

# Fornos

## 1. Introdução:

Na indústria de petróleo e petroquímica, em diversas fases de seu processamento, o produto que está sendo processado precisa ser aquecido antes de entrar na torre ou reator.

Os equipamentos que fazem este aquecimento, tem os mais variados nomes, entre eles os mais conhecidos são os seguintes: forno, retorta, aquecedor, fornalha, aquecedor de chama direita, etc.

Os fornos são projetados para o aquecimento de uma determinada carga, através de chama direta ou indireta, pela queima de combustível nos maçaricos e aquecimento da carga ou produto, que passa internamente nos tubos.

Em refinarias de petróleo constituem um conjunto importante de equipamentos com tipos dos mais variados.

Na maioria dos casos tais equipamentos se constituem críticos para a campanha das unidades operacionais e em função deles são estabelecidas as paradas das mesmas, de acordo com uma programação pré – estabelecida ou em emergência.

## 2. Tipos e Descrição:

### 2.1. Tipos

Há três tipos principais de fornos, classificados segundo a posição dos tubos da serpentina de aquecimento.

- Horizontais
- Verticais
- Mistos

2.1.1 - No tipo horizontal são considerados os fornos em que os tubos da serpentina para o aquecimento da carga tanto da seção de radiação como da seção de convecção são distribuídos horizontalmente:

2.1.2 – Os fornos do tipo vertical são aqueles em que os tubos de serpentina de aquecimento tanto da seção da radiação como da seção de convecção são dispostos verticalmente. A fig. 11.66 apresenta um forno deste tipo, e que são utilizados na unidade destilação atmosférica.

- 2.1.3 – O tipo misto é aquele em que os tubos de serpentina de aquecimento da seção de radiação são verticais e da seção de convecção são horizontais. Apresentamos na fig.11.67 esquemática de um forno classificado segundo este tipo  
As serpentinas de aquecimento da seção de convecção nem sempre são utilizadas para aquecimento de hidrocarbonetos, muitas vezes são utilizadas como gerador de vapor, a fim de ser utilizado na própria unidade.

## 2.2 – Descrição

Os fornos consistem de uma serpentina de tubos que é colocada dentro de uma caixa ou câmara onde há combustão, a fim de aquecer o produto, que passa internamente nos tubos. A serpentina poderá ser um tubo contínuo, ou constituída de uma série de tubos interligados entre si na sua extremidade, por meio de cabeçotes, curvas de retorno, ou coletores.

Os tubos poderão estar dispostos internamente na fornalha em forma helicoidal, vertical ou horizontal. Em qualquer caso deverão estar convenientemente suportados, em função da sua disposição, comprimento, diâmetro e condições operacionais.

A caixa onde há a combustão, ou simplesmente fornalha, deverá ser adequada para altas temperaturas, pois nela haverá o desenvolvimento de calor proporcionando pela queima do combustível. Assim sendo, as paredes da fornalha deverão ter alta resistência ao calor, e normalmente são construídas em tijolos refratários, contidos por uma estrutura metálica.

O calor desenvolvido na câmara de combustão é proveniente de maçaricos ou queimadores que poderão ser alimentados por óleo ou gás combustível.

A quantidade de calor fornecida pelos maçaricos e a vazão do produto internamente nos tubos são rigidamente controlados através de instrumentos, tendo em vista as condições operacionais de pressão e temperatura.

A câmara de combustão esta normalmente conectada a chaminé, por onde se faz a exaustão dos gases. Essa conexão poderá ser feita através do corpo do forno, ou por meio de dutos, aéreos ou enterrados.

Os fornos se compõem basicamente de três partes:

- serpentina de aquecimento
- fornalha
- chaminé

### 2.2.1- serpentina de aquecimento

A função da serpentina é transportar os hidrocarbonetos a serem aquecidos e constitui-se de vários tubos interligados entre si por meio de conexões das mais variadas. Estas

conexões são de diversas formas e são conhecidas mais comumente como cabeçotes. Vide fig.11.68 e 11.69

Os cabeçotes poderão ser do tipo mandrilado ou soldado, havendo outros tipos de menor uso, com as extremidades flangeadas e parafusadas.

Na fig. 11.70 apresentamos alguns tipos de cabeçotes intermediários e terminais.

