₂ — 14,6; CO — 25,4; CH₄ — 1,4; H₂ — 4,8; N₂ — 53,8.

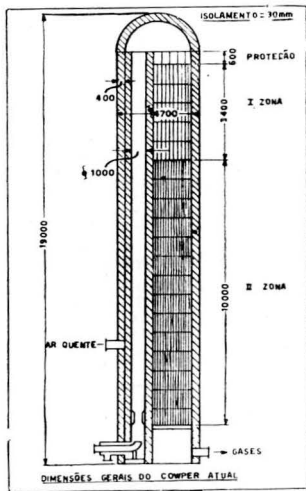


Fig. 1 — Dimensões gerais do cowper atual.

A temperatura do gás, após a depuração, varia entre 30°C e 40°C e a umidade é da ordem de 30 g/Nm³. O seu poder calorífico é de 1024 kcal/Nm³.

b) *Quantidade de gás produzido por 1 t de gusa* — Medimos a quantidade de gás úmido no coletor, entre o pote de

poeira e o lavador, com tubos Pitot, em dias em que o forno recebia 100% de sinter. Obtivemos o seguinte resultado:

Produção de gusa em t/hora	Volume de gás úmido	
	Nm ³ /hora	Nm ³ /t gusa
5,7	15.960	2.800
6,2	16.740	2.700
6,7	18.220	2.720

Consideremos como sendo de 2.700 Nm³ o gás úmido produzido por t de gusa. A quantidade de gás utilizado no cowper para o aquecimento depende do volume e temperatura do ar soprado no forno. Este volume de ar soprado é de 1.850 Nm³ de ar úmido/t de gusa. Admitimos a perda de 10% de ar nos registros e nos porta-ventos. O ar soprado no cowper para ser aquecido a 800°C será, portanto, de 2.055 Nm³/t de gusa.

c) *Consumo de gás dos AA.FF. pelos cowpers* — O consumo de gás nos cowpers é da ordem de 25% do total produzido pelos fornos, conforme medições feitas nos anos de 1954 e 1955:

Produção de gás no alto forno Nm ³ /hora	Consumo de gás no cowper Nm ³ /hora	%
<i>1954:</i>		
18.300	4.360	24
19.100	4.500	24
20.000	5.370	26
<i>1955:</i>		
19.300	4.820	25
22.800	5.631	24,7
24.600	6.100	24,8

d) *Rendimento térmico dos cowpers* — A quantidade de calor lançada no cowper é a seguinte:

$$2.700 \times 0,25 \times 1.000 = 675.000 \text{ kcal/t de gusa}$$

A quantidade de calor necessária para se obter o ar à temperatura média de 800°C, considerando a umidade de ar a 20°C de 17,16 g/Nm³, nos dá, em kcal:

$$\text{Para o ar sêco: } 2.016 \times 0,33 (800-60) = 492.307$$

$$\text{Para a umidade: } 35,3 \times 0,493 (800-60) = 14.227$$

$$\text{Total} = 506.534$$

O rendimento térmico do cowper é de 75%.

O volume de fumaça formada pela queima do gás é de 1.214 Nm³/t de gusa.

As calorias perdidas pelos gases correspondem a 10,5%.

As calorias perdidas pelas paredes correspondem a 14,5%.

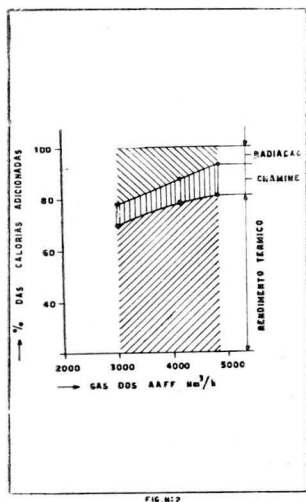


Fig. 2 — Rendimento térmico de um cowper, em função do volume de gás queimado.

As perdas de calor pelas paredes e pela fumaça são consideradas elevadas, devido a inconveniente do isolamento térmico e da construção do empilhamento. A figura 2 representa o rendimento dos cowpers, em função da quantidade de gás consumido. Vê-se que o rendimento aumenta com a quantidade de calor adicionado. À medida que cresce a perda pela chaminé, decresce a perda por radiação.

3. DISPOSIÇÃO DO EMPILHAMENTO DO COWPER

A parte principal do cowper é o empilhamento de tijolos, que deve ser disposto de modo a alcançar um rendimento térmico vantajoso, isto é, grande armazenamento de calor em um pequeno trecho de empilhamento. Os empilhamentos dos cowpers atuais de Monlevade têm as seguintes características:

Zona	I	II	Proteção	Total
Altura — m	3,4	10	0,6	14
Área — m ²	8,81	8,81	8,81	—
Área da câmara de combustão	0,78	0,78	0,78	—
Área aquecimento/m ³ empilhamento	22,2	44,6	15,6	—
Área total de aquecimento	665,0	3929,0	83,0	4677
kg tijolos/m ³ empilhamento ..	1425	1030	1200	—
Pêso total — t	42,7	91,0	6,3	140
Largura do canal — mm	45	42	95	—
Espessura da parede — mm ..	45	18	85	—
m ³ /zona	30,0	81,1	5,3	123,4

Observamos que o empilhamento de tijolos do cowper é dividido em duas zonas, I e II.

a) *Fixação das características dos tijolos do empilhamento* — Os tijolos do empilhamento dos cowpers atuais são dotados de furos redondos e quadrados (figura 3). Representando por φ a relação entre a secção transversal livre do empilhamento e sua secção transversal total, temos:

Para a zona I:

Tijolos com furos quadrados:

$$\varphi K_1 = \left(\frac{d_1 h}{d_1 h + C_1} \right)^2 = \left(\frac{45}{90} \right) = 0,250 \text{ m}^2/\text{m}^2$$

(dh = diâmetro hidráulico)

(C = espessura de parede)

Tijolos com furos redondos: $\varphi R_1 = 0,236 \text{ m}^2/\text{m}^2$

A média entre φK_1 e φR_1 dá $= 0,243 \text{ m}^2/\text{m}^2 =$
 $= 24,3\% = \varphi_1.$

Para a zona II:

Tijolos com furos quadrados: $\varphi K_2 = 0,490 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Tijolos com furos redondos: $\varphi R_2 = 0,460 \text{ m}^2/\text{m}^2$

A média entre φK_2 e φR_2 dá $= 0,475 \text{ m}^2/\text{m}^2 =$
 $= 47,5\% = \varphi_2$

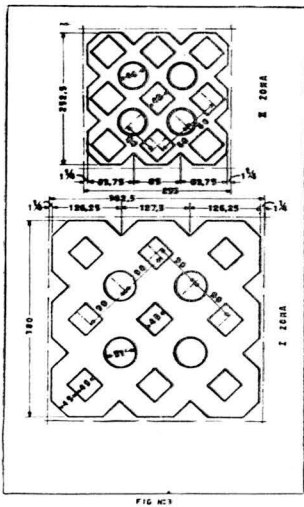


Fig. 3 — Tipos de tijolos com que são constituídas as zonas de empilhamento dos cowpers atuais.

Como se vê, φ_2 , da zona II (zona principal), é maior que φ_1 , da zona I. Para se alcançar melhor rendimento térmico, podemos diminuir o valor de φ_2 até 0,35 — 0,40, mas, para se conseguir maior superfície de aquecimento, devemos diminuir o diâmetro dos furos. Com isso, a perda de pressão será mais elevada, o que se deve levar em consideração.

