

DESENVOLVIMENTO DE UMA PURGAÇÃO EM SISTEMAS DE GÁS DE UMA USINA SIDERÚRGICA ⁽¹⁾

SYLVIO RÉGNIER ⁽²⁾
SÉRGIO M. MONIZ FREIRE ⁽³⁾

RESUMO

Os AA. descrevem o projeto e a execução de uma operação de purgação de 3.000 m³ de gás de alto forno, explosivo e tóxico. Aplicaram as mais modernas técnicas; visaram minimizar as perdas decorrentes da parada de dois altos fornos e outras, obtendo um tempo de operação mínimo. A operação foi conduzida com todo êxito.

1. INTRODUÇÃO

Purgação é o ato de continuamente introduzir, em qualquer reservatório de gás, um fluido inerte em relação a êsse conteúdo que permita a penetração futura de ar no continente, de modo a não propiciar em qualquer instante a formação de uma mistura explosiva. Reciprocamente, é também *purgação* a extração de ar de um reservatório, substituindo-o por um inerte que aceite posteriormente qualquer teor de mistura com gás combustível, sem possibilidade que êsse fato enseje a formação de uma mescla inflamável. Tais trabalhos são corriqueiros em indústrias que manipulam combustíveis gasosos. A primeira operação é imprescindível nos reparos de linhas de gás em carga, tais como soldas, cortes, etc. Aplicar-se-á o outro tipo de operação, quando se tiver de introduzir quaisquer gases combustíveis em receptáculos, que primitivamente continham ar em seu interior.

(1) Contribuição Técnica n.º 491. Apresentada ao XVII Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais; Rio de Janeiro (GB), julho de 1962.

(2) Engenheiro Mecânico-Eletricista; Chefe do Departamento de Combustão da Usina de Volta Redonda da C. S. N.; Volta Redonda, RJ.

(3) Membro da ABM e Engenheiro Civil; Chefe da Combustão da Coqueria e Altos fornos da Usina de Volta Redonda da C. S. N.; Volta Redonda, RJ.

2. PROJETO DA OPERAÇÃO DE PURGAÇÃO

1) *A rede de gás* — A rede de gás de alto forno da C. S. N. é atualmente alimentada por dois altos fornos, equipado cada um com um coletor de pó. No fluxograma de produção e limpeza do pó existem ainda 3 lavadores de gás (dos quais normalmente operam dois, um para cada forno) e 5 precipitadores Cottrell que recebem indistintamente o gás produzido pelos dois altos fornos.

A rede possui, para fins de armazenagem e notadamente regularização de pressão, de um gasômetro tipo sêco de 142.000 m³ de capacidade, que outorga à linha numa pressão de cerca de 17 polegadas d'água.

Constituem organismos consumidores do combustível, os seguintes:

- a) O próprio departamento de altos fornos, que emprega o gás, após limpeza, no processo térmico de aquecimento de seus regeneradores.
- b) A Casa de Caldeiras (Departamento de Energia), que além de empregar o gás de alto forno pode também, optativamente, utilizar gás de coqueria e carvão pulverizado.
- c) As baterias de coque, que funcionam com gás de alto forno ligeiramente enriquecido com gás de coqueria, ou com gás de coqueria, tão somente.
- d) A distalaria de alcatrão, cuja demanda de gás para dois distiladores é da ordem de 5.000 m³/h.
- e) Os fornos poços, usados no reaquecimento de lingotes, e para os quais é indispensável a combustão de gás de alto forno.

É ainda a linha dotada de dois sangradouros, um automático e um manual, destinado o primeiro a resguardar, a um tempo, o limite máximo tolerável na altura do pistão do gasômetro; e a faixa aceitável de variações de pressão da linha geral do sistema de gás de alto forno.

2) *O método de isolamento* — Em face da disponibilidade, empregam-se, isolada ou simultaneamente na operação, os seguintes métodos destinados a separar o ramal a purgar do ramal não envolvido: válvula volante; flanges cegos, integrantes de válvulas óculos; selos d'água, como recurso inicial para o vedamento posterior mais eficaz, com os flanges cegos.

Desta forma, se isolaram do sistema interveniente:

- a) A instalação de gás da Casa de Caldeiras. O isolamento se configurou, em cada ramal, pelo fechamento de válvulas óculos, do tipo de acionamento manual. O mesmo recurso foi adotado para separar do sistema envolvido os precipitadores elétricos do departamento de altos fornos.
- b) Os regeneradores do DAF, desligados do sistema envolvido pelo vedamento de selos d'água e fechamento de válvulas óculos motorizadas.
- c) A destilaria de alcatrão, separada por uma válvula óculos manual de 20". Cabe notar, que por simplicidade e para não diversificar em demasia o fluxo de inerte na operação principal, foi o ramal dessa destilaria, de pequeno diâmetro mas grande extensão, purgado à véspera da manobra.
- d) A purgação da rede de gás de alto forno que interessa à bateria de coque foi realizada até a válvula individual do regenerador de cada célula. Essas válvulas, em face do depósito continuado de partículas de poeira, estão sujeitas ao cabo de certo tempo a não fechar integralmente. Esse fato permite que a tiragem pulsativa das chaminés das baterias interfira no ritmo da operação. Decorre que, para expurgar eficazmente um ramal submetido a esse efeito, é essencial empregar um fluido de purgação suficientemente estável, no que diz respeito à pressão. Essa vinculação também se faria sentir, mais adiante, na seleção criteriosa do tipo de purgação e de inerte a escolher.
- e) O gasômetro de gás de alto forno foi desligado do ramal geral pelo fechamento de dois selos d'água e posteriormente por uma válvula óculos de grande porte, à sua entrada. Encontrou-se, nessa modalidade final de bloqueio, a segurança compatível com a natureza do serviço a realizar.
- f) Os fornos poços, que foram isolados na maior parte dos casos mediante o fechamento de válvulas volante.

Conforme adiante se registrará, foi imperativo usar nas baterias de coque e nos fornos poços válvulas não ideais ao bloqueio, porque entre aquelas que melhores condições apresentaram e as primeiras citadas, se haveriam de desenvolver serviços de reparos, impossibilitando o uso das válvulas de melhor vedamento.

3) *Estudo físico-químico do combustível a purgar* — O gás de alto forno, objeto da purgação, apresenta a seguinte análise elementar média, em %: CO₂ — 14,6; H₂ — 2,4; N₂ — 55,0; CO — 27,6; CH₄ — 0,4.

O monóxido de carbono se destaca imediatamente como o combustível elementar mais importante, ocupando cerca de $\frac{1}{4}$ do volume total unitário. A purgação desse gás é então, e sobretudo, uma operação de eliminação continuada dos 27% de CO no ramal, até o atingimento de um limite no qual a mistura se possa mesclar ao ar, sem violar a faixa inflamável.

