

# AS INSTALAÇÕES DE REDUÇÃO DA SIDERURGIA NACIONAL



Fig. 1 — Aspecto geral da Siderurgia. À esquerda, Alto-Forno e à direita, ao fundo, Sinterização

## 1 — Introdução

A primeira operação do processo metalúrgico numa Siderurgia integrada, como é o caso da «Siderurgia Nacional», é a obtenção de gusa por redução dos minérios de ferro.

Existem diversos agentes redutores e correspondentemente, uma variedade de processos para a redução dos minérios, alguns deles com aplicação industrial, mas que nem sempre conduzem à obtenção da chamada gusa.

O processo adoptado pela Siderurgia Nacional para a redução dos minérios foi o do Alto-Forno que utiliza como agente redutor o coque. Este processo, no qual se baseia mais de noventa por cento da produção de aço laminado no mundo, é, ponderadas as dimensões da instalação a construir e os condicionalismos de ordem regional, aquele que reúne um conjunto de factores mais favoráveis que se irão reflectir sem dúvida, num mais baixo preço de custo do produto acabado.

A instalação do Alto-Forno está prevista no seu esquema inicial para a produção de 220 000 t/ano de gusa líquida e em escalões ulteriores, a produção subirá ao equivalente de 1 000 000 t/ano de produtos laminados acabados, pela implantação de mais três Altos-Fornos com as dimensões do já existente.

## 2 — Matérias primas

### 2.1 — MINÉRIO

É a sua existência em solo português que determinou a viabilidade numa indústria siderúrgica nacional.

Os principais jazigos de minério de ferro em Portugal são:

Vila Cova    Moncorvo    Orada    Cercal

e ainda os resíduos lexiviados da ustulação das Pirites, matéria-prima do fabrico do ácido sulfúrico.

A privilegiada localização da Siderurgia Nacional dotada de acesso marítimo, permite-lhe, em fase ulterior, e a fim de evitar o esgotamento das reservas metropolitanas, recorrer aos excelentes minérios das nossas províncias ultramarinas de Angola e da Índia, já hoje consumidos nos grandes centros siderúrgicos mundiais.

O minério de Vila Cova constitui a base, em matérias-primas, da Siderurgia do Marão pelo que não será aqui considerado. As reservas prováveis dos minérios metropolitanos são:

Moncorvo	$250 \times 10^6$ t
Orada	$2 \times 10^6$ t
Cercal	$20 \times 10^6$ t
Pirites	$10 \times 10^6$ t

as localizações dos jazigos estão indicadas no mapa anexo. As análises químicas são as indicadas no quadro seguinte.

Consideram-se como elementos que valorizam o minério o teor em ferro e o teor em manganês, devendo no entanto tomar-se em consideração o tipo de óxido de ferro, ou seja o estado de combinação do ferro com o oxigénio. São elementos perniciosos dum minério o enxofre, o cobre acima de determinados teores, o zinco, o chumbo, o arsénio e o fósforo se se tomar em consideração o tipo de gusa que se pretende produzir.

Constituem a ganga do minério os óxidos, dificilmente redutíveis que após fusão e combinação química dão origem à escória. A composição química duma escória de alto-forno tem uma influência determinante não só sobre a marcha do forno como também na qualidade metalúrgica da gusa produzida. Considera-se como mais adequada, uma escória em que a relação dos óxidos de carácter básico sobre os óxidos de carácter ácido, seja ligeiramente superior à unidade. Assim

$$P = \frac{OCa + OMg}{Al_2O_3 + SiO_2} = 1,1$$

sendo  $p$  designado por índice de basicidade da escória. Desta relação se deduz que um minério é tanto mais apreciado quanto mais o índice de basicidade da sua ganga se aproximar do valor 1,1 acima mencionado, independentemente de considerações sobre o volume de escória que se obtém por tonelada de minério.

## 2.2 — FUNDENTES

Tomam esta designação os produtos que se adicionam à carga de minérios, a fim de suprir a deficiência em óxidos de carácter básico ou ácido na ganga do minério. No caso da carga de minérios o leito de fusão previsto para o alto-forno da Siderurgia Nacional, a predominância de constituintes da ganga de carácter ácido sobre os de carácter básico, determina uma adição dum fundente básico para satisfazer um índice de basicidade de  $p=1,1$ . Este fundente de carácter básico será constituído pelas castinas e dolomites da região da Arrábida.

A análise química é respectivamente a seguinte:

	Castina %	Dolomite %
$SiO_2$	1,5	0,2
$Al_2O_3$	1,3	0,2
$OCa$	58	32
$OMg$	0,8	20
$O_2Fe_2$	0,4	0,5

## ANÁLISES QUÍMICAS DOS MINÉRIOS

	Moncorvo	Orada	Cercal	Cinzas de Pirite		Angola	Goa
				Purificadas	Não purificadas		
Humidade	1,5%	1,5%	1,5%	12%	12%	2	2
$Fe$	50	50	44	61	57	67	58
$Mn$	0,1	0,2	8	—	—	0,1	0,4
$SiO_2$	21	12	12	6	7	2	3
$Al_2O_3$	3,5	1	1	1,5	3	0,4	6
$OCa$	0,2	4	0,2	0,4		0,1	0,1
$OMg$	0,1	8	0,2	0,4		0,1	0,1
$P$	0,5	0,02	0,2	0,01	0,01	0,02	0,03
$S$	0,05	0,2	0,2	0,4-0,6	3,5	0,05	0,1
$Cu$				0,1	0,7		
$Zn$				0,25-0,45	3,0		
$Pb$				0,35-0,65	1,2		
$As$				0,06	0,06		

## 2.3 — COQUE

É a matéria-prima que fornece o agente redutor, o carbono. Desempenha ainda um segundo papel muito importante como agente térmico fornecendo o calor necessário à consumação do processo metalúrgico.

O coque obtém-se a partir da destilação seca do carvão. O carvão coqueficável obedece a uma determinada composição química e petrográfica sendo determinante na primeira, o teor em matérias voláteis que deve oscilar entre 18% e 22%. São considerados acompanhadores indesejáveis, o enxofre e a ganga a que se dá o nome de cinzas por constituírem o resíduo da calcinação do coque.

No coque de alto-forno há dois aspectos a considerar:

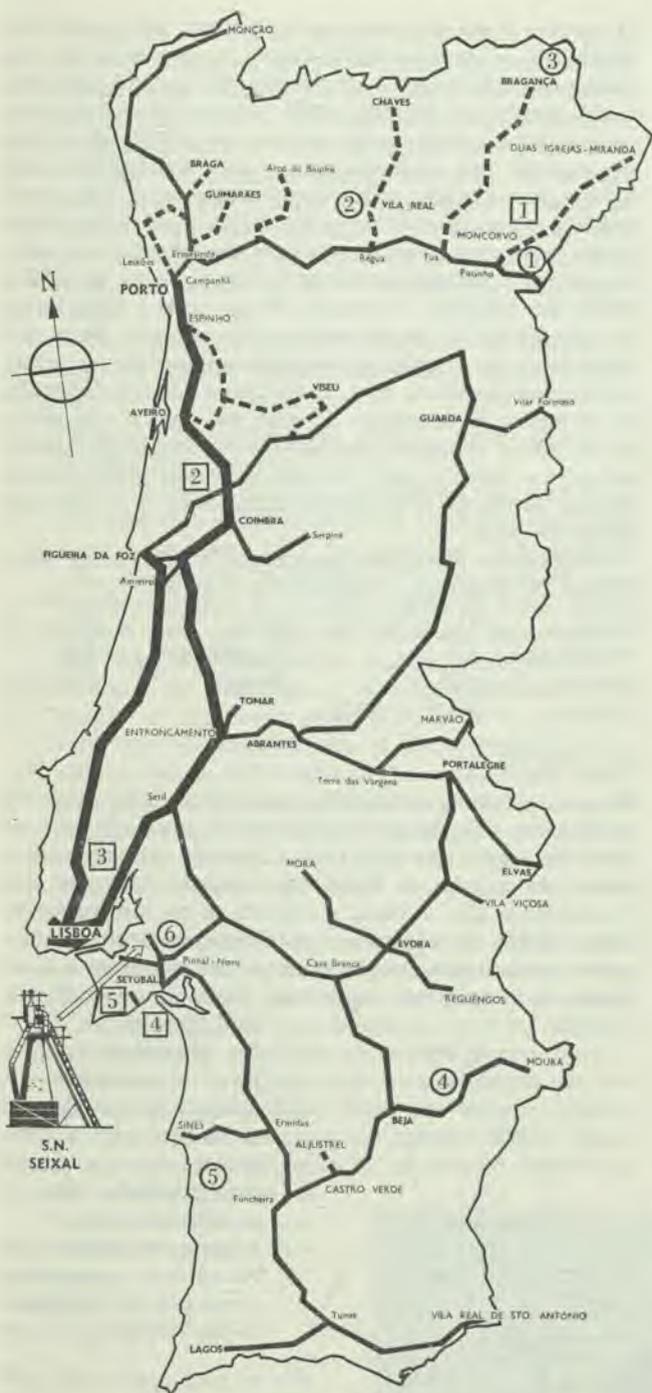
a) aspecto químico. Um coque ideal seria constituído por 100% de carbono. Estabelecem-se normalmente limites máximos para os elementos acompanhantes, limites estes que são variáveis consoante as existências locais de carvão coqueficável ou no caso da sua aquisição, do preço de compra.

