

GERADORES DE VAPOR NAS USINAS DE AÇÚCAR

Prof. Jayme Rocha de Almeida
da E. S. de Agricultura «Luiz de Queiroz»

GENERALIDADES

Os geradores de vapor são, no sentido estrito da palavra, caldeiras de vapor que produzem o funcionamento de motores térmicos, de instalações de aquecimento, etc..

A instalação dos geradores de vapor nas usinas de açúcar precisa ser feita com especial atenção, pois do seu perfeito funcionamento resulta grande economia na fabricação.

O vapor é gerado por um processo fundamentalmente simples. O combustível (bagaço) é queimado na fornalha e o calor desta combustão é transferido para a água da caldeira. Esta funciona, pois, como um meio de transmissão do calor, enquanto que a fornalha constitui um meio de produzi-lo. A caldeira de vapor é um recipiente de ferro, no qual, pela ação do calor, a água passa do estado líquido ao estado de vapor. Considerada em sua totalidade, a instalação da caldeira tem por fim transformar em força elástica a energia térmica contida nos combustíveis. A eficiência desta operação depende não somente da perfeita construção da fornalha e da escolha de uma caldeira adequada, como também, da maneira como estas duas condições se associam na prática.

De fato, dão-se perdas diversas que podem ser classificadas da seguinte maneira (Fig. 1):

— perdas por irradiação e condutibilidade, que dependem da classe do combustível, do isolamento da caldeira e dos condutores, podendo ser avaliadas em 5 a 8% (Vst);

- 2 — perdas por arrastamento de pequenas porções de combustível que passam com os resíduos, as quais aumentam com a quantidade de cinzas e dependem do trabalho da fornalha, podendo ser estimadas em 1,5 a 2% (VB);

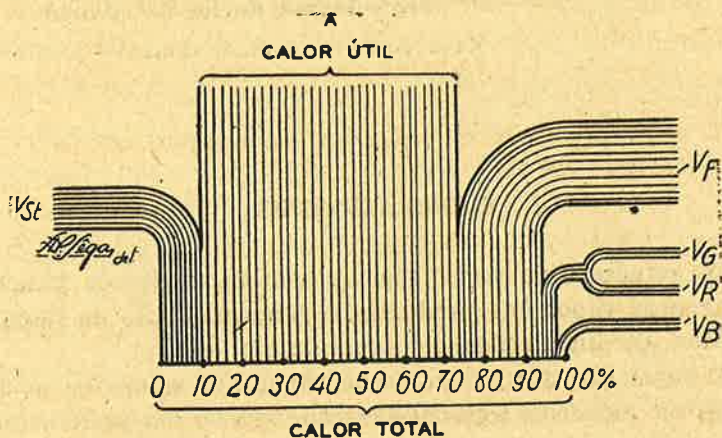


Fig. 1 — Distribuição do calor em uma fornalha

- 3 — perdas por arrastamento de porções combustíveis nos gases queimados, as quais se depositam como fuligem (VR) e arrastamento pelos gases não queimados (VG), as quais dependem da classe do combustível, do trabalho da fornalha e da quantidade de ar admitida, sendo avaliadas em 3 a 4%;
- 4 — perdas de calor transportado pelos gases que deixam o aparelho (VF). Estas perdas dependem da quantidade de gases que se produzem com 1 quilo de combustível, assim como da temperatura que possuem os gases na entrada do canal da chaminé. A quantidade de gás depende, por sua vez, do excesso de ar admitido. Este excesso é reconhecido pela quantidade de CO₂ contido nos gases da combustão. Dêste modo, estas perdas estão em relação com a elevação da temperatura e com o conteúdo dos gases em CO₂, elevando-se a 10-25%.

Somando-se tôdas estas perdas temos o total de calor perdido, o qual varia de 19,5 a 29,0%:

Perdas de calor por irradiação e condutibilidade	5,0 a	8,0%
” ” ” nos resíduos	1,5 a	2,0
” ” ” na fuligem e gases não queimados	3,0 a	4,0
” ” ” pelos gases que deixam o aparelho	10,0 a	25,0
<hr/>		
Total de calor perdido	19,5 a 39,0%

O aproveitamento ou **calor útil** do combustível será, portanto, variável de

$$100 - 39 = 61, \% \text{ a } 100 - 19,5 = 80,5\%.$$

O quociente do calor útil pelo poder calorífico do combustível se denomina **rendimento**.

O vapor numa usina de açúcar é usado principalmente para a produção de energia, no acionamento de motores e bombas, e para efetuar os processos de aquecimento e evaporação dos caldos e licores, visando a cristalização da sacarose. Uma grande porção de calor necessária para os 3 últimos processos é comumente obtida utilizando-se do vapor de escapamento das máquinas, depois de perfeitamente canalizado. A sua pressão é geralmente de 0,35 a 0,56 quilos por centímetro quadrado ou sejam de 5 a 8 libras por polegada quadrada. O excesso de vapor de escapamento é comumente eliminado na atmosfera. Tal prática é errônea, como veremos oportunamente, e deve ser evitada por completo, mediante um estudo meticoloso da instalação.

O calor útil (A — Fig. 1) é limitado pela natureza do combustível usado, enquanto que o calor total requerido é determinado pelo consumo da usina. Todos os esforços devem ser reunidos para manter estas duas condições em equilíbrio, o qual é governado por uma complexidade de fatores. A produção econômica do vapor coopera essencial e diretamente para a diminuição do custo de fabricação da saca de açúcar.

De um modo geral, o custo de produção do vapor toma um

lugar de destaque no sucesso de qualquer indústria e, nesse particular, a do açúcar é favorecida por poder produzi-lo a baixo custo, servindo-se de um residuo da fabricação que é o bagaço.

O bagaço que deixa as unidades esmagadoras é o combustível usado, por excelência, nas usinas de açúcar. As moendas modernas produzem, em condições normais de trabalho, um bagaço com conteúdo baixo de umidade (44 a 52%), tornando possível a sua combustão direta nas fornalhas. O teor em umidade do bagaço varia segundo a velocidade das moendas e a eficiência da moagem, admitindo-se, como extremos, de 40 a 60%.

A quantidade de bagaço que precisa ser queimada é limitada por grande número de fatores, entre os quais pode-se citar a superfície das grelhas e a quantidade de ar para a combustão. Em certas regiões açucareiras onde a economia de combustível foi resolvida após estudos exaustivos, o bagaço produzido pelas moendas é excessivo. Estas usinas, que ontem lutavam com a falta de bagaço, hoje precisam resolver o problema múltiplo do armazenamento, do transporte e da aplicação das sobras de bagaço. Em São Paulo, e quiçá no Brasil, nenhuma usina de açúcar se encontra ainda neste grau de adiantamento. A maioria das nossas usinas precisa de um combustível adicional (lenha), o que dá como resultado um encarecimento apreciável do custo de produção.

A necessidade de vapor varia com as condições locais de cada usina, isto é, capacidade de moagem, aparelhamento, variedade de cana, grau de embebição, processo de fabricação adotado, etc.. A quantidade de vapor produzida depende, dentre outras causas, da superfície de aquecimento da caldeira, da temperatura dos gases, da tiragem, da quantidade de combustível queimado, etc..

TIPOS MAIS USUAIS DE CALDEIRAS

Dos diversos sistemas de caldeiras existentes, utiliza-se na indústria açucareira principalmente os dois tipos seguintes:

- 1 — caldeiras de tubos de fogo ou multi-tubulares.
- 2 — caldeiras de tubos de água ou aquo-tubulares.

As caldeiras de tubos de fogo ou multi-tubulares produzem de 12 a 15 quilos de vapor por metro quadrado de superfície de aquecimento.

Elas consistem em um largo tambor cilíndrico, tendo, internamente, uma série de tubos de ferro laminado que o atravessam de uma extremidade a outra. Eles são fixos em cada extremidade do tambor por uma chapa tubular chamada **espelho**. A água circula entre os tubos e o fogo percorre o interior destes. A parte que está em contacto com a água e com os gases da fornalha é chamada **superfície de aquecimento**. Ela é medida em centímetros ou em metros quadrados.

As caldeiras multi-tubulares são caracterizadas pela vagarosa produção de vapor, baixa pressão deste e pequena produção de vapor. Considera-se com frequência que as caldeiras de tubos de fogo são mais vantajosas pela sua grande capacidade de água, característica que se adapta perfeitamente às necessidades irregulares de vapor em uma usina de açúcar. Entretanto, este tipo de caldeiras está gradualmente se tornando obsoleto para as usinas de açúcar.

Nas **caldeiras de retorno**, deste tipo, os gases da fornalha passam sobre a face inferior do cilindro horizontal, sobem e voltam através do interior dos tubos.

As caldeiras de tubos de água ou aquo-tubulares produzem por hora, de 18 a 22 quilos de vapor por metro quadrado de superfície de aquecimento.

Elas consistem em um ou mais tambores cilíndricos, em que os tubos variam de disposição e forma com os diferentes fabricantes. Em qualquer caso, porém, eles são cheios com água, circulando o fogo em volta dos tubos. No seu interior a água circula de um modo definido ou melhor, por caminhos pré-determinados. Esta disposição especial dos tubos e a maneira como a água circula no seu interior, determinam grande superfície de aquecimento, resultando uma produção rápida e abundante de vapor de alta pressão.

noite em lugar de 14 horas, e deixar livres para os trabalhos agrícolas, numerosos trabalhadores que antes se empregavam em secar e manipular o bagaço.

Têm-se, nestes últimos anos, melhorado consideravelmente os desenhos das fornalhas para queimar bagaço, pois devido à elevada percentagem de umidade encerrada neste combustível, é mister manter durante a combustão uma temperatura a mais elevada possível na fornalha. Este é o principal requisito das fornalhas que se destinam a queimar devidamente um combustível rico de umidade. Quando se queimam combustíveis secos como o carvão ou o petróleo, a instalação das caldeiras é feita de tal modo que a temperatura da fornalha não seja muito alta, enquanto que quando se utiliza o bagaço, o caso é o contrário.