A gravidade específica do gás, em termos médios igual a 1,0 (um), não se constitui nem em agente favorável nem nocivo. O gás de coqueria, por exemplo, tendo gravidade específica orçada em 0,4, é em certos casos em combustível de purgação favorável. Na purgação de um gasômetro desse gás, obteríamos magníficos resultados, adotando duas medidas: usar um inerte de gravidade específica substancialmente maior ou entrar com esse inerte na zona inferior da estrutura, sangrando o gás de coqueria pela superior.

É claro que no exemplo mencionado a pequena densidade do gás de coqueria se constituiria num fator propício. No tocante ao gás de alto forno, entretanto, a possibilidade de desfrutar de sua densidade era muito remota, tanto porque a gravidade do gás já é um valor médio, como porque a configuração do continente a purgar era radicalmente diversa da de um gasômetro. Poderíamos extrair magníficas conseqüências do jôgo das densidades se, à semelhança de um gasômetro, fôsse o continente a purgar de um formato curto (pouco comprimento) e largo (grande diâmetro).

As pressões, tanto da rêde de gás de alto forno a purgar, como da rêde de gás de coqueria que permaneceu inalterável, são de cerca de 16,5" de H₂O.

Essa anotação importa muito, quando se recorda que na seleção do agente inerte ela é ponderável, pelo simples fato de que as duas rêdes da C. S. N., são interligadas em alguns pontos para efeito de mistura proporcionada. Ora, supondo por absurdo que no bloqueio das interligações houvesse qualquer deficiência, torna-se dever do projetista da manobra, procurar lançar como inerte escolhido um fluido de pressão menor do que as pressões normais dos demais fluidos da operação. Tal procedimento lhe permitirá sentir, no decorrer do serviço, a presença de um qualquer vazamento de retôrno. Além disso, a pressão do gás a purgar, determina a adoção de recursos especiais, tais que à entrada do inerte não se desenvolva um fluxo de retôrno, indesejável em grande parte dos casos. Finalmente, dimensionou-se no estudo físico-químico, o volume total de gás de alto forno a purgar. Tal volume foi orçado (com o maior rigor prático (em 3.000 m³, dado que igualmente influenciou, como além se registrará, na seleção do fluido inerte).

4) *Escolha do fluido inerte* — Do cômputo inicial das probabilidades, fizeram parte os seguintes agentes inertes:

— GÁS INERTE resultante da queima do óleo diesel em gerador móvel e disponível na C. S. N., há longa data, pelo fato de ser empregado nas purgações anteriores, de pequenos volumes. A purgação por essa via foi estudada sob dois ângulos, a saber:

- a) purgar todo ramal de 3.000 m³ com o débito momentâneo de inertes;
- b) encher um gasômetro de 1.500 m³, disponível, com êsse débito, à vespera; no momento da manobra, purgar o ramal empregando o fluxo de saída dêsse gasômetro.

Ressalta aparente que o débito do gerador (200 m³/h), imperativamente empregado em qualquer das duas hipóteses, prolongaria por demais o tempo de operação.

— DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) COMERCIAL: Trata-se de um dos melhores agentes inertes disponíveis. Pode ser comprado em caminhões, vagões-tanque ou em cilindros de 25 kg. Supera o nitrogênio também comercial, que é outro agente inerte de classe análoga, pela facilidade com que se acompanha a evolução de uma purgação de CO₂ em relação àquela que se teria com N₂. Com efeito, o CO₂ é o primeiro elemento a ser analisado nos aparelhos "Orsat" (análise rápida e precisa), enquanto o "N₂" é o último e por diferença (análise demorada e imprecisa).

O "CO₂" em questão seria um excelente agente inerte. A sua exclusão foi feita por fatores ocasionais que adiante explanaremos.

— VAPOR, cujo maior mérito reside em sua constante disponibilidade em usinas siderúrgicas. É também um inerte apreciável, quando se tiver de "limpar" um reservatório qualquer além de purgá-lo. Emprega-se igualmente, com sucesso, em instalações que contenham determinados inflamáveis em depósito, cuja volatilização se processa por via térmica. Nesses casos é perigoso usar um agente inerte frio, porque depois da liberação da instalação, se poderão desenvolver serviços em alta temperatura (soldas, cortes, etc.) que desprenderão calor suficiente àquela volatilização, com a conseqüente formação de misturas inflamáveis.

Em contrapartida, apresenta inúmeras desvantagens, tais como:

- a) Pressão elevada, o que o desfavorece quando se julga que fica o supervisor impedido de sentir os vazamentos no decorrer da manobra (vide estudo físico-químico, parte relativa à pressão).
- b) Temperatura elevada, o que favorece condensações repentinas com acentuadas manifestações de sucção.
- c) Tendência a purgar por diluição, o que dilata o tempo da operação; baixa gravidade específica; efeitos térmicos de dilatação, ocasionados pela alta temperatura do agente inerte.

Como se depreende, por motivos de segurança, em manobra de tal vulto, foi afastada a cogitação do vapor.

— GÁS DE CHAMINÉ: Tais gases são produtos perdidos da combustão de qualquer equipamento térmico siderúrgico, tais como: fornos, caldeiras, etc. Esses produtos são captados para fins de purgação, após servirem como agentes térmicos em equipamentos de troca de calor empregados em cda caso (regeneradores, etc.).

A purgação com gás de chaminé apresenta duas consideráveis vantagens: disponibilidade e produção altíssima de inertes. Apresenta, porém, algumas desvantagens, tais sejam:

- a) Custo de montagem e instalação, introduzidos nesse cômputo os custos de instalação da estação de compressão e da de resfriamento de gás queimado. O excesso de temperatura dos gases queimados aproveitados é desfavorável pelo fato de produzir dilatações na rede onde serão introduzidos. Tais dilatações incrementariam o tempo de operação, pela necessidade de aguardar o resfriamento natural ou forçado dos ramais, para a efetivação dos reparos. A mencionada temperatura excessiva seria ainda altamente nociva no tocante à limitação da máquina exaustora. A temperatura máxima limite de gás trabalhado pela máquina disponível era especificada em 540°C, o que enfatiza outra vez a necessidade de resfriamento.
- b) Volume variável de gases queimados, propiciando a tendência de purgar por diluição com o conseqüente aumento do tempo operacional.
- c) Descontinuidade de produção em equipamentos submetidos à reversão do fluxo de combustível. Eis a causa, pela qual, embora seja capacitada ao serviço, afastou-se a hipótese do emprêgo da chaminé de baterias de coque.

Considerando os dados enunciados, foram emitidas na seleção do inerte algumas conclusões:

a) A purgação com gás inerte produzido pela máquina geradora de 200 m³/h de débito, era inaceitável, em qualquer de suas duas modalidades.