São, no entanto, consagrados os valores limites de:

Cinzas	≅ 10 %
Enxofre	≅ 1 %
Matérias voláteis	≅ 1 %

b) aspecto físico — temos a considerar:

— Resistência mecânica. O coque, para sofrer um processo ideal de combustão terá que atravessar toda a coluna de carga do forno entre a goela e o plano das tubeiras e vir a combutar diante destas. Se a sua resistência mecânica, considerada não só pelos ensaios de compressão a quente e por um ensaio de choque mecânico como também por um ensaio de resistência à abrasão, não for suficiente, o coque pulverizar-se-á e será arrastado pelos gases ascendentes para a goela do forno, não chegando a atingir a zona de combustão situada no plano das tubeiras. O «ensaio do



tambor» permite estabelecer um índice que engloba a resistência mecânica ao choque, à compressão e à abrasão e ainda a densidade a granel.

- Porosidade. Encontra-se estreitamente relacionada com a reactividade do coque a qual é função, nas reacções do tipo de gás-sólido, da superfície específica. Como adiante se verá interessaria produzir um coque com uma oxireactividade tão elevada quanto possível, e com uma carboxireactividade tão baixa quanto possível.

É no entanto impossível, com base apenas no estado físico do coque, satisfazer às condições acima mencionadas, pois ambos os factores variam no mesmo sentido. Como no entanto a resistência mecânica varia no sentido inverso da porosidade e consequentemente da reactividade do coque e como a primeira é um factor determinante na qualidade do coque, interessará que a porosidade seja tão baixa quanto possível.

- Granulometria. É em primeira análise função da largura das câmaras do forno de coque. O coque com granulometria entre 40 mm a 80 mm é normalmente designado por coque de alto-forno. As granulometrias superiores a 80 mm constituem o chamado coque de fundição utilizado nos fornos de cúpula.

A granulometria do coque define a porosidade da coluna de carga no Alto-Forno e esta é tanto maior quanto mais apertados forem os limites de variação estabelecidos para a granulometria e quanto maior for o valor médio desta. A importância deste factor torna-se mais evidente se se atender a que 2/3 do volume do Alto-Forno é preenchido com coque.

- Densidade a granel. É função da granulometria do coque e da sua estrutura mais ou menos porosa, logo mais ou menos densa. É tanto menor quanto mais apertados os limites da granulometria e quanto maior o valor médio desta.

Um coque de alto-forno deve, pois, ter uma densidade a granel tão baixa quanto possível.

Em Portugal Continental não existem carvões que permitam a obtenção dum coque de alto-forno, pelo que ao escolher-se como processo metalúrgico de redução o do alto-forno, se encarou o problema da importação do coque ou da matéria-prima para a sua fabricação, o carvão coqueficável. Nesta primeira fase de laboração da Siderurgia Nacional o Alto-Forno irá trabalhar com base em coque importado estando desde já assegurado o seu fornecimento.

## PEDREIRAS

1	VIMIOSO	} CASTINA
2	CANTANHEDE	
3	TURONIANO	} DOLOMITE
4	ARRÁBIDA	
5	ESPICHEL	

## JAZIGOS DOS MINÉRIOS DE FERRO

MINAS	DISTÂNCIA À FÁBRICA		
	Por caminho de ferro	Por barco	Total
1 MONCORVO	189 km	350 km	539 km
2 V. COVA DO MARÃO	145 km	350 km	495 km
3 GUADRAMIL	291 km	350 km	641 km
4 ORADA	178 km	—	178 km
5 CERCAL	—	150 km	150 km
6 BARREIRO (Cinzas de pirite)	27 km	—	27 km

Fig. 2

### 3 — Produtos

#### 3.1 — GUSA

A finalidade da instalação de redução é, no caso do Alto-Forno, a obtenção de gusa líquida. Chama-se gusa a uma liga de ferro e de carbono que pode conter como elementos acompanhantes o silício, o manganês, o fósforo, o cobre, o titânio, o cromo, o vanádio, etc. e ainda os oligoelementos enxofre e arsénio. Normalmente não são tomados em consideração os gases dissolvidos.

O teor em carbono dissolvido na gusa é regido pelo diagrama ferro carbônico e é função da temperatura da gusa, dos teores em oxigénio, em silício e, em menor grau, dos restantes elementos acompanhantes. Depende ainda do tempo de contacto entre o agente carburante e o banho líquido, ou seja do tempo que é dado para que se atinjam as condições de saturação do carbono na gusa.

O fósforo e o cobre são função única e exclusivamente das percentagens com que entram na constituição do leito de fusão pois os seus óxidos são muito facilmente redutíveis podendo considerar-se total a sua redução no Alto-Forno.

Mais dificilmente redutíveis, são já os óxidos de manganês, titânio, vanádio e a sílica, pelo que a sua redução é só parcial, indo a parte dos óxidos que não é reduzida incorporar-se na escória alterando por vezes as suas propriedades. O teor em manganês na gusa é, pois, função das condições de marcha do forno, em especial da temperatura de combustão e da composição química da escória e, em primeira análise, do teor em manganês do leito de fusão. O manganês pode ser intencionalmente adicionado ao leito de fusão, sob a forma de minério, a fim de se obter um determinado teor em manganês na gusa. No caso da Siderurgia Nacional o factor que determina o teor em manganês na gusa é o teor em manganês no aço, o qual é fixado pelas normas dos produtos laminados de harmonia com as propriedades que se lhes vão exigir. Conhecido o teor em manganês que a gusa deve possuir, fácil é estabelecer, arbitrando um factor de redução para o óxido de manganês, qual a quantidade de manganês a incorporar no leito de fusão.

O teor em silício na gusa é, tal como para o teor em manganês, função da marcha do forno e da composição da escória: quanto mais ácida esta for, tanto maior será a redução da sílica, permanecendo constantes os outros factores intervenientes no processo metalúrgico. O teor em silício na gusa é função do tipo de gusa que se pretende produzir, bastando pois actuar nos parâmetros que influenciam o seu teor na gusa para que, dentro dos limites e incertezas que o processo comporta, se obtenha o teor desejado. No caso da gusa a produzir pela Siderurgia Nacional e atendendo ao processo adoptado para a conversão da gusa em aço, estabeleceram-se como limites os teores de silício na gusa de 0,5% a 1,0%.

Dos restantes elementos acompanhantes apenas se mencionam os do enxofre e do arsénio por serem aqueles que merecem ainda uma menção especial.

Cerca de 80% do enxofre introduzido na gusa é proveniente do coque e os restantes 20% dos minérios.

O enxofre é um elemento nocivo no aço, pois provoca a fragilidade, a quente, deste. Como no processo de conversão da gusa em aço a eliminação do enxofre é uma operação onerosa e nalguns casos mesmo impossível deve proceder-se à sua limitação na gusa, quer limitando o teor em enxofre nas matérias-primas, quer conduzindo uma escória com elevado poder dessulfurante, quer ainda procedendo a uma dessulfuração ulterior da gusa líquida utilizando um agente dessulfurante que normalmente é a soda. O arsénio é normalmente introduzido na gusa por intermédio dos minérios. A redução do seu óxido é total dentro do Alto-Forno. É um elemento nocivo nos aços por razões análogas às do enxofre estabelecendo-se também um limite máximo admissível na gusa, já que não é possível eliminá-lo no processo de conversão da gusa em aço. A sua eliminação só se consegue parcialmente na banda de sinterização se o minério que o contém tiver uma granulometria tal que justifique a sua sinterização como é o caso das cinzas de pirite.

A composição pretendida para a gusa a fabricar no Alto-Forno da Siderurgia Nacional é a seguinte:

Ferro	— 93% a 93,5%	Silício	— 0,5 a 1,0
Manganês	— 1,3	Enxofre (max.)	— 0,03
Fósforo	— 0,35	Arsénio	— 0,03%
Carbono	— 4,0% a 4,2%		

#### 3.2 — ESCÓRIA

É como já vimos constituída pelos óxidos não redutíveis do minério, da castina e das cinzas do coque. É cerca de três vezes mais leve que a gusa e como tal sobrenada-a dentro do cadinho do forno. Os principais óxidos de que é constituída são, a sílica, a alumina, a cal e a magnésia. Estes óxidos encontram-se combinados entre si em diferentes percentagens estequiométricas dando origem a compostos de propriedades químicas, físicas e mineralógicas bem definidas.

No diagrama ternário junto apresentam-se os diversos compostos que se formam com a combinação dos três principais óxidos, a sílica, a alumina e a cal.

A zona das escórias do Alto-Forno encontra-se a tracejado no diagrama:  $SiO_2 - Al_2O_3 - CaO$ .