A fornalha, ordinariamente, é instalada em plano inferior à caldeira e na sua frente. Como ela funciona como um meio de produção do calor, o espaço em que se dá a combustão do bagaço deve estar completamente revestido de material refratário ao calor. Os gases de combustão devem ser conduzidos à chaminé por canal cujas paredes estejam também revestidas por material suficientemente resistente à ação do calor.

Para se obter uma combustão sempre boa, evitar excesso demasiadamente grande de ar e não produzir grandes quantidades de gases combustíveis, a alimentação da fornalha deve ser muito bem cuidada. Quando alimentada manualmente, deve ser mantida uma camada de espessura uniforme de bagaço sobre as grelhas, não devendo o bagaço ser introduzido de uma vez em grandes massas e sim, continuamente, em pequenas porções. As diversas manipulações de introdução do bagaço, limpeza, escorificação, etc., devem ser feitas do modo mais rápido possível. Repetidamente deve-se abrir interstícios na camada do bagaço com um ponteiro de ferro para favorecer a combustão do mesmo. Os resíduos da combustão devem ser eliminados do cinzeiro e das grelhas de quando em vez, sem deixar aberta a porta da fornalha e do cinzeiro muito tempo para não favorecer a entrada de grandes quantidades de ar frio.

Praticamente costuma-se admitir que $1m^3$ de espaço na fornalha dá para a combustão de 120 a 130 quilos de bagaço.

As características principais de uma fornalha para queimar um combustível úmido como o bagaço são as seguintes:

1 — o ar deve afluir livremente e igualmente na massa de bagaço;

2 — os arcos existentes na fornalha ou o domo da mesma devem ser construídos de tal modo, que o calor aí chegando se já irradiado para trás sobre o bagaço úmido que vai entrando na fornalha, com o fim de secá-lo. As formas mais modernas de fornalhas têm domos planos chamados **arcos suspensos**, o que representa vantagens de construção e ademais permitem mais uniforme distribuição dos gases quentes às caldeiras do que os arcos circulares de tijolos refratários, usados mais comumente:

3 — a parede e a rampa construídas atrás das grelhas devem provocar, nos gases que por elas passam, um verdadeiro turbilhão para que sejam assim perfeitamente misturados. Nos tipos modernos constroi-se a parede misturadora ou **altar** na base da rampa, a qual facilita a mistura íntima dos gases, evitando a formação de camadas de estratificação e provocando por isso, a mais completa combustão. Conforme se vê na Fig. 4, o altar é uma pequena parede de uns 20 a 30 cms. de altura, feita de tijolos refratários. Nesta figura o altar está situado na extremidade da rampa, porém a sua localização na base da rampa parece ser mais racional, pois, além das vantagens já apontadas, êle ainda goza da função de limitar o espaço ocupado pelo combustível. É provocando uma mistura íntima dos gases combustíveis e comburentes que o altar garante uma combustão mais regular;

4 — a câmara de combustão colocada entre as grelhas e a caldeira, deve ter um volume amplo, para que seja assegurada a combustão completa antes que os gases se ponham em contacto com os tubos da caldeira, onde vão ceder o seu calor à água nêles contida;

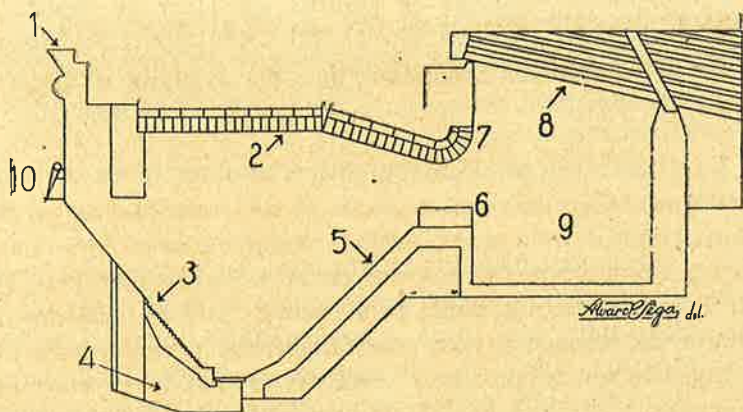


Fig 4 — Principais características de uma fornalha para queimar bagaço
 1 - Alimentador de bagaço; 2 - Arco; 3 - Grelhas; 4 - Cinzeiro; 5 - Rampa; 6 - Altar;
 7 - Despedida; 8 - Tubos da caldeira; 9 - Câmara de combustão;
 10 - Alimntação com lenha.

5 — manter na fornalha uma temperatura a mais alta possível para que a combustão do bagaço seja perfeita. Segundo RENTON, a temperatura mais alta que se pode alcançar com 50% de umidade no bagaço e 100% de excesso de ar é de 1.085° C.;

6 — manter em perfeito estado de conservação as paredes da fornalha, do altar e da rampa;

7 — eliminar periódicamente dos tubos da caldeira, por meio de jactos de vapor, a fuligem que sôbre eles se deposita.

GRELHAS

O objeto das grelhas é sustentar o bagaço e permitir a passagem do ar entre as barras que a constituem, para que a combustão se dê.

No tipo primitivo de fornalhas de COOK não havia grelhas. O bagaço era queimado sôbre uma plataforma, injetando-se ar comprimido sôbre o bagaço em combustão, por meio de maçaricos ou sopradores.

As grelhas atualmente usadas são de 2 tipos :

1 — escalonadas, possuindo uma parte plana e uma inclinada, e

2 — aplanadas, possuindo uma parte inclinada reta.

O tipo de grelhas em degraus, escada, escalonada ou veneziana, muito em uso em Hawaii, como o seu próprio nome indica, é semelhante aos degraus de uma escada metálica, vista de frente. O bagaço vindo pela boca de alimentação do distribuidor de bagaço, cai no tópo da grelha e, vagarosamente, pela ação do seu próprio pêso, vem ter à base da grelha, onde é queimado.

Cada degrau da grelha é feito por um certo número de barras de ferro, substituíveis, cujas extremidades se apoiam livremente numa armação adequada, apresentando uma forma tal que permita sejam dispostas regularmente uma ao lado da outra, conforme mostra a Fig. 5. Para manter entre as barras o espaço livre necessário à passagem do ar para alimentar a combustão do bagaço, elas possuem em cada extremidade um tacão, cuja espessura determina aquêle espaço. Quando as barras são muito grandes um 3.º tacão se constroi no meio das barras.

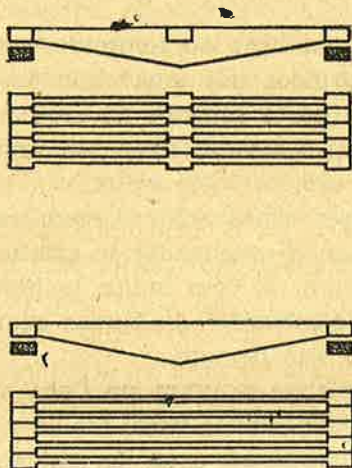


Fig. 5

Grelhas com
2 e 3 tacões

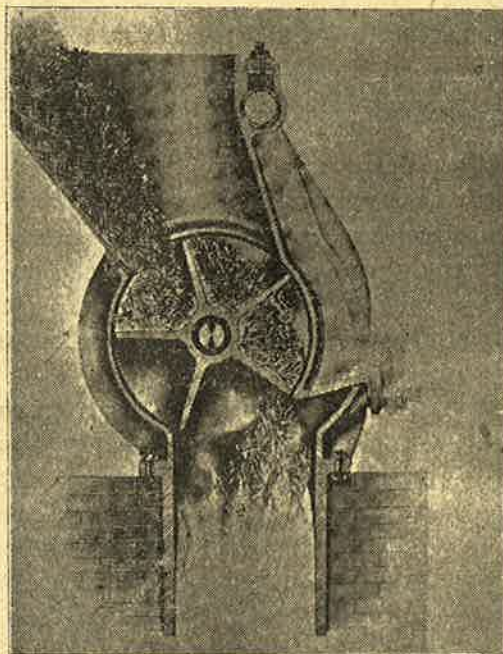


Fig 6
Alimentador
rotativo para
bagaço

A altura das grelhas mais indicada na prática oscila de 75 a 85 centímetros .

As grelhas aplanadas ou lisas apresentam formas variadas, sendo também constituídas por uma série de barras de ferro. O bagaço caindo na parte superior da grelha, que pode apresentar forma cônica, aí é secado, vindo ter, vagarosamente, à base do cone onde a combustão se efetua.

As grelhas precisam ser conservadas sempre em perfeito estado. Se as barras se acham queimadas, a grelha deixa de ser plana, as escórias aderem aí com maior facilidade resultando irregularidades na combustão. As barras avariadas devem, pois, ser substituídas sem demora.

As grelhas de barras planas se usam em Cuba e em Porto Rico, enquanto que as escalonadas se usam em Java, Hawaii e Filipinas, onde o bagaço tem menor grau de umidade.

As grelhas atualmente usadas são de 2 tipos :

1 — escalonadas, possuindo uma parte plana e uma inclinada, e

2 — aplanadas, possuindo uma parte inclinada reta.

O tipo de grelhas em degraus, escada, escalonada ou veneziana, muito em uso em Hawaii, como o seu próprio nome indica, é semelhante aos degraus de uma escada metálica, vista de frente. O bagaço vindo pela bôca de alimentação do distribuidor de bagaço, cai no tôpo da grelha e, vagarosamente, pela ação do seu próprio pêso, vem ter à base da grelha, onde é queimado.

Cada degrau da grelha é feito por um certo número de barras de ferro, substituíveis, cujas extremidades se apoiam livremente numa armação adequada, apresentando uma forma tal que permita sejam dispostas regularmente uma ao lado da outra, conforme mostra a Fig. 5. Para manter entre as barras o espaço livre necessário à passagem do ar para alimentar a combustão do bagaço, elas possuem em cada extremidade um tacão, cuja espessura determina aquêlo espaço. Quando as barras são muito grandes um 3.º tacão se constroi no meio das barras.