Na Europa, atualmente, o empilhamento de tijolos dos cowpers é feito tomando-se φ entre 0,25 e 0,40, obtendo-se com isto, um resultado favorável. Essa redução de φ só pode ser feita até certo ponto, pois a sua diminuição, como já dissemos, aumenta a perda de pressão, e essa perda não pode ser maior do que 2 mm de coluna de água, para um metro de empilhamento.

b) *Perda de pressão no empilhamento do cowper* — Serão soprados 30.000 m³ de ar/hora.

Velocidade do ar na zona I:

$$W_1 = \frac{30.000}{3.600 \times 8,81 \times 0,243} = 3,89 \text{ m/s}$$

Idem, na zona II:

$$W_2 = \frac{30.000}{3.600 \times 8,81 \times 0,475} = 1,99 \text{ m/s}$$

Serão queimados 9.950 Nm³ de gás/hora, com 20% a 30% de ar em excesso. Formam-se:

$$9.950 \times 1,80 = 17.910 \cong 18.000 \text{ Nm}^3 \text{ de fumaça.}$$

Velocidade da fumaça na zona I:

$$W_{1g} = \frac{18.000}{3.600 \times 8,81 \times 0,243} = 2,33 \text{ m/s.}$$

$$W_{2g} = \frac{18.000}{3.600 \times 8,81 \times 0,475} = 1,19 \text{ m/s.}$$

A perda de pressão no empilhamento durante o aquecimento do cowper é:

$$\begin{aligned} \text{Para } d_{1h} = 45 \text{ mm } W_{1g} = 2,33 \text{ m/s, perda} &= \\ &= 1,12 \text{ mm col. H}_2\text{O/m} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Para } d_{2h} = 42 \text{ mm } W_{2g} = 1,19 \text{ m/s, perda} &= \\ &= 0,28 \text{ mm col. H}_2\text{O/m} \end{aligned} \quad (5)$$

A velocidade da fumaça pode ser aumentada até 2 m/s (0°C e 760 Hg) na zona II (principal), o que significa diminuir o número φ .

c) *Aproveitamento térmico do empilhamento* — Como sabemos, existem dois tipos de transmissão de calor: por convecção e por radiação. O coeficiente de transmissão por convecção é:

$$\alpha c = 1,25 \times \alpha b_o \times f \times f_s \text{ kcal/mm}^2/\text{hora} \quad (5)$$

Na zona I:

$$\begin{aligned}\alpha_{b_0} &= 13,50 \text{ para } d_1h = 45 \text{ mm e } W_1 = 2,33 \text{ m/s} \\ f &= 1,71 \text{ para temperatura de } 1.100^\circ\text{C} \\ f_s &= 1,15 \\ \alpha_1C &= 1,25 \times 13,50 \times 1,71 \times 1,15 = 33,18 \text{ kcal/mm}^2/\text{hora}\end{aligned}$$

Na zona II:

$$\begin{aligned}\alpha_{b_0} &= 9,4 \text{ para } d_2h = 42 \text{ mm e } W_2 = 1,19 \text{ m/s} \\ f &= 1,36 \text{ para temperatura de } 550^\circ\text{C} \\ \alpha_2C &= 1,25 \times 9,4 \times 1,37 = 16,1 \text{ kcal/mm}^2/\text{hora}\end{aligned}$$

Neste caso, aceita-se uma tolerância de $\pm 5\%$, devido à baixa velocidade da fumaça.

O coeficiente de transmissão do calor por convexão, depende da velocidade da fumaça, da turbulência dos gases e do diâmetro hidráulico dos tijolos. Como se vê, o número da zona I é mais favorável que o número da zona II, em virtude de ser elevada a velocidade da fumaça. O coeficiente de transmissão do calor por radiação é o seguinte:

Na zona I:

$$\text{Para } 1.100^\circ\text{C e } d_1h = 45 \text{ mm, } \alpha_1R = 8,7 \text{ kcal/mm}^2/\text{hora} \quad (5)$$

Na zona II:

$$\text{Para } 550^\circ\text{C e } d_2h = 42 \text{ mm, } \alpha_2R = 3,5 \text{ kcal/mm}^2/\text{hora} \quad (5)$$

O coeficiente de transmissão do calor total é de:

Zona I:

$$\alpha_1g = \alpha_1C + \alpha_1R = 33,18 + 8,7 = 41,88 \text{ kcal/mm}^2/\text{hora} \quad (5)$$

Zona II:

$$\alpha_2g = \alpha_2C + \alpha_2R = 16,1 + 3,6 = 19,7 \text{ kcal/mm}^2/\text{hora} \quad (5)$$

A espessura equivalente dos tijolos sendo:

Zona I:

$$C'_1 = 2 \frac{1 - \varphi_1}{f_1} = 2 \times \frac{1 - 0,243}{22,2} = 68 \text{ mm} \quad (4)$$

Zona II:

$$C'_2 = 2 \frac{1 - \varphi_2}{f_2} = 2 \times \frac{1 - 0,475}{44,6} = 23,4 \text{ mm} \quad (4)$$

Calculamos o aproveitamento do calor depositado no empilhamento dos cowpers, para reversões de marcha em 1 h, 1,5 e 2 horas.

Zonas	$\alpha_1 g = \alpha_2 g$ kcal/kg/h	C' mm	Aproveitamento em %		
			t = t ₁ = 1 h	t = t = 1,5 h	t = t = 2 h
I	41,88	68	48	60	70
II	19,70	23,4	92	97	98

Podemos verificar, pelo quadro acima, que o aproveitamento aumenta de maneira mais interessante nas inversões em 1,5 h e em 2 h, para os empilhamentos de tijolos de maior espessura. Nos tijolos em que $C' = 23,4$ mm, há aparecimento de saturação mesmo com intervalos de 1 hora.

Para calcular o peso do empilhamento para o aquecimento de 30.000 m³ de ar/hora, temos, para os cowpers atuais:

$$EG = 0,48 \times 49.000 + 0,92 \times 91.000 = 107.240 \text{ kg} \quad (5)$$

$$\frac{EG}{Vxt} = \frac{107.240}{30.000 \times 1} = 3,57 \quad (5)$$












Para essa relação de 3,57 entre o peso do empilhamento e seu aproveitamento, e para o volume de ar soprado com tempo de inversão de 1 hora, teremos os seguintes resultados:

Temperatura do ar, °C	Temperatura da fumaça, °C	Rendimento térmico, %
600	90	90,0
700	110	87,5
800	195	83,0
850	250	79,0

A relação $\frac{EG}{Vxt}$ deve ser maior que 5 e menor que 8 para se obter alta temperatura da fumaça. ⁵ Admitimos $\frac{EG}{Vxt} = 5,5$ para $t = 1$ hora (Tempo de inversão).

O pêso do empilhamento: $G \cong 195$ t.

CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS TIPOS DE EMPILHAMENTO DOS COWPERS.
Ano 1951

Características do empilhamento	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14
	Zona	Altura	Área de aquec.	Pêso	Área livre de corte	Diâmetro	s=2x	1=φ	(1=φ) r	2x=2(1+φ) r	Espeçura dos tijolos	Volume dos tijolos	Espeçura dos tijolos equivalentes x 1000 mm	Volume de empilhamento	Área total de aquecimento	Pêso total	FORMA DO TIJOLO										
	m	m ² /m ³	t/m ³	m ² /m ²	mm	mm	m ³ /m ³	m ³ /m ³	m ³ /m ³	mm	m ³ /m ³	mm	m ³ /m ³	m ³	m ²	t											
Schiffer - Strack	1	2,4	16,0	1,20	0,46	130,0	60,0	0,54	9,5	73,8	51,2	819,0	61,5														
	2	5,5	30,0	1,20	0,40	54,0	26,0	0,60	18,0	40,0	119,5	3586,0	143,5														
	3	21,2	44,5	1,15	0,41	36,0	18,0	0,59	26,7	27,0	452,0	2015,0	52,5														
	Total	30,2	38,7	1,16	0,41			0,59	19,9	30,5	622,8	24 556,0	725,5														
Palatina (Schiffer)	1	3,0	21,0	1,19	0,40	83,0	45,0	0,60	12,5	57,1	64,1	1345,0	76,2														
	2	3,0	31,6	1,19	0,41	48,5	35,0	0,59	18,6	37,3	64,1	2023,0	75,9														
	3	7,8	36,1	1,26	0,37	47,0	35,0	0,63	22,7	34,9	166,5	6011,0	209,8														
	4	14,2	36,1	1,26	0,24	37,0	36,0	0,76	27,4	42,1	363,0	10935,0	382,0														
Total	28,0	33,9	1,24	0,31			0,69	23,4	41,3	597,7	20314,0	743,9															
Brassert (velho)	1	1,0	19,7	0,87	0,54	96,3	38,0	0,46	9,1	46,7	21,4	420,5	18,6														
	2	4,8	29,5	1,28	0,35	52,2	38,0	0,65	19,4	44,3	102,2	4045,0	127,0														
	3	9,0	35,0	1,40	0,27	29,2	38,0	0,71	23,4	42,9	204,5	6750,0	276,4														
	4	2,0	32,0	1,44	0,25	28,0	38,0	0,75	24,2	47,2	192,0	6720,0	268,3														
Total	26,4	32,5	1,34	0,30			0,70	23,0	43,3	562,8	19303,5	751,8															
Brassert (novo)	1	1,0	19,3	0,90	0,53	100,0	50,0	0,47	9,1	48,8	21,4	411,0	19,3														
	2	3,0	30,5	1,35	0,31	41,5	42,0	0,60	21,0	45,2	64,1	1955,0	86,2														
	3	23,8	40,6	1,26	0,31	28,7	32,0	0,69	24,0	34,0	507,0	20600,0	645,0														
Total	27,8	38,7	1,26	0,32			0,68	26,3	35,7	592,5	22966,0	750,5															
Brohltal a	1	9,4	27,0	1,35	0,30	22,6	47,0	0,70	18,9	51,9	200,5	5410,0	270,5														
	2	18,0	40,0	1,20	0,37	38,0	25,0	0,63	25,2	31,5	384,0	15360,0	460,0														
Total	27,4	35,0	1,26	0,35			0,65	22,7	37,1	584,5	20770,0	730,5															
Brohltal b	1	8,0	27,4	1,3	0,31	22,6	50,0	0,69	18,9	50,4	171,0	4680,0	224,0														
	2	23,0	49,5	1,1	0,43	32,0	20,0	0,57	28,2	23,0	490,5	24350,0	527,0														
Total	31,0	43,8	1,1	0,40			0,60	26,3	27,4	661,5	29030,0	751,0															
Martin & Pagenstecher	1	3,6	18,0	1,1	0,40	92,0	55,0	0,60	13,8	66,7	76,2	1370,0	83,9														
	2	28,3	39,0	1,1	0,40	41,7	27,5	0,60	20,4	30,8	604,0	25590,0	661,1														
Total	31,9	36,6	1,1	0,40			0,60	22,0	32,8	680,2	24960,0	750,0															
Steuier	1	2,0	30,0	1,2	0,37	100,0	46,0	0,63	18,7	41,5	42,7	1280,0	41,4														
	2	4,0	31,2	1,2	0,33	24,0	34,0	0,67	21,0	43,2	85,4	2864,0	98,8														
	3	8,0	33,8	1,3	0,28	20,0	30,0	0,72	24,2	42,4	170,8	5765,0	217,0														
	4	13,8	35,2	1,3	0,27			0,73	25,8	41,5	294,5	10370,0	390,0														
Total	27,8	33,9	1,26	0,29			0,71	24,1	42,0	593,4	20079,0	748,0															
Rhenania	1	10,0	29,4	1,0	0,48	220,0	53,0	0,52	15,3	34,6	213,0	6270,0	218,0														
	2	21,7	31,3	1,6	0,47	216,0	53,0	0,53	16,6	33,8	469,0	14675,0	501,0														
Total	31,7	30,4	1,07	0,48			0,52	16,0	34,4	582,0	20945,0	719,0															
Hagenburger Schwaib Kleeblatt	1	1,6	18,5	1,0	0,46	86,0	50,0	0,54	10,0	58,4	34,2	632,0	35,0														
	2	11,0	36,0	1,32	0,30	35,0	27,0	0,70	25,2	38,9	234,6	8460,0	310,0														
	3	13,4	40,0	1,4	0,26	29,0	27,0	0,74	29,6	37,0	286,0	11430,0	399,5														
Total	26,0	37,1	1,34	0,30			0,70	26,0	37,8	554,8	20522,0	744,5															
Didier Wirbelstrom	1	8,0	26,7	1,45	0,28	42,0	35,0	0,72	19,2	53,8	171,0	4560,0	248,0														
	2	6,0	39,0	1,25	0,38	39,0	25,0	0,65	24,2	31,8	125,0	4996,0	150,0														
	3	15,8	44,7	1,01	0,50	44,8	18 20	0,50	22,4	22,4	337,0	15079,0	341,0														
Total	29,8	39,0	1,18	0,42			0,58	22,7	30,0	636,0	24635,0	749,0															

Obs: - Nos números das diversas zonas, não são incluídos os números das zonas neutras.
- Na numeração total, os números das zonas neutras são incluídos.

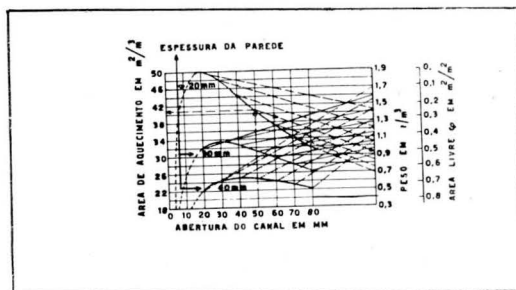
FIG. N.º 4

Fig. 4 — Características de alguns tipos de empilhamento dos cowpers.

Para têmos uma idéia mais clara sôbre o empilhamento do cowper, juntamos na figura 4 as características mais importantes dos cowpers de várias firmas construtoras. Como se vê, a maior área de aquecimento se encontra no empilhamento da firma Brohltal (b) com $f = 43,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Em todos êsses empilhamentos, a área cresce de cima para baixo, como exige um cowper perfeito. Do mesmo modo, no cowper Bhohtal (b), o pêso do empilhamento, o coeficiente $(1 - \varphi)$ que indica o volume dos tijolos por 1 m^3 de empilhamento, no qual a velocidade do ar e da fumaça é determinada, diminuem proporcionalmente de cima para baixo. Outra vantagem que oferece o empilhamento Brohltal (b) é o coeficiente $(1 - \varphi) \times f = 26,3$, que é o produto do volume específico dos tijolos pela área específica aquecida, por m^3 de empilhamento.