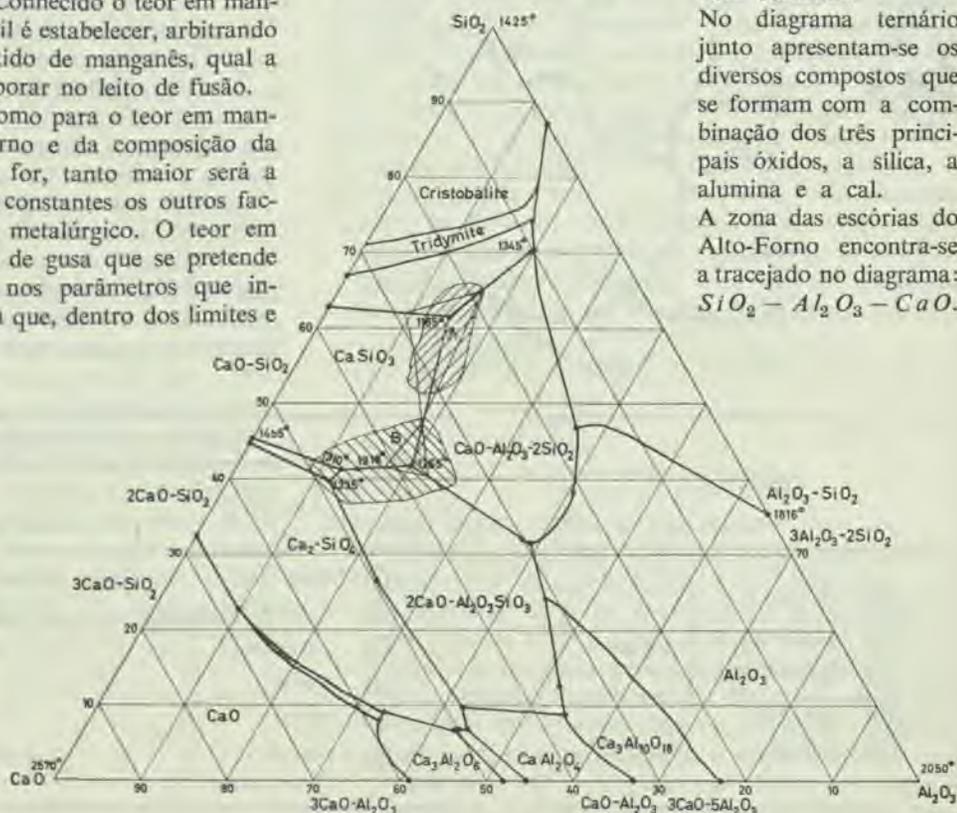


Fig. 3 — Diagrama ternário  $SiO_2 - Al_2O_3 - CaO$

As escórias de alto-forno são um subproduto que pelas suas aplicações se pode tornar valioso. Pode ser utilizada como balastro de estradas, na construção civil no fabrico de tijolo de construção e, como aplicação mais importante, como matéria-prima da indústria cimenteira. Com efeito pode ser utilizada quer como componente de vários tipos de cimento quer como matéria-prima para o fabrico do «clinker». Na primeira utilização aproveitam-se as propriedades hidráulicas da escória, desde que esta tenha sido arrefecida bruscamente de molde a conservar uma estrutura vítrea.

Os cimentos produzidos com incorporação de escória de alto-forno ao «clinker» podem classificar-se nos dois tipos seguintes:

**A** — Cimento tipo Portland que admite adições de escória de alto-forno até 30 %.

Estes cimentos aliam às qualidades de resistência mecânica dos cimentos Portland uma resistência aos agentes agressivos que lhe conferem a preferência para este tipo de utilizações. Têm no entanto uma menor resistência no período inicial da presa, característica esta que pode ser eliminada recorrendo a uma mais fina moagem da escória granulada.

**B** — Cimento de Alto-Forno — Admite percentagens de escória de alto-forno entre 30 % a 70 %.

Este tipo de cimento tem já características que o afastam dos de tipo Portland. A sua resistência mecânica diminui, aumentando por outro lado o tempo de presa o que vai limitar o campo das suas aplicações. A sua resistência aos agentes agressivos recomenda-o para diversas aplicações em que se exija este requisito.

Pode ainda obter-se um outro tipo de cimento chamado sobresulfatado em que já não intervém o «clinker» de cimento, pela adição de gesso ou anidrite à escória granulada. Esta adição tem por fim catalizar as propriedades hidráulicas da escória de alto-forno.

O cimento sobresulfatado encontra aplicações em ambientes agressivos, sendo sobre este aspecto superior ao cimento atrás designado por cimento de alto-forno. A sua resistência mecânica é, no entanto, inferior à do referido tipo de cimento pelo que a sua utilização encontra limitações.

### 3.3 — GÁS DE GOELA

Têm esta designação os produtos gasosos de combustão do carbono do coque, da descarbonatação dos carbonatos do vapor de água da humidade e água de hidratação, etc.

A composição típica dum gás de goela é:

Monóxido de carbono + Anidrido carbónico	— 39,0 %
Hidrogénio	— 2,5 %
Metano	— 0,1 %
Azoto	— 58,4 %

O teor em hidrogénio é influenciado pela quantidade de

água que entra no forno, ao nível das tubeiras proveniente ou da humidade do ar ou de fugas dos elementos refrigerantes.

O metano é proveniente das matérias voláteis do coque.

A percentagem do azoto é sensivelmente constante. O azoto provém quase exclusivamente do ar de combustão.

O anidrido carbónico dissociado proveniente da castina ou de qualquer outro carbonato, actua como um diluente afectando consideravelmente o teor em azoto do gás.

Pelo facto do teor em azoto ser sensivelmente constante também a soma do monóxido e do anidrido carbónico é constante. A marcha do Alto-Forno é caracterizada pelo

índice de marcha  $i = \frac{CO}{CO_2}$ ; quando  $i$  diminui, a quan-

tidade de calor latente perdida nos gases de goela diminui, o que conduz a uma poupança no consumo do coque. Este factor é de grande importância se se atender a que mais de 50 % das calorias introduzidas no coque encontram-se no gás de goela.

O Alto-Forno da Siderurgia Nacional produzirá cerca de 100 000 m<sup>3</sup>/h de gás de goela com um poder calorífico inferior de cerca de 900 kcal/m<sup>3</sup>. Cerca de 21 % do volume de gás produzido é utilizado no aquecimento do ar insuflado no forno, aquecimento este que é efectuado nos «Cowpers», que mais não são do que aparelhos permutadores de calor.

Os restantes 79 % serão utilizados para complementar o abastecimento energético da fábrica, contribuindo decisivamente para uma relativa autonomia do abastecimento exterior de energia.

## 4 — As instalações

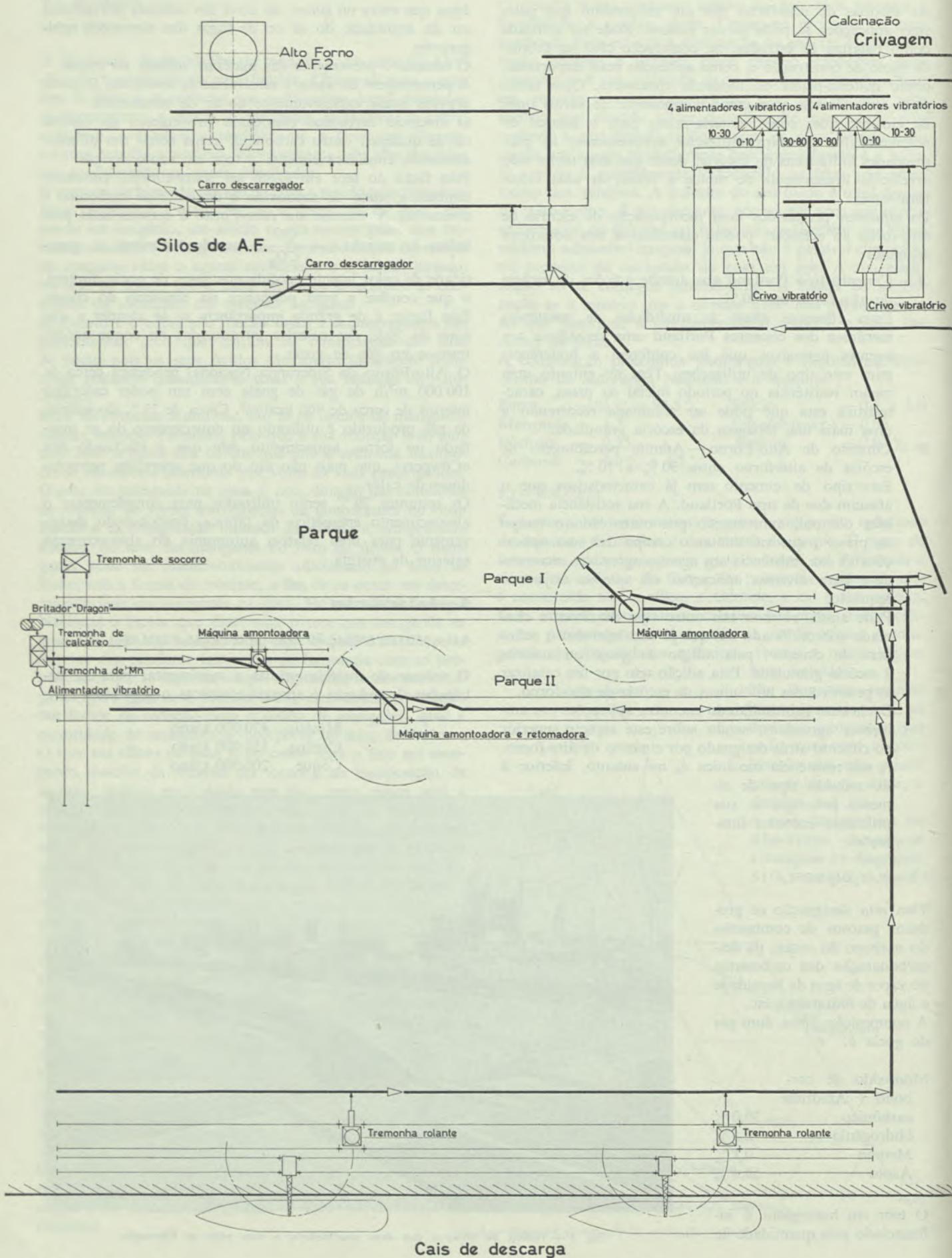
### 4.1 — MOVIMENTAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