Na hipótese da purgação direta (máquina debitando ao ramal diretamente no momento da manobra), isso ocorreria, pelo alentado tempo operacional obtido. Com efeito, aplicando 200 m³/h ao volume total de 3000 m³, se desenvolveria a purgação em um mínimo de 15 horas, somente para expurgar o gás. Outro tanto se haveria de gastar na extração posterior de ar. Caso se empregasse, na armazenagem prévia de gás inerte, o gasômetro de 1500 m³ disponível, também não se haveria de extrair maiores vantagens em face de ser menor do que o volume total a purgar a capacidade do referido gasômetro. Nessa ordem de considerações, teríamos purgação por gasômetro da metade do volume e o restante com purgação direta. Ainda mais, no intervalo entre as duas operações (de gás e de ar) seria imperativo reencher o gasômetro em tempo nunca inferior a 7 horas e meia, inutilizando todos os esforços no sentido de minimizar o intervalo necessário aos reparos mecânicos da linha.

b) Quanto à purgação com CO₂ comercial, as firmas especializadas somente poderiam fornecer o fluido em cilindros. A demanda de tais cilindros seria avultadíssima, como também sairia bem acentuado o preço de compra.

c) *Gás da chaminé* — De início constatou-se a viabilidade de superar certas desvantagens que êsse tipo de purgação ofereceria. O custo, na verdade, seria altamente onerado, caso se tentasse comprar, especificamente para a aplicação, o exaustor adequado. Ocorre que, quando do redimensionamento do forno de placas n.º 1, um dos exaustores, que lá operava, tornou-se disponível. As características do mesmo assemelhavam-se àquelas das necessidades da operação. A figura 1 exhibe a curva pressão estática/volume, da máquina aludida.

O custo da solução seria então definido pela totalização dos gastos dispendidos em montagem e instalação da máquina na visita da chaminé, e do sistema de resfriamento, que faria a um tempo, a proteção da máquina (tendo em vista o limite de 540°C), e a redução dos efeitos térmicos de dilatação que a linha pudesse sofrer, não fôra o resfriamento aplicado. A montagem e instalação da máquina exaustora e do sistema de resfriamento foram realizadas por organismos integrantes do corpo técnico da C. S. N., exclusivamente.

No item 5 se examinará, em fotografias colhidas no dia da operação, todos os detalhes relacionados com a instalação do exaustor mencionado.

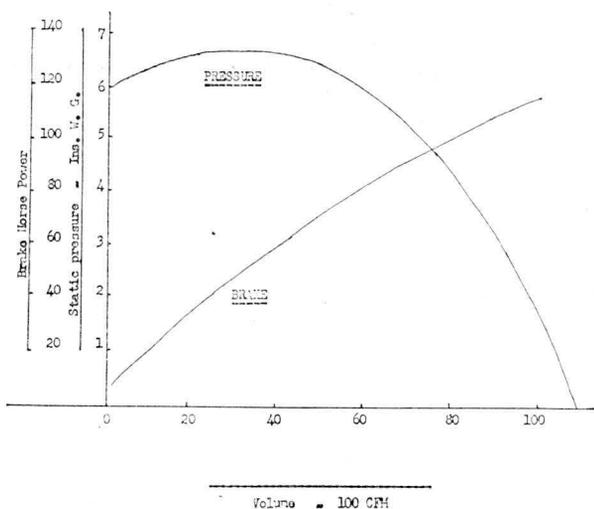


Fig. 1 — Curva pressão estática/volume do exaustor.

A desvantagem que se infere do volume variável dos gases queimados, teria relativamente pouca importância, em face do fato de ser consideravelmente maior do que em outra qualquer hipótese, o débito de gás inerte deste sistema. Dessa forma, mesmo considerando que tenderíamos em parte a purgar por diluição, haveria forçosamente, uma diferença entre os tempos de purgação do exaustor aludido e dos outros processos analisados.

A terceira desvantagem apresentada foi amplamente contornada no caso, pois que se decidiu instalar o exaustor na chaminé do forno de placas n.º 2. Em parte, essa decisão foi motivada pela inexistência de reversões no forno. Por outro lado, motivou também a escolha, a proporção da vazão de gás queimado, que esse forno pode produzir, inteiramente compatível com o volume total a purgar.

Dessa forma, se conclui indubitavelmente que a purgação por gás de chaminé era mais conveniente e econômica sob quaisquer pontos de vista, para o caso em discussão.

5) *Esquema, detalhes de montagem e operação do exaustor* — O exaustor foi localizado ao lado da base da chaminé do forno de placas n.º 2. Foi empregado como tubulação de

conexão à vista da chaminé uma secção tronco-cônica que aparece em primeiro plano da figura 2.

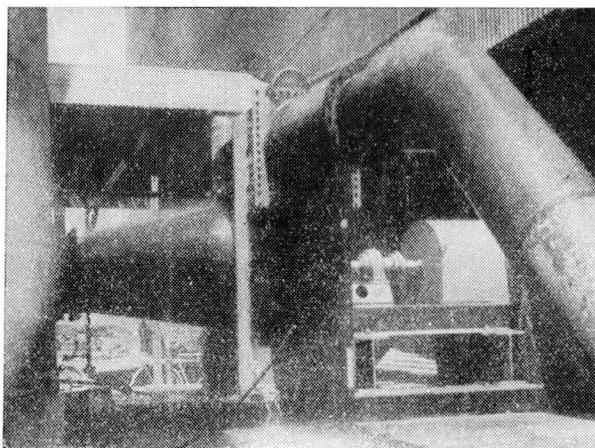


Fig. 2 — O exaustor montado. Note-se o jato de água do ramal de resfriamento e o da tubulação de saída do "booster".

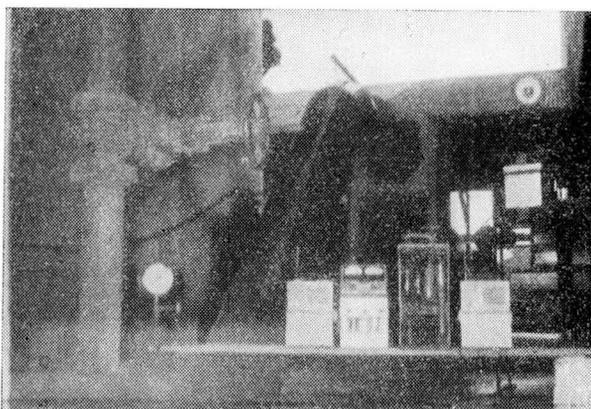


Fig. 3 — Conjunto de aparelhos que acompanharam a operação do exaustor: registrador de temperatura; dois aparelhos de rádio; "heat-prover" e aparelho Orsat. Com outros aparelhos de rádio, houve ligação permanente entre forno: exaustor e sangradouro do momento.