Fig. 5 — Gráfico representativo da área de aquecimento, pêso e área da secção transversal livre para 1 m^3 de empilhamento, em função da abertura dos canais e da espessura da parede, para canais quadrados.



Na figura 5, podemos observar a influência da espessura das paredes e dos canais sôbre a área de aquecimento e sôbre o pêso por m^3 de empilhamento. Constatamos sensível aumento da área de aquecimento, com a diminuição da espessura das paredes e dos canais. Para uma determinada espessura de paredes, a figura indica que a maior área de aquecimento se observa quando os canais têm as mesmas dimensões.

É problemático falar sômente sôbre a disposição de um empilhamento. É necessário também que se faça experiência com os próprios tijolos dos empilhamentos considerados, para se chegar à conclusão mais vantajosa.

É fato, pois, que um cowper bem construído deve satisfazer aos seguintes itens:

- 1) Máximo rendimento térmico.
- 2) Abaixamento mínimo da temperatura do ar.
- 3) Alta resistência da parte quente do cowper, contra eventual super-aquecimento.

Alto rendimento térmico pode ser alcançado pela correta construção do empilhamento. A parte quente deve ser construída com tijolos de maior espessura que os usados na parte de temperatura mais baixa.

É possível ter pequeno abaixamento da temperatura do vento, empregando-se tijolos que permitam alto depósito de calor. Na França, os construtores de cowpers dão grande atenção a este ponto. Petit, em seu trabalho, indica, para um cowper de 633 t de empilhamento, uma temperatura do ar de 800°C, queimando 65.000 Nm³ de gás, o que corresponde a 102 Nm²/t de empilhamento. Outrora, isto foi considerado impossível, na Alemanha.

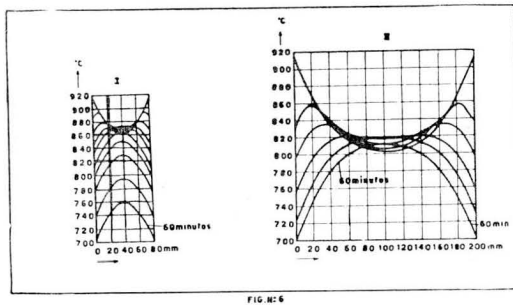


Fig. 6 — Variação da temperatura dos tijolos em função da espessura dos mesmos e do tempo.

Obter-se-á alto armazenamento de calor com o aumento da espessura da parede de tijolos. Porém, esta espessura é limitada a 60 mm, para um cowper com marcha que se inverte de hora em hora. O aumento da espessura dos tijolos, além de 60 mm, piora o rendimento térmico do cowper, pois as calorías depositadas nas paredes de maior espessura não são aproveitadas. Na figura 6, mostramos exemplos típicos que indicam a variação de temperatura em função do tempo e espessura dos tijolos.

Uma segurança contra o super-aquecimento da parte quente será possível, equipando-se o cowper com canais estreitos e ele-

vadas velocidades da fumaça e do ar na parte superior do empilhamento. Nestas condições, a transmissão de calor por radiação é menor. Paralelamente, aumenta a transmissão de calor por convexão.

No caso de canais estreitos e maior espessura dos tijolos, as condições de transmissão de calor, que acabamos de descrever, conduzem a um abaixamento da temperatura média dos tijolos. Se tal não existisse, esta temperatura aproximar-se-ia da temperatura da fumaça. A diferença entre as temperaturas dos tijolos e do ar ficaria menor, provocando super-aquecimento dos tijolos.

Câmara de combustão — É especialmente importante para o empilhamento que a combustão do gás termine na câmara de combustão. Depende ela das dimensões da câmara, dos queimadores da mistura violenta do gás com o ar.

Calculemos o volume da câmara de combustão para 9.900 Nm³ de gás queimado por hora. As fumaças que se formam pela combustão de 1 Nm³ de gás têm a seguinte composição:

CO₂ — 20,7%; N₂ — 70,3%; H₂O (vapor) — 6,4%; O₂ — 2,6%

O calor específico médio das fumaças a 1.270°C é:

$$C_p = 0,394 \text{ kcal/Nm}^3.$$

Designando⁵:

R_v = volume da câmara de combustão.

K = coeficiente dos queimadores = 2,5.

R = pré-aquecimento do gás = 0.

i_o = 480 kcal/Nm³ de gás formado.

Q = 9,5 × 16⁶ kcal/hora adicionadas na câmara de combustão.

V_r = 1.270°C = temperatura máxima do gás ao sair da câmara de combustão.

i_r = 1.270 × 0,374 = 475 kcal.

$$r = \frac{475}{480} - 0 = 0,99.$$

Para r = 0,99; R = 0 e β = 4,8.

O volume da câmara de combustão será:

$$R_v = \frac{Q}{K} = \frac{9,5}{2,5} \times 4,8 = 18,24 \text{ m}^3 \quad (5)$$

As câmaras dos cowpers atuais têm 1 m de diâmetro e 15,2 m de altura e, portanto, $R_v = 11,9 \text{ m}^3$.

As câmaras de combustão, com os queimadores atuais, não são suficientes para queimar a quantidade de gás necessária. Precisamos de queimadores de coeficiente mais elevado (3 — 4), ou então de aumentar o volume da câmara de combustão para $18,3 \text{ m}^3$.

A relação entre a secção transversal livre da câmara de combustão e a secção do empilhamento, nos cowpers atuais, é de 8,8%. Comparando este resultado com os dados dos outros cowpers, indicados no quadro, vê-se que a relação é sensivelmente baixa.

A — <i>Propostas recentes dos fabricantes</i>	$V_1\%$	$V_2\%$	a/b	
a) Brohltal (\varnothing 8 m)	12,55	24,00	1,00	(6)
b) Brohltal (\varnothing 7 m)	16,35	26,30	1,65	(6)
c) Didier Petit (\varnothing 7 m)	13,10	24,30	3,75	(6)
(Desenho de 1-8-50)	(13,95)			
B — <i>Em construção por outros fabricantes europeus</i>				
a) Martin + Pagenstecher (\varnothing 7 m)	14,86	23,20	2,52	(6)
C — <i>Em serviço em outras usinas</i>				
a) Shiffer-Strack (\varnothing 7 m)	15,60	27,90	1,00	(6)
b) Brassert (\varnothing 8 m)	18,30	25,50	1,56	(6)
D — <i>Cowpers atuais de Monlevade</i>				
a) Brohltal	8,80	21,80	1,00	(6)
(Desenho de 21-11-36)				

V_1 = relação entre as secções transversais livres da câmara de combustão e do empilhamento.

V_2 = relação entre as secções transversais da câmara da combustão e do empilhamento.

a/b = coeficiente ligado à forma da câmara de combustão.

Com a relação V_1 mais elevada, é possível melhor distribuição na secção transversal do empilhamento. Também a forma da câmara exerce influência na distribuição da fumaça. Experiências praticadas no Instituto Max Planck, de Dusseldorf, mostram que a forma oval é mais adequada à boa distribuição dos gases.