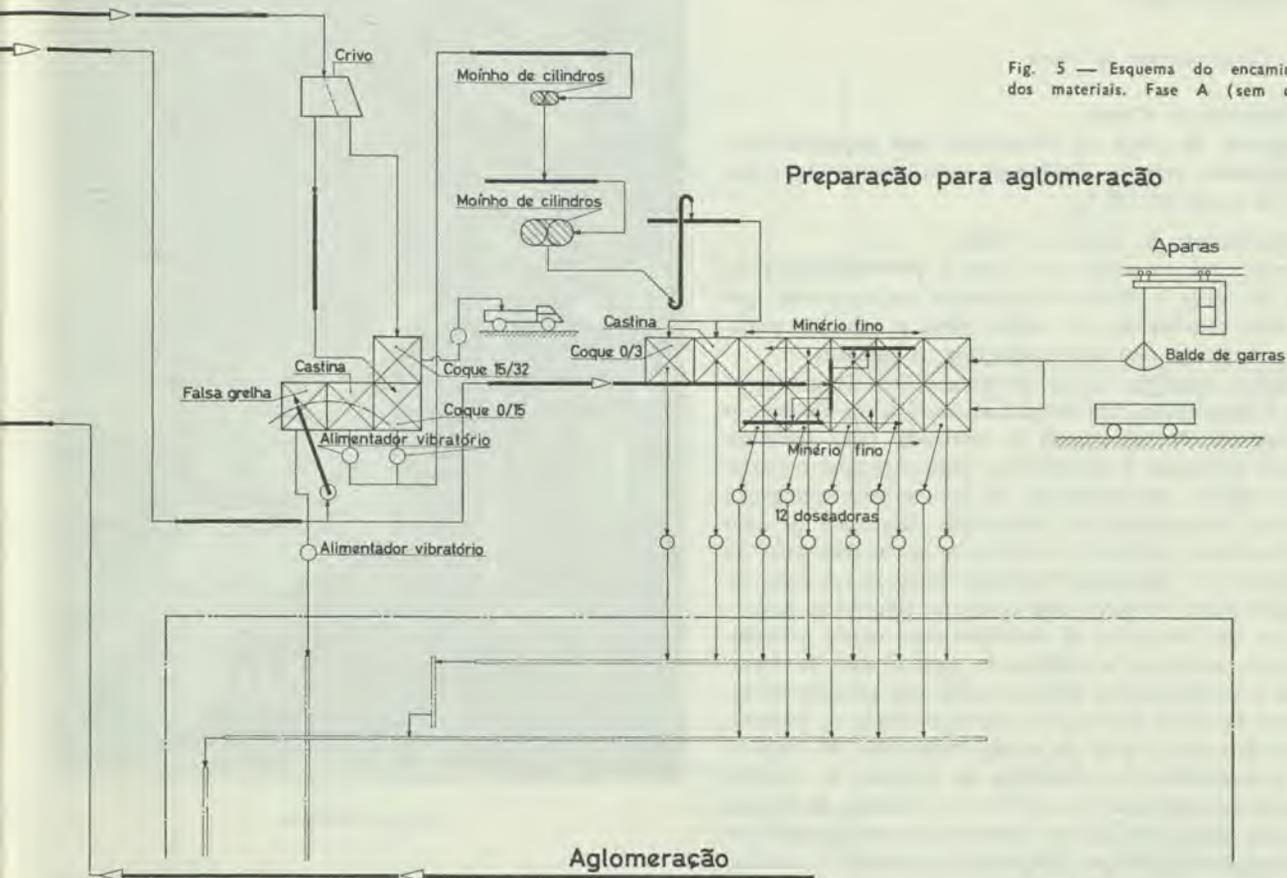
O volume de matérias-primas a movimentar para as instalações de redução é aproximadamente o seguinte:

Minério	420 000 t/ano
Castina	130 000 t/ano
Coque	200 000 t/ano



Fig. 4 — Tapetes de britagem com duas amontoadoras e vista geral da Siderurgia





Os minérios e o coque chegam por via marítima e a castina será transportada em camião até à fábrica. O sistema adoptado para o transporte das matérias-primas, foi o das telas transportadoras por ser aquele que conduz a um mais baixo custo por tonelada transportada. No esquema junto está representado o sistema de telas e da crivagem das instalações de Redução da Siderurgia Nacional.

A armazenagem em parque, de matérias-primas está prevista para proporcionar uma reserva de 6 meses, que permita uma certa independência do abastecimento exterior, especialmente no que diz respeito àquelas que tenham de ser importadas, como é o caso do coque.

A fim de introduzir no forno os minérios com uma granulometria mais conveniente ao processo metalúrgico está prevista uma britagem para reduzir o minério 100 % abaixo de 100 mm. Esta condição só se tornará obrigatória quando se vierem a importar minérios pois os jazigos portugueses actualmente em exploração fornecem os seus minérios com uma granulometria inferior a 100 mm. A limitação dum mínimo nas granulometrias do minério consegue-se por uma crivagem deste. Esta limitação tem por fim evitar que os finos do minério sejam carregados no forno e, deste modo, eliminar os inconvenientes de uma diminuição da permeabilidade da carga e dum aumento da quantidade de poeiras arrastadas pelo gás de goela.

Os finos dos minérios crivados juntamente com os minérios finos, como as cinzas de pirite, e com os finos de coque, são tratados na instalação de sinterização com vista à sua aglomeração obtendo-se um produto chamado sinter que tem excelentes qualidades de redutibilidade e que é enviado ao Alto-Forno.

## 4.2 — ALTO-FORNO

### 4.2.1 — Preparação do Leito de Fusão

Entende-se por preparação do leito de fusão o doseamento dos minérios, nas proporções adequadas e do fundente necessário para a obtenção duma boa escória. Para este efeito os minérios, o sinter, os fundentes e o coque são armazenados em silos.

Os minérios, o sinter e a castina são extraídos pelo fundo dos silos para um carro pesador que efectua o transporte das quantidades pesadas para o «skip» do alto-forno. Na figura junta representa-se o carro pesador do leito de fusão e as saídas dos silos de minério e castina.

A extracção do coque é feita por meio dum extractor vibrante para uma tremonha pesadora.

Este extractor vibrante, funciona simultâneamente como crivo do coque. Eliminam-se assim as granulometrias inferiores de 40 mm. O coque de granulometria superior a 40 mm enche a tremonha pesadora até ser atingido um determinado peso de coque, prèviamente fixado. Ao atingir-se o peso desejado, um sistema automático faz parar o extractor vibrante que alimenta a tremonha pesadora. A tremonha é esvaziada por uma operação efectuada pelo condutor de «skip», e só se efectua quando este se encontrar em posição de ser carregado, por baixo da abertura de descarga da tremonha pesadora.

Logo que o fecho da tremonha pesadora voltar a fechar, o extractor vibrante põe-se automaticamente em funcionamento procedendo-se de novo ao enchimento da tremonha.

Os finos de coque crivados no extractor vibrante são enviados à instalação de sinterização por meio dum sistema de telas transportadoras.

#### 4.2.2 — Carregamento do Forno

##### a) — Programa de Carga

O programa de carga do Alto-Forno está esquematizado nos diagramas anexos. Verifica-se uma reserva na capacidade de carga de 100 %.

##### b) — Distribuição da Carga no Forno

Por razões que se relacionam com a permeabilidade da coluna de carga o coque é enfiado de tal modo que forme uma camada de, em média, trinta a quarenta centímetros de altura não misturado com o minério.