A figura 3 retrata a tubulação de saída da máquina, vendo-se à esquerda um sangradouro vertical de 6", que aliviou a mencionada linha quando não se debitava inerte, por qualquer circunstância, para o interior do ramal a purgar. A mesma fi-

gura realça ainda um conjunto de 5 aparelhos que acompanhavam a operação do exaustor e que são a saber:

- a) Um registrador de temperatura "Leeds & Northrup" que informou, ao longo da manobra, as temperaturas vigentes no canal de fumaça do forno e no corpo da máquina. O medidor em questão foi usado para controlar e atestar a eficácia do sistema de resfriamento. Obteve-se, em trabalho de regime, cêrca de 900°C no canal e 300°C na máquina. Esta última variável foi plenamente satisfatória por se situar abaixo da temperatura limite de regime da máquina.
- b) Dois aparelhos de rádio "Vocatrol" (acionados a bateria) solucionaram a intercomunicação instantânea entre os supervisores responsáveis pela regulagem de combustão do forno e pela operação da manobra, em geral. A rapidez com que se efetivaram êsses contactos (entre a chaminé e o forno) permitiu, por exemplo, que se mantivesse ao longo do decorrer de tôda a operação, um teor de 2% de "O₂" nos gases queimados. O número se enquadra perfeitamente na definição de um gás inerte.
- c) O teor de oxigênio acima aludido foi continuamente indicado ao longo da operação, por indicador "Heat-Prover". Tal indicador poderá ser visto na bancada na posição interior-esquerda. Na posição interior-direita, se observa um aparelho "Orsat", que serviu para conferir periodicamente a eficácia do "Heat-Prover". Além dos dois citados aparelhos de rádio "Vocatrol", operaram ainda outros dois, aplicados aos pontos de sangria do ramal, que momentaneamente, operavam. Armou-se assim, uma triangulação permanente, pelo rádio, entre forno, exaustor e sangradouro do momento.

A figura 4 mostra parte da equipe que operou na manobra, em trabalho com os instrumentos que acompanharam o desenvolvimento da purgação.

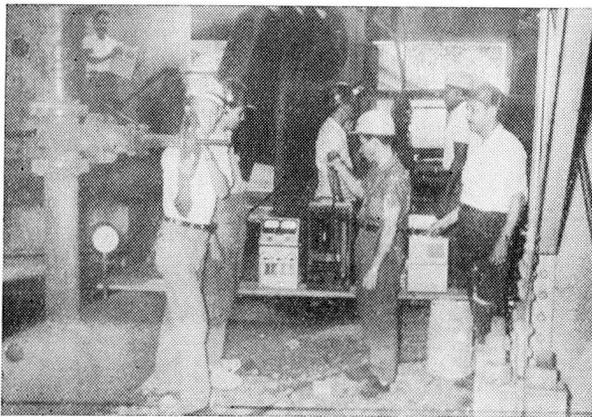


Fig. 4 — Equipe de trabalho e instrumental do exaustor.

A figura 5 registra uma vista geral da tubulação de saída da máquina. Note-se a parte ascensional e a conexão do flange terminal de um ramal aéreo de grande diâmetro que se encontrava, à época da operação, no ar. Num ponto adiante, estava êsse ramal bloqueado da rêde de gás de alto forno por uma válvula óculos fechada. Instalou-se no ramal de saída da máquina, à jusante do "Bleeder" de 6", uma válvula tipo borboleta, de pronto vedamento. Êsse acessório foi ali colocado, pela possível necessidade de evitar rapidamente qualquer retôrno de gás combustível, para a chaminé, na hipótese de faltar energia.

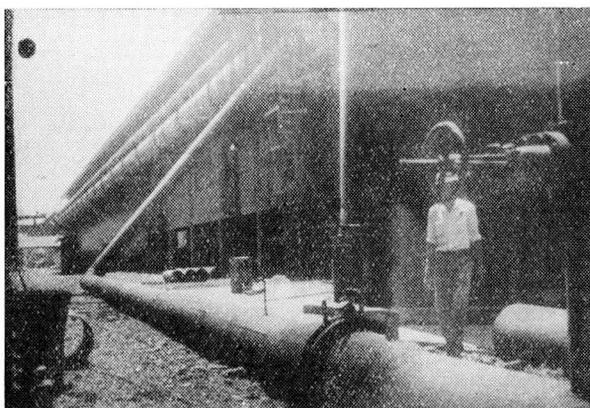


Fig. 5 — Ramal de conexão da máquina à linha.

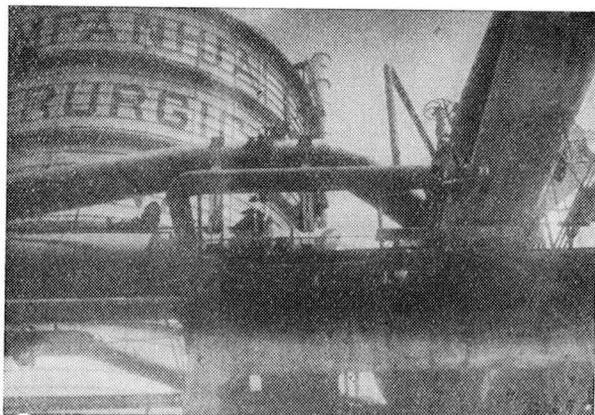


Fig. 6 — Ramal "by-passa" da válvula óculos na linha de saída do exaustor.

A existência de uma válvula óculos fechada no ramal de saída da máquina, e a impossibilidade do seu acionamento, implicaram na confecção prévia de um ramal "by-pass" de contorno da válvula óculos referida. É o que se realça na figura 6, observando-se: o ramal "by-pass" provido de válvula volante, e de diâmetro 16", em primeiro plano; um "bleeder" na linha no ar (trecho de montante da válvula óculos).

A instalação conjunta do ramal "by-pass" provido de válvula e do "Bleeder" permitiu que a entrada de gás inerte no sistema a purgar se desenvolvesse com máximas condições de segurança, sem possibilidade de, no justo momento em que devessem os inertes entrar no ramal de gás de alto forno, se formar fluxo inverso com entrada daquele gás no trecho dos inertes. Manômetros verticais tipo "tubo U" foram locados em ambos os lados da válvula volante do ramal "by-pass". O processo da entrada dos inertes evoluiu então:

- Colocar inerte até a válvula volante (fechada) do ramal "by-pass" sangrando pelo "bleeder" próximo. Observar a pressão no manômetro de inertes.
- Retirar o gasômetro da linha geral e observar a queda de pressão do outro manômetro (a queda foi, por sinal, bastante lenta).
- Abrir a válvula do ramal "by-pass" e fechar o sangradouro antes aberto, quando a pressão do gás inerte superasse a da rede de gás de alto forno.