Foi feita experiência no cowper n. VIII de Monlevade, para verificar a distribuição das temperaturas e das correntes de gás e ar. Operou-se da seguinte maneira:

Instalamos 4 pirômetros de Fe-Constantan no empilhamento; um à altura de 10 m e os três restantes à altura de 5 m. Todos foram colocados de baixo para cima, com tubos de proteção de 1/2". A ligação entre os pirômetros e o aparelho registrador foi feita com fio de compensação coberto com amianto. A experiência durou três semanas, sendo os resultados registrados por aparelho Brown.

É interessante observar as temperaturas indicadas pelos pirômetros n.ºs 1, 2, e 3 das figuras 7 e 8. No período de aque-

Fig. 7 — Temperaturas registradas no empilhamento, para um volume de gás de 5.000-6.000 Nm³/hora.

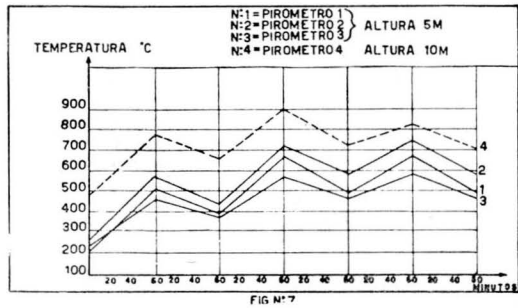
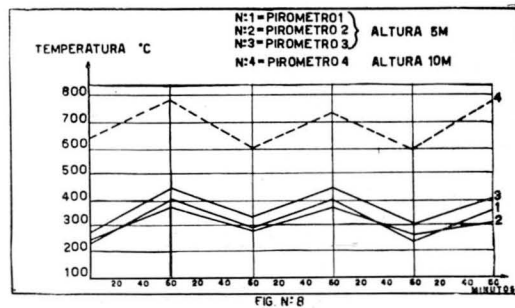


Fig. 8 — Temperaturas registradas no empilhamento, para um volume de gás de 3.000-4000 Nm³/hora.



cimento do cowper, foram notadas diferenças de 100°C até 180°C entre os pirômetros n.ºs 2 e 3. No período de aquecimento do ar, a diferença variou entre 70°C e 210°C. A temperatura indicada pelo pirômetro n.º 1 foi a mais variável. Ao mesmo tempo, podemos observar, na figura, que os volumes dos gases e do ar exercem grande influência sobre a boa distribuição transversal no empilhamento, devido à perda de pressão. A figura 7 apresenta temperaturas para um volume de gás de 5.000 a 6.000 Nm³/h e a figura 8, para 3.000 a 4.000 Nm³/h. Estas elevadas diferenças observadas nas temperaturas do empilhamento e suas sensíveis variações mostram a má distribuição dos gases e do ar no interior do cowper, devido à baixa relação existente entre as secções transversais livres da câmara de combustão e do empilhamento.

A entrada do ar no cowper é também de grande importância para a distribuição. Com entrada excêntrica, que é o nosso caso, a corrente penetra tangencialmente à parede da câmara de combustão, provocando a distribuição do ar pelas diversas regiões do cowper, como mostra a figura 9.

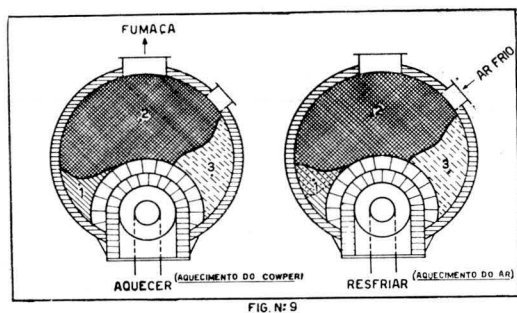


Fig. 9 — Distribuição das temperaturas de acordo com a velocidade dos gases e do ar quente no empilhamento.

Para se obter melhores condições na distribuição dos gases e do ar, será necessário:

- 1) Aumentar a relação V_1 e o diâmetro da câmara de combustão.
- 2) Mudar a forma da mesma.
- 3) Mudar a situação da entrada do ar.
- 4) Diminuir, o mais possível, a energia cinética do ar no cowper, pelo aumento do diâmetro da entrada do ar.

Cálculo das velocidades do gás e do ar nos queimadores
 — Temos, em Monlevade:

Diâmetro do tubo de gás	495 mm
Espessura da parede	20 mm
Diâmetro do tubo do ar	795 mm

$F_1 =$ Secção de entrada do gás $= 0,192 \text{ m}^2$

Para $D = 795 \text{ mm}$, $F'_1 = 0,496 \text{ m}^2$

Para $D = 535 \text{ mm}$, $F'_2 = 0,225 \text{ m}^2$

$F_2 =$ Secção de entrada do ar $= F'_1 - F'_2 = 0,271 \text{ m}^2$

Para queimar 9.900 Nm^3 de gás com 30% de excesso de ar são necessários 9.600 Nm^3 de ar. Velocidade do gás $14,3 \text{ m/s}$; velocidade do ar $9,8 \text{ m/s}$. Essas duas velocidades são consideradas elevadas para o tipo de queimador descrito. Tendo como base este estudo, chegamos às seguintes conclusões:

- 1) Para a produção de 300-350 t/dia de gusa, não são suficientes dois cowpers do tipo atual. É necessário que se instale um terceiro.
- 2) Para melhorar o rendimento do aparelho, sugerimos:
 - a) modificar a câmara de combustão;
 - b) modificar os queimadores;
 - c) modificar a entrada do ar frio;
 - d) modificar o empilhamento da zona II, no sentido de se obter um φ mais baixo;
 - e) aumentar o peso do empilhamento;
 - f) assegurar boas condições de controle de combustão, usando registros sem perdas e de fácil manejo.

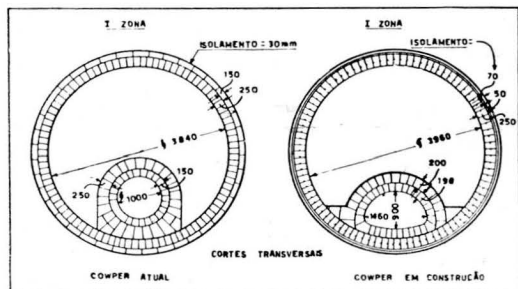


Fig. 10 — Comparação entre os cortes transversais do cowper atual e do cowper em construção.

FIG. Nº10

Características dos novos cowpers encomendados à Brohltal — Baseada nestes estudos dos cowpers atuais e, atendendo ao aumento da capacidade dos altos fornos, a Belgo-Mineira resolveu instalar mais um cowper para cada forno e fazer modificações no sentido de aprimorar o rendimento térmico dos referidos aparelhos. Estas alterações não afetam a altura e o diâmetro dos cowpers. Na figura 10, que representa os cortes transversais do cowper atual e do cowper em construção, podemos ver claramente as partes que foram mudadas. A comparação entre os dois quadros seguintes mostrará a diferença entre um cowper e outro. A figura 11 apresenta os tipos de tijolos do cowper em construção.

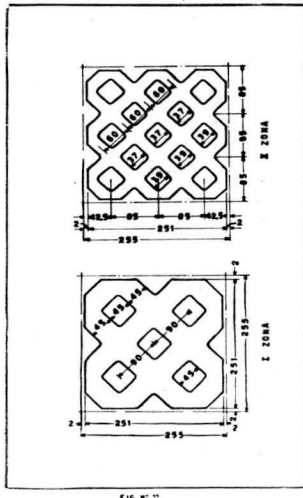


Fig. 11 — Tipos de tijolos com que serão constituídas as zonas de empilhamento dos cowpers em construção.