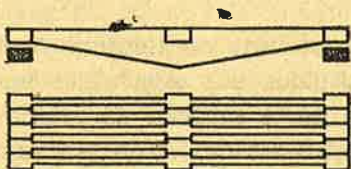
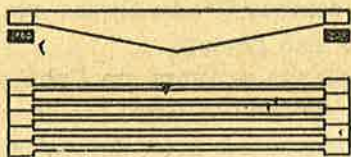


Fig. 5

Grelhas com
2 e 3 tacões



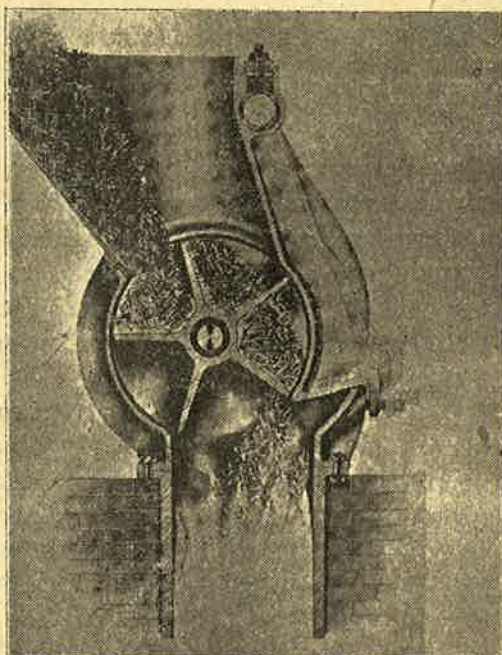


Fig 6
Alimentador
rotativo para
bagaço

A altura das grelhas mais indicada na prática oscila de 75 a 85 centímetros

As grelhas aplanadas ou lisas apresentam formas variadas, sendo também constituídas por uma série de barras de ferro. O bagaço caindo na parte superior da grelha, que pode apresentar forma cônica, aí é secado, vindo ter, vagarosamente, à base do cone onde a combustão se efetua.

As grelhas precisam ser conservadas sempre em perfeito estado. Se as barras se acham queimadas, a grelha deixa de ser plana, as escórias aderem aí com maior facilidade resultando irregularidades na combustão. As barras avariadas devem, pois, ser substituídas sem demora.

As grelhas de barras planas se usam em Cuba e em Porto Rico, enquanto que as escalonadas se usam em Java, Hawaii e Filipinas, onde o bagaço tem menor grau de umidade.

A atividade da combustão na fornalha é medida pelo peso de combustível queimado sobre a grelha, por hora e por metro quadrado. Esse peso depende do combustível e da energia da tiragem.

Considera-se que 1 m² de grelha queime cerca de 300 quilos de bagaço, desde que a tiragem seja bem regulada.

A superfície das grelhas precisa, evidentemente, estar em relação com a quantidade de combustível que se deve queimar.

Para se calcular as dimensões de uma grelha, chamemos

S = a superfície procurada;

P = o peso do combustível queimado por metro quadrado e por hora;

N = o poder calorífico do combustível.

O peso do combustível queimado por hora é

$$Pch = P \times S$$

e se a combustão foi completa o calor despreendido será

$$Cd = P \times S \times N.$$

Já tivemos ocasião de dizer que o calor obtido pela combustão do bagaço, em hipótese alguma é recuperado integralmente no vapor produzido pela caldeira, devido às perdas inevitáveis que se produzem. Para efeito industrial, portanto, não se utiliza senão uma fração do calor total. Esta fração, que chamaremos **R**, é o aproveitamento ou rendimento, muito variável e compreendido entre 0,4 a 0,8.

A quantidade de calor aproveitável que se tem necessidade de produzir será, pois, dada pela expressão:

$$U = R \times P \times S \times N.$$

Desta expressão se pode deduzir a superfície da grelha. Suponhamos que se tenha uma caldeira capaz de produzir 500 quilos de vapor por hora. Se o combustível for o bagaço com

um poder calorífico (N) de 1.801, pergunta-se: qual deve ser a superfície da grelha (S) ?

O número de calorías (C) necessárias para vaporizar a t graus 1 quilo de água tomado a tº graus, é dado pela fórmula:

$$C = 606,5 + 0,305 t - t^{\circ}$$

Para o vapor a 5 atmosferas, $t = 152,26$, e se a água de alimentação entra na caldeira a 20°C , teremos:

$$C = 606,5 + 0,305 \times 152,26 - 20$$

$$C = 606,5 + 46,44 - 20$$

$$C = 652,94 - 20$$

$$C = 632,94.$$

Por conseguinte,

$$V = 500 \times 632,94 = 316,470 \text{ calorías}$$

Se o aproveitamento da caldeira (R) é de 60% e o poder calorífico do bagaço (N) é de 1801 calorías, teremos:

$$U = R \times P \times S \times N$$

$$316.470 = 0,6 \times P \times S \times 1801$$

$$PS = \frac{316.470}{0,6 \times 1.801} = \frac{316.470}{1.080,6} = 292,86 \text{ quilos}$$

Deve-se queimar, em média, sôbre a grelha 292,86 quilos de bagaço por hora. Quando a tiragem é bem regulada, considera-se que $P = 300$ quilos. Logo,

$$PS = 292,86$$

$$300 S = 292,86$$

$$292,86$$

$$S = \frac{292,86}{300} = 0,9762 \text{ metros quadrados.}$$

A grelha deverá ter, portanto, cêrca de 1 metro quadrado de superfície total.

CINZEIRO

O cinzeiro é o espaço situado abaixo das grelhas e no fundo do qual tombam as cinzas e as brasas. Na sua face anterior há uma porta para retirada das cinzas e para permitir a introdução de ar sôbre as grelhas. A sua abertura precisa ser regulável.

O mais importante a ser observado na sua construção é dar uma altura conveniente para evitar que as cinzas quentes e as brasas ou o carvão inflamado que caem no fundo, possam queimar as grelhas, pois estas ficam entre dois fogos. A altura mínima, na parte mais baixa, deve ser de 50 centímetros.

As cinzas e as brasas devem ser retiradas frequentemente para maior conservação das grelhas e melhor combustão do bagaço.

ACESSÓRIOS DAS CALDEIRAS

Entre os acessórios mais importantes às caldeiras, contam-se os seguintes:

1 — **Bomba de alimentação** — Durante o trabalho da caldeira, a sua alimentação deve ser contínua e proporcional à produção de vapor.

Como o nível da água na caldeira deve ser sempre mantido regular e constante, a bomba de alimentação, principalmente quando automática, precisa ser de absoluta confiança. O nível da água na caldeira é observado pelos indicadores de nível.

2 — **Indicadores de nível e alarme** — O nível muito baixo ou muito alto pode ser assinalado por meio de um alarme para chamar a atenção do operário. Ambas as condições precisam ser evitadas. O nível muito baixo pode pôr a chapa sêca em contacto direto com o fogo e contribuir para a produção de uma evaporação muito violenta, a qual determinando na caldeira uma elevação brusca da pressão, pode provocar a sua

explosão. Se o nível fôr muito alto, pode-se dar uma ebulição tumultuosa com formação de espumas que provocam um arrastamento da água para os tubos coletores de vapor, fenômeno este que é conhecido pelos práticos pelo nome de **vômito da caldeira**. Este acidente pode se dar também em consequência do uso de água de alimentação imprópria, rica em sais como carbonato, sulfato, cloreto ou nitrato de sódio, ou quando ela contém alta quantidade de impurezas em suspensão, ou ainda quando a caldeira é mal desenhada, mal construída ou mal assentada.

3 — Tubo coletor de vapor — Com o fim de evitar que a água seja arrastada pelo vapor que sai da caldeira, usam-se certos dispositivos como o tubo coletor de vapor, perfurado e de construção conveniente para poder separar o vapor da água. Este tubo não deve ser longo e precisa ser bem isolado, para que o vapor na sua passagem não se resfrie, condensando-se parcialmente.

É preciso evitar este arrastamento da água durante os períodos de ebulição, porque ela contém quase sempre impurezas, quer sólidas em suspensão, quer na forma de sais em dissolução. Quando esta água se vaporiza nos tubos do superaquecedor, as impurezas acumulam-se nos tubos em forma de finíssima incrustação, ou, quando arrastadas com o vapor, prejudica o funcionamento e a lubrificação das máquinas alimentadas com esse vapor.

4 — A válvula de segurança — A pressão máxima que se pode desenvolver dentro da caldeira é controlada e limitada por uma válvula de segurança de alavanca e contra peso ou de carga direta, colocada na sua parte superior.

Quando o vapor se produz em maior quantidade do que a necessária à usina, o excesso acumula-se na caldeira, determinando-lhe uma pressão cada vez maior. Chegará o momento em que a válvula de segurança descarrega, isto é, levanta-se da sua sede, vencendo a resistência oposta por um contra-peso ou por uma mola. Este excesso de vapor é descarregado na atmosfera.

5 — **Manômetro** — Quando haja necessidade de maior quantidade de vapor, há por consequência necessidade de queimar mais bagaço. Com uma quantidade insuficiente de bagaço a pressão do vapor diminuirá até que seja demasiado baixa para satisfazer os gastos e as exigências da usina. Para evitar isso, coloca-se na caldeira um manômetro que indica a pressão do vapor, devendo, por isso, ser consultado constantemente por parte do operário encarregado da caldeira. A alimentação da fornalha será feita de forma a manter a pressão constante. Quando ela é alimentada em excesso, produz-se na chaminé uma fumaça densa e escura que caracteriza geralmente uma combustão incompleta.

A indicação do manômetro é dada em quilos por cm^2 ou em libras por polegada quadrada. A pressão mais comumente usada nas usinas de açúcar é vizinha de 10,55 quilos por centímetro quadrado, correspondente a 150 libras por polegada quadrada.

6 — **Válvula de redução** — Quando certos aparelhos da usina necessitam de vapor a uma pressão menor do que aquela com que êle deixa a caldeira, tais aparelhos devem ser munidos de uma válvula de redução de pressão. Esta válvula de redução mantém automaticamente uma pressão nas canalizações subsidiárias menor que a existente no condutor principal.

7 — **Tambor de lodo** — Na parte inferior (Fig. 2) da caldeira, há um tambor de lodo, onde as impurezas da água de alimentação se depositam. De tempos em tempos dá-se uma descarga nesse tambor para limpeza.