6) *Determinação prévia do ponto terminal* — PONTO TERMINAL de uma operação de purgação de gás é a porcentagem máxima de gás combustível, na mistura com gás inerte, com a qual se poderá arear o reservatório, sem o perigo de ensejar a formação de uma mistura inflamável. Análogamente, ponto terminal de uma purgação de ar é a porcentagem máxima que uma mistura de ar e inerte pode conter de ar, com a qual podemos realizar no reservatório a entrada de qualquer quantidade de gás combustível, na segurança de que em nenhum momento ocorrerá a formação de mistura explosiva.

Ambos os valores definidos devem merecer cálculos prévios pelo projetista da purgação, raciocinando com a natureza do gás combustível que é objeto da mesma, com a curva de explosão dos combustíveis elementares que compõem esse gás e aplicando a lei de "Le Chatelier" ao caso particular.

Anteriormente, já se fixou que a matéria combustível elementar essencial do gás de alto forno é o monóxido de carbono (cêrca de $\frac{1}{4}$ em volume), sendo as taxas percentuais dos demais combustíveis desprezíveis em presença de "CO".

Sabemos ademais que, quando pequenos incrementos de um gás combustível são sucessivamente misturados com ar, atingir-se-á uma concentração na qual haverá propagação de chama, independente da pressão reinante. Esse ponto é o *limite de inflamabilidade inferior* do gás no ar. Continuando os incrementos, atingir-se-á uma outra concentração mais forte de gás no ar, na qual a propagação da chama cessará. Tal é o *limite de inflamabilidade superior* do gás no ar. Para o cálculo de limites de explosão de gases compostos, foi realizada por via experimental a determinação do limite de explosividade de misturas de determinados combustíveis com inertes, ambos pertencentes à análise elementar dos gases compostos em questão. Foi então levantado o gráfico da figura 7, constituído de uma família de curvas. Tais curvas, na transcrição que ora se faz, são aquelas indispensáveis à determinação dos terminais relativamente ao gás de alto forno. Para outros gases, há outras que foram excluídas do gráfico da figura 7.

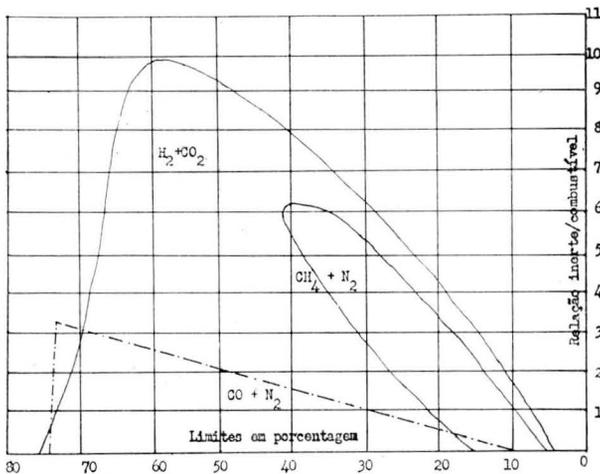


Fig. 7 — Limites de explosão do gás de alto forno.

A lei de “Le Chatelier”, se expressa nos seguintes termos: “O limite de explosão de uma mistura de gases combustíveis e inerte é o inverso de uma soma de frações cujos numeradores são os percentuais em volume na mistura, dos diferentes grupos combustível/inerte que se poderão formar, e cujos denominadores são os limites correspondentes em ar, de explosão de tais grupamentos parciais”.

Estimou-se no prosseguimento do cálculo, a composição média do gás de alto forno, nos seguintes valores, em %: CO₂ — 14,6; CO — 27,6; CH₄ — 0,4; H₂ — 2,4; N₂ — 55,0.

Aplicando "Le Chatelier", concluiríamos:

1.º Grupo:

percentual em volume na mistura	14,6 + 2,4 = 17,0
relação inerte/combustível do grupo	14,6 + 2,4 = 6,1
limites de explosão pelo gráfico da fig. 7: (lei = 29); (les = 67)	

2.º Grupo:

percentual em volume na mistura	27,6 + 55,0 = 82,6
relação inerte/combustível do grupo	55,0 + 27,6 = 2,0
limites de explosão pelo gráfico da fig. 7: (lei = 35); (les = 74)	

3.º Grupo:

percentual em volume na mistura	0,4 + 0,0 = 0,4
relação inerte/combustível do grupo	0,0 + 0,4 = 0,0
limites de explosão pelo gráfico da fig. 7: (lei = 5); (les = 15)	

Equacionando, teremos:

$$LEI = \frac{100}{\frac{17}{29} = \frac{82,6}{35} = \frac{0,4}{5}} = 33 \text{ limite inferior de explosão do gás de alto forno}$$

$$LES = \frac{100}{\frac{17}{67} = \frac{82,6}{74} = \frac{0,4}{15}} = 71,5 \text{ limite superior de explosão do gás de alto forno}$$

Tais limites possibilitam a construção da curva de explosão do gás de alto forno, servindo para plotar os pontos sobre o eixo AB do gráfico da figura 8. O ponto "Z" foi encontrado por via experimental, realizando incrementos de inertes. O gráfico de área de explosão definirá perfeitamente os terminais desejados. Tais áreas, não significarão necessariamente que sua violação acarrete a explosão prevista, significando tão somente a possibilidade dessa explosão se efetivar. O eixo vertical exprime os teores de gás combustível em uma mistura com gás inerte. Assim, quando se estiver expurgando o gás de uma tubulação, a fim de posteriormente aerá-la, estar sobre o pon-

to 30 é ter na tubulação 30% de gás e 70% de inerte. O eixo horizontal mostra os teores de ar em uma mistura com gás inerte. Assim, na extração de ar de um ramal para posteriormente preenchê-lo com gás combustível, estar sobre o ponto 40 significa que, naquele momento, temos 40% de ar e 60% de inerte.

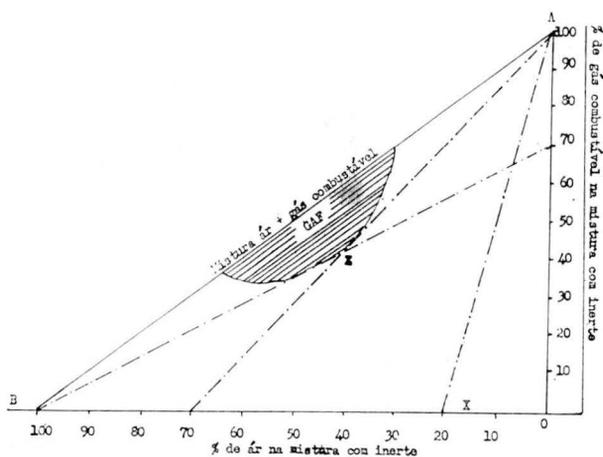


Fig. 8 — Curva de explosão do gás de alto forno.

