

# NOTAS SÔBRE O REVESTIMENTO DE CARBONO DO FORNO ELÉTRICO DE REDUÇÃO (DEMAG) DA USINA DE ACESITA <sup>(1)</sup>

FRED WOODS LACERDA <sup>(2)</sup>

## RESUMO

*Este trabalho foi elaborado quando o A. exercia a chefia da Divisão de Refratários da Usina de Acesita. Está aumentando no Brasil o número de fornos de redução parcialmente revestidos de refratários de carbono. Volta Redonda foi a pioneira, seguida pela Mannesmann, pela Acesita e agora pela Usiminas. Era oportuno condensar o que existe sobre o assunto, divulgando, com autorização da CAEIA, a experiência do A. no revestimento do forno elétrico de redução daquela empresa, projetado pela DEMAG.*

## 1. GENERALIDADES

J. H. Chesters comparou bem as vantagens do revestimento de carbono no alto forno, contra o de refratário sílico-aluminoso, fazendo as seguintes observações:

- A — A elevada condutibilidade térmica do carbono aumenta a eficiência do resfriamento a água;
- B — A retração do tijolo de carbono é muito baixa e
- C — A resistência à compressão dos tijolos de carbono é maior, tornando-se mais aparente em temperatura mais alta.

Um tópico bastante ventilado, além das vantagens acima descritas, prende-se à extensão da aplicação dos tijolos de carbono em um revestimento de alto forno. As primeiras

---

(1) Contribuição Técnica nº 508. Apresentada na Comissão "H" do XVIII Congresso da ABM; Belo Horizonte, julho de 1963.

(2) Membro da ABM; Engenheiro de Klabin Irmãos & Cia.; São Paulo, SP.

experiências incluíram soleiras e paredes do cadinho. Posteriormente foram variadas as espessuras da soleira, adotando-se hoje em muitas usinas a prática de construir a sola de material sílico-aluminoso, alguns afirmando haver para isto razões puramente econômicas, pois na mesma o desempenho do tijolo sílico-aluminoso, combinado com o de carbono na parede, é julgado inteiramente satisfatório. Por outro lado, a altura do revestimento na parede do cadinho foi sendo gradativamente aumentada; ultrapassa hoje a altura das ventaneiras em alguns fornos de usinas bem conhecidas.

Sobre as vantagens e extensão do revestimento de carbono, Chesters, Elliott e Mackenzie publicaram, já em 1948, no Congresso Internacional de Cerâmica, o trabalho "*Carbon brick in the hearth, bosh and stack of blast furnaces*". Nêles os autores sugeriam:

I — Que uma zona rica em  $\text{FeO}$  se forma atrás da superfície de trabalho do revestimento sílico-aluminoso do cadinho, devida à oxidação do metal entrando nos poros do tijolo. Quando o ponto de fusão desta zona torna-se mais baixo que a temperatura de trabalho, uma parte do revestimento destaca-se e assim por diante, até que o metal líquido quase alcança a chapa externa do forno, causando superaquecimento e possivelmente podendo originar um acidente mais sério. A formação da "salamandra" teria origem semelhante.

II — Com um revestimento de tijolos de carbono, a oxidação pela ação do ar ou vapor de água, quando muito, aumentaria a porosidade do interior do revestimento, enquanto que a pequena contração do carbono diminui o risco de que o tijolo venha a flutuar.

III — A incrustação era devida a uma combinação das seguintes causas: a) aderência da carga à parede do refratário; b) a ação dos álcalis no material do tijolo sílico-aluminoso e nos componentes da carga; c) a deposição de C formava pequenas protuberâncias que favoreciam a aderência da carga.

IV — Os tijolos de carbono na cuba diminuíram o risco de incrustação, pois não havendo reação com os álcalis, o produto desta reação (que é bastante viscoso) não se depositaria, como no caso dos tijolos sílico-aluminosos, provocando a aderência da carga à parede. Quanto ao ataque de  $\text{CO}_2$ , este risco seria reduzido pelo fato de que aumentando a relação de  $\text{CO}_2$ , a temperatura em toda a altura da cuba cairia.

A. Send, em Stahl U. Eisen, 71, 1361-65 (1951), comentando o trabalho acima, expressa sua dúvida sobre o sucesso

de um alto forno todo revestido de carbono, mas já confirmava a estabilidade de revestimentos menos extensos, em serviço nos fornos alemães.

W. S. Debenham, da U.S.S., em seu artigo "*Some considerations in the use of carbon refractories in blast furnaces*", Ceramic Age 52 (124-26, 1948), estava mais ou menos de acôrdo com as idéias expostas por Chesters. Em época mais recente, J. Mackenzie escreveu o artigo "*Progress in the development of blast furnace refractories*", no livro "*Ceramics Symposium*", publicado em 1953 pela Sociedade de Cerâmica Britânica e editado por A. T. Green<sup>2</sup>. Nessa publicação o autor apresenta o trabalho de revestimento de tijolos de carbono em várias usinas e alguns resultados práticos. À pág. 669 do livro citado encontra-se um desenho, mostrando tijolos de carbono situados na cuba e também a notícia de um revestimento total de carbono iniciado na primavera de 1949, do alto forno n.º 6 da The United Steel Co. Ltd., em Appleby-Frodingham, como sendo o primeiro no mundo inteiramente revestido de carbono.

Não há mais dúvida nos dias de hoje que o carbono conquistou a sua posição definitiva como revestimento adequado para o alto forno.

## 2. MATÉRIA-PRIMA E FABRICAÇÃO

Os refratários de carbono são constituídos de coque, obtido êste de antracito ou petróleo, adicionando-se 20 a 25% de alcatrão anidro. Esta descrição é genérica; os fabricantes são capazes de misturar convenientemente diversos tipos de coque (algumas vêzes pequena parte de antracito ou carvão de madeira) com alcatrões de diferentes bases, obtendo assim as melhores combinações para a fabricação que consiste em materiais extrudados, prensados ou moldados. Após o resfriamento, pois a massa é trabalhada a uma temperatura conveniente em cada caso, os tijolos ou peças são deixados alguns dias em secagem.