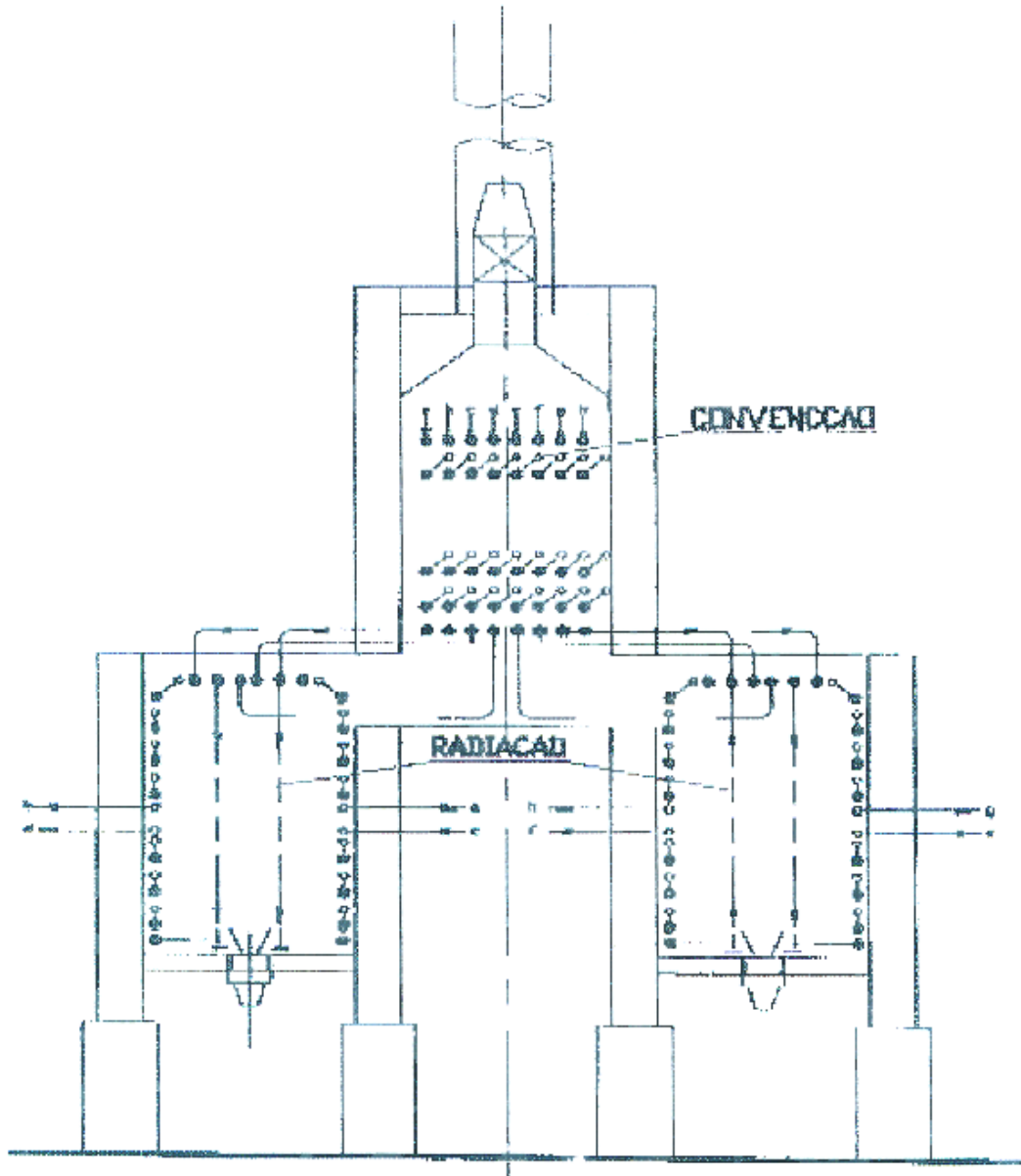
Dependendo da finalidade do forno, a serpentina poderá ser classificada segundo a transmissão de calor, em duas partes:

1. convecção
2. radiação

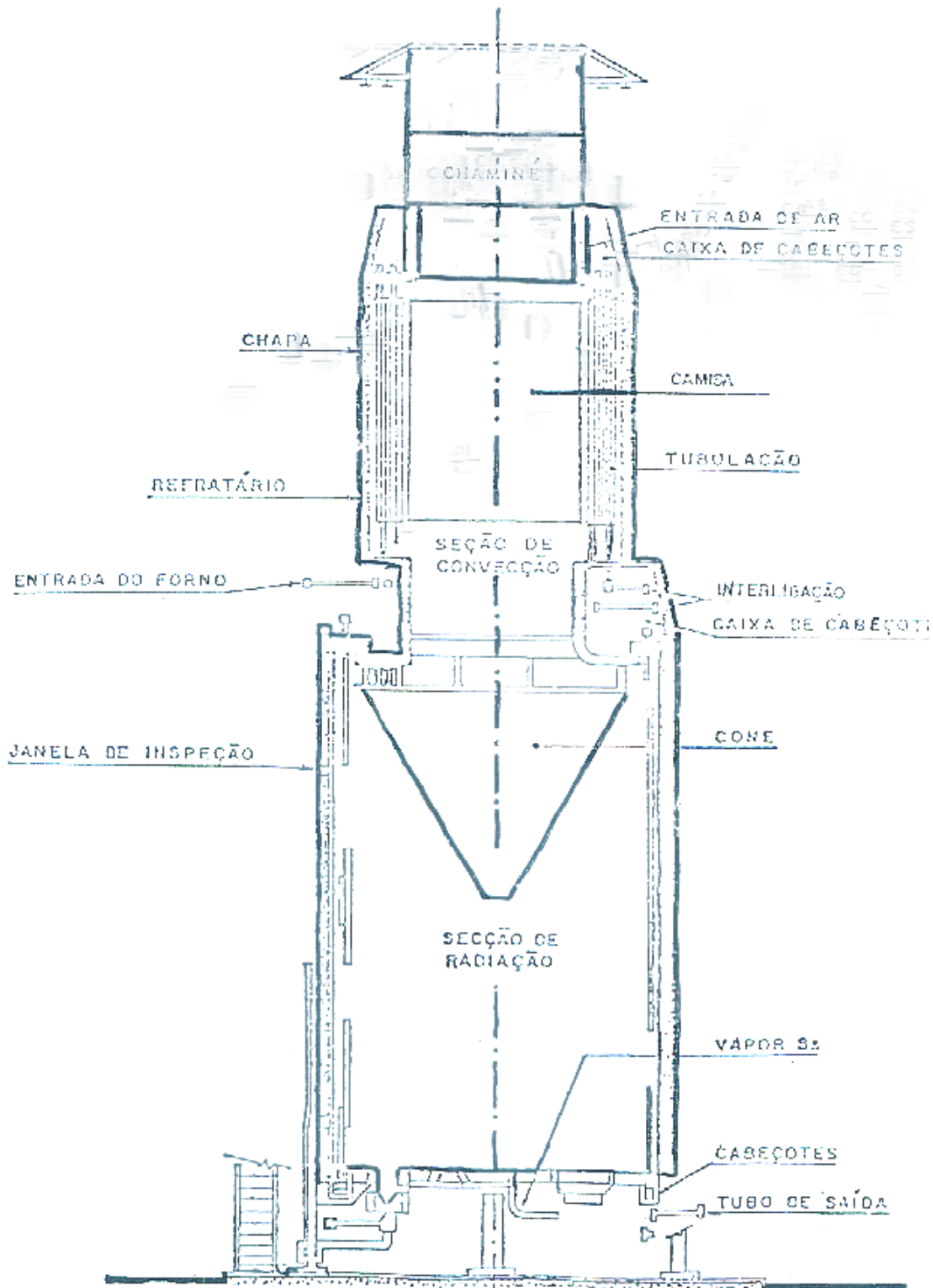
A seção de radiação é a parte onde se efetuam a combustão e as superfícies dos tubos ficam expostas ao calor radiante das chamas. Nesta seção, o forno possui espaço suficiente para que o ar se misture com o combustível e se queime completamente ( também é chamada de câmara de combustão ).

No interior dos tubos circula o fluido a ser aquecido, o qual remove uma grande quantidade de calor dos gases de combustão, antes mesmo de passarem para a seção de convecção. Os tubos são geralmente colocados diante de paredes refratárias que envolvem o forno.