Nos problemas práticos é extremamente fácil definir a situação. Com efeito, as análises de fluido de escape informam ao supervisor acerca de todo o gradiente da operação. Em manobras de expurgo de ar, por exemplo, reconheceríamos estar sobre o ponto 20 do eixo OB, quando aquelas análises expresssem um teor de oxigênio de $0,2 \times 21 = 4,2\%$. Se nesse ponto fôsse permitida a entrada de gás combustível no ramal, forçaríamos o deslocamento do ponto "X" no percurso da reta \overline{XA} e no sentido de "A", que é o ponto que caracteriza 100% de gás combustível no ramal. Essa reta nem sequer tangencia a curva de explosão do gás de alto forno, de modo que, seria "X" um terminal de purgação de ar (relativamente à entrada de gás de alto forno) perfeitamente seguro.

Ocorre, entretanto, que já anteriormente teríamos podido liberar o reservatório. Esses terminais são definidos pelas retas tangentes à curva no ponto "Z", respectivamente \overline{AZ} e \overline{BZ} que interceptam os eixos \overline{OB} e \overline{OA} nos pontos 70 em ambos os casos.

Acontece que a "American Gas Association" recomenda uma taxa de segurança mínima de 30%, para o cálculo dos

terminais. A fração que inter-relaciona os limites teóricos terminais com os terminais práticos, tendo em vista a taxa de segurança, é:

$$\frac{\text{terminal tangente} - \text{terminal prático}}{\text{terminal tangente}} \times 100 = \text{taxa de segurança (\%)}$$

- a) *Terminal de purgação de gás* de alto forno, a fim de admitir no ramal ou reservatório qualquer quantidade de ar.

$$\frac{(70 - \text{tg})}{70} \times 100 = 30 \quad \text{tg} = 49\% \text{ de gás no ramal}$$

Como o gás de alto forno tem 27,6% de "CO", resulta t'g = 13,5% de "CO" na mistura gás de alto forno + inerte.

- b) *Terminal de purgação de ar*, a fim de admitir no ramal ou reservatório qualquer quantidade de gás de alto forno

$$\frac{(70 - \text{ta})}{70} \times 100 = 30 \quad \text{ta} = 49\%$$

Como o ar tem 21% de O₂ em volume, resulte t'a = 10,3% de oxigênio na mistura ar + inerte.

Tais limites foram integralmente obedecidos. É importantíssimo frisar, aliás, que na purgação de gás, em que se teria de, ao cabo da operação, atingir no mínimo ao terminal t'g, levou-se o abaixamento do "CO" a um valor muito menor. O motivo é bem simples. O terminal dimensionado cogita apenas de evitar explosões; nem de longe pressupõe algo a respeito da proteção indispensável que devemos prestar ao elemento humano. Nas operações de expurgo de gás, em via de regra, tão logo é terminada a manobra, começa a se desenvolver um contacto estreito entre o pessoal da turma de reparos e o ambiente que foi expurgado.

Ora, quando se recordar de que 0,1% de "CO" em determinado ambiente já constitui taxa nociva ao sistema respiratório humano, se concluirá que, na grande maioria dos casos, é perigosíssimo finalizar uma purgação de gás com 13,5% de "CO" no ramal. Eis a razão determinante da intensidade de redução verificada na manobra e do rigor na eliminação do

teor de "CO". Tal não acontece na purgação de ar, quando em via de regra, após o seu término, não há mais participação do elemento humano no ambiente purgado. De sorte que, o terminal *f'a* pode ser perfeitamente aceito. Isso explica, aliás porque normalmente e em igualdade de volume, é mais lenta a purgação de gás do que a de ar.

3. REALIZAÇÃO DA MANORA DE PURGAÇÃO

1) *Escolha de entrada de inertes e dos pontos de sangria* — A escolha do ponto de entrada foi logicamente subordinada à posição da máquina exaustora, colocada ao lado da chaminé do forno de placas n.º 2, da qual recebia o gás a comprimir. Próximo cêrca de 20 m dêsse ponto, se localizava o flange terminal de uma linha de gás de alto forno abandonada. O mencionado trecho fora de operação, era parte integrante do sistema de gás de alto forno, sòmente se desligando do ramal em carga, pela ação de uma válvula óculos fechada. Era, por outro lado, êsse braço fora de operação aquele que melhores condições apresentava para acolher a entrada de gás inerte, pelo fato de implicar num gasto mínimo de tubulação a construir para interligá-lo à saída da máquina. O fato de haver mais adiante, nessa linha de gás escolhida uma válvula de bloqueio, não constituiu empecilho de maior monta. Com efeito, contornou-se essa válvula, constituindo um pequeno ramal "bypass" de cujos detalhes nos ocupamos no capítulo: Projeto da operação.

As sangrias foram escolhidas de molde a impossibilitar que qualquer trecho de sistema a purgar ficasse a salvo de represar algum gás combustível. Foram arbitrados os seguintes pontos (ver figura 12):

2 pontos no ramal de gás dos fornos poços	sangrias <i>sul</i>
2 pontos no ramal de gás das baterias de coque	sangrias <i>norte</i>
1 ponto no ramal de gás da casa de caldeiras	sangrias <i>leste</i>

2) *Mapa de horários* — Antes de tudo se deverá dizer que o mapa "Manobra para a linha de gás de alto forno", é um mapa de previsão. Na realidade, em diversos serviços parciais e no cômputo geral, houve uma substancial redução de inter-vá-los. Êsse detalhe é muito enfatizado no estudo que adiante compõe o capítulo "Conclusões".