A queima pode ser conduzida em condições variadas<sup>3</sup>: geralmente é realizada em fornos especiais muflados; em fornos comuns, em caixas fechadas onde o refratário fica protegido da oxidação possível por coque finamente moído. A temperatura final da queima, após duas ou três semanas, raramente excede os 1.000°C.

As principais características físicas dos produtos assim obtidos são: densidade — 1,5 a 1,6 g/cm<sup>3</sup>; porosidade — 23%; resistência à compressão a frio — 800 kg/cm<sup>2</sup>; PCE — 1.700°C; contração, após reaquecimento a 1.500°C, de 0,2%. Para maiores detalhes, ver as obras das referências 4) e 5).

### 3. FORMA DOS PRODUTOS DE CARBONO E DISCUSSÃO DE SUA APLICAÇÃO

*Tijolos* — A disposição dos tijolos de carbono num revestimento não difere muito daquela realizada com tijolos sílico-aluminosos. São fornecidos em tamanhos das mesmas séries encontradas para sílico-aluminosos. Os fabricantes podem fornecer os tijolos com grande precisão de dimensões, havendo alguns que especificam (além de tolerâncias mínimas para as mesmas), que a maior variação linear dos tijolos entregues para um revestimento não seja superior a 1/8" para o comprimento, e 1/16" para a espessura. A colocação desses tijolos deve ser feita com cuidado igual ao da realizada com sílico-aluminosos.

O número de juntas é elevado em comparação com as outras formas que serão apresentadas. As juntas poderiam ser construídas de alcatrão aquecido durante o assentamento dos tijolos; o trabalho seria moroso e, a nosso ver, de difícil controle nas dimensões das referidas juntas. Usa-se comumente um cimento fornecido pelo mesmo fabricante do tijolo, constituído de coque e argila, esta em quantidade apenas suficiente ( $\pm 20\%$ ) para dar plasticidade à massa quando fôr adicionada água à mesma.

Lembrando que a cerca de 650°C o carbono começa a se oxidar em contacto com vapor de água<sup>3</sup>, verificamos que o maior cuidado diário deve ser tomado durante o trabalho de revestimento, no sentido de se usar a mínima quantidade de água nesta massa, para não haver o perigo de oxidação, mais tarde, quando o forno entrar em marcha e atingir a temperatura crítica que daria lugar à referida reação.

Quanto ao revestimento da soleira, apesar dos bons resultados obtidos durante a campanha do forno, foi sempre observado que alguns tijolos se desprendem, sendo isto verificado por ocasião da parada do forno para reparos ou novo revestimento. Mackenzie, no trabalho citado anteriormente, vai ao ponto de informar que todos os tijolos de um reves-

timento haviam se desprendido, devido principalmente à falta de amarração apropriada e a uma pequena contração em serviço, que permitiu que o tijolo viesse a flutuar no metal líquido. Este problema foi resolvido inicialmente na Alemanha com blocos de grandes dimensões, e na Inglaterra com blocos menores, porém corrugados nos lados.

Dois artigos podem ser consultados sôbre revestimentos com tijolos de carbono, ambos em "*Blast Furnace Steel Plant*", respectivamente de janeiro de 1940 e dezembro de 1953:

"Two 1500-Ton Blast Furnaces now under construction at South Works", Carnegie Illinois Steel Corporation.

"Construction and operation of carbon lining in Gary's No. 10 Blast Furnace".

*Blocos aparelhados ou usinados* — Os blocos têm, depois de prontos, as dimensões aproximadas de 50×50×50 cm. São socados em fôrmas com dimensões ligeiramente superiores a estas. Depois de queimados, são reduzidos mecanicamente às dimensões corretas.

O fabricante arma o revestimento em sêco, fiada após fiada. O recinto apropriado para isso deve, portanto, ser suficientemente largo. O piso é perfeitamente plano e horizontal (em geral forrado de chapas de ferro) onde a planta do revestimento pode ser riscada em tamanho natural. Os blocos vão sendo usinados e justapostos. Findo o trabalho de ajustagem, são identificados e relacionados. Estão prontos para ser embalados cuidadosamente e embarcados.

A vantagem inicial dos blocos sôbre os tijolos é enorme:

A — Para iniciar, na soleira os blocos são mais seguros e menos sujeitos a flutuar no banho. Isto porque o seu formato é especial. Sua forma não é a de um cubo ou paralelepípedo. Um corte transversal de uma soleira está apresentado esquematicamente na fig. 1. O primeiro bloco de cada fiada a ser colocado é o do centro. Suas faces no sentido vertical são inclinadas, convergindo num ponto acima da face superior. Sucessivamente vão sendo colocados os tijolos adjacentes, apresentando a mesma inclinação nos lados, diminuindo esta gradualmente para a periferia. Ao final a fiada terá o aspecto de um arco invertido. Esta construção torna a soleira bastante segura.

B — A extensão linear de juntas por m<sup>2</sup> de superfície exposta é bem menor que no caso de aplicação de tijolos.

C — O serviço de montagem é mais rápido, facilitado pelo maior volume unitário das peças empregadas.

D — Os blocos são montados da seguinte maneira: são individualmente aquecidos, molhando-se de alcatrão quente a superfície que vai ser posta em contacto com o bloco anteriormente colocado. As juntas assim obtidas devem ser da ordem de 1 mm.