8 — **Válvulas de extração** — Quase tôdas as caldeiras são providas de 2 válvulas de extração, sendo uma de superfície, para dar saída às impurezas que sobrenadam e outra de fundo, para a saída dos sedimentos que se depositam na parte mais baixa das caldeiras. Mesmo no caso em que a água de alimentação tenha sido tratada convenientemente e não produza incrustações no interior da caldeira, é claro que com a produção de vapor continuamente, a quantidade de sais vai sempre aumentando, o que dá à caldeira uma tendência às ebulições tu-

multucasas. Por êsse motivo é necessário retirar de vez em quando certa quantidade de água da caldeira, substituindo-a por água pura.

O vapor prodizdo deixa a caldeira através de uma válvula e pelo cano principal é distribuido pelas diferentes dependências da usina.

9 — **Super-aquecedor** — As caldeiras devem possuir super-aquecedor, pois com êle a instalação não sofre nenhum encarecimento, pôsto que a sua presença implica na necessidade de uma menor superfície de aquecimento da caldeira.

O vapor é super-aquecido fazendo-o passar da caldeira para o super-aquecedor. Êste consta de um sistema de tubos finos de ferro sem suturas, colocados no trajeto dos gases quentes. No lugar da instalação do super-aquecedor a temperatura não deve variar muito de 400 a 500°C para evitar que os tubos se queimem. O vapor que vem do tubo coletor, ao passar pelos tubos do super-aquecedor, aumenta a sua temperatura a um ponto mais elevado do que tinha como vapor saturado, e por êste motivo chama-se **vapor super-aquecido**.

Assim, o vapor saturado a 11,24 quilos por cm.² de pressão tem uma temperatura de 181,11°C. Ao passar pelo super-aquecedor a temperatura poderá ser elevada, digamos, de 55°C. O vapor que sai do super-aquecedor terá uma temperatura total de 26,11°C.

10 — **Economizadores** — Os economizadores ou aquecedores da água de alimentação das caldeiras são de uso corrente nas grandes usinas. Com a sua instalação visam-se várias vantagens, as quais decorrem da constância da temperatura da caldeira : a economia de combustível; a purificação das águas pela precipitação dos seus sais, insolúveis a quente; além disso, com o fim de reduzir o consumo de calor absorvido pela caldeira para aquecer a água de alimentação até o ponto de ebulição.

Êstes aparelhos trabalham aproveitando o calor dos gases da chaminé ou o vapor de escapamento das máquinas. São geralmente instalados entre a bomba de alimentação de água e a caldeira. A água a ser usada, antes de ser enviada à cal-

deira passa pelo economizador e vai à bomba, que a envia para a caldeira. Dêste modo a economia de bagaço que se faz é considerável.

AGUAS DE ALIMENTAÇÃO DAS CALDEIRAS

A água para alimentação da caldeira pode provir da canalização da água das cidades, de um rio, de um açude ou de um pôco. Ela é enviada à caldeira passando ou não previamente pelo aquecedor ou economizador.

Seja qual fôr a fonte de origem da água, ela precisa ser potável, a mais pura possível. Só assim se evita o inconveniente das impurezas. As águas impuras podem causar sobre a superfície de aquecimento grandes inconvenientes, afetando diretamente e materialmente a capacidade, a eficiência e a durabilidade da caldeira.

Quando não se tenha água pura e que portanto não esteja em condições de ser aproveitada na alimentação da caldeira, é preciso analisá-la e fazer nela um tratamento adequado. Assim depurada e com a sua dureza corrigida ficam prevenidas a formação de incrustações e as ebulições tumultuosas.

Há, além das vantagens econômicas, vantagens técnicas no aproveitamento das águas condensadas dos decantadores, aquecedores, cozedores e 1.º vaso evaporador, porque são relativamente puras e sendo quentes, a sua vaporização na caldeira é facilitada, trazendo como consequência maior rendimento da superfície de aquecimento e grande economia de combustível. Tais águas são enviadas a um depósito comum, metálico, fechado e localizado acima das bombas de alimentação.

A alimentação das caldeiras com água a mais quente possível apresenta vantagens incontestáveis sobre a eficiência das caldeiras. Pena é que muito usineiro se descuida dêsse fato. Uma usina bem instalada deve ter uma boa instalação para recepção das águas de retorno, suficientemente ampla. Como estas águas baixam muito rapidamente de temperatura nos depósitos, é de toda conveniência ter outro depósito receptor das águas recentemente condensadas, provido de uma serpentina perfurada de vapor para manter a temperatura da água

ao redor de 95-100°C, para alimentação direta das caldeiras. O isolamento dos depósitos com bucha silicatizada é a melhor maneira de se fazer o revestimento destes tanques.

Quando em caso de interrupção acidental na usina a água condensada é deficiente, aproveita-se este segundo depósito para aquecer a água fria da canalização geral, antes de enviá-la para a caldeira. Em trabalho normal a água de condensação é mais que suficiente para a alimentação das caldeiras.

Deve-se manter estrita vigilância das águas de retôrno, para evitar que sejam introduzidas na caldeira águas condensadas contendo caldo ou xarope, que são altamente prejudiciais para as mesmas em sua estabilidade e funcionamento, reduzindo a capacidade e a eficiência da evaporação. A água carregada de açúcar aumenta de densidade, e ao cabo de um tempo determinado as matérias sólidas presentes se precipitam formando incrustações, além de facilitar o vômito da caldeira.

A vigilância aconselhada para o caso é fazer análise qualitativa, de hora em hora, com alfa-naftol, das águas de condensação que vão ser aproveitadas na alimentação das caldeiras.

Para fins de contrôle, a água de alimentação deve ser pesada ou medida por meio de depósitos aferidos, levando-se em conta a sua temperatura.

CORREÇÃO DAS ÁGUAS DE ALIMENTAÇÃO

O processo de correção das águas de alimentação das caldeiras a ser adotado varia com grande número de fatores, como sejam a composição da água, o tipo da caldeira, as condições de trabalho, o tempo de parada, a natureza e a espessura da crosta.

Consideradas as circunstâncias particulares de cada caso, a escolha da correção adotada deverá recair em um dos seguintes processos:

- 1 — destilação
- 2 — atenuação
- 3 — retificação.

A **distilação da água** de alimentação é praticamente inviável, dado o seu alto custo e só poderia ser empregada em casos excepcionais quando se tem necessidade de um alto grau de pureza. Até certo ponto esse processo poderia ser substituído pela purificação pelo calor usando aparelhos purificadores independentes das caldeiras.

A **atenuação ou purificação artificial** é praticada antes de a água entrar na caldeira e tem por fim remover a maior parte dos seus sais incrustantes, de modo que, de dura que era, passa a ser água doce e limpa. Este abrandamento ou atenuação da dureza das águas de alimentação pode ser obtido:

a — por via mecânica e

b — por via química.

No primeiro caso a purificação artificial obtida mecanicamente consiste na precipitação das matérias em suspensão em tanques de decantação. É um processo custoso e pouco prático.

A purificação química pela atenuação, aplicada especialmente às águas calcáreas ricas de CaCO_3 e às águas selenitosas, isto é, ricas de CaSO_4 , se consegue pelo emprêgo de grande número de reagentes, tanto a frio como a quente (NaOH , Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, BaCl_2 , etc.), ou usando preparados comerciais como zeolita, permutita, refinita, etc., cuja aplicação é baseada na troca de bases.

Tôdas as vezes que fôr possível convém fazer o tratamento da água de alimentação antes de mandá-la para a caldeira, pois assim esta só receberá águas sensivelmente puras.

A **retificação das águas** se faz pela adição de compostos geralmente chamados **desincrustantes**, no interior da caldeira, que funciona como um aparelho de depuração. Muitos destes compostos para caldeira não só desincrustam, como evitam a tendência à corrosão e às ebulições tumultuosas, porém, a sua grande maioria apenas torna os depósitos pouco aderentes às paredes, afim de que possam ser extraídos mais facilmente.

Estas substâncias desincrustantes agem mecanicamente,

quimicamente ou de ambos os modos. Os que agem mecanicamente são matérias inertes como argila, grafite, talco, etc., que impedem a formação das incrustações ou reduzem as já existentes. As que agem quimicamente são produtos químicos minerais ou orgânicos. Neste caso é grande a quantidade de lama proveniente da precipitação dos compostos de cálcio e outros, que se deposita, necessitando frequentes descargas no tambor de lodo.

Entre as substâncias destinadas à retificação das águas de alimentação podem-se citar as seguintes :

- 1 — **anti-incrustantes** — carbonato e hidróxido de sódio.
- 2 — **desincrustantes** — grafite, tanatos alcalinos, amido, gomas, glicerina, melão e açúcar mascavo aplicado só ou em mistura com grafite.
- 3 — **anti-corrosivas** — carbonato de sódio e tanatos alcalinos.
- 4 — **anti-ebulicivas** — cloreto e carbonato de bário.

O açúcar mascavo como desincrustante é ótimo, desagregando mesmo as crostas mais grossas e duras.

As águas de alimentação depois do tratamento são geralmente alcalinas. Essa alcalinidade precisa ser a mais baixa possível para evitar as ebulições tumultuosas.

INCRUSTAÇÕES DAS CALDEIRAS

A água ordinária contém, em solução ou em suspensão, uma certa quantidade de matérias cuja proporção e natureza são muito variáveis segundo os terrenos por ela atravessados.

Pela ação contínua do calor e da concentração produzida pela evaporação, essas matérias se decompõem ou se precipitam na caldeira, formando depósitos não aderentes ou incrustações aderentes por deposição direta, cuja decomposição provoca corrosões.

Os depósitos lodosos, as incrustações e as corrosões constituem um sério inconveniente para a boa marcha dos geradores de vapor, e são muitas vezes causa de sérios acidentes.

Os depósitos lodosos são devidos à sílica e à argila, os quais se eliminam com facilidade durante as purgações periódicas da caldeira.