Esta última condição é, no entanto, difícil de conseguir devido à segregação que sempre se verifica ao efectuar o carregamento. A segregação é motivada pela diferente densidade do coque e do minério e para o mesmo material é função da sua granulometria. Se houver uma segregação durante o carregamento no forno esta dependerá do tipo de equipamento utilizado no fecho da goela. No caso do Alto-Forno da Siderurgia Nacional utiliza-se um fecho de sino duplo «tipo MCKEE» cuja descrição adiante se dará.

Com este tipo de fecho os materiais com maior granulometria têm tendência a deslocar-se para o eixo do forno durante o carregamento. Este aumento das granulometrias no centro do forno contraria a homogeneidade da permeabilidade da carga através da secção transversal do forno e, como consequência, as condições de redução do minério deixam de ser idênticas no centro e na periferia da secção. Um outro facto tem de ser tomado em consideração: o ângulo de talude natural que varia consoante o material e a sua granulometria.

Por último há que considerar o facto de a tremonha da goela ser sempre carregada do mesmo lado por os «skip» a abordarem lateralmente. Deste modo, a tremonha fica assimetricamente carregada o que se irá repercutir no carregamento do forno.

A fim de atenuar este inconveniente, a tremonha, é rodada consoante um programa pre-estabelecido.

#### 4.2.3 — Alto-Forno

O tipo de construção adoptado para o Alto-Forno da Siderurgia Nacional é o chamado «tipo europeu» completamente blindado.

Os valores que caracterizam a capacidade de produção são, o diâmetro do cadinho e o seu volume útil ou seja o volume entre o plano das tubeiras e o plano definido pelo sino inferior na posição de baixado. No caso do Alto-Forno da Siderurgia Nacional estes valores são respectivamente de 6 m  $\phi$  e 722 m<sup>3</sup>. O vento necessário à combustão do coque é introduzido por doze tubeiras refrigeradas, de cobre.

O revestimento da zona do cadinho é constituído por blocos de carbono que permitem uma grande durabilidade e resistem bem à acção agressiva das escórias. As temperaturas reinantes no cadinho oscilam entre 1250°C a 1450°C excepto na zona de combustão, em frente das tubeiras onde as temperaturas podem atingir 1700°C. A parte superior do forno é revestida a refractário de «schamotte» altamente aluminosa. Para evitar um desgaste rápido do revestimento procede-se à sua refrigeração. Na parte inferior do forno este arrefecimento é feito por aspersão da blindagem do cadinho por a condutibilidade térmica do carbono ser



Fig. 6 — Alto-Forno

suficientemente elevada para permitir um bom escoamento de calor até à blindagem.

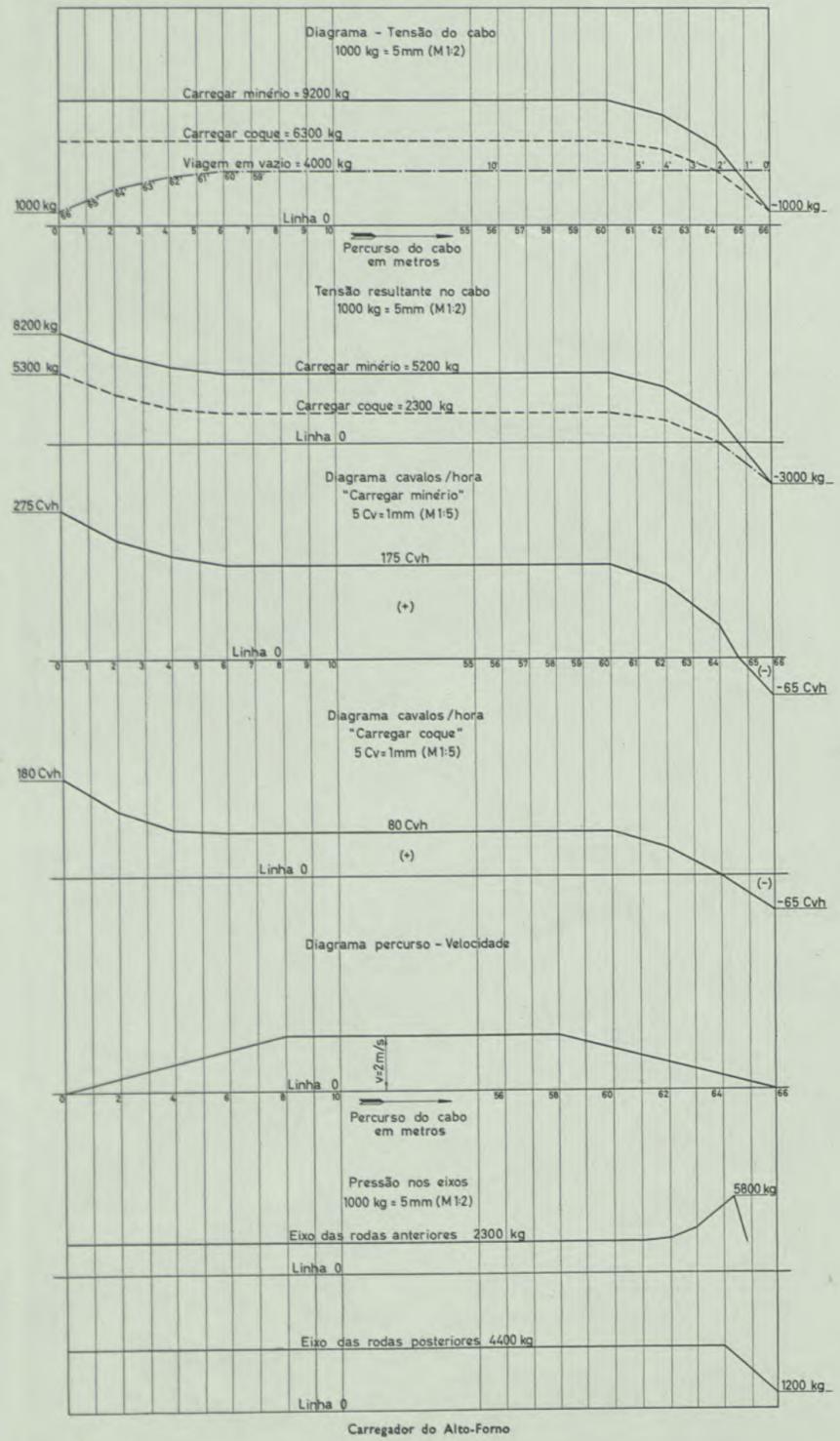
Na parte superior do forno, revestida a «schamotte», verifica-se já a necessidade de introduzir no refractário caixas de refrigeração, não só porque a condutibilidade térmica deste material refractário é muito mais fraca, como também pela necessidade de estabelecer um suporte ao refractário que tem a tendência a ser arrastado pelo atrito que nele provoca a coluna de carga na sua descida pelo forno.

O perfil interior do forno obedece a considerações práticas que são justificadas pelo decurso do processo metalúrgico.

Assim o cadinho está dimensionado para poder armazenar cerca de 120 t de gusa e a correspondente quantidade de escória. Esta condição fixa a altura a que se deve colocar o orifício de sangria de escória e, de igual modo, a cota do plano das tubeiras relativamente ao fundo do cadinho. O alargamento máximo do forno corresponde à zona de início de formação da escória e de fusão do metal já reduzido. A altura a que este alargamento se encontra acima do plano das tubeiras é fixada pela qualidade do minério a reduzir, pelo tipo de gusa a produzir, etc.

O orifício de saída da gusa encontra-se na base do cadinho e é perfurado lateralmente num sentido algo ascendente para o lado da saída. A sangria do forno, ou seja a extracção de gusa do forno, não é contínua.

Normalmente efectua-se de quatro em quatro horas uma abertura do orifício da base do cadinho. No final da sangria o orifício é fechado com uma massa refractária a qual é injectada por uma máquina concebida para o efeito. Uma parte da escória é extraída pelo orifício de sangria da escória que é constituído por uma tubeira de cobre refrigerada a água. Esta primeira sangria da escória tem



Obs. Os valores de cavalo hora indicados no diagrama de cavalos hora são os que se obtém no eixo do motor. São calculados supondo uma velocidade constante do cabo igual a 2 m/s. No diagrama percurso-velocidade observam-se as velocidades reais.

O diagrama é determinado tendo em consideração o peso próprio e as resistências de atrito, mas desprezando no entanto o peso do cabo e a aceleração.