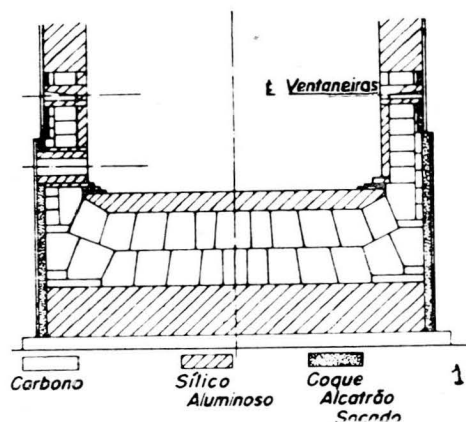


Fig. 1 — Cadinho de alto forno revestido de blocos de carbono. O texto aponta as vantagens e os inconvenientes do processo.

Contrabalancando estas vantagens, surgem os seguintes inconvenientes:

A — Maior cuidado necessário na embalagem e manuseio.

B — A organização do serviço para a entrada contínua de blocos dentro do forno que está sendo revestido torna-se fator bastante importante. A melhor disposição que conhecemos até hoje para realizar este trabalho, foi vista por nós na Usina de Intendente Câmara, da Usiminas, quando da execução do revestimento de seu Alto Forno n.º 1. Tão importante é este fator que vamos descrever a disposição adotada:

Uma viga metálica foi colocada horizontal e diametralmente dentro do forno, alguns metros acima do mais alto ponto onde deviam ser colocados os blocos de carbono. As duas extremidades desta viga estavam firmemente apoiadas na parede vertical metálica do forno. No centro desta viga, portanto no centro do forno, foi fixado um eixo vertical de 3" de diâmetro aproximadamente, dirigido para baixo da viga principal, com uns 50 cm de comprimento.

Uma segunda viga, tendo agora a metade do comprimento da viga principal, vai desempenhar o papel do raio da circunferência do forno a que já pertence a viga principal, como diâmetro, por assim dizer. Este raio não é fixo como a primeira viga, mas é capaz de girar nos dois sen-

tidos, sem limites, o que é conseguido fazendo um apoio no eixo de que falamos acima, e em tórno do qual vai girar, estando a sua outra extremidade apoiada em um consolo contínuo, periférico, que está soldado na parede vertical do forno. Este apoio final é realizado, como é fácil de imaginar, através de uma pequena roda móvel, solidária à extremidade da viga, que gira e que permite então que esta extremidade descreva a circunferência a que pertencem estas vigas.

Podemos finalizar, dizendo que nesta viga que gira, está prêsa uma talha elétrica que pode deslizar em tôda a extensão da viga pequena. É fácil conceber como se pode, com a maior facilidade, manobrar com a talha e a viga para apanhar qualquer bloco na entrada do forno e levar êste bloco a qualquer ponto onde deva ser colocado definitivamente. Desta maneira o local de trabalho está sempre desobstruído, sem o inconveniente de tripês ou outros tipos de aparelhos para locomoção dos blocos.

Uma observação necessária é que a parede do cadinho pode ser construída de blocos, ou então são empregados tijolos para a construção da mesma.

Finalizando êste item, queremos dizer que, constituindo quase a exceção, blocos maiores que os descritos acima têm sido executados. Na usina de Buffalo (NY, USA), da Republic Steel Co., vimos um desenho de cadinho composto de blocos de até 5.000 kg de pêso. Êstes blocos tinham sido empregados num dos últimos revestimentos de um alto forno daquela usina. A informação que obtivemos foi em completo desfavor de um revestimento feito em blocos tão grandes. A dificuldade de transporte só foi superada pela dificuldade de entrar com os mesmos no interior do cadinho, sem que houvesse uma vantagem substancial na vida do revestimento.

*Blocos de faces laterais corrugadas* — Como vimos, os tijolos são suscetíveis de se desprenderem da soleira. Mostramos uma solução em que os blocos formavam um arco invertido; uma segunda solução empregada é a seguinte: blocos com as mesmas dimensões aproximadas que os anteriores são usados (50×50×50 cm); duas faces opostas verticais são corrugadas. Começando-se o assentamento dos blocos, tôdas as juntas em um sentido pertencem aos lados corrugados. No sentido perpendicular a estas juntas estão as juntas das faces lisas.

As faces corrugadas impedem o deslizamento vertical dos blocos entre si. Um detalhe aumenta mais a eficiência dêste sistema: alguns blocos são mais altos e penetram na camada dos blocos superiores. Há assim um perfeito siste-

ma de amarração dos blocos entre si. Êstes blocos são assentados independentemente da parede. O espaço entre as duas construções é preenchido com uma mistura de coque e alcatrão, socada.

Como último detalhe de importância, resta mencionar que êstes blocos têm sido ultimamente colocados em sêco, sem nenhum cimento ou outro qualquer material nas juntas. Como no caso precedente, o restante do revestimento do forno pode ser também executado com os blocos radiais do item anterior, ou então com tijolos de carbono. A fig. 2 esclarece a disposição dos blocos corrugados empregados na soleira.

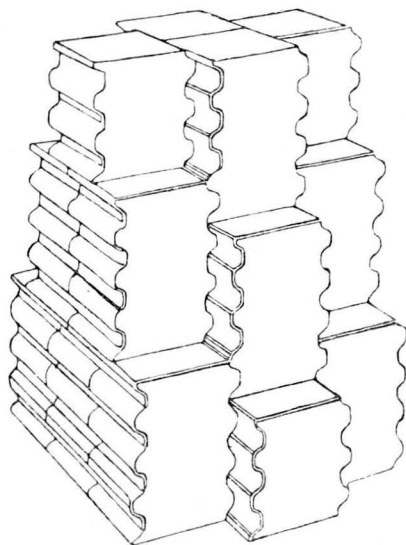


Fig. 2 — Blocos de carbono com duas faces verticais opostas corrugadas, para revestimento de soleira de alto forno. Essa disposição impede seu desprendimento.