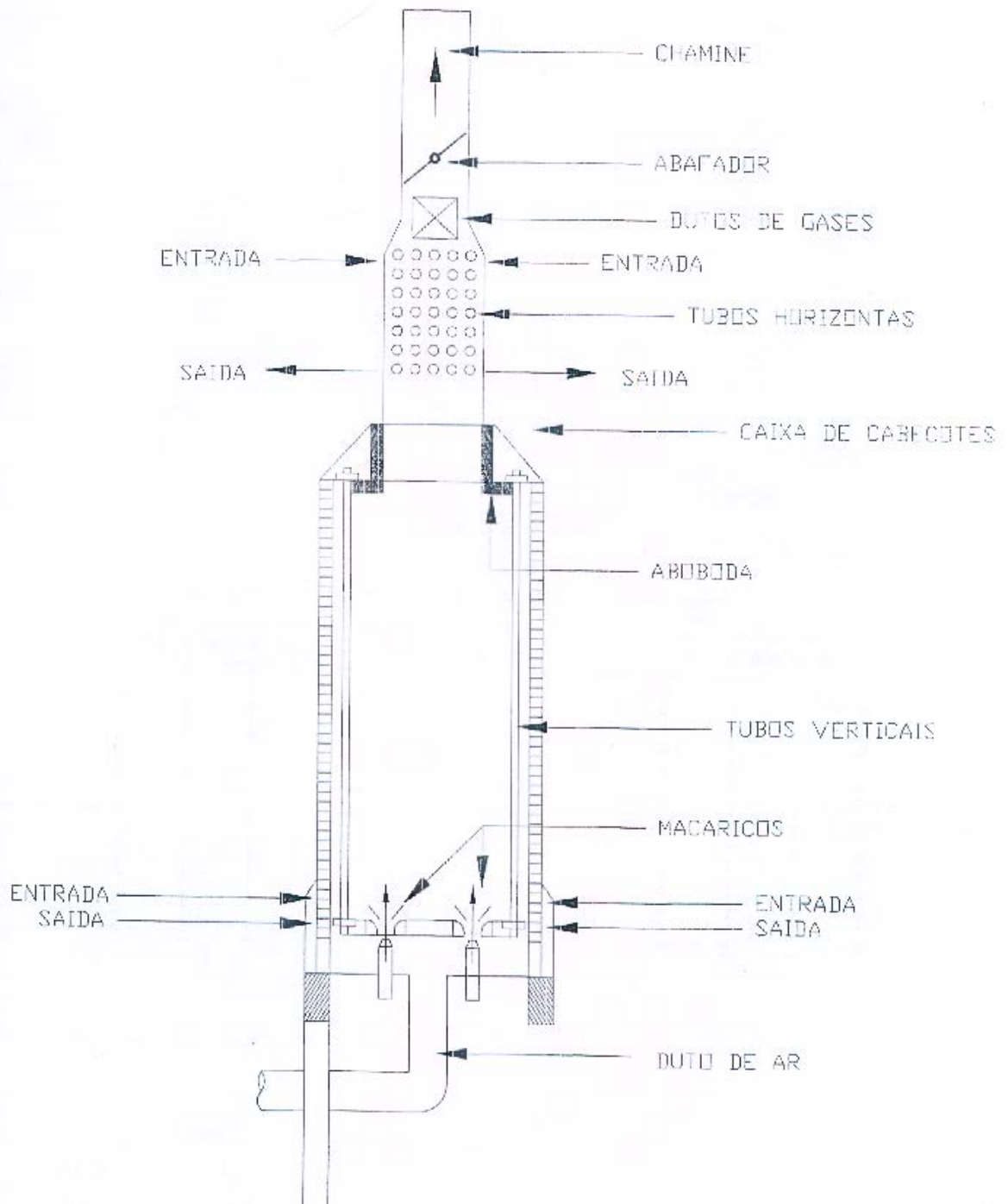
*Forno Tipo Horizontal*  
*Fig. 11.65*



*Forno com Tiragem Natural*  
Fig. 11.66

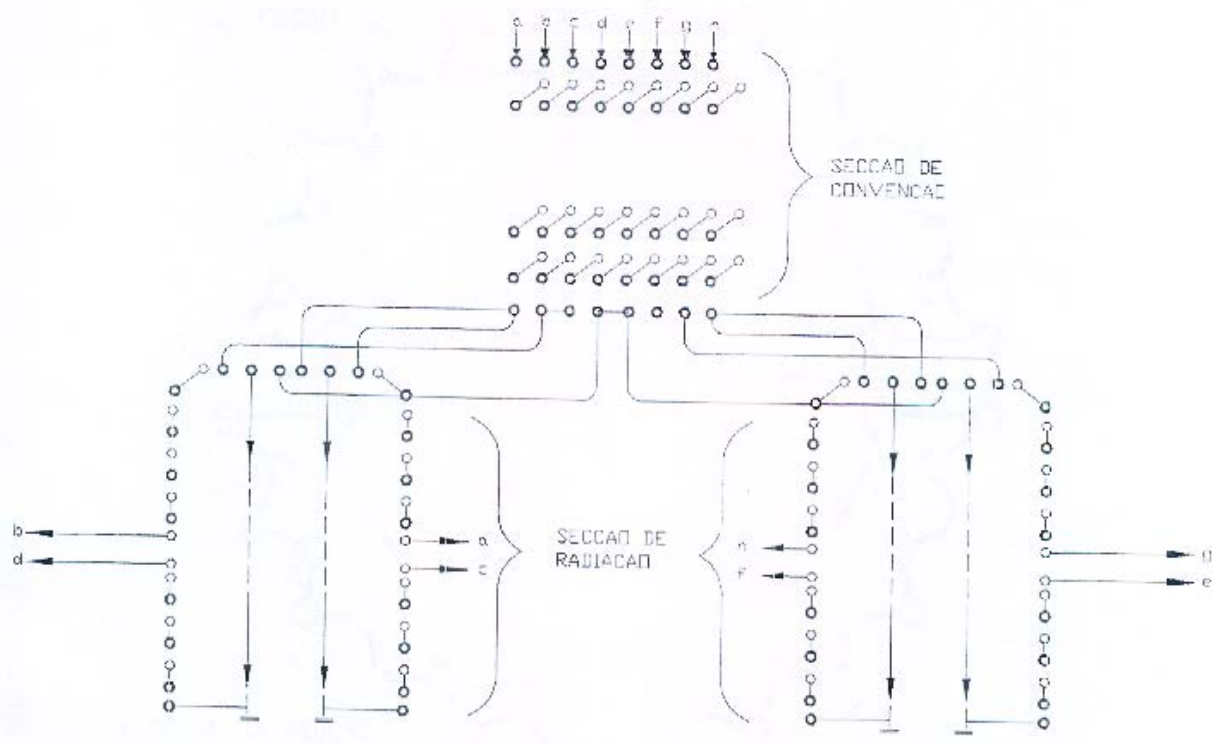


Forno Tipo Misto  
Fig. 11.67



*Forno com Oito Passos*  