**CAPACIDADE DO «SKIPP»:**  
Capacidade do forno = 650 t/24 h; do cadinho 6 m  
Carga de coque = 950 kg/t gusa  
Leito de fusão = 2135 kg/t gusa

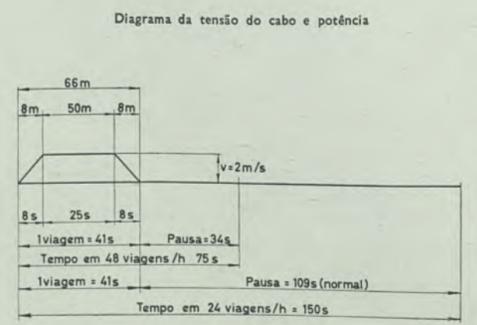
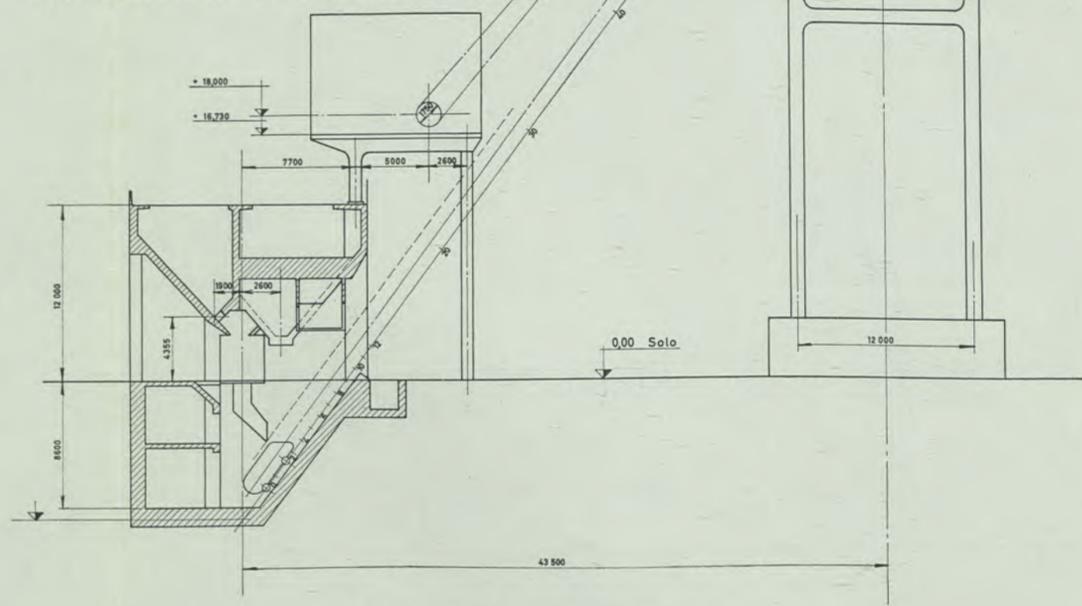
**CAPACIDADE NORMAL:**  
12 viagens de minério por hora 4,85 t 58 t/h 1390 t/24 h  
12 viagens de coque por hora 2,18 t 26 t/h 620 t/24 h

**CAPACIDADE MÁXIMA:**  
24 viagens de minério por hora 4,85 t 116 t/h  
24 viagens de coque por hora 2,18 t 52 t/h 100 % RESERVA

**OS DIAGRAMAS ESTÃO CALCULADOS PARA AS SEGUINTE CARGAS:**  
Peso do «skipp» = 5100 kg  
Carga de minério + Castina = 6000 kg  
Carga de coque = 2500 kg

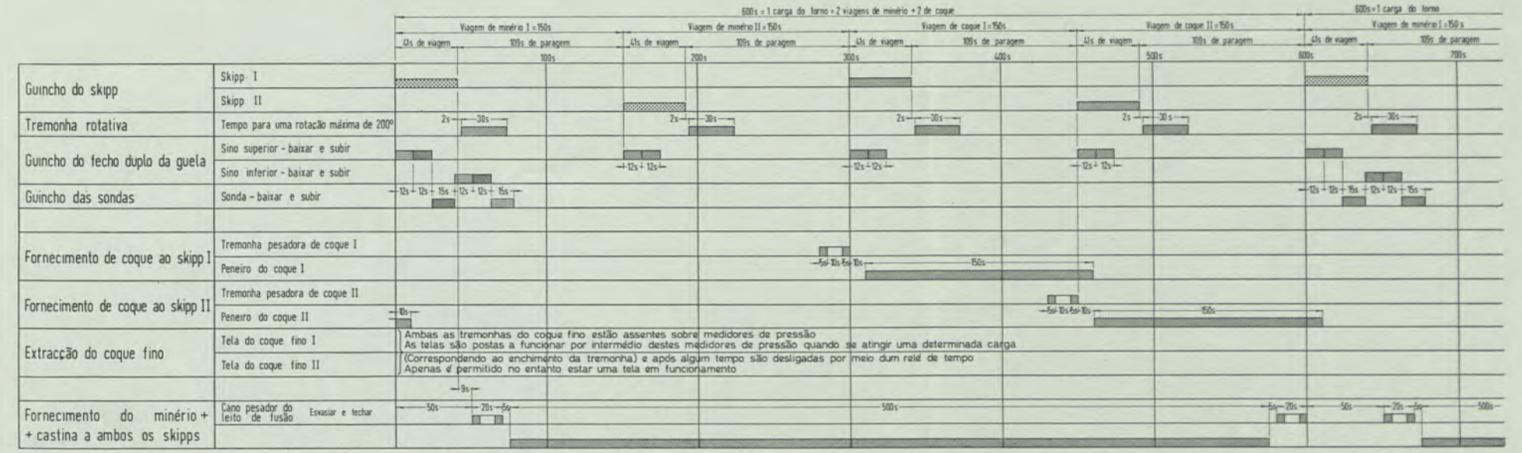
1 carga do forno consiste em 2 viagens ininterruptas de minério e 2 viagens de coque

N.º DE ROTACÕES DO TAMBOR = 22 rot/min (para V = 2 m/s)  
N.º DE ROTACÕES DO MOTOR = 600 rot/min (para V = 2 m/s)



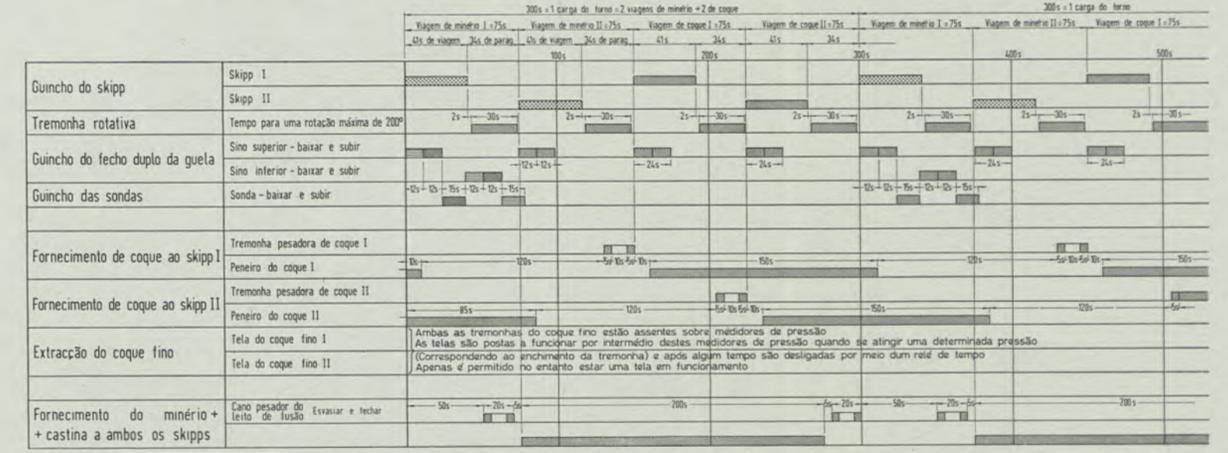
1) Diagrama de trabalho para 24 viagens/h (12 viagens de minério e 12 de coque)

Tempo necessário por viagem =  $\frac{3600}{24} = 150s$



2) Diagrama de trabalho para 48 viagens/h (24 viagens de minério e 24 de coque)