As propriedades incrustantes das águas são devidas principalmente ao seu teor em sais em solução, que se depositam por causa da concentração que resulta da formação contínua do vapor, ou por serem menos solúveis na água a alta temperatura. Ao se depositarem arrastam também com elas outros sais insolúveis que se achavam em suspensão, formando uma camada cristalina que adere fortemente às paredes. Entre estes sais contam-se o bicarbonato de cálcio, o de sódio, o de magnésio, o sulfato de cálcio, a sílica, os óxidos de ferro e de alumínio, etc.. As águas que gozam desta propriedade são denominadas **águas duras**, sendo sua dureza expressa em graus hidrotimétricos. Para 1 grau hidrotimétrico, 1 litro de água pode conter:

0,0057 grs. de Ca(OH)_2
0,0114 grs. de CaCl_2
0,0103 grs. de CaCO_3
0,0140 grs. de CaSO_4
0,0090 grs. de MgCl_2
0,0120 grs. de NaCl .

O grau hidrotimétrico corresponde a cerca de 10 grs. de sais de cálcio por metro cúbico de água. Uma água com 5º hidrotimétricos pode ser considerada como muito pura, enquanto que 30º indicam uma água muito carregada e imprópria.

O rendimento da superfície de aquecimento de uma caldeira diminui consideravelmente quando as superfícies interior e exterior dos tubos estão sujas, isto é, quando incrustadas ou cobertas de fuligem.

Qualquer incrustação retardando a transmissão do calor através das chapas de uma caldeira torna a vaporização difícil pela diminuição da condutibilidade das paredes. Sendo a crosta aderente muito isolante, o consumo de combustível é elevado e a eficiência diminuída em grau variável com a natureza e espessura da crosta. Além disso, a presença de crostas é perigosa porque quando elas se rompem, a água fica em contacto

direto com as paredes quase rubras. Devido à condutibilidade destas ser muito maior, há uma evaporação violenta, às vezes instantânea. Esta produção súbita de vapor destaca a crosta sólida numa maior extensão e a água, se pondo assim em contacto com essa superfície descoberta, produz uma enorme quantidade de vapor que causando uma elevação excessiva e brusca da pressão pode determinar a explosão da caldeira.

As corrosões que se verificam nas caldeiras podem ter origem diversa, sendo quase sempre a água imprópria o fator principal responsável por êste grave inconveniente. De uma maneira geral, a corrosão generalizada ou local pode ser causada pela presença de oxigênio dissolvido na água; pelo uso de águas ricas de sais que, por hidrólise, aumentam a concentração iônica do hidrogênio; pelo emprêgo de águas ácidas, como são geralmente as provenientes dos vasos evaporadores, com exceção das do l.o, que são aconselháveis pela sua pureza; igualmente, as águas de condensação ricas de matérias orgânicas cooperam para as corrosões das caldeiras. Admite-se, também, que as corrosões possam se dar devido à ação galvânica ou eletrólise.

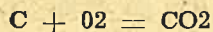
GASES DA COMBUSTÃO

A combustão é um fenômeno químico de oxidação. Duas são as condições necessárias e suficientes para que a combustão tenha lugar: por em presença a uma temperatura suficientemente elevada o combustível e o comburente. Quanto mais íntima fôr a união destes dois elementos, melhor será a combustão.

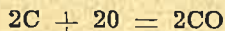
Quando se tem larga prática do trabalho das caldeiras, é possível apreciar a marcha da combustão com certa segurança pelo aspecto do fogo. Esta observação se faz sem abrir a porta da fornalha. Para êsse fim existem janelinhas de observação na porta ou nas paredes de fornalha. Claro está que êste método é pouco seguro e não está livre do ponto de vista pessoal. Por isso empregam-se outros métodos para poder reconhecer a marcha da combustão. O mais seguro é a investigação dos gases de combustão e seus componentes. Muitas vezes é

suficiente determinar o conteúdo de CO₂ dos gases de combustão, por processos analíticos ou automáticos, os quais permitem reconhecer o excesso de ar empregado na combustão. Assim, pois, a determinação do CO₂ nos produtos de combustão, permitirá julgar do excesso de ar empregado. Como meios auxiliares são empregados os medidores da tiragem.

A riqueza máxima possível de CO₂ nos gases de combustão é de 21% em volume. De fato, na combustão completa, o volume de gás produzido é igual ao do ar consumido



Os produtos da combustão estão unicamente constituídos pela mistura de nitrogênio e gás carbônico. Quando a quantidade de O é insuficiente, obtém-se



Se a análise do gás revelou 12% de CO₂, o excesso de ar foi de

$$\left(\frac{21 \times 100}{12} \right) - 100 = 75 \% \text{ ou } \frac{21}{12} = 1,75$$

vezes mais que a quantidade teórica.

Na prática industrial, o teor de 21% de CO₂ nos gases de combustão nunca é obtido porque os combustíveis usados não são constituídos por carbono puro e, além disso, é preciso sempre, como vimos atrás, admitir-se um excesso de ar para que a combustão seja completa. Admite-se como trabalho ótimo quando os gases de combustão encerram de 13 a 16% de CO₂ isento de CO.

A tabela seguinte nos mostra as perdas de combustível em relação à quantidade de CO₂ existente nos gases evacuados pela chaminé :

Riqueza em CO ₂	Perda % de combustível	Riqueza em CO ₂	Perda % de combustível
2,0	90,0	10,0	18,0
3,0	60,0	11,0	16,0
4,0	45,0	12,0	15,0
5,0	36,0	13,0	14,0
7,0	26,0	14,0	13,0
8,0	23,0	15,0	12,0
9,0	20,0		

A riqueza em CO₂ dos gases de combustão, está estreitamente ligada à tiragem, pois quando esta aumenta, sendo tôdas as condições iguais, o teor de CO₂ baixa, e inversamente.

A composição dos gases de combustão se determina em amostras tomadas mediante um tubo de ferro de 12,7 m/m de diametro e de comprimento suficiente para penetrar até o centro do canal ou da chaminé. Intercala-se entre este tubo e o extrator um filtro de algodão de vidro. A amostra tomada é analisada empregando-se aparelhos de Schmidt, Orsat, Hempel, Ados ou outros. Os resultados em CO₂, CO, O e N não expressos em volume %.

As investigações podem se referir somente ao CO₂ ou às determinações de todos os constituintes.

Temperatura dos gases da combustão

A medição e observação da temperatura pode convir em diversos pontos da instalação, porém especialmente na fornalha e na entrada do canal. Em condições determinadas, a temperatura dos gases aspirados depende do conteúdo de CO₂, estando em razão inversa do mesmo. Em troca, a temperatura de combustão cresce e decresce com a quantidade de CO₂. O fundamento desta aparente contradição está na dependência entre o volume de gás e a quantidade do excesso de ar. Com grande quantidade de CO₂ (pequeno excesso de ar) se reparte o calor da combustão em um pequeno volume gasoso, que se aquece muito: a temperatura de combustão resulta elevada. Por outro lado, no ponto em que se aumenta a absorção de ca-

lor (caldeira, etc.), se esfria rapidamente o pequeno volume gasoso, apesar da elevada temperatura de combustão. A temperatura dos gases aspirados no canal resulta pequena. O contrário sucede com pequeno conteúdo de carbono (grande excesso de ar).

A temperatura dos gases da chaminé é medida com termômetro de mercúrio, quando a temperatura vai até aos 550°C, disposto ora como termômetro de vidro, ora como termômetro de índice, sendo neste caso também registradores automáticos. Para temperaturas de 300 a 900°C se empregam termômetros de grafite: para temperaturas de 600 a 1.600°C usam-se os pirômetros termo-elétricos, os quais também se constroem como registradores automáticos.

Qualquer que seja o instrumento de medição êle é colocado no canal, antes do registro da chaminé.

A temperatura média dos gases da chaminé que determina uma tiragem mais favorável pode ser calculada pela fórmula

$$273 + 2t$$

sendo t , a temperatura do ar. Eles saem, geralmente, em temperatura superior a 300°C.

TIRAGEM

A tiragem é a depressão que determina a passagem, através das grelhas, do ar necessário à combustão. Essa depressão é geralmente expressa em m/m de água, que oscila de 4 a 6 comumente.

Para que a combustão seja completa é necessário uma quantidade suficiente de ar. Êste contém, aproximadamente, 1,5 do seu volume de oxigênio. Ê este gás que ativa a combustão na fornalha. Por êsse motivo para cada unidade em volume de O requerida para a combustão do bagaço é preciso admitir na fornalha 5 vezes o volume de ar. Em condições normais o ar é admitido sempre em excesso para assegurar uma combustão completa.

Para se conseguir uma boa combustão é preciso retirar

constantemente os gases queimados. O ar necessário para a combustão entra pelo cinzeiro pela ação da tiragem. Esta é resultante da alta temperatura dos gases da combustão, os quais se tornando menos densos promovem por isso uma corrente ascensional na chaminé.

A tiragem pode ser obtida pelos seguintes processos:

- | | |
|------------------------------------|------------|
| 1 — tiragem natural | } induzida |
| 2 — tiragem artificial ou mecânica | |

TIRAGEM NATURAL

A tiragem natural é determinada pela chaminé. Esta nada mais é que um canal vertical de dimensões convenientes que recebe, na sua parte inferior, os produtos da combustão, e que é destinada não somente a produzir a corrente de ar necessária à combustão, como ainda se destina a libertar os produtos desta combustão na atmosfera, a uma altura tal que eles não se tornem prejudiciais.

A tiragem exercida pela chaminé depende da temperatura dos gases do seu interior e da temperatura do ar ao seu redor. O vento pode exercer também uma sucção no extremo da chaminé, porém, como esta influência depende do tempo, não entra por via de regra em consideração. A tiragem natural é, pois, obtida pela diferença do peso específico dos gases leves e quentes na chaminé e o do ar exterior. Esta diferença é que produz uma corrente ascensional natural dos gases quentes menos densos da chaminé que equilibra a depressão. A intensidade desta é medida por meio de um manômetro de ar livre. Este manômetro na sua máxima simplicidade, é representado por um tubo de vidro em U, fixado numa tábua, o qual se enche com água colorida até zero. Uma das extremidades comunica-se com o canal dos gases produzidos na fornalha e a outra é aberta ao ar. Uma régua graduada é colocada entre os 2 ramos do tubo, afim de indicar, em milímetros de coluna de água, a diferença de pressão entre a atmosfera e a existente no canal, a qual é medida pela diferença de nível nos 2 ramos do tubo em U.