2

*Revestimento monolítico* — Temos tido informações de que tal revestimento está sendo feito, sem obtermos ainda dados concretos sôbre duração, etc. Em fonte já citada<sup>2</sup>, a opinião é de que, sendo a mais fácil maneira de executar o revestimento, na prática os resultados são menos satisfatórios, uma vez que um bloco de mistura de coque e alcatrão socados, porém sem ser queimados, não pode ser mecânicamente forte nem ter volume estável como um bloco que é primeiro queimado para depois ser usado. Há, portanto, o problema de trincas, que permitem a penetração fácil de metal líquido.



*Material extrudado* — R. Maire<sup>6</sup>, estudando a prática de revestimentos de carbono na Europa e nos Estados Unidos, dá conta de que na França blocos extrudados de grandes dimensões (até 3 m de comprimento e secção de 60×60 cm) estão sendo feitos. Êstes blocos são depois queimados.

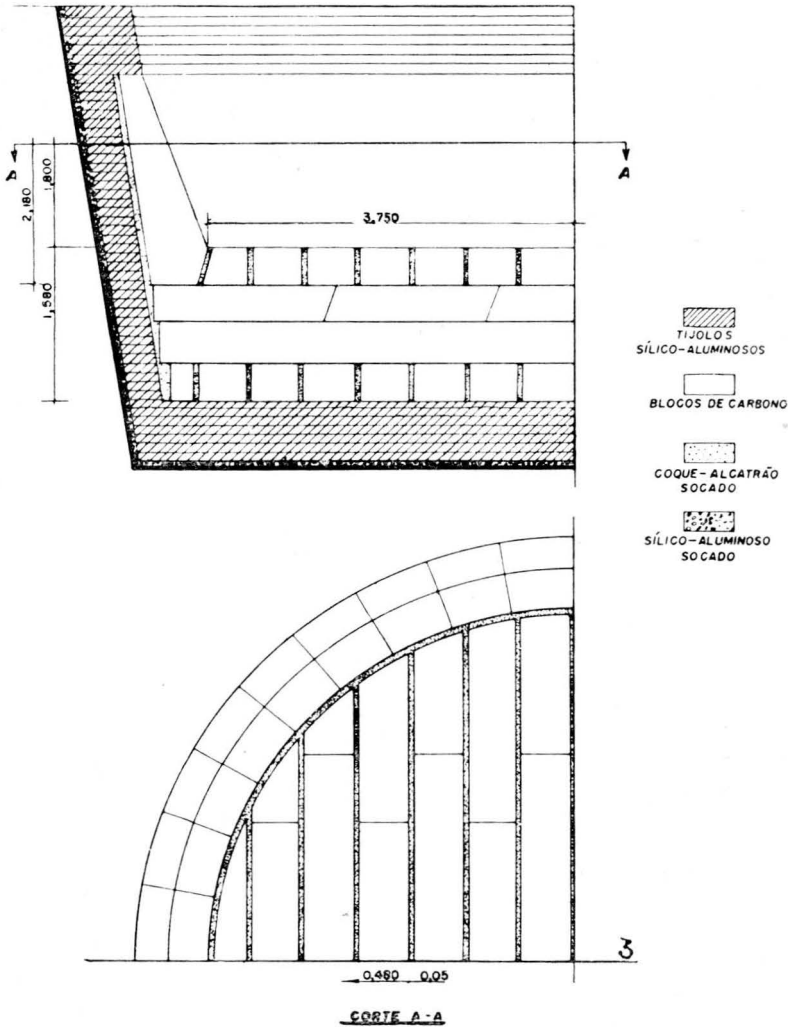


Fig. — Desenho esquemático do revestimento de blocos de carbono do forno elétrico de redução da Companhia Aços Especiais Itabira "ACE-SITA". Distinguem-se duas partes no revestimento silico-aluminoso: o em baixo das fiadas da soleira e o na retaguarda da parede de carbono.

#### 4. REVESTIMENTO DO FORNO ELÉTRICO DE REDUÇÃO DE ACESITA

*Características gerais do revestimento* — Apresentamos a fig. 3, bastante esquemática; estão mostradas uma parte da secção vertical e, em planta, um corte de uma das fiadas da soleira. As dimensões do revestimento estão indicadas. Distinguem-se ali duas partes no revestimento sílico-aluminoso: por baixo das fiadas da soleira e na retaguarda da parede, esta de carbono.

*Marcha do serviço de revestimento* — A camada abaixo da soleira de carbono foi muito bem construída. Tijolos de dimensões bem controladas, principalmente na espessura, garantiram que a última superfície (a que seria posta em contacto com o carbono) fôsse bem horizontal e plana. A responsabilidade do refratário sílico-aluminoso ali é bem pequena, embora as condições acima tenham de ser estabelecidas durante a construção para evitar recalques futuros. Em suma, não há nenhuma diferença se compararmos êste início de serviço com o que é feito normalmente para o revestimento comum do alto forno.

*Preparação para o assentamento de blocos de carbono* — A superfície de tijolos sílico-aluminosos foi inteiramente coberta de chapa de 1,5 mm. A função desta vedação seria a de evitar, durante o aquecimento inicial do forno, que o vapor de água que iria se desprender da alvenaria sílico-aluminosa tivesse a menor chance de entrar em contacto direto com o carbono. A 10 cm abaixo do nível desta cobertura, são feitos furos na chapa externa do forno, por onde êstes vapores terão saída. A rigor, êstes furos devem depois ser fechados.

*Equipamento e instalações necessárias* — Sòmente mencionaremos aquilo que, especificamente, se tornar necessário para o revestimento de carbono:

A — Para a entrada dos blocos e sua movimentação no interior do forno, executamos instalação semelhante à que está descrita anteriormente. A colocação das vigas confere grande simplicidade à movimentação dos blocos. Para pendurá-los, usamos pinças de dimensões adequadas, robustas, dotadas de duas pontas bem afiadas. O dano causado pela penetração destas pontas (apenas 2 cm) nas faces laterais dos blocos é nulo.