Tempo necessário por viagem =  $\frac{3600}{48} = 75s$



Minério  
Coque  
segundos  
horas

Fig. 7

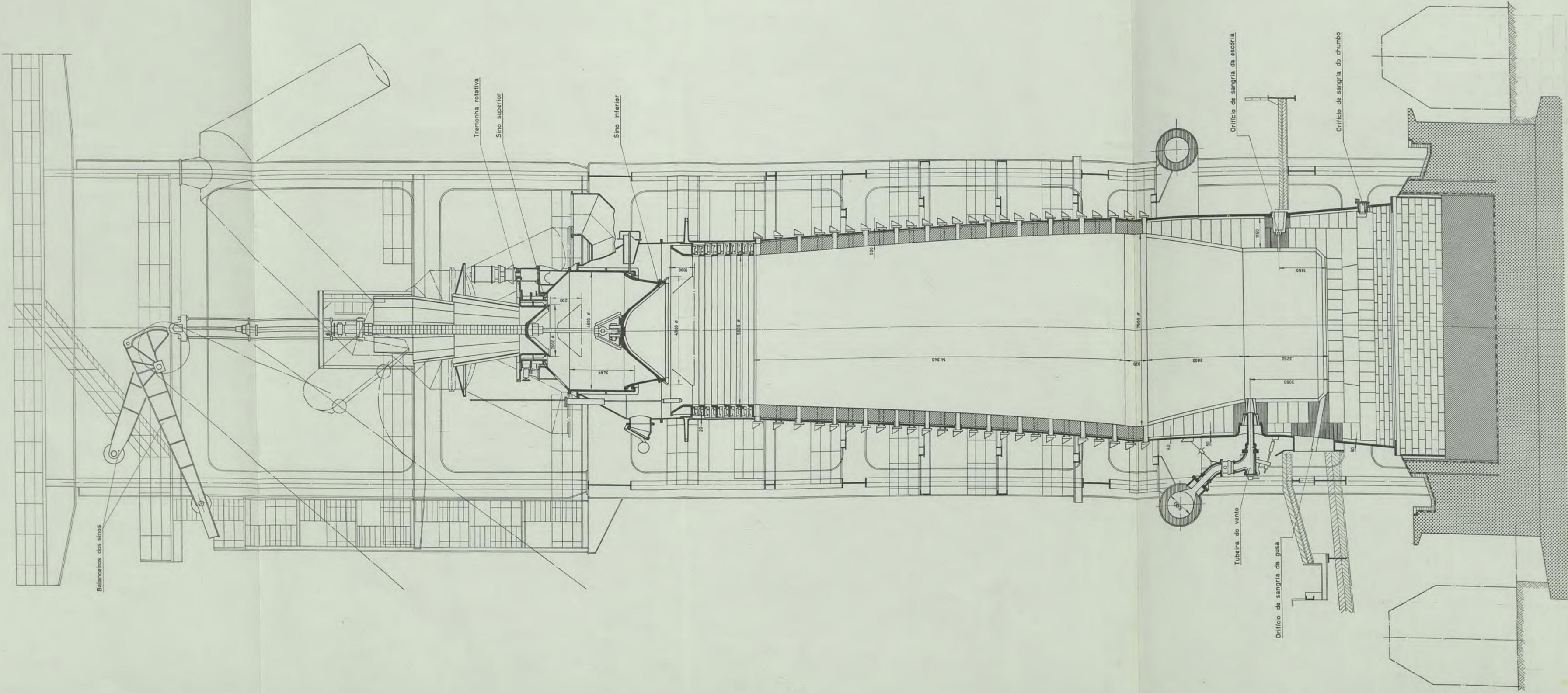


Fig. 8 — Alto-Forno. Corte

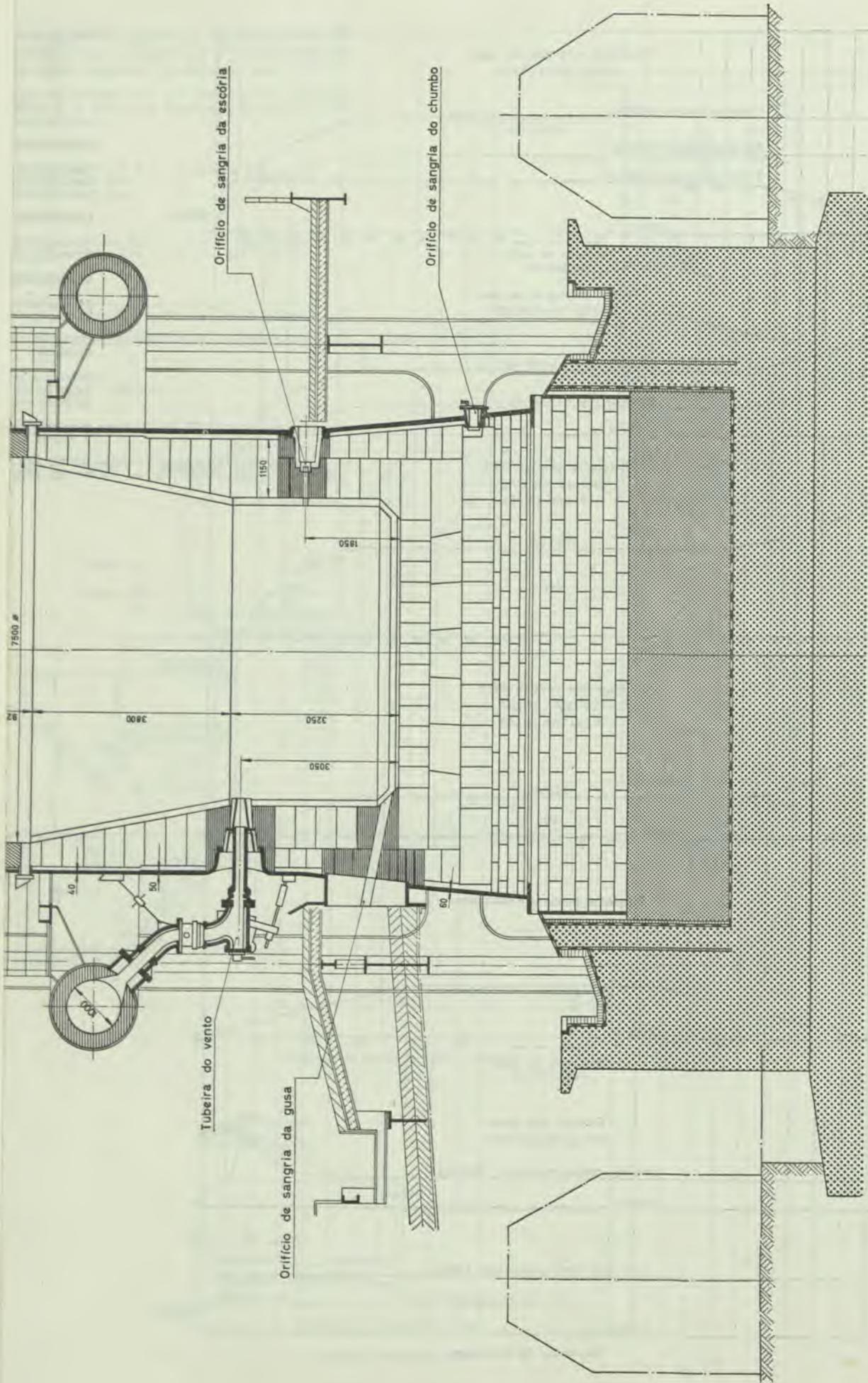


Fig. 8 — Alto-Forno, Corte

por fim evitar que o nível da escória líquida dentro do cadinho atinja o plano das tubearias de vento.

A restante escória sai pelo orifício da sangria da gusa no final da sangria. A separação desta escória da gusa é feita por meio dum sifão praticado na caleira que conduz a gusa à panela de gusa. A escória líquida tendo uma densidade de cerca de 1/3 da da gusa, sobrenada e é, deste modo, desviada para as panelas de escória.

#### 4.2.4 — Ar Insuflado

O volume de ar a insuflar no forno para combustar o coque é de cerca de 80 000 m<sup>3</sup>/h. Para este efeito o Alto-Forno da Siderurgia Nacional tem ao seu serviço um turbo e um motosopradores com as seguintes características:

Turbosoprador	
accionamento	— turbina a vapor de 3350 kW (pressão do vapor 66 atm)
volume aspirado	— 109 000 m <sup>3</sup> /h
pressão de insuflação	— 2,3 atm abs.
velocidade do compressor	— 5100 rot/min
tipo	— 6 andares.

As características do motosoprador são idênticas. O accionamento é realizado, no entanto por um motor assíncrono de potência nominal 4000 kW e de tensão de serviço 6000 V.

Cada uma destas unidades é capaz de assegurar o fornecimento do volume de ar pedido pelo Alto-Forno. A necessidade duma duplicação de insufladores resulta de a insuflação de ar no Alto-Forno não poder ser interrompida. Deste modo, uma falha num dos insufladores que resulte na sua paragem implica o arranque imediato do outro insuflador a fim de assegurar o fornecimento ininterrupto de ar ao Alto-Forno.

O ar a insuflar no Alto-Forno necessita de ser previamente aquecido a fim de não só se conseguir uma mais elevada temperatura de combustão e uma maior elasticidade na condução no forno, mas também por, deste modo, se introduzirem no Alto-Forno calorías necessárias ao processo metalúrgico que são mais baratas de que as do coque.

Este aquecimento do ar é feito nos «Cowpers» que são permutadores de calor do tipo descontínuo, onde um empilhamento de refractário é alternadamente aquecido pelos fumos da combustão de gás de alto-forno e arrefecido pela passagem do ar insuflado, cedendo-lhe assim as calorías nele acumuladas durante o período de aquecimento. O rendimento térmico destes aparelhos é superior a 85 %. A necessidade da existência de pelo menos dois «Cowpers» é justificada pelo tipo descontínuo que obriga a interromper o fluxo de ar durante os períodos de aquecimento.

No caso do Alto-Forno da Siderurgia Nacional existem 3 aparelhos «Cowpers» dos quais apenas dois estarão em laboração contínua.