Geralmente a tiragem é de poucos milímetros de água, portanto, é pequena a precisão com que se mede no manômetro acima descrito. Muito melhor será usar o medidor de tiragem com tubo inclinado, por ser de maior precisão. Estes instrumentos são bons para investigações temporárias, porém, para indicações permanentes, empregam-se indicadores com mostrador graduado e ponteiro indicador, nos quais a tiragem pode ser lida à distância de alguns metros.

A tiragem natural limita a quantidade de ar que entra na fornalha, a qual só pode ser controlada por meio do canal úmido. Da tiragem de uma chaminé resulta o peso de ar que ela é capaz de fazer passar na fornalha, por segundo, peso este que recebe igualmente o nome de tiragem. A tiragem é proporcional à secção da chaminé, à raiz quadrada da sua altura e varia com a temperatura.

TIRAGEM ARTIFICIAL OU MECÂNICA

Em lugar de deixar completamente à chaminé a produção da tiragem, pode-se auxiliá-la por meio de disposições mecânicas diversas. Como processo mecânico para ativar a tiragem empregam-se **jactos de vapor** na chaminé, ou **ventiladores** que aspiram os gases na base da chaminé ou **comprimem o ar** através das grelhas. Resulta destes artificios a tiragem artificial ou mecânica, que como vimos atrás, pode ser induzida ou forçada.

Tiragem artificial ou mecânica induzida — A tiragem induzida é obtida quando se instala um ventilador adequado na base da chaminé. A pressão do ar na fornalha é menor que a pressão atmosférica.

Segundo a disposição do ventilador em relação à fornalha, a tiragem induzida pode ser

- a — induzida imediata ou direta
- b — induzida indireta.

Na tiragem por aspiração imediata ou direta, são aspira-

dos detrás da fornalha todos os gases queimados e enviados sob pressão à chaminé.

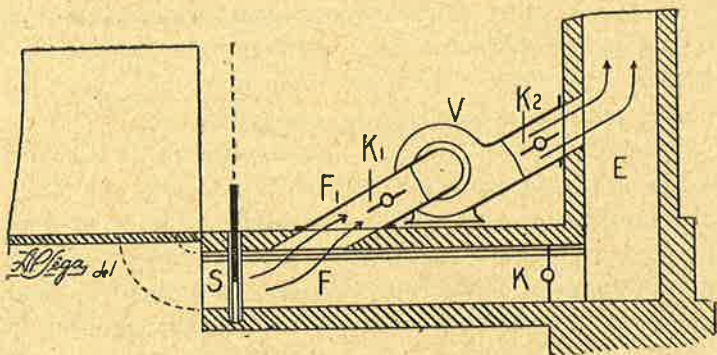


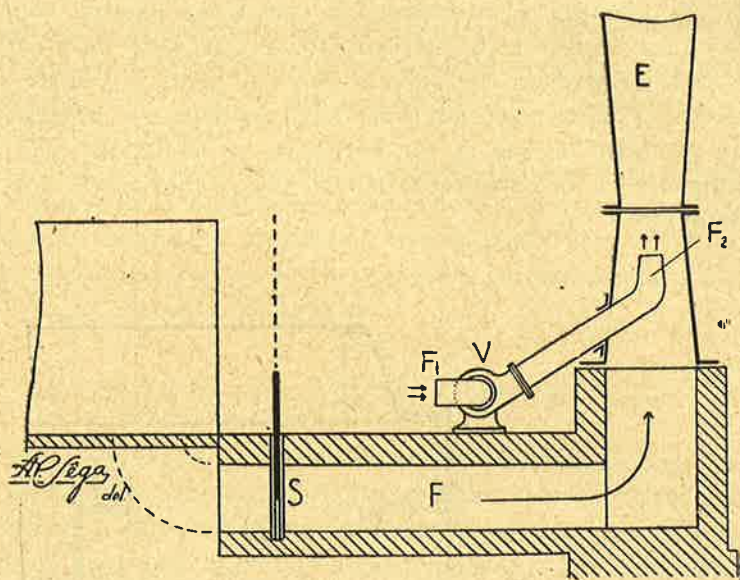
Fig 7 — Tiragem induzida por aspiração
imediate ou direta

Para a aspiração serve-se de um ventilador **V** disposto em cima do canal **F**. A marcha dos gases até o ventilador **V** se consegue mediante o canal secundário **F1**. Com os registros **K**, **K1** e **K2** pode-se enviar os gases diretamente à chaminé **E** ou fazê-los passar pelo ventilador **V**. O inconveniente desta disposição é que os gases sempre quentes e a miúdo misturados com vapores ácidos se põem em contacto com as partes metálicas do interior do ventilador, cuja duração fica assim muito diminuída.

Na tiragem por aspiração indireta o ventilador é instalado completamente fora do caminho da fumaça.

O jôrro de ar proveniente do ventilador centrífugo **V** é insuflado por uma canalização adequada na chaminé **E**, com o qual se consegue intensificar a tiragem no canal **F**.

Em alguns casos se consegue também intensificar a tiragem por meio de um insuflador de vapor instalado na base da chaminé. Este dispositivo se emprega hoje em dia somente para uma intensificação eventual da tiragem durante curtos períodos, pois o consumo de vapor é demasiadamente grande em relação aos efeitos produzidos.



9½

Fig. 8 — Tiragem induzida por aspiração indireta

Tiragem artificial ou mecânica forçada — A tiragem forçada, que se usou inicialmente, foi abandonada mais tarde quase por completo, para ressurgir agora, novamente, nas instalações modernas de geradores de vapor. Ela permite, muitas vezes, capacidades até 200% da capacidade calculada em cavalos-vapor, não sendo raro 175%.

A tiragem forçada implica também no uso de um ventilador, porém, aqui, além do ar que entra por baixo da grelha, o ventilador injeta ar na fornalha através de uma série de canais laterais ou tubos colocados nas paredes. Neste caso, a pressão na fornalha é então pouco maior que a pressão atmosférica. O uso da tiragem forçada facilita também a mistura dos gases e dificulta a estratificação.

A proporção de ar admitida à fornalha pode ser controlada nos dois últimos casos, até certo ponto, fazendo-se variar

convenientemente a velocidade do ventilador. Porém, como é difícil fazer variar convenientemente a velocidade do ventilador, pode-se graduar melhor a vasão por meio de registros. A quantidade de ar pode assim ser bem regulada e é preciso que assim se faça, porque se fôr deficiente a combustão será incompleta e se fôr exagerada dão-se perdas inevitáveis por arrastamento.

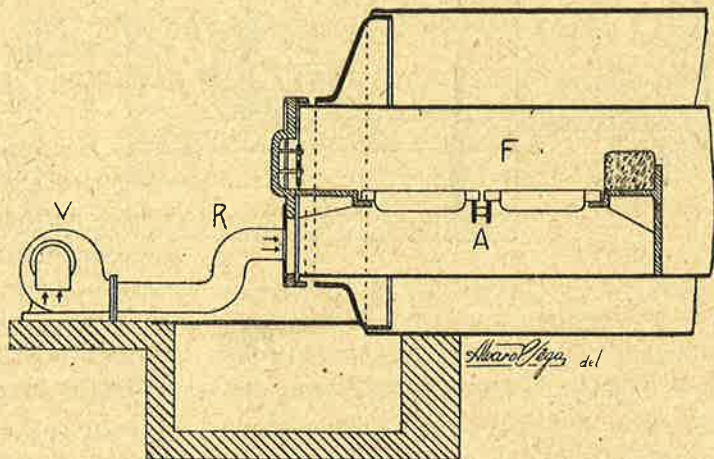


Fig. 9 — Tiragem forçada — V - ventilador; R - canal de injeção; A - cinzeiro; F - fornalha

Nas instalações de tiragem forçada à pressão, os gases não são aspirados. O ventilador V introduz ar sob pressão no cinzeiro A.

Pré-aquecedor de ar — Já vimos que uma das condições para se ter a combustão completa é manter a temperatura a mais alta possível na fornalha. É evidente que admitindo-se grande quantidades de ar frio na fornalha para a combustão do bagaço a temperatura cai muito, com notável prejuízo para a operação.

Este inconveniente é eliminado em certos tipos de calde-

ra pelo uso de um pré-aquecedor de ar, que tem por finalidade aquecer o ar antes de ser êle admitido na fornalha. Para o seu aquecimento pode-se usar o calor do conduto que leva à chaminé. Neste caso, o pré-aquecedor será colocado entre a caldeira e a chaminé.

Quando a tiragem forçada é empregada com o fim de obrigar a passar o ar através do pré-aquecedor para a fornalha, e a tiragem induzida é ao mesmo tempo usada para arrastar o ar através das grelhas para a fornalha, tal distribuição é conhecida por **tiragem balanceada**.

ISOLAMENTO DAS CANALIZAÇÕES DE VAPOR

Para conservar o calor, tôdas as canalizações de vapor, mesmo as de vapor de escapamento, devem ser recobertas com um isolante como magnésia, asbestos, taboa, algodão de vidro, bucha silicizada, etc.. Tal prática denomina-se **isolamento**.

Igualmente, os cilindros dos motores a vapor, os decantadores, os aquecedores, os evaporadores e os cozedores devem ter sua superfície isolada, protegendo-se o material isolante com revestimento de celotex ou tabuinhas de madeira aparelhadas, assentadas sôbre almofadas de madeira e presas entre si por meio de cintas metálicas. Esta prática, além de econômica, dá à instalação um aspecto agradável.

FUNCIONAMENTO DA CALDEIRA

Antes de mais nada é preciso considerar-se o elemento humano. O chefe das caldeiras deve ser pessoa de responsabilidade e com capacidade no manejo de um gerador de vapor para evitar transtornos de importância, tanto econômicos como para a vida das pessoas, e permitir que as caldeiras trabalhem com eficiência.