*(vista de frente)*

*Fig. 11.68*



*Forno com Quatro Passos  
(vista superior)*

*Fig. 11.69*

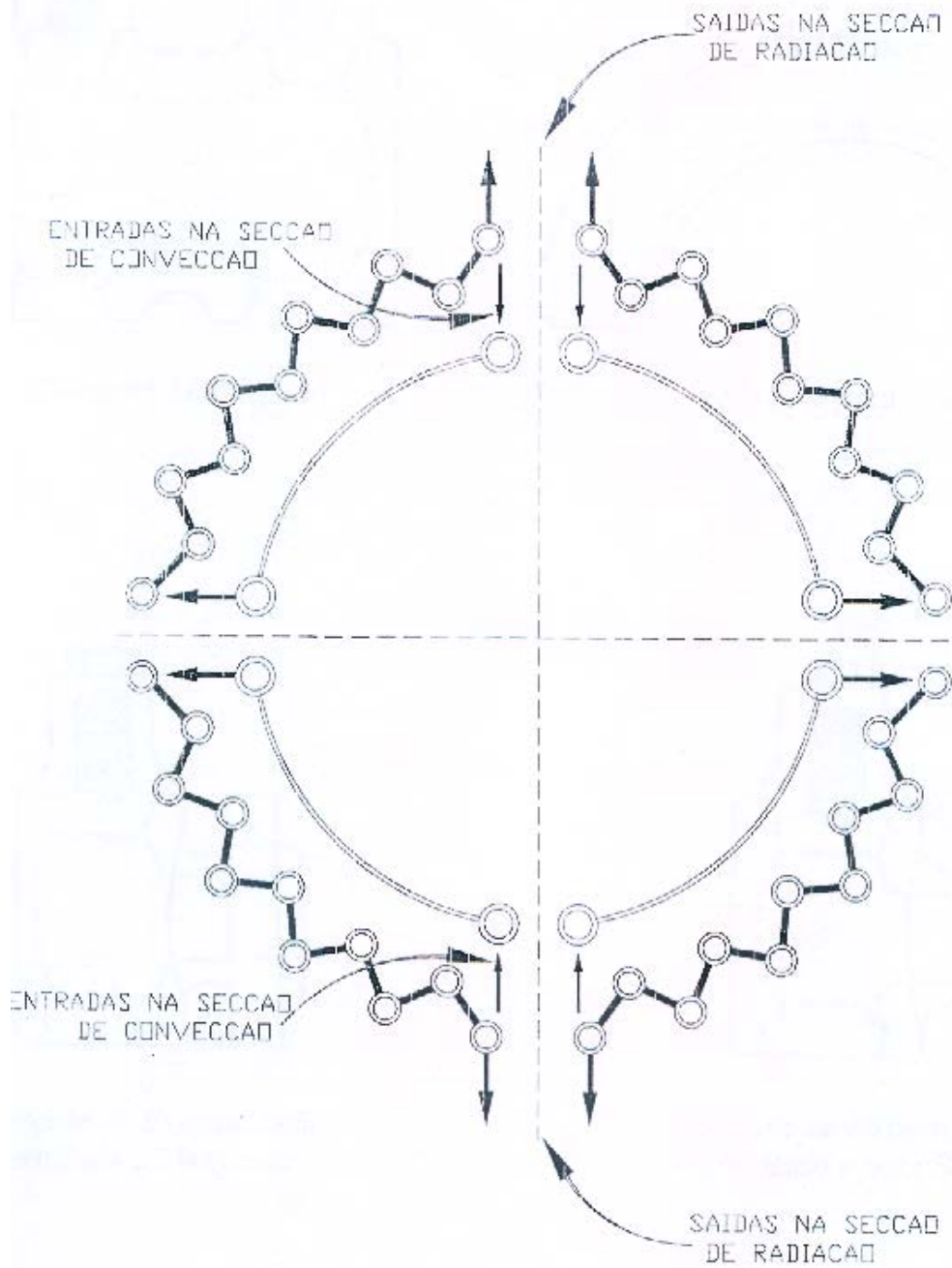
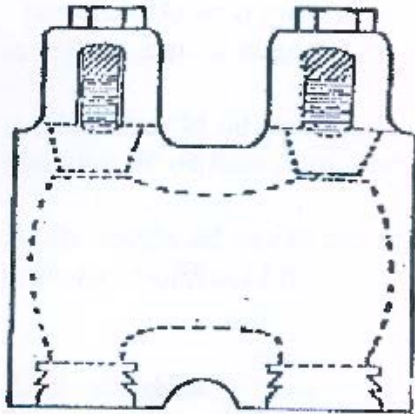
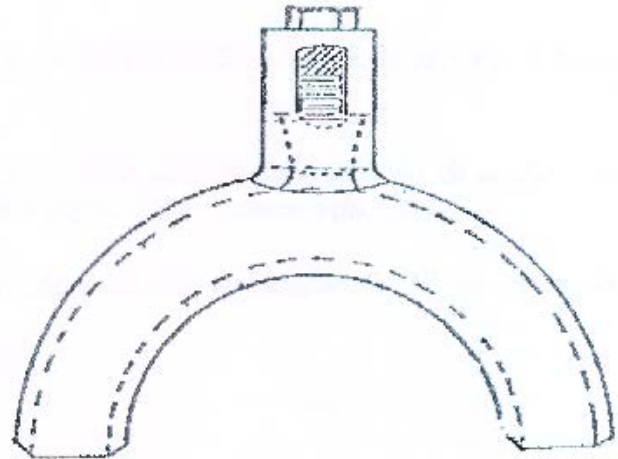