Como a temperatura do ar de insuflação à saída do «Cowper» varia desde o início do período de vento até ao fim, pois que o «Cowper» vai sendo arrefecido, e como é condição fundamental para a marcha regular do Alto-Forno que a temperatura do vento seja constante, há que proceder a uma mistura com uma quantidade variável de vento frio a fim de se obter uma temperatura de vento misto uniforme ao longo do tempo. Esta mistura é realizada automaticamente, sendo o automatismo comandado pelas indicações da medição de temperatura do vento misto.

#### 4.2.5 — Gás de Goela

O volume de gás de goela produzido pelo Alto-Forno da Siderurgia Nacional é de cerca de 100 000 m<sup>3</sup>/h.

Este gás representa uma fonte de energia muito apreciável pelo que é captado, depurado das poeiras que o acompanham à saída do forno, arrefecido e finalmente distribuído aos restantes departamentos por intermédio duma rede de gás.

A depuração do gás é efectuada em dois estádios.

Primeiramente procede-se a um despoeiramento grosseiro, onde as partículas de maiores dimensões e densidade se depositam. Utiliza-se para este efeito um colector de poeira com um grande diâmetro onde o gás é obrigado a um percurso ascendente com uma velocidade não superior a

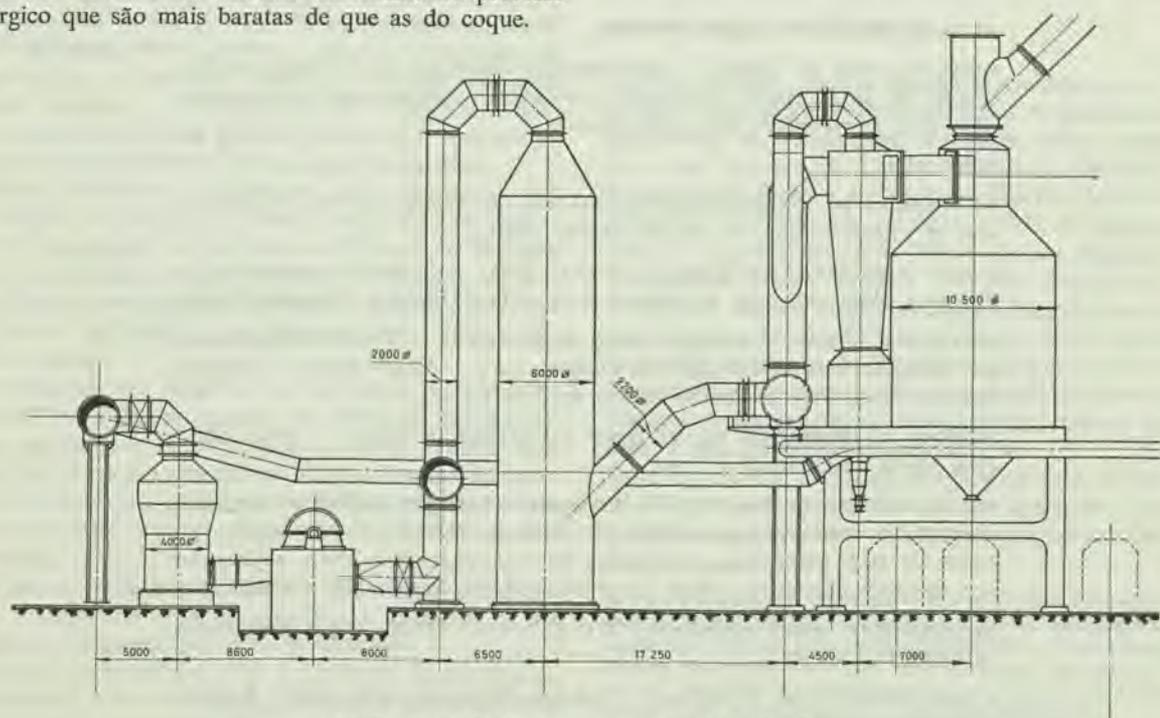


Fig. 9 — Instalação do despoeiramento do gás do Alto-Forno

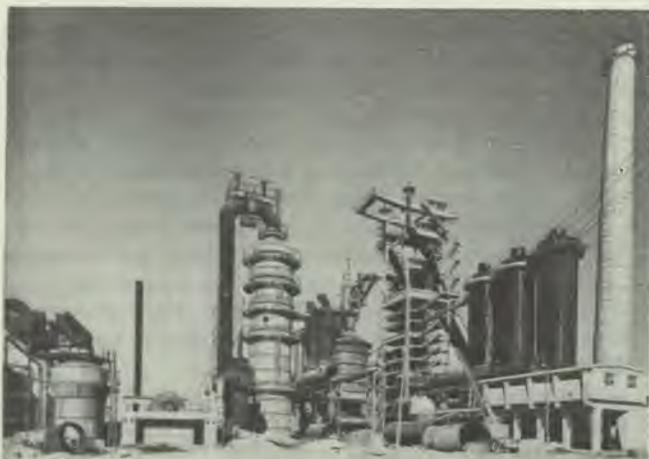


Fig. 10 — Alto-Forno

0,5 m/s. Seguidamente utiliza-se a força centrífuga, fazendo que o gás penetre em dois ciclones ligados em paralelo. O rendimento deste primeiro despoejamento, chamado grosseiro, é de cerca de 90 % mas as necessidades dos consumidores do gás de goela exigem um teor em poeiras inferior a 10 mg/m<sup>3</sup>. Para se atingir um tal grau de pureza recorre-se ao chamado despoejamento fino. O gás depois de sair dos ciclones vai a um lavador que atravessa em contra corrente um chuveiro de água perdendo mais algum pó e simultaneamente saturando-se de gotículas de água. Este chuveiro provoca, além disso, um arrefecimento do

gás o que leva à condensação do vapor de água nele contido. Esta condensação realiza-se tomando como fulcro as partículas de poeira aumentando-lhes, deste modo, a sua massa.

O gás assim arrefecido e humidificado vai a um aparelho designado por desintegrador que procede à separação das gotículas mediante o recurso à força centrífuga.

No caso de os consumidores não utilizarem a totalidade do gás produzido, o gás depurado é queimado numa chaminé de queima com a capacidade de poder queimar 40 000 m<sup>3</sup>/h de gás de goela.

#### 4.2.6 — Transporte da Gusa e da Escória

O transporte da gusa líquida das instalações de redução para a aciaria é feito por meio de painéis de gusa assentes num carro especial de via férrea. Estas painéis, com uma capacidade de 55 t de gusa líquida são revestidas interiormente com refractário sílico aluminoso, a fim de evitar, por um lado o ataque da gusa ao recipiente metálico e por outro lado isolá-la tèrmicamente e, deste modo, levar a um mínimo de perdas de calor no transporte entre o Alto-Forno e o misturador da aciaria.

O transporte da escória é, de igual modo, realizado por painéis mas neste caso não revestidas. Estas painéis são feitas de gusa hematite e têm uma capacidade de 11 m<sup>3</sup>.

MANUEL PEDRULHO LEMOS PEREIRA  
Engenheiro Químico-Industrial (U.P.)  
SIDERURGIA NACIONAL

## PRÓXIMOS SUMÁRIOS

### AS BARRAGENS E O TURISMO NACIONAL

METROPOLITANO DE LISBOA — *Apontamentos sobre postos de transformação, quadro de B. T., cabos, iluminação, carruagens automotoras, telecomunicações, etc., fornecimento feito pela Siemens*

### EUROVISÃO

AS ENERGIAS DE COMPENSAÇÃO NECESSÁRIAS NO PARCELAMENTO DE DIAGRAMAS DE CARGA — Eng.<sup>o</sup> C. E. de Barros Vidal

O SOL COMO FONTE DE ENERGIA DE ALTO NÍVEL — *Trabalho apresentado no Colóquio sobre utilização da energia solar* — Prof. Eng.<sup>o</sup> A. Gouvêa Portela.

COLECTORES A BAIXO POTENCIAL. AQUECIMENTO SOLAR — *Trabalho apresentado no Colóquio sobre utilização da energia solar* — Eng.<sup>o</sup> António Salgado Prata e Pedro Valente Pereira (aluno do I. S. T.)

ESQUEMA DE BOMBAGEM NA MELHORIA DO FACTOR DE CARGA — Prof. Eng.<sup>o</sup> José Maria de Quadros e Costa

NOÇÕES BÁSICAS DE CÁLCULO DE PROBABILIDADES. APLICAÇÕES E DISPONIBILIDADES DE SISTEMAS PRODUTORES DE ENERGIA ELÉCTRICA. APLICAÇÕES NO CÁLCULO DAS RESERVAS. UTILIZAÇÃO DE CALCULADORAS PARA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS EXPOSTOS — Prof. Eng.<sup>o</sup> José Maria de Quadros e Costa

APONTAMENTOS SOBRE MÁQUINAS CALCULADORAS — Prof. Eng.<sup>o</sup> José Maria de Quadros e Costa

A ELECTRICIDADE NO ULTRAMAR — *Achegas fornecidas pelo Eng.<sup>o</sup> Rogério S. Barbosa de Lima*