Para o funcionamento eficiente das caldeiras, deve-se observar que sejam satisfeitos os seguintes itens: consumo reduzido de combustível, máximo rendimento, perfeita conservação da instalação, dimensões rigorosamente acertadas da gre-

lha, da fornalha e dos canais, tiragem bem regulada, alvenaria bem acabada, etc..

Em síntese, o trabalho de uma caldeira se realiza da seguinte maneira: o bagaço é descarregado da última moenda para a esteira de bagaço, que é acionada por meio de uma máquina vertical a vapor, ou por um motor elétrico independente, com as respectivas engrenagens de redução e controle de marcha, ou ainda por meio de correntes e rodas dentadas adequadas. O bagaço é assim transportado às caldeiras, onde é descarregado nos alimentadores rotativos individuais automáticos ou não, os quais abastecem as fornalhas (Fig. 4). O excesso de bagaço é depositado em montes, geralmente sobre área cimentada. Daqui é vai sendo retirado e reconduzido às caldeiras, à medida das necessidades. O bagaço passa dos alimentadores para as grelhas da fornalha. As grelhas, constituídas por barras metálicas devidamente separadas entre si, retêm o bagaço sobre elas, permitindo a passagem do ar vindo do cinzeiro através do espaço vazio que as barras da grelha deixam entre si.

As zonas de secagem, de carbonização e de combustão vão se alternando cada vez que caem novas quantidade de bagaço na fornalha. A água contida no bagaço, depois de evaporada, transforma-se em vapor, o qual, entrando em contacto com os gases provenientes da combustão do bagaço com eles se mistura intimamente. O calor produzido da combustão do bagaço na fornalha é irradiado primeiramente às paredes da caldeira colocadas sobre a fornalha. Transmite-se, assim, uma parte do calor ao conteúdo da caldeira.

A mistura de gases quentes e as chamas sobem pela rampa da fornalha, passam o altar e a **despedida** (Fig. 4), atingindo a câmara de combustão onde ela se completa. A seguir, os gases resultantes da combustão completa passam entre os tubos da caldeira seguindo caminhos variáveis (passes) de acordo com os desenhos de cada fabricante. A caldeira, que geralmente se fixa e se reveste com tijolos ou outro material refratário, é cheia de água até um certo ponto, cujo nível deve ser mantido constante. Esse nível não pode ser nem alto nem muito baixo, porque ambas as condições são altamente prejudiciais. Além disso, esse nível varia para todos os tipos de

caldeiras. Os gases quentes passando ao redor dos tubos cedem parte do seu calor a êstes e à água contida dentro dos tubos da caldeira, aquecendo-a e gerando vapor. A circulação da água dentro dos tubos se dá por convecção devido à diferença de densidade no seio da massa líquida.

Como se vê, a caldeira própria dita representa um meio de transmissão do calor. Os gases passam, a seguir, para o canal, escapando-se pela chaminé, podendo ser ou não aproveitados como fonte de aquecimento. No canal encontra-se o registro que regula a tiragem.

Durante o funcionamento da caldeira, a sua superfície de aquecimento fica coberta de fuligem, reduzindo a eficiência térmica da caldeira, aumentando consequentemente o consumo de bagaço. É preciso, portanto, remover êste depósito de fuligem sobre os tubos da caldeira usando sopradores mecânicos de jactos de vapor ou escôvas, afim de conservar a superfície de aquecimento constantemente limpa.

Uma combustão sem fumaça não é suficiente demonstração de ser a combustão econômica. Mas, por outro lado, se a produção de fumaça é intensa, ocorrem notáveis perdas de calor e não tanto pela fuligem que forma a fumaça, mas pela existência de gases combustíveis, cuja formação se dá **pari passu** com a produção de fumaça. Assim é que se deve evitar, sob o ponto de vista econômico, toda excessiva produção de fumaça, que por outro lado, tira a comodidade dos moradores nas vizinhanças devido à queda da fuligem. É, pois, importante que o operário encarregado da caldeira possa ver, do seu lugar, a boca da chaminé para julgar da intensidade da fumaça. O volume de gases que escapam pela chaminé deve ser o mais reduzido possível. Pode-se também recorrer a escalas de comparação como a de RINGELMANN, porém, para trabalhos científicos a intensidade da fumaça não se faz por observação da saída da chaminé, mas por determinação da espessura da fumaça no interior da base da chaminé, mediante uma disposição fotométrica.

O vapor produzido na caldeira saindo pelo tubo coletor de vapor e pela válvula de comunicação, distribui-se pelas diver-

ram, portanto, calor sensível mais calor latente, ou seja, o **calor total de vaporização**.

A unidade de calor é a caloria, que é definida como sendo a quantidade de calor necessária para elevar de 1°C a temperatura de 1 quilo de água. Esta unidade corresponde a 3,968 B. U. T., dos ingleses, cuja unidade representa a quantidade de calor necessária para elevar a 1°F uma libra de água.

Suponhamos, por exemplo, que a temperatura inicial de 1 quilo de água bombeada para a caldeira fôsse de 28°C (T), onde deverá ser aquecida a 180,3°C (T') ou sejam 10,33 quilos de pressão por centímetro quadrado. O calor sensível requerido para fazer entrar em ebulição essa quantidade de água, será, portanto, de :

$$Q = m(T - T') = 1 (180,3 - 28) = 152,3^{\circ}\text{C}$$

ou sejam, por definição, 152,3 calorias. Para que êsse quilo de água seja completamente vaporizado precisará, como vimos, absorver uma nova quantidade de calor correspondente ao calor latente. O calor latente varia com a pressão e a temperatura como se vê no quadro da página 26.

Para 1 quilo de água com 180,3°C mudar ao estado de vapor, a esta mesma temperatura, a quantidade de calor latente será, conforme a tabela citada, de 478,776 calorias. Portanto, o calor total de vaporização absorvido pelo quilo de água que possuía inicialmente 28°C para produzir vapor de 10,33 quilos/cm² de pressão, será de :

$$Q_t = 152,3 + 478,776 = 631,076 \text{ calorias}$$

Isso que acabamos de ver, poderá melhor ser apreciado no gráfico representado na figura 8.

478,776

É interessante notar que do calor total absorvido, _____

631,076

ou sejam 3/4, aproximadamente, foram gastos para vaporizar a água aquecida. Ora, como se usa vapor para aquecer ou evaporar o caldo, fazendo-se uma instalação conveniente, assim

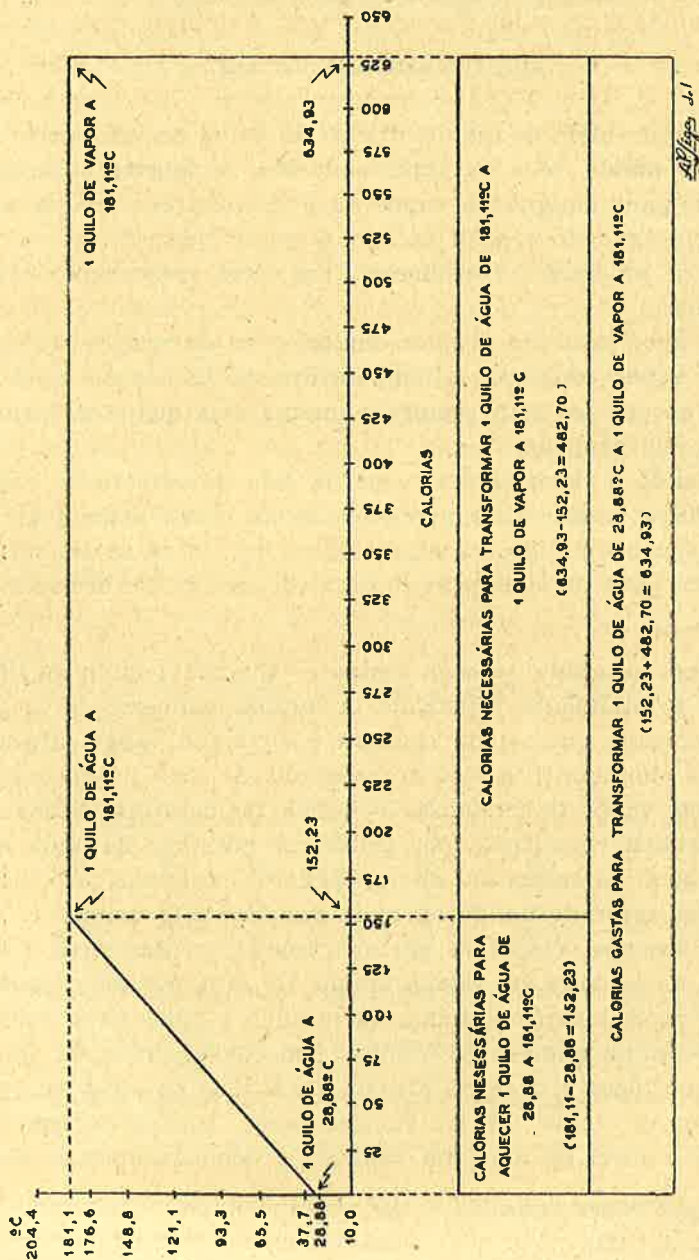


Fig. 10 — Gráfico demonstrativo do calor total de vaporização da água

que o vapor se condensar em água quente cêrca de $\frac{3}{4}$ do seu calor foi utilizado sem alteração da temperatura.

QUALIDADE DO VAPOR

O vapor, além de ser de **alta** ou de **baixa pressão**, pode ser **saturado úmido**, **sêco** ou **super-aquecido**. A palavra saturação é usada para designar o vapor cuja temperatura é a mesma que a da água de que foi gerado. O vapor que contém menos de 3% de umidade é considerado, em geral, como vapor saturado sêco.

O vapor saturado, sêco ou úmido, goza da propriedade seguinte: sendo constante a temperatura da água e do vapor, a sua fôrça elástica será sempre a mesma seja qual fôr o volume por êle ocupado.

Quando o vapor saturado que já saiu da câmara de vapor da caldeira recebe calor adicional, muda o seu nome pelo de vapor super-aquecido. A sua temperatura torna-se maior do que a da água de onde proveio de modo que já não é mais saturado.