4. EMPILHAMENTO DE TIJOLOS STANDARD

Procedemos também a um estudo do aproveitamento de tijolos standard, para no caso de se verificar alguma dificuldade na obtenção dos tijolos especializados, o programa de expansão não ser prejudicado.

Os tijolos que podemos utilizar no empilhamento dos cowpers enquadram-se em três tipos: A) $343 \times 152 \times 63,5$ mm; B) $228,5 \times 152 \times 63,5$ mm; C) $230 \times 115 \times 32$ mm.

Nos estudos e cálculos feitos, chegamos aos seguintes resultados:

O empilhamento será dividido em duas zonas. A primeira, que constitui a parte superior do empilhamento (zona de proteção), será feita com tijolos tipo A ou B, de maneira a não permitir o super-aquecimento do empilhamento. Nas figuras seguintes (12 e 13), mostramos a construção desta zona. Na figura 12, ela é feita com tijolos tipo B; os canais são lisos,

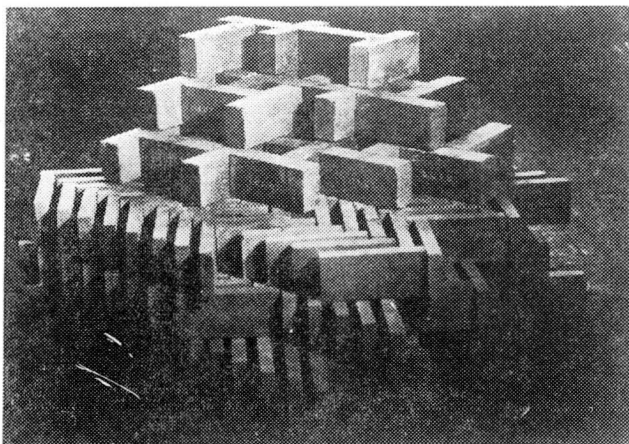


Fig. 12 — Empilhamento em duas zonas, feito com tijolos tipo B e C, de fabricação nacional.

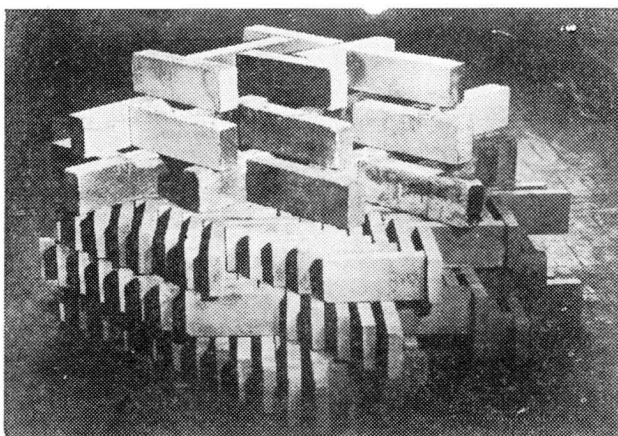


Fig. 13 — Empilhamento em duas zonas, feitos com tijolos tipo A e C, de fabricação nacional.

quadrados, com $d_1 = d_2 = 82$ mm. Na figura 13, ela é feita com tijolos tipo A, sendo a grelha do tipo fogueira, com canais lisos, quadrados, com $d_1 = d_2 = 140$ mm.

Em ambas as figuras, a zona principal (zona II), é feita com tijolos tipo C. Os canais são retangulares com as dimensões $d_1 = 30$ mm e $d_2 = 170$ mm.

Devido ao elevado valor de $\varphi = 0,48$ na zona I da figura 13, a velocidade dos gases será muito baixa e a transmissão de calor entre os gases e tijolos será por radiação, e, neste caso, temos sempre perigo de super-aquecimento dos tijolos. Por isso, o empilhamento da figura 12 é mais empregado.

Para o nosso cowper, na zona principal, podemos usar somente tijolos do tipo C, com espessura de 30 mm, aproveitando ao máximo as calorias depositadas. A grelha será feita com canais retangulares cruzados a 90° C, formando, assim, o tipo fogueira.

A área de aquecimento será perfeitamente distribuída e muito favorável à transmissão do calor entre os gases quentes e os tijolos, devido ao turbilhonamento dos gases provocado pela grelha.

Cálculo das características das zonas de empilhamento da figura 12:

Zona I (zona de proteção) — Feita com tijolos tipo B. A grelha será constituída de canais lisos. Altura máxima da zona = 2 m. Os canais são quadrados: $d_1 = d_2 = 82$ mm.

- 1) Área de aquecimento por m^3 de empilhamento:

$$F = \frac{4 \times 82}{82 + 63^2} = 15,6 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

- 2) Volume dos tijolos por m^3 de empilhamento:

$$V = \frac{63 (164 + 63)}{145^2} = 0,680 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

- 3) Relação entre a secção transversal livre do empilhamento e a secção total do mesmo:

$$\varphi = \frac{82^2}{145^2} = 0,319$$

- 4) Velocidade dos gases queimados no empilhamento:

$$V = \frac{18.000}{10.116} = 1,77 \text{ m/s.}$$

Zona II (zona principal) — Será constituída com tijolos tipo C (230 × 115 × 30 mm). O empilhamento será do tipo fogueira, com canais retangulares (30 × 170 mm).

- 1) Diâmetro hidráulico dos canais:

$$dh = \frac{4 \times F}{U} = 50,1 \text{ mm}$$

- 2) Área de aquecimento por m³ de empilhamento:

$$F = \frac{260 \times 115 + 30 \times 200}{60 \times 200 \times 115} = 26 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

A determinação experimental deu 31 m²/m³, a média será: 26,5 m²/m³.

- 3) Volume dos tijolos por m³ de empilhamento:

$$V = \frac{30 \times 260}{2 \times 60 \times 200} = 0,605 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

4. Relação entre a secção transversal livre do empilhamento e a secção transversal total do mesmo:

$$\varphi = \frac{30 \times 260}{60 \times 200} = 0,42$$

- 5) Velocidade dos gases queimados no empilhamento: 1,35 m/seg.

TABELA

Características dos cowpers atuais e dos em construção

Zona	Altura	Área transversal (m ²)	Área da câmara de combustão	Volume (m ³)	Área de aquecimento (m ² /m ³)	Área total de aquecimento	Pêso (kg/m ³)	Pêso total (t)	Largura canal (mm)	Espessura da parede (mm)	Área livre de empilhamento (%)	Tijolos Al 203 (%)
Proteção	0,6	8,81	0,78	5,3	15,5	83,0	1.200	6,3	95	85	—	40-42
I	3,4	8,81	0,78	30	22,2	665,0	1.425	42,7	45	45	24,3	38-48
II	10,0	8,81	0,78	88,1	44,6	3.929,0	1.030	91,0	42	18	47,5	< 30
Total	14	—	—	123,4	—	4.677	—	140	—	—	—	—
Proteção	0,6	9,69	0,99	5,81	14,6	84,8	1.080	6,3	95	85	—	40-42
I	3,4	9,69	0,99	32,94	22,2	731,3	1.425	47	45	45	25	40-42
II	10	9,69	0,99	96,9	41,0	3.973	1.140	110,5	39	21	40	a) 36-39 b) 30-32
Total	14	—	—	135,65	—	4.789	—	164	—	—	—	—

RESULTADOS DOS CÁLCULOS

Zona I (zona de proteção):

- 1) Volume total: $8,81 \text{ m}^2 \times 2 \text{ m} = 17,62 \text{ m}^3$.
- 2) Área total de aquecimento: $17,62 \text{ m}^3 \times 15,6 \text{ m}^2/\text{m}^3 = 275 \text{ m}^2$.
- 3) Tijolos necessários, tipo B: $0,68 \times 17,6 \times 2 \text{ t/m}^3 = 24 \text{ t}$.