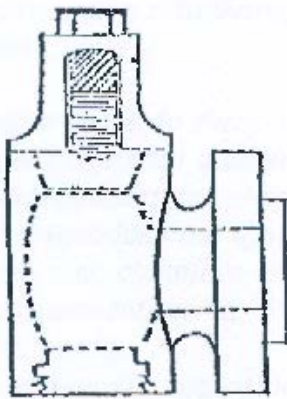
Fig. 11.70



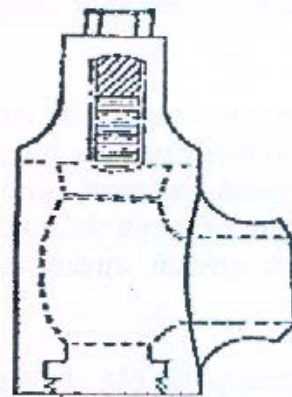
*Cabeçote Mandrilado*



*Cabeçote para Solda*



*Cabeçote de Extremidade  
Mandrillado e Flangeado*



*Cabeçote de Extremidade  
Mandrillado e para Solda*

A seção de convecção situa-se em região afastada dos maçaricos, não recebendo o calor de radiação das chamas. Os gases de combustão que passam da seção de radiação para a convecção possuem temperatura elevada, sendo, portanto capazes de ceder calor aos tubos dessa seção por convecção e condução. Para facilitar a transmissão de calor, os

tubos da seção de convecção possuem grande quantidade de pinos e aletas, a fim de aumentar sua superfície de troca de calor e seu rendimento.

Considerando-se o número de entrada e saída de produtos nas duas seções, o forno poderá ter um ou mais passos.

A identificação de qualquer tubo poderá ser feita através da indicação da seção e da combinação de uma letra, que representa o passo com o número do tubo.

Assim sendo, só existe um tubo da radiação com a identificação “ a 3 ” por exemplo. ( vide fig. 11.68 e 11.69 ).

## 2.2.2 – Fornalha

A fornalha é constituída das seguintes partes:

- estrutura
- refratários
- equipamentos auxiliares

Fazem parte da estrutura todos os componentes necessários para a sustentação das serpentinas e refratários, além da parte estrutural propriamente dito ou arcabouço do forno.

Toda parte do forno, em contato com os gases a alta temperatura e que não deve trocar calor com qualquer meio, normalmente é revestida com material refratário ou isolamento térmico.

Assim sendo, parte do fundo do forno, paredes laterais e abóbada são revestidos com tijolos refratários. Em outras partes onde a temperatura é menor, como nas chaminés e nos dutos de gases, o revestimento interno é feito com argamassa refratária.

Os principais equipamentos auxiliares de uma fornalha, são os queimadores ou maçaricos. Além deles, consideramos com equipamentos auxiliares os pré-aquecedores de ar, ventoinhas ou ventiladores, sopradores de fuligem, abafadores, instrumentos de controle de chama, poços e pares termo-elétricos, medidores de tiragem, manômetros, etc.

A chaminé situada à juzante da seção de convecção, possui duas finalidades: a primeira é descarregar os gases de combustão para atmosfera onde possam ser rapidamente diluídos e, a segunda, provocar a tiragem necessária a boa operação do forno.