B — Os blocos deviam ter suas superfícies de contato bem aquecidas para serem molhadas com alcatrão também quente. Como os blocos eram muito grandes, a melhor disposição encontrada foi a seguinte:

Externamente, mas perto da entrada do forno, os blocos eram colocados sobre cavaletes. Logo abaixo destes estava uma caixa larga de chapa, cheia de carvão acêso e continuamente renovado. Após um período conveniente (uma média de meia hora para cada bloco), eram levados para o interior do forno. Para manter os mesmos aquecidos durante o trajeto e mesmo dentro do forno até a colocação final, dispúnhamos de bujões de gás engarrafado, munidos de mangueira de borracha e pequenos queimadores portáteis.

Blocos menores, de  $50 \times 50 \times 50$  cm podem ser aquecidos diretamente por estes queimadores,

C — Para assentar os blocos, deve ser usado um "macete" pesado de madeira. Este não causa dano ao bloco, permitindo que as pancadas vibradas façam com que o bloco assente bem na superfície horizontal.

D — Para conseguirmos juntas verticais da ordem de 1 mm, usamos macacos hidráulicos, dos que são encontrados comumente para levantar caminhões, etc., variando a capacidade destes de 2 a 5 t. Os blocos já assentados vão sendo travados até o final da fiada, de acordo com a disposição a seguir, para poder receber a força que será transmitida a eles pela pressão dos macacos, sem sair do lugar definitivo em que já estão. O excesso de alcatrão é expulso para fora da junta, resultando disso uma boa aderência dos blocos.

E — Um esmeril de chicote também é necessário. Terminada uma fiada, as protuberâncias são retiradas, para que a fiada seguinte possa ser bem assentada.

F — Alguns socadores a ar comprimido, de tipo semelhante ao usado em fundições, completam o equipamento extra necessário. Destinam-se a socar o material de enchimento, seja o material sílico-aluminoso ou de carbono (este colocado nas juntas especiais que serão mencionadas adiante).

*Sistema de juntas da soleira de tipo especial* — Deixamos para comentar agora uma outra técnica de assentamento da soleira, justamente porque foi a empregada no forno de Acesita. Na Europa e Estados Unidos algumas usinas são a favor de juntas verticais largas e feitas de material socado. A justificação dada para esta prática é que uma junta bem socada oferece mais certeza de estanqueidade do que uma junta constituída de alcatrão, embora feita com todo o cuidado. No nosso caso, a DEMAG recomenda este tipo, o qual foi adquirido da Savoie (França).

Vamos descrever a operação de assentamento (soleira):

A fiada é constituída de blocos alongados, variando de 1 a 2 m de comprimento, e secção quadrada de  $50 \times 40$  cm. As faces laterais são providas de dois sulcos longitudinais de 2 cm de profundidade. A superfície de baixo é aquecida, molhada de alcatrão quente e o bloco é batido no lugar com energia.

O bloco colocado ao lado, está afastado 5 cm, ficando pois a fiada disposta com várias destas juntas contínuas e longitudinais. Depois de colocados todos os blocos, são estes travados no lugar, iniciando-se a socagem das juntas. O aquecimento local é feito agora com os queimadores portáteis. A massa aquecida (mistura de coque e alcatrão) vai sendo comprimida no lugar com os socadores a ar comprimido. Uma pequena adição de argila refratária torna esta massa ligeiramente expansiva quando submetida à temperatura de trabalho, garantindo assim o apêrto necessário dos blocos, durante a campanha do forno. Estes blocos são cruzados de uma fiada para a outra.

*Parede do forno* — A parede do forno de Acesita é bem peculiar: — 36 blocos de 2,20 m de altura, são colocados em uma circunferência, em pé, formando a parede do cadinho. Existem, portanto, somente juntas verticais e a horizontal da base. Na posição normal de assentamento, um destes blocos é inclinado para trás, conforme se pode ver no desenho. As suas duas faces laterais não são paralelas, antes formam um ângulo que permite que todos os blocos se disponham numa circunferência igual à do diâmetro do forno. São blocos radiais.

Estando o primeiro bloco colocado em posição, foi bem travado no lugar, permitindo que os outros fôssem sendo sucessivamente colados, bem apertados pelos macacos hidráulicos e em seguida travados. Dois blocos vêm prontos com um rasgo vertical e vão dar passagem ao gusa, por ocasião de cada corrida. Atrás de todos os blocos, fica um material socado entre o carbono e o tijolo sílico-aluminoso (este formando uma camisa anteriormente colocada). À medida que o material vai sendo socado as travas vão sendo retiradas.

É desnecessário frisar que a marcação para a colocação desses blocos tem de ser muito boa, pois o último bloco tem de se ajustar o mais perfeitamente possível dentro do anel formado. Na realidade há uma pequena tolerância, podendo o último bloco ficar um pouco para trás ou para a frente (1 cm no máximo) no sentido do raio, se o anel que vai se formando tiver a tendência de apertar ou diminuir o raio, respectivamente. Se o serviço fôr sendo verificado constan-

temente, pequenas correções vão sendo introduzidas e termina-se o anel em perfeitas condições.

*Problemas e precauções* — A — Como dissemos, não houve problemas quanto à movimentação de blocos. Houve, entretanto, um acidente sem maiores conseqüências, quando um bloco soltou-se da pinça. O perigo do acidente, somado à possibilidade de perder a peça, justificam uma permanente inspeção das pinças e sua substituição quando fôr necessária. Não elevar demasiadamente os blocos é também uma boa medida.