Zona II (zona principal):

- 1) Volume total: $8,81 \text{ m}^2 \times 12 \text{ m} = 105,72 \text{ m}^3$.
- 2) Área total de aquecimento: $105,7 \text{ m}^3 \times 28,5 \text{ m}^2/\text{m}^3 = 3.013 \text{ m}^2$.
- 3) Tijolos necessários tipo C: $0,605 \times 105,72 \times 2 \text{ t/m}^3 = 128 \text{ t}$.

O empilhamento total do cowper consumirá 152 t de tijolos. Área total do aquecimento (zonas I e II) será de 3.288 m².

Observação — A construção do empilhamento do cowper com tijolos standard oferece as seguintes vantagens, em comparação com o empilhamento atual:

- 1) O peso dos tijolos foi aumentado de 140 para 152 t.
- 2) As condições térmicas da zona principal (zona II), foram melhoradas, conforme mostra o coeficiente φ , o qual no cowper atual é $\varphi = 0,475$ e passa no referido cálculo a $\varphi = 0,42$.

5. CONCLUSÕES

- 1) Cada alto forno será equipado com três cowpers, cujas marchas se inverterão de 80 em 80 minutos, para aquecimento do cowper, e de 40 em 40 minutos para aquecimento do ar.
- 2) O volume total de empilhamento sofrerá um aumento de 12,3 m³.
- 3) O peso do empilhamento será aumentado de 140 para 164 t de tijolos.
- 4) A área de aquecimento total terá um acréscimo de 112 m².

- 5) A área da secção transversal da câmara de combustão passará de 0,78 m² para 0,99 m². A sua forma, no sentido de se obter uma boa distribuição dos gases, passará de circular para oval.
- 6) Em vista da grande perda de calor pelas paredes da parte superior do cowper, é previsto o isolamento térmico em três camadas, empregando-se Superex, JM-500 e Centritex.
- 7) Atualmente, a C. S. B. M. está estudando um plano para regulação automática da combustão e relação gás-ar nos cowpers, para melhorar o rendimento térmico e diminuir a perda pela chaminé. Obter-se-á temperatura mais elevada.
- 8) Outro ponto de destaque é o comando automático dos registros. Uma operação de inversão do cowper, que deve ser executada no fim de cada semi-período, compreende a abertura de cinco registros e o fechamento de outros cinco. Se esta operação é executada manualmente requer uma duração de 4-5 minutos. Durante este tempo o gás é fechado e aberto o ar comprimido. O comando automático pode ser elétrico, hidráulico ou pneumático. Este último é mais resistente e melhor adaptado aos esforços bruscos, peculiares aos manobreadores dos autos fornos.

*

AGRADECIMENTOS

O autor externa seus agradecimentos ao Dr. Henri Meyers, Diretor Superintendente da Usina de Monlevade, que estimulou a publicar este trabalho.

BIBLIOGRAFIA

1. HELMUTH KÜHNE — *Die Grundlagem der Berechnung von Oberflächen Wärem austauscherm.*
2. W. GUMZ — *Kurzes Handbuch der Brennstoff und Feuerungstechnik.*
3. HELMUTH HAUSEN — *Wärmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom.*
4. WARMESTELLE DUSSELDORF — *Anhaltzahlen für die Warmewirtschaft.*
5. WERNER HEILIGENSTAEDT — *Wärmetechnische Rechnungen für Industrieöfen.*
6. STAHL und Eisen — *Heft 22 — 1952.*
7. MAX HOTTINGER und ALFRED IMHOF — *Wärme — Isolierung.*
8. La Metallurgie — *Aperçu sur la technique moderne du haut-fourneau.*
9. E. SCHMIDT — *Thermodynamik.*



DISCUSSÃO (1)

R. F. Azevedo (2) — Trata-se de um trabalho de grande importância para os altos fornos, principalmente quando se trata do aumento da produção ou do aumento da temperatura do ar neles soprado. É um problema que Monlevade têm e que Volta Redonda também está começando a sentir.

Temos pela frente a segunda ampliação do nosso alto forno n.º 1, e estamos nos defrontando com êsse problema de aumento da capacidade de aquecimento do ar. De modo que todos os que têm altos fornos eventualmente poderão vir a passar por essa necessidade. Estou certo de que o trabalho do Eng. Salabascheff será muito esclarecedor, pelo que queremos cumprimentar o A. pela maneira como êle o fez.

W de Moraes Andrade (3) — Queria perguntar qual é a queda de temperatura na reversão do «cowper», no início e no fim, e qual a temperatura dos gases na chaminé.

P. Salabascheff (4) — A temperatura de reversão do «cowper» durante a experiência era da ordem de 850°C no início, e de 750°C até 680°C, no fim, dependendo do volume de ar que o forno admitia. A temperatura dos gases, na chaminé, varia de 140°C até 220°C. Para êste cálculo consideramos a média de 160°C. O ar injetado na câmara de combustão é frio, tendo a temperatura de 30°C a 40°C.

W. M. Andrade — Quanto à câmara de combustão, qual é a relação entre a secção dessa câmara e a secção do empilhamento nos «cowpers» atuais?

P. Salabascheff — Nos atuais é de 8,8 e nos novos, 12.

W. M. Andrade — Sobre estas perguntas, Sr. Presidente, poderia fazer um pequeno acréscimo? O Sr. sabe que a nossa Escola de Minas de Ouro Preto têm um pequeno alto forno, talvez o menor alto forno do Brasil; é um aparelho caro, e temos trabalhado nas melhores condições possíveis. Com referência a estas perguntas poderia trazer uma comparação, esclarecer alguma coisa. A temperatura da chaminé é da ordem de 200°C, mais ou menos, portanto, é um pouco mais elevada. Já usamos ar quente para combustão. Creio que isso traz grande melhoria no rendimento do forno, no próprio ar dos «cowpers». O ar que usamos nos «cowpers» é da ordem de 700°C. Devo esclarecer que o nosso cálculo projetado é de 8 a 10 t, e estamos trabalhando com o dôbro, de 15 a 16. Já tivemos oportunidade de obter 26 t quando trabalhamos com baixo silício. Portanto, êle foi projetado para 8 a 10 t por dia de combustão. Dando o dôbro, naturalmente a temperatura do ar e do gás não poderia ser a mesma. Mesmo assim, obtemos 700°C a 720°C, e a nossa queda de temperatura é de 50°C. Fazemos reversão de meia em meia hora, em pequena temperatura de 150°C, e a rela-

(1) Contribuição Técnica n.º 419. Discutida na Comissão «A» do XV Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM e Presidente da Comissão; Diretor Industrial da Usina de Volta Redonda, da CSN; Volta Redonda, RJ.

(3) Membro da ABM; Professor da ENMM; Ouro Preto, MG.

(4) Membro da ABM; Engenheiro da CSBM; Monlevade, MG.