As chaminés poderão ser classificadas, segundo o material em três:

1. de tijolos
2. de concretos
3. de aço

A escolha do material, tamanho e localização das chaminés de fumaça variam muito e depende tanto da unidade em que vão operar, como das premissas estabelecidas em

função do custo do projeto. As chaminés de fumaça podem ser projetadas para operarem com tiragem natural, ou com tiragem ( forçada e/ou induzida ) mecânica.

A eficiência de um forno ou caldeira, depende grandemente do escoamento dos gases de combustão para a atmosfera, bem como o suprimento do ar para a combustão, o que provoca a convecção dos gases através da chaminé.

Sendo assim, a tiragem natural será tanto maior quanto maior for essa diferença de pressão.

Entre os fatores que afetam a tiragem enumeramos:

1 - temperatura dos gases na entrada da chaminé, pois quanto mais quente os gases menor a densidade, e, portanto, maior será diferença de densidade em relação a do ar.

2 - perda de temperatura dos gases dentro da chaminé , devido a transmissão de calor para a atmosfera.

3 - perda de carga devido ao atrito dos gases contra obstáculos, paredes e diâmetros da chaminé.

4- altura da chaminé, pois quanto mais alta maior a diferença de peso da coluna de ar e dos gases até o topo da chaminé.

Teoricamente, a tiragem é representada pela fórmula.

$$T = H ( y_a - y_b )$$

Onde: T = tiragem

H= altura da chaminé

$y_a$ = densidade do ar

$y_b$ = densidade do gás

Quando a diferença de pressão não é suficiente para proporcionar uma tiragem satisfatória, costuma-se colocar ventiladores, daí, denominamos de tiragem mecânica.

Dependendo da posição dos ventiladores, teremos tiragem forçada ou induzida. Se o ventila-dor é colocado no duto de ar para os maçaricos a tiragem será forçada. Se colocado no duto de gases de combustão, a tiragem será induzida. Caso a diferença de pressão seja proporcionada somente pelos fatores enunciados na fórmula, teremos tiragem natural.

### 3 – Queimadores

Os queimadores são os acessórios dos fornos onde se efetua a queima do combustível, necessário ao aquecimento da carga.

Os queimadores comumente usados em refinaria são do tipo combinado, isto é, podem queimar óleo combustível, gás combustível ou ambos simultaneamente.

### 3.1 – Bloco Refratário

É um conjunto de tijolos refratários de forma circular, através do qual a chama se projeta para o interior da câmara de combustão.

Na fig.11.71, apresentamos um corte de queimador do tipo combinado, e os vários tipos de maçaricos:

- maçaricos a gás
- maçarico a óleo
- piloto

#### 3.2.1 – Maçarico a Gás

Há dois tipos de maçaricos a gás. Os que trabalham com ar primário e secundário e os que trabalham somente com ar secundário.

O primeiro tipo é semelhante aos bicos de gás de fogão e são similares aos pilotos que serão descritos no sub-item 3.2.2.

O segundo tipo, que trabalha somente com ar secundário, possui algumas vantagens sobre o anterior, por ser mais simples e ter maior precisão na ajustagem da quantidade de ar. Neste maçarico o controle da queima é feito somente pela regulagem da quantidade de ar, secundário.

Conforme pode ser visto na fig.11.71, existe 4 bicos de gás. Cada dois bicos são conectados a um coletor em forma de meia lua, e que por sua vez estão dispostos simetricamente, em relação ao eixo do queimador.

Na parte inferior do coletor existe duas conexões rosqueadas, de uma polegada. Uma delas está tampada e a outra serve para a conexão da tubulação de gás.