B — Grande cuidado deve ser exercido na marcação do serviço a executar. Os níveis devem estar todos indicados, de preferência na superfície interna da chapa da parede do forno, assim como as direções das fiadas e outros pontos de amarração. À medida que o serviço avança, devem ser feitas constantes verificações porque, mal travados e embora colocados no lugar certo, constituem um problema. A pressão dos macacos hidráulicos é bastante suficiente para garantir juntas perfeitas, mas também pode empurrar algum bloco para fora da posição, caso esteja em falso. Isto pode acontecer com grande lentidão; percebendo-se os seus efeitos muito tarde se não forem feitas constantes verificações que permitam corrigir esta movimentação ainda em tempo, evitando assim a necessidade de ter que desmanchar o serviço.

C — Na colocação dos blocos, há sempre o risco da superfície vir a esfriar. A junta, neste caso, não fica satisfatória. Nos primeiros dias tivemos êste problema a enfrentar. Alguns blocos tiveram de ser retirados, aquecidos, raspados e colocados de novo. Realizando esta retirada, pudemos constatar que a junta, além de grossa, ficava falhada.

*Acabamento* — É comum ver-se um revestimento de carbono, antes de entrar em serviço, ser coberto por um revestimento sílico-aluminoso de pouca espessura. Isso tem duas finalidades: o impacto das primeiras cargas não danifica o revestimento de carbono; proteção inicial contra a oxidação. Êste refratário desaparece em serviço. O forno de Acesita não necessitou desta proteção, por se tratar de um forno elétrico de redução.

Conforme se vê no desenho, acima dos blocos da parede seguem algumas fiadas de sílico-aluminoso; somente sujeitos à abrasão da carga, não sofrem grandes efeitos de temperatura.

## REFERÊNCIAS

1. J. H. CHESTERS — *Recent progress in refractories*. VI Revista "Ceramic Age", 55, 24-27 (agosto, 1950).
2. CERAMICS, A SYMPOSIUM — Sociedade de Cerâmica Britânica — Editado por A. T. Green, 1953.
3. CARBLOX LIMITED — New Tunnel Kilm — Revista "Ceramics", agosto 1952.
4. C. L. MANTELL — *Industrial Carbon*. Van Nostrand, New York, 1946.
5. I. E. CAMPBELL — *High Temperature Technology*. J. Wiley, New York, 1956.
6. Revista *Silicates Industriels* — Marco, 1954.



## DISCUSSÃO

**H. Kleinheisterkamp** (1) — Temos na Mannesmann dois fornos elétricos de redução do mesmo tipo, projetados também pela DEMAG. Nos 7 anos de operação estamos ganhando experiência, principalmente com referência ao revestimento de carbono. Seria muito interessante que o Dr. Woods Lacerda pudesse relatar posteriormente, de maneira explicativa, os resultados dos trabalhos que nos mostrou. Esperamos que os cuidados que êle tomou trarão ótimos resultados na duração do primeiro revestimento. Abrindo a discussão, eu desejo fazer uma pergunta. Talvez não tenha entendido bem, mas os blocos, especialmente os da parede, receberam um aquecimento antes de aplicar-lhes o alcatrão? Houve um pré-aquecimento?

**F. W. Lacerda** (2) — Os blocos foram aquecidos fora do forno, em cima de uma fonte de calor, que envolvia cada bloco e êste aquecia por inteiro. A superfície quente era colocada contra a outra do bloco que já estava assente e era mantida quente por meio de maçarico de gás. Entre êsses dois é que ia o alcatrão. O bloco saía a mais ou menos 60°C. Antes de serem usados ficaram estocados num galpão bem sêco. Quebrando-se um dêles, numa parte não essencial e analisada no laboratório para verificar-se a porosidade, nos pareceu que estava suficientemente sêco, mesmo não tendo sido controlado o teor de umidade.

**H. Kleinheisterkamp** — As opiniões sôbre a umidade dos blocos de carbono são divididas. O senhor mencionou o ponto de vista de um engenheiro da Mannesmann, da Alemanha. Quando revestimos nosso alto forno o especialista enviado pelo fornecedor dos blocos de carbono, frisou muito a necessidade de controlar-se a umidade. Retirados do estoque, tal como o senhor se referiu, o citado técnico achou indispensável secar-se os blocos durante várias semanas a cêrca de 100°C. Per-

(1) Membro da ABM e Presidente da Comissão "H"; Diretor Industrial da Cia. Siderúrgica Mannesmann — Belo Horizonte — Minas Gerais.

(2) Membro da ABM e autor do trabalho; Engenheiro de Klabin Irmãos & Cia. — São Paulo — SP.

guntaria ainda: Quanto tempo os blocos ficavam em Acesita, sob o calor do pré-aquecimento?

**F. W. Lacerda** — No mínimo, meia hora.

**H. Kleinheisterkamp** — Então era só uma preparação superficial antes de usá-los. Qual a mistura com que estas juntas largas da soleira eram feitas?

**F. W. Lacerda** — Darei detalhes, porque a pergunta é importante. Esta mistura é composta de coque e de uma pequena porção de argila, que confere à massa um certo grau de expansão, a qual vai apertar bem os blocos. Sempre é possível uma pequena contração dos blocos de carbono; a expansão dessa massa tem a finalidade de compensá-la. A massa antes de ser estocada foi aquecida a temperatura não muito elevada. As juntas largas foram aplicadas apenas na soleira, e como mostrei, nas verticais. Seria difícil colocar os blocos e as juntas horizontais.