3) *Seqüência operacional dos serviços preliminares (Departamento de Combustão):*

- a) O Posto de distribuição de gás diligenciou no sentido de obter o máximo de altura do pistão do gasômetro de alto forno, às 4 horas da manhã do dia programado. Era o início da operação.
- b) O Departamento de altos fornos bloqueava, a seguir, mediante válvulas óculos, as saídas de seus precipitadores para a linha geral e a entrada dos regeneradores.
- c) Em continuidade, apagavam-se os pilotos de gás de coqueria empregados em cada um dos sangradouros da rêde geral de gás de alto forno.
- d) Após efetivados cada um dos itens anteriores, e com a máquina de purgação debitando gás para a atmosfera, retirou-se o gasômetro da linha de gás de alto forno, fechando simultâneamente seus dois selos d'água de entrada.
- e) Cêrca das 6 horas, manobrava-se então a entrada de gás inerte no ramal a purgar, quando a pressão do inerte superou a pressão descendente da rêde de gás de alto forno. Essa manobra foi realizada na instalação da fotografia da figura 6. No instante da entrada foi também ordenada a observação na pressão mínima atingida no extremo do ramal leste (Casa de caldeiras). Caso se obtivesse valor 2" H₂O naquele ponto, a fim de manter sempre todo o sistema em pressão positiva, entrar-se-ia com o fluxo de uma pequena máquina geradora de inertes no ramal, no objetivo de guardar a mencionada pressão positiva.
- f) Prosseguiu a purgação até a obtenção do ponto terminal prêdimensionado, levando em conta o contacto do pessoal com o ambiente purgado. Aerou-se a linha, nos pontos que a planta esquemática realça como visitas: próximo à conexão do travessão leste-oeste com a derivação para a bateria de coque, no trecho norte-sul frontal aos gasômetros e pelos 2 (dois) "bleeders" do ramal.
- g) Nesse momento, foi o serviço entregue à linha de manutenção mecânica, para o início dos reparos de que trata o mapa de horários.

4) *Seqüência operacional dos serviços da linha de manutenção mecânica* — Tais serviços foram simultâneos, com turmas espalhadas nos diversos pontos a atacar:

- a) Ligação de um novo ramal de 72" no ramal geral, a fim de permitir em futuro o alcance da vazão de gás necessário ao consumo da Casa de caldeiras. A demanda de maior vazão era função da próxima futura ligação da caldeira n.º 7 (fig. 9).

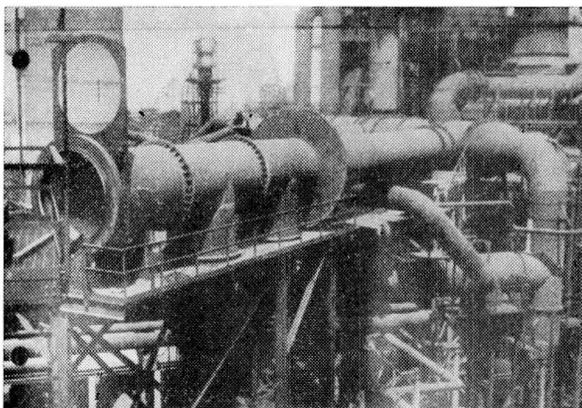


Fig. 9 — Vista da ligação do novo ramal de 72" à linha.

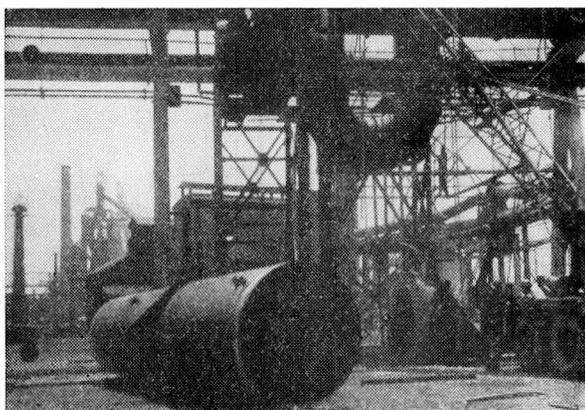


Fig. 10 — Trecho do tubo que foi cortado para entrada no ramal da Bateria de Coque, do conjunto sêlo-válvula, ao fundo.

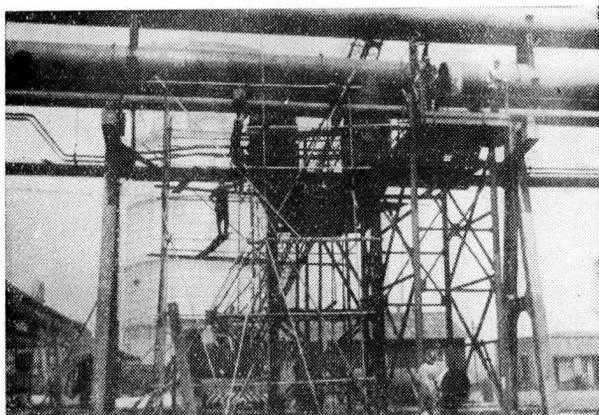


Fig. 11 — Sêlo d'água colocado no ramal da Bateria de Coque. A descontinuidade se destina à válvula óculos. Ao fundo, os dois gasômetros das linhas de gás.

- b) Instalação de um sêlo d'água e válvula óculos no ramal de 60" que alimenta as baterias de coque. A possibilidade de bloquear a bateria de coque, sem impedir fluxo de gás do gasômetro para os demais consumidores e vive-versa, motivou a instalação do sistema de vedamento que ora apreciamos e que ilustra as fotografias das figuras 10 e 11.
 - c) Conexão de uma linha de 36" à linha de 54" de gás de alto forno que abastece os fornos poços, a fim de propiciar vazão de gás às novas baterias de números 10 e 11.
 - d) Ligação da nova linha de 20" à linha geral. Essa linha se destinaria à alimentação reforçada da destilaria de alcatrão.
- 5) *Seqüência operacional dos serviços finais (Departamento de Combustão):*
- a) Colocação da linha agora em ar, sob pressão de gás de chaminé.
 - b) Purgar até atingir o ponto terminal de purgação de ar pré-dimensionado.
 - c) Entrar com o gasômetro de alto forno no ramal, desfazendo previamente a posição da válvula óculos inter-

mediária aos selos d'água. Na verdade, tão logo foi notado o aumento de pressão na linha proveniente da entrada do gasômetro, foi retirado pela instalação da figura 6 o fluxo de inertes para a linha, desviando-o para a atmosfera.

- d) Em seguida foi aberto o "bleeder" automático do sistema de gás de alto forno, lentamente; com essa sangria, permitiu-se ao ramal em inertes se preencher com cerca de 4.000 m³ de gás antes acumulado no gasômetro. Esse preenchimento foi realizado com precisão porque houve ordem de sangrar o "bleeder" de molde a fazer cair de 2 metros a altura do pistão do gasômetro.
- e) Após isso, foi o DAF avisado da normalidade de condição da linha de gás de alto forno. Ficou a cargo desse departamento a interligação de suas unidades precipitadoras e regeneradoras com o sistema geral de gás da C. S. N.
- f) Sòmente nesse momento, normalizava o Pôsto de distribuição de gás o consumo dos diversos consumidores.

6) *Serviços gerais auxiliares* — No intuito de disciplinar a supervisão e outorgar à manobra um perfeito sistema de proteção individual e coletiva, requisitou-se: uma ambulância (ao Departamento Hospitalar); um carro pipa (ao Corpo de Bombeiros); veículos e uma guarnição do Corpo de Bombeiros.