ção da câmara de combustão para a secção de empilhamento é de 1 para 5. Nestas condições, obtemos resultados que estou enunciando aqui e que, de certo modo, servirão para colaborar no trabalho magnífico do nosso colega, citando elementos certamente do menor «cowpers» do Brasil. O nosso forno têm dois «cowpers».

F. Fabriani (5) — O A. fala em duas zonas de empilhamento, onde a diferença de velocidade, de uma para outra, é de cêrca de cinco vêzes. Está claro que os gases esfriados diminuem de volume e a velocidade baixa. O Sr. fala em velocidade média da primeira zona e em velocidade média da segunda zona, e fornece dados de 1,7 m por segundo numa zona e 0,35 por segundo numa outra zona, quer dizer, são cinco para um; é uma velocidade cinco vêzes maior na primeira zona. Estas, parece-me, são velocidades médias de zona. Está certo?

P. Salabascheff — Essas velocidades são calculadas, nas condições normais: 760 mm Hg e 0°C.

F. Fabriani — Contudo, são velocidades médias, não?

P. Salabascheff — Exatamente.

F. Fabriani — Quando o Sr. fala em super-aquecimento, há uma variação na velocidade dos gases entre a primeira e a distribuição na segunda zona, ou êle se localiza na faixa superior dessa segunda zona, por exemplo? Faço esta pergunta apenas por curiosidade.

P. Salabascheff — Quanto a essa distribuição dos gases, a velocidade é diferente, tanto nas zonas de empilhamento, como em regiões da mesma secção transversal destas zonas. Vemos, por exemplo, na figura 9, na região mais fortemente hachurada, que a velocidade dos gases é maior do que nas outras regiões, devido à relação entre a câmara de combustão e empilhamento e também à tiragem dos gases. Os «cowpers» modernos, se fazem com duas saídas de gases, para haver boa distribuição dos gases no empilhamento.

F. Fabriani — Então, êsse super-aquecimento é localizado, vamos dizer, junto do canal de subida dos gases quentes, e não perifêricamente?

P. Salabascheff — O super-aquecimento se dá nos canais dos tijolos nas regiões da parte superior do empilhamento, onde passam mais gases quentes e menos ar. Com o empilhamento feito com tijolos do tipo atual, visto na figura 3, de furos redondos e furos quadrados, calculamos a velocidade supondo uma distribuição homogênea na secção transversal do empilhamento. Obtivemos, portanto, a média, mas as medições indicam que as velocidades variam grandemnte conforme as regiões da secção transversal. Em outros pontos, a velocidade pode chegar a 3 e até 4 m/segundo, enquanto que em outras regiões, as velocidades são muito abaixo da média calculada.

F. Fabriani — Quer dizer que nos locais onde a velocidade é menor, o super-aquecimento se dá de preferência. Seria isso?

P. Salabascheff — Justamente. Na parte superior da figura 1 há regiões onde podemos ter super-aquecimento quando os tijolos não res-

(5) Membro da ABM; Professor da Escola Nacional de Engenharia; Rio de Janeiro.

friam suficientemente durante o tempo do aquecimento do ar. Isto se dá nas regiões em que passa menos ar. Além disso, nas regiões onde a velocidade dos gases é menor, temos mais aquecimento por irradiação. Por isso sempre se faz a parte superior do empilhamento de modo a obter-se grande velocidade dos gases e do ar. Devemos evitar o superaquecimento desta parte por ser ela muito delicada e importante para bom funcionamento do aparelho.

F. V. A. Franceschini ⁽⁶⁾ — Cumprimentando o A., queria perguntar em que data foi escrito o seu trabalho?

P. Salabascheff — O nosso trabalho foi iniciado em começos de 1954 e o terminamos há três ou quatro meses.

F. Franceschini — A pergunta que fiz talvez possa parecer um pouco estranha, mas prende-se à afirmação feita de que os tijolos em empilhamento não são fabricados no Brasil. Realmente, ao que consta, êsses tijolos da figura 11 estão sendo fabricados por vários produtores nacionais e, portanto, parece esquisita essa negativa. Esta a razão da minha pergunta.

P. Salabascheff — Suponho que houve um mal entendido. O nosso estudo do empilhamento com tijolos standard foi feito para oferecer uma alternativa de execução simples e boas características térmicas. Pode ser utilizado, tanto para substituir antigos tijolos importados, como tijolos de qualidade insuficiente, e ainda oferecer a vantagem de preço reduzido.

Ivan G. Dutra ⁽⁷⁾ — Confirmando as palavras do Eng. Franceschini, posso adiantar que uma firma de São Paulo têm entregue material para «cowpers».

F. Franceschini — Gostaria de perguntar ao A. que tipo de destruição foi observado na camada superior dêsses tijolos, assim chamada camada de proteção.

P. Salabascheff — Observamos o seguinte fenômeno na parte superior dos tijolos: que êles queimam devido ao fato de serem superaquecidos e, também devido à sua baixa resistência. São observações feitas há muitos anos.

Amaro Guatimosim ⁽⁸⁾ — Notamos, nas camadas superiores dos tijolos, uma escorificação muito grande, mas é preciso dizer também que o gás não é devidamente tratado. Os aparelhos de tratamento do gás são insuficientes para as condições atuais. De maneira que há escorificação, mas, em camadas inferiores, notamos baixa resistência à compressão. Os tijolos aos quais me refiro são de empilhamento, de fabricação nacional, creio que da própria Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira.

W. M. Andrade — A êsse respeito, posso trazer um esclarecimento: há cerca de dois meses, procedemos à mudança do revestimento do nosso forno e pudemos observar, na inspeção que fizemos, que, na primeira e na última camada dos «cowpers», os tijolos estavam bastante

(6) Membro da ABM; Engenheiro da Cerâmica São Caetano; São Paulo, SP.

(7) Membro da ABM; Engenheiro da Cerâmica São Caetano; São Paulo, SP.

(8) Membro da ABM; Engenheiro da CSBM; Monlevade, MG.

queimados, bastante trincados, com um princípio de esboroamento. São tijolos de fabricação da Cerâmica João Pinheiro, de Caeté, que foram adquiridos pela nossa Escola por volta de 1942, portanto, são tijolos nacionais. O resto do «cowper» está perfeito. Aproveitando o ensejo, poderia acrescentar que o revestimento do nosso forno foi feito com tijolos da mesma fabricação, e tiveram uma duração de três anos e meio.

R. F. Azevedo — Perguntaria ao A. se há algum instrumento instalado para a medição da temperatura dos gases.

P. Salabascheff — Há um pirômetro de platina, instalado bem no tampo, mantendo uma ponta da ordem de 20 cm dentro do «cowper». A temperatura máxima é de 1.270°C. Não passamos disso, para evitar super-aquecimento.

R. F. Azevedo — Não há nenhuma correlação entre essa temperatura e a queima dos tijolos superiores? Há algum limite máximo que não deve ser excedido?

P. Salabascheff — Há o limite máximo indicado pelos fabricantes dos tijolos. Trabalhamos com margem de segurança, para evitar superaquecimento. As firmas indicam até 1.320-1.350°C, mas nós trabalhamos com 1.270°C. A respeito do super-aquecimento que observamos nos nossos «cowpers», quero explicar ao Eng. Franceschini que o nosso gás, por exemplo, contém grande quantidade de poeira. Então essa poeira do gás entra em reação com o tijolo e acelera a sua queima.