**H. Kleinheisterkamp** — Creio que o sistema de montagem que adotaram facilitou muito a colocação dos blocos de carbono, porque é difícil o trabalho de assentamento de blocos dessas dimensões, com superfícies polidas que tenham de entrar em contato entre si, sem qualquer espécie de enchimento. Relevo notar que êsse sistema foi aplicado aqui a conselho da DEMAG. Seria muito interessante, depois da primeira campanha, verificar-se o resultado dêsse método. Os senhores aplicaram uma espécie de pasta carbônica, que eu, pessoalmente, estou convencido ser o tipo ideal. Na Alemanha, após a última guerra, fizemos muitas experiências com pastas à base de magnesita e sílico-aluminosa. Os resultados, anteriormente não previstos, só apareceram depois de alguns anos de lutas amargas. Acho que a massa carbônica deveria ser mais utilizada para dar lugar a revestimentos monolíticos.

**F. W. Lacerda** — Na minha opinião, talvez o processo pudesse progredir da seguinte forma: ganharmos experiência com blocos e, num estágio mais avançado, tentar um dêsses revestimentos.

A única dúvida que tenho é que as juntas facilitam muito a colocação dos blocos, mas a secagem é uma operação que tem de ser verificada com muito mais cuidado do que nos outros processos. A secagem atrás da camisa sílico-aluminosa não tem grande responsabilidade; mas nessas juntas da soleira, fiada por fiada, tem que se verificar se a junta não foi socada seca e se a massa não vai se desprender. Assim a secagem é de grande responsabilidade. Para confecção da parede do cadinho com material monolítico é preciso que a usina já tenha prática. É necessário passar primeiramente pelo revestimento com blocos, para depois tentar o monolítico.

**H. Kleinheisterkamp** — Há anos vi na usina da Falck, na Itália, onde possuem 9 fornos de redução de vários tipos e idades, onde as soleiras são exclusivamente socadas, revestimentos monolíticos. Permanece sempre uma dúvida: Como queimar estas paredes tão espessas de modo a evitar-se a formação de camadas? Porque, ao aplicar o sistema, pode ocorrer que só a superfície seja bem queimada.

**F. W. Lacerda** — Acredito que será mais fácil resolver isto com a expansão de cada usina. Uma usina com apenas um forno, faz experiências restritas, mais parcimoniosas. Uma outra com 4 ou 5 fornos já tem maiores possibilidades, porque supondo que um revestimento venha a falhar, a retaguarda da produção estará sempre garantida pelos outros fornos.

**Dietrich Witt** (3) — Perguntaria: Que tipo de piche foi usado nas juntas?

**F. W. Lacerda** — Usamos o piche alcatrão de Volta Redonda 145. Nosso trabalho foi muito facilitado depois que o Eng. Hans Schlacher publicou em «ABM-Boletim» uma contribuição sobre o piche que usava em Monlevade, dando curvas de destilação. E nós procuramos utilizar o mesmo material (\*).

**W. S. Emrich** (4) — Queria saber se o senhor já recebeu essa massa preparada pelo fabricante ou se a preparou aqui mesmo.

**F. W. Lacerda** — Recebemo-la já preparada. Entretanto, sabíamos que ela continha uma parte de argila para permitir um certo grau de expansão, a fim de compensar uma possível contração dos blocos. A massa foi socada «in natura», não foi misturada com piche.

**W. S. Emrich** — Quanto às solas plásticas, são usadas na Itália, não só na Falck, como também na Aosta. Têm o cuidado de protegê-las no início, com uma camada de gusa, que ao fundir-se formará um banho metálico, permitindo, assim, uma distribuição uniforme de calor.

**F. W. Lacerda** — Isso nunca vi. Nos Estados Unidos tive oportunidade de verificar — e está dito no meu trabalho — que eles usam blocos muito maiores, de até 5 toneladas.

**H. Kleinheisterkamp** — Srs. Congressistas, permitam-me interromper os debates para cumprimentar o Dr. Hermann Walde, Diretor da Demag-Elektrometallurgie, que neste momento nos visita. A Demag-Elektrometallurgie que o Dr. Walde dirige, é uma das poucas firmas mundiais que goza da fama de dominar o campo da eletrometalurgia e que tem executado projetos não só para a Mannesmann, como também para a Acesita e outras usinas nacionais. Juntemos nossos esforços aos dos construtores para aprimorar os fornos de redução que são de grande interesse para o desenvolvimento da siderurgia nos próximos 10 a 15 anos.

**F. A. Franceschini** (5) — O autor disse que a adição de argila refratária teria a finalidade de tornar expansiva essa massa. A não ser que seja argila de baixo ponto de fusão, é estranha a afirmativa. Será que o senhor tem mais alguma informação a respeito? Essa massa não foi estudada?

**F. W. Lacerda** — Não, porque tínhamos a preocupação de terminar o forno dentro de determinado tempo, e já estávamos apertados com o nosso cronograma de trabalho. Havia interesse no conhecimento dos elementos da massa, mas, a par de não termos na Acesita um laboratório bastante aparelhado para essas análises, tínhamos pressa em

(3) Membro da ABM; Engenheiro da Cia. Siderúrgica Nacional — Volta Redonda — RJ.

(\*) H. Schlacher e A. Kranje — “Dolomita calcinada e piche como matérias primas para os revestimentos dos conversores L-D em Monlevade”; “ABM-Boletim”; volume 18, pág. 243.

(4) Membro da ABM e Engenheiro da Cia. Siderúrgica Mannesmann — Belo Horizonte — MG.

(5) Membro da ABM e de seu Conselho Diretor; Engenheiro e Diretor Técnico da Cerâmica São Caetano S.A. — SP.



concluir a montagem do forno. Entretanto, acredito que na usina exista uma pequena quantidade da referida massa, para eventuais análises.

Sabíamos, apenas, que ela tem adição de argila de refratariedade bastante alta. Esse fato também está amparado na literatura que indica para massas desse tipo a necessidade de argilas expansivas, porque as juntas tão largas estariam sujeitas a permitir que o revestimento falhasse, pois, embora os blocos sejam grandes, estão desprotegidos dos lados. O bloco do centro está encunhado, mas o que está a seu lado nada tem que o segure, de maneira que é preciso que a massa seja bem socada e tenha propriedades de conferir algum apêrto. Por isso, seguimos a prática de socar muito bem o centro, travando bem os blocos e depois ir socando para a periferia; é uma garantia de que o centro ficará bem firme.