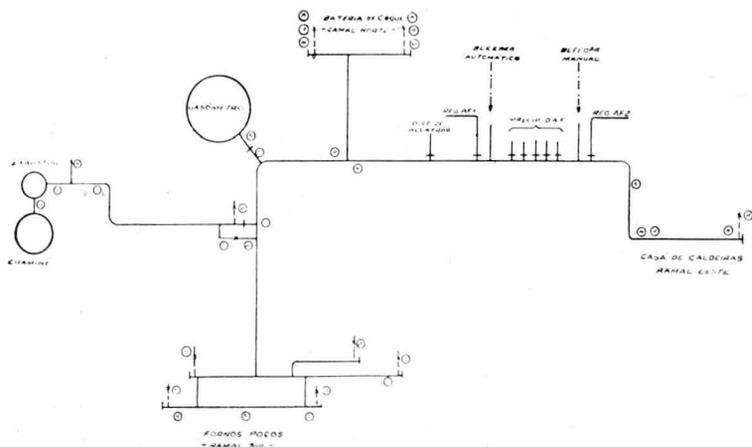


Fig. 12 — Planta esquemática da rede de gás de alto forno. Convenções: B = bleeders de purgação; M = manômetros; R = Torneiras para amostra; S = selos d'água; V = visitas; — = válvulas óculos; x = válvulas volante.

MANOBRAS PARA A LINHA DE GÁS DE ALTO FORNO - Início 4:00 horas - COORDENAÇÃO: DCB

SERVIÇOS	HORÁRIO																							
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
<u>SERVIÇOS PRELIMINARES - DCB</u>																								
Corte de gás Fornos Poços e CTE																								
Operação do exaustor da chaminé do Forno de Placas nº 2																								
Retirada do gasômetro da linha de gás de Alto Forno																								
Purgação da linha geral com CO ₂ N ₂ e comprovação																								
Fechamento da válvula óculo Gasômetro de Alto Forno																								
<u>SERVIÇOS NA LINHA GERAL - LFM</u>																								
Ligação do sêlo, válvula de 72" para a CTE à linha geral																								
Instalação do sêlo d'água e flange cêgo na linha de 60" para a coqueria liberando a linha geral																								
Ligação da linha de 36" (baterias 10ª e 11ª) a linha de 54" (trecho até a válvula)																								
Ligação da nova linha de alcatrão de 20" a linha geral (trecho até a Válvula).....																								
<u>SERVIÇOS FINAIS - DCB</u>																								
Operação do exaustor da chaminé do Forno de Placas nº 2																								
Purgação de retorno com CO ₂ N ₂																								
Abertura da válvula óculo, gasômetro de Alto Forno																								
Colocação do gasômetro na linha geral																								
Testes finais na linha geral																								
<u>DIVERSOS - SG - DSI - DTR</u>																								
1 Ambulância a disposição no Posto de Gás																								
1 Carro pipa a disposição, com bombeiros, próximo ao DCB																								
2 Carros a disposição do DCB, apresentando-se no Posto de Gás																								
1 Carro a disposição da LFM, apresentando-se no Posto de Gás																								

Fig. 13 — Mapa de horários na manobra para a linha de gás de alto forno.

3. CONCLUSÕES

Acorde com o exposto, constatou-se que, a par de conferir à operação um alto caráter de segurança, teve o emprêgo do gás de chaminé o mérito de realizar o aludido trabalho em tempo mínimo compatível com os recursos disponíveis. Conseqüentemente, é indispensável que para aferir a amplitude desse mérito, seja equacionado em termos financeiros o lucro canalizado para a C. S. N., resultante da adoção daquele método de purgação. Nesse pressuposto, é mister que se adote, na evolução do raciocínio, um outro método que como o primeiro, fôsse no caso exequível, e que caracterizasse a consumação de um tempo operacional sòmente superior àquele que configurou o sistema efetivamente utilizado.

Assim se poderia então proceder ao indispensável balanceamento de vantagens financeiras com a estimativa final diferenciando tais esquemas de purgação no aspecto econômico.

Acontece que dos 4 métodos de purgação analisados, a rigor, no caso em questão, apenas seria viável além do método escolhido, aquele definido pelo uso de uma máquina geradora de gás inerte, a partir da combustão de óleo diesel, debitando horariamente cêrca de 200 m³. Tal vazão acarretaria, em face do volume total a purgar (6.000 m³; purgação de gás e depois de ar) a efetivação de no mínimo 30 horas de trabalho operacional, sòmente para purgação. Ora, com o uso de gás da chaminé, foi realizado idêntico serviço em 6 horas. Isso indica que todo o sistema operacional da C. S. N., que depende do consumo de gás de alto forno, DEIXARIA DE OPERAR 24 HORAS, caso não se consumasse o aproveitamento da solução arbitrada.

Essa interferência alcançaria notadamente:

- 1) Ao departamento de altos fornos que teria de manter fora de operação os 2 altos fornos. Poderia ser argüida a hipótese de, mantendo os fornos desligados do sistema de gás (sôpro para atmosfera) não interromper a produção de gusa. Convém lembrar, entretanto, a inexequibilidade dessa hipótese, porque os regeneradores deixariam de preaquecer o ar soprado, por falta de gás de alto forno, que é o combustível que fornece produtos queimados ao processo térmico daquelas unidades.
- 2) Ao departamento do desbastador e trilhos que ficaria privado por mais $(30 - 8) = 22$ horas de gás de alto forno combustível, para os fornos poços. Tomamos 8 horas como termo subtrativo, pelo fato de que, embora fôsse realmente realizada em 6 horas a manobra total de purgação, houve

da data posterior ao dia operacional para êste, o deslocamento de uma parada rotineira de 8 horas para manutenção preventiva do desbastador. Significa que, na data da manobra, qualquer que fôsse o tempo total de purgação, parar-se-ia por 8 horas o equipamento do DDT.

Cabe ainda destacar dois fatos:

- a) Perderiam os organismos da C. S. N. cêrca de 3055 — — 2291 = 764 t de sucata que teriam de ser compradas no mercado externo.
- b) O prolongamento da operação de purgação impediria (nas 24 horas de acréscimos) que fôsse efetuada no dia imediato a troca de gás de coqueria para gás de alto forno como combustível da bateria de coque. Isso implicaria em consumir mais 120.000 litros (aprox.) de óleo combustível nos fornos de reaquecimento de placas e tarugos, correspondentes à continuação de uso de óleo em 3 zonas daqueles fornos, por 24 horas. Entretanto, essa despesa não foi computada no balanço de lucros, pelo fato de que nem sempre a bateria de coque troca de combustível, mesmo que liberado com rapidez, por motivos técnicos específicos daquele órgão.

BIBLIOGRAFIA

"Purging Principles and Practice" — "American Gas Association".