Vapor saturado, sêco ou úmido — Quando 1 quilo de água quente é totalmente vaporizado à mesma temperatura, o vapor produzido que sai da caldeira é chamado **vapor saturado sêco**, ou simplesmente **sêco** ou **saturado**. Se uma pequena porção dêste vapor se condensa, à mesma temperatura, formando uma neblina constituída por finissimas gotinhas de água que se mantêm em suspensão no vapor, êle é designado pelo nome de **vapor saturado úmido** ou mais simplesmente **úmido**.

Já tivemos ocasião de ver que, sob certas condições o vapor sai da caldeira em estado úmido. De fato, quando a produção de vapor é forçada acima da normal, a água ferve violentamente produzindo-se o “vômito” em consequência da ebulição tumultuosa e o vapor arrasta partículas de água ao tubo condutor de vapor. O mesmo fenômeno produz-se também quando o nível da água na caldeira é demasiadamente alto.

Vapor super-aquecido — Se ao vapor sêco ou saturado fôr adicionada uma nova quantidade de calor, de tal modo que a

pressão se mantenha constante e a nova temperatura se eleve, êle passa a ser chamado **vapor super-aquecido**.

As vantagens do vapor super-aquecido são grandes e mesmo que se dêm perdas nas canalizações os cilindros das máquinas alimentadas com êle receberão sempre parte de vapor super-aquecido ou de vapor sêco, não sendo admitido nêles nenhuma umidade.

Atualmente, para fôrça motriz quase que se aplica exclusivamente o vapor super-aquecido. Tem êle a vantagem de não se condensar tanto pelo inevitável resfriamento que sofre nos tubos condutores entre a caldeira e as máquinas e, por conseguinte, perde-se menos. O vapor super-aquecido sômente se condensa se o resfriamento fôr tão grande que corresponda ao grau de super-aquecimento. O vapor chega sempre sêco ao seu destino. Por isso o super-aquecimento deve ser tanto maior, quanto mais longos forem os condutores do vapor.

A pressão média do vapor destinado a fôrça motriz é atualmente de 12 a 15 atmosferas, correspondentes, respectivamente, a 12,396 e 15,495 quilos por cm.², e de 300 a 370° C, podendo-se também às vezes usar 18 atmosferas e, exceccionalmente, superior a 20 atmosferas.

Uma correspondência de valores destas pressões pode ser vista no quadro seguinte:

Pressão do vapor em				Pressão do vapor em			
Libras por pol. ²	Quilos por cm. ²	Atmosferas	cms. de mercúrio	Libras por pol. ²	Quilos por cm. ²	Atmosferas	cms. de mercúrio
146,9270	10,330	10	760,0	235,0832	16,528	16	1.216
161,6197	11,366	11	836,0	249,7759	17,561	17	1.292
176,3124	12,396	12	912,0	264,4686	18,594	18	1.368
191,0051	13,429	13	988,0	279,1613	19,627	19	1.444
205,6978	14,462	14	1.064,0	293,8540	20,660	20	1.520
220,3905	15,495	15	1.140,0				

O vapor produzido pode encerrar impurezas sólidas de 2 espécies principais:

- 1 — ferrúgem proveniente das caldeiras, dos tubos do super-aquecedor ou da tubulação do vapor, e
- 2 — sais e impurezas contidas na água, que são arrastados da caldeira pelo vapor, quando há ebulição tumultuosa. Tôdas estas impurezas são prejudiciais às máquinas.

RENDIMENTO DA CALDEIRA

O rendimento da caldeira pode ser definido como sendo a relação entre o calor utilizado e o calor emitido. Na prática, o rendimento é muito variável, porém não passa de 80%, tendo a experiência mostrado que êsse rendimento não vai, em geral, além de 64%, isto é, perdem-se 36% do calor resultante da combustão operada na fornalha.

Assim, um combustível que possa fornecer 2.000 calorias, apenas 1.280 poderão ser aproveitadas. As 720 restantes perdem-se por irradiação exterior, nas cinzas, nas escórias, pela combustão não completa e por arrastamento nos gases da chaminé. Tôdas estas perdas podem ser atenuadas, com um assentamento perfeito da caldeira, usando bagaço suficientemente sêco, alimentação regular, quantidade de ar bem regulada, etc..

A utilização do calor na caldeira depende não tanto do sistema da caldeira, como do combustível consumido, da disposição da fornalha, bem como da eficiência e do trabalho da caldeira.

CAPACIDADE DAS CALDEIRAS

A capacidade das caldeiras é comumente expressa em H. P., correspondendo cada H. P. a 15,65 quilos de vapor saturado. Também é usual exprimir-se a capacidade em cavalos-vapor nominais por tonelada de cana moída por hora. Nestas condições, costuma-se admitir, de um modo geral, que as caldeiras devem ter uma capacidade de 1 a 2 cavalos-vapor nominais por tonelada de cana moída por hora.

Em uma grande usina de Cuba, bem instalada, incluindo um quádruplo-efeito, porém sem pré-evaporadores, nem o emprego dos vapores do 1.º e 2.º vasos do evaporador para aquecer o caldo ou para fins semelhantes, requer-se de 1,25 a 1,40 cavalos-vapor nominais por tonelada de capacidade, ou de 1,2 a 1,4 metros quadrados de superfície de aquecimento das caldeiras.

Em Hawaii especifica-se 0,4 ms.² de superfície de aquecimento por T. C. H., equivalente a 45 cavalos-vapor nominais por T. C. H..

Na África do Sul a capacidade das caldeiras flutua entre 2,7 a 4,1 ms.² de superfície de aquecimento por T. C. H., equivalentes a 1,16 até 1,79 cavalos de potência por tonelada de cana moída por dia.

Com as moendas trabalhando bem e utilizando os vapores do evaporador para aquecimento do caldo, é possível reduzir em um grau apreciável a capacidade das caldeiras. Na fabricação do açúcar cristal o consumo de vapor excede aproximadamente de uns 15% em relação ao açúcar redondo.

A capacidade das caldeiras que uma usina de açúcar necessita varia com a aparelhagem existente, a qualidade da cana, a quantidade de água de embebição, o processo de fabricação em relação à classe de açúcar fabricado, etc..

Necessita-se maior capacidade para as canas pobres que para as ricas e mais para o açúcar cristal que para o redondo. Se a instalação é feita de tal modo que inclui a aplicação múltipla dos vapores dos evaporadores para aquecer o caldo e para outros fins, menor será a capacidade requerida às caldeiras.

Por estas e outras tantas razões seria impossível dar uma fórmula geral para determinar a capacidade necessária de um gerador de vapor para uma usina de açúcar. Além disso, é um assunto mais do campo da engenharia mecânica aplicada à maquinária açucareira.

ECONOMIA DE VAPOR NAS USINAS DE AÇÚCAR

O consumo de vapor numa usina de açúcar pode ser repartido da seguinte maneira:

- 1 — fonte de energia, para acionar os motores das unidades esmagadoras, as bombas de caldo, de leite de cal, dos filtros-prensas, de vácuos, geradores, etc;
- 2 — fonte de aquecimento do caldo nos aquecedores, decantadores, etc.;
- 3 — fonte de aquecimento das bôrras nos borbotores;
- 4 — para evaporação do caldo nos evaporadores de múltiplo-efeito;
- 5 — na cristalização da sacarose nos cozedores;
- 6 — perdido por irradiação e por escapamento nas juntas, franjas, válvulas e torneiras.

A produção econômica do vapor depende de múltiplos e intrincados fatores, que embora de naturezas diversas, se entrozam num todo durante o período de safra. Assim, entre estes citam-se os seguintes: natureza da cana, regularidade do corte, do transporte e da moagem, quantidade de bagaço produzida, umidade do bagaço, fornalhas adequadas, perfeição do trabalho, canalizações apropriadas, tiragem bem conduzida, etc.. Praticamente, quando apenas o bagaço obtido das moendas é suficiente para a produção de todo vapor requerido na usina, o balanço é ótimo. Será ideal, quando sobrar um pouco de bagaço que, armazenado, se prestará para suprir a falta de combustível durante os períodos de parada das moendas. Esta sobra quando excessiva pode ser enfardada para reduzir o volume, facilitar e baratear o transporte. O reverso da medalha seria uma situação tal que o gasto de um combustível complementar como lenha, óleo ou carvão se tornasse imprescindível para satisfazer às deficiências do bagaço. Infelizmente esse é o caso mais geral das usinas de São Paulo. Raríssimas são as exceções.

É fundamentalmente necessário que as fornalhas sejam apropriadas para queimar bagaço, de desenho e dimensões comprovadas.

As paredes da fornalha, como também as do canal, devem evitar perdas de calor para o exterior, ser refratárias e evitar penetração do ar exterior. Devem ter 40 cms. ou mais de espessura, com a face interna revestida de tijolos refratários, assim como tôdas as seções que estão em contacto com temperaturas entre 700 e 800°C. Para evitar a penetração do ar, evitam-se as fendas construindo a alvenaria sôbre uma estrutura metálica (Fig. 3), que sustenta a caldeira.

A umidade do bagaço é altamente importante na economia de vapor porque quando muito úmido o bagaço consome muito calor para secá-lo, calor êste que deveria ser aproveitado para a produção de vapor. Esta umidade deve ser mantida tão baixa quanto possível.

A fibra da cana controla diretamente a proporção de bagaço produzida por tonelada de cana e, conseqüentemente, a quantidade de combustível. Só mesmo com uma instalação moderna e adequada se poderá atingir um balanço ideal ou ótimo do vapor, trabalhando-se canas com baixa percentagem de fibra.

Uma grande economia de vapor é possível ser conseguida substituindo-se as pequenas unidades que consomem vapor, como as bombas de caldo, de leite de cal, dos filtros-prensas, etc., por motores elétricos; reduzindo-se no máximo o comprimento das canalizações de vapor que devem ser muito bem protegidas com material isolante; mantendo a temperatura do caldo tão alta quanto possível; reparando constantemente as juntas, franjas, válvulas, etc.; escolhendo-se pessoal habilitado para chefe das caldeiras e pela diuturna atenção ao trabalho da caldeira e da fornalha.