**F. A. Franceschini** — No caso, a finalidade da argila está em contradição com as características básicas da argila refratária. A não ser que houvesse adição de outros elementos.

**F. W. Lacerda** — O senhor fez um reparo que talvez me ajude a encontrar a solução do problema. A expansão, mesmo que fôsse pequena, seria da mesma ordem de grandeza da do carbono. O bloco não teria contração tão exagerada. De maneira que uma coisa estaria ligada a outra. No início, o grande medo que se tinha dos tijolos era a contração e a possível flutuação de uma dessas peças. No entanto, várias usinas utilizam sola feita desse material e, aparentemente, algumas dificuldades foram também superadas pelos fabricantes, que hoje aprenderam com a experiência a projetar misturas para esses tijolos, de modo a que conservem grande uniformidade. Os tijolos têm forma correta e uniforme; uma pequena contração que ocorra é superada pelo bom assentamento dos blocos, que têm uma superfície vertical e um atrito que não permitem que sobrenadem facilmente.

**F. A. Franceschini** — Outra pergunta é sobre a massa utilizada atrás dos blocos de carbono.

**F. W. Lacerda** — É a mesma, que também se emprega atrás dos tijolos silico-aluminosos.

**H. Kleinheisterkamp** — Seria interessante mencionar que, o nosso forno de redução n.º 2, iniciou uma campanha em novembro de 1960, com uma soleira feita exclusivamente de tijolos silico-aluminosos e trabalhou até há poucos dias produzindo 94.500 t em 5.469 corridas. A soleira foi praticamente toda desgastada, restando apenas duas fiadas de chamotte sobre a chapa do cadinho. As paredes revestidas com blocos de carbono originais sofreram também um desgaste na linha de escória, razão que nos obrigou a parar o forno. Pretendemos relatar no próximo Congresso da ABM nossas novas experiências sobre o assunto. Entre os técnicos, como o Dr. Waldyr Emrich, existem opiniões divergentes se a soleira deve ser feita de blocos de carbono, de massa carbônica socada ou então, de chamotte. No próximo ano poderemos dizer mais alguma coisa a respeito.

**F. W. Lacerda** — Realmente, neste assunto as opiniões são muito divididas. A maior parte das usinas que usaram solas silico-aluminosas, argumenta que, mesmo com a formação de impurezas, não existe necessidade de usar carbono. Outros acham que o carbono é ideal.

**W. S. Emrich** — Depende do tipo do forno, da escória e do gusa com que se trabalha.

**F. W. Lacerda** — Acho que assim está melhor, porque dizer que só por motivos econômicos a soleira pode ser esta ou aquela, é arriscado. Uma usina pode obter bons resultados com a sílica-aluminosa e outra pode vir a arrasar com essa soleira.

**F. A. Franceschini** — Que tipo de sílica-aluminosa foi usado pela Mannesmann?

**W. S. Emrich** — Tijolos São Caetano, tipo SAAA.

**H. Kleinheisterkamp** — Esses 60 cm de espessura de sílico-aluminosa que estão debaixo das camadas de carbono têm grande importância. Observamos, em várias campanhas de nossos fornos que os blocos carbônicos colocados com tanto empenho, em pouco tempo são consumidos na parte central do forno independentemente da análise do ferro gusa. Julgo que, trabalhando-se com gusa de 4,2 de C não se poderia evitar esse desgaste da soleira no triângulo ativo do forno. Pergunto ao autor como foi prevista a dilatação nas 7 ou 8 fiadas de tijolos sílico-aluminosos? Com que juntas, juntas opostas?

**F. W. Lacerda** — Só numa parte externa da fiada utilizamos juntas opostas, o que é muito importante.

**F. A. Franceschini** — Desde que uma das grandes vantagens do carbono é a condutibilidade térmica, essa parede mista de carbono e sílica-aluminosa envolve uma certa incoerência. Queria ter uma explicação a respeito.

**F. W. Lacerda** — Tenho visto na literatura, que existem vários critérios para o estabelecimento da espessura do carbono do forno de redução. Há um trabalho em que alguns índices são fixados pela United States Steel. Hoje em dia os revestimentos de carbono podem ser feitos até com dimensões de 9". Existem alguns exageros a respeito. Mas, no caso desse forno, em que as dimensões do seu perfil são um pouco diferentes, gostaria que um especialista respondesse a pergunta. Em parte, acho que o senhor está com a razão.

**H. Kleinheisterkamp** — Tenho para a pergunta uma razão plausível. Aqui se trata de um revestimento de tijolos sílico-aluminosos. Notamos que depois de 2 anos de campanha infiltra-se no revestimento um pouco de ferro e forma-se entre o carbono e a camisa sílico-aluminosa blocos bem grandes que entrariam em contato com o chamote socado ou mesmo com a couraça do cadinho se não tivéssemos a camada de proteção de tijolos sílico-aluminosos. Acho que é impossível assentar-se os blocos de carbono de modo que as juntas se fechem completamente e então, havendo infiltração, provoca-se uma reação para a qual não achamos ainda explicação. Talvez seja uma condução elétrica. Mas o senhor tem razão; um melhor escoamento de calor, isto é, uma melhor condutibilidade para fora, seria muito vantajosa para manter o perfil do forno. Observamos que na campanha do nosso forno n.º 2, anteriormente referida, alguns blocos originais de carbono poderiam perfeitamente trabalhar mais 2 anos. No fim da campanha constatamos que o perfil do forno apresentou uma forma toda especial.