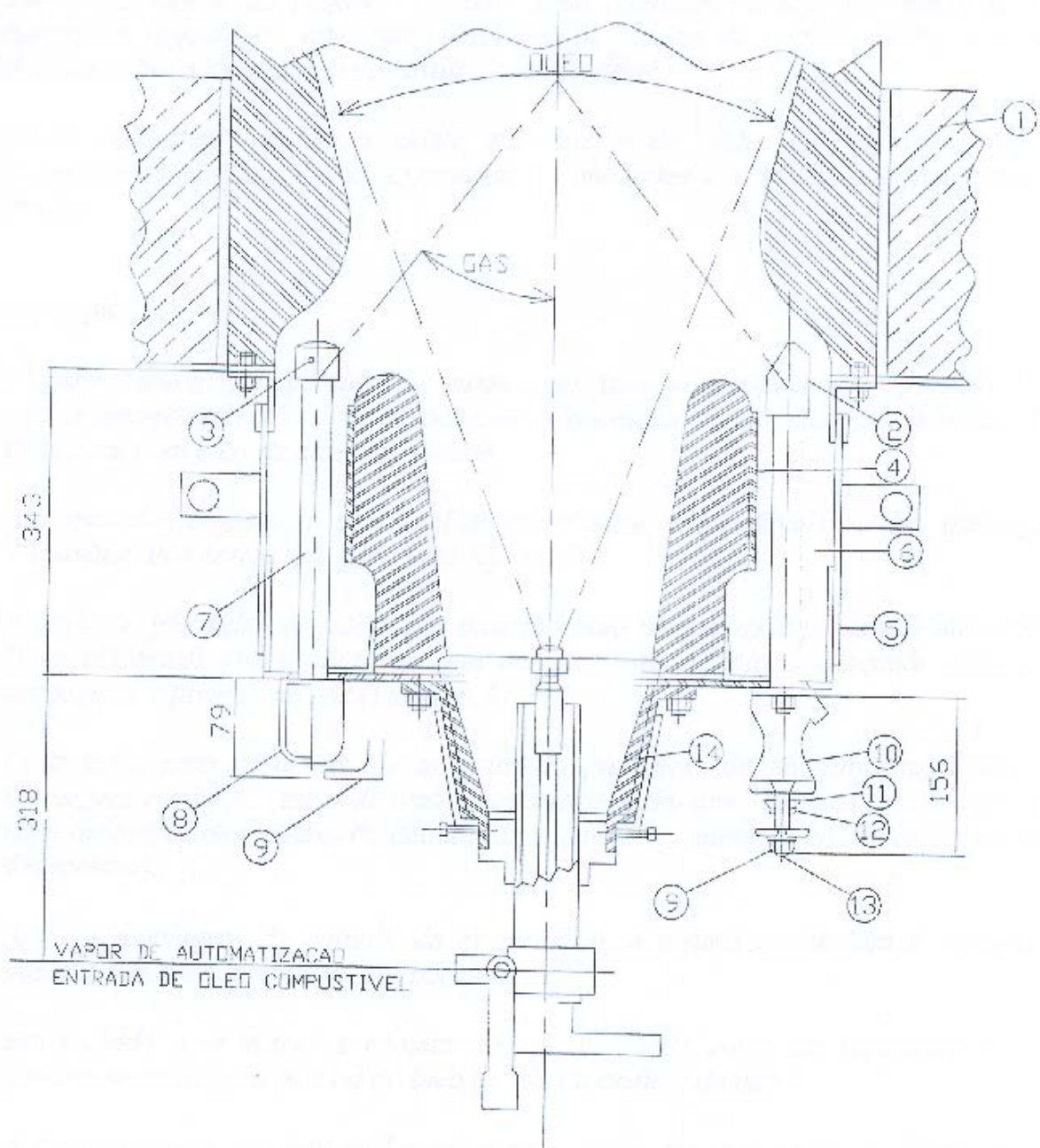
O gás após se difundir pelo coletor, sai por dois orifícios onde estão rosqueados os tubos de gás.

Na extremidade do tubo de gás, está rosqueado o bico de gás, que possui um rasgo e vários orifícios, por onde sai gás para queima.

Os orifícios do bico de gás são muito importantes, pois além da regulagem a quantidade de gás, orientam o mesmo num determinado sentido. Como o bico de gás é rosqueado ao tubo de gás, sua ajustagem com relação ao eixo do queimador não é fácil, contudo deverá ser feita com precisão, a fim de evitar incidência de chama contra os blocos refratários.

Figura 11.71

- 01 – fundo de forno
- 02 – bico do piloto
- 03 – bico de gás
- 04 – camisa de reforço
- 05 – bandagem reguladora
- 06 – entrada de ar secundário
- 07 – tubo de gás
- 08 – coletor de gás
- 09 – entrada de gás combustível
- 10 –contra piloto
- 11 – arruela de controle de ar
- 12 – contra-porca
- 13 – entrada do piloto de gás
- 14 – regulador de ar cônico
- 15 – coletor desmontável



Os maçaricos de gás são facilmente removíveis para limpeza e inspeção. Para tal são fixados na parte inferior do queimador, por meio de duas braçadeiras, com parafusos e porcas hexagonais.

Para que se faça a queima do gás, é necessário uma determinada quantidade de ar. Neste caso, o ar entra por aberturas ou janelas situadas na parte lateral do queimador. A fim de que a queima seja completa, é necessário regular a quantidade de ar, de tal forma que exista um pequeno excesso. Essa regulagem é feita por meio de uma bandagem reguladora, que está sobreposta as janelas de entrada de ar, e podem deslizar sobre a mesma e até obstruir a entrada de ar.

Nessa bandagem existe um sistema de molas em espiral, a fim de acomodar as chapas face as expansões e contrações e prevenir engripamentos da mesma.

### 3.2.2 - Piloto

Os pilotos são maçaricos que funcionam a gás, tem baixa capacidade e pressão (1 a 5 psi), e servem para facilitar e melhorar a operação de acender os maçaricos que trabalham com óleo de alta viscosidade.

Em operação, o gás vem pelo anel de gás e entra numa válvula macho, que regula manualmente a entrada de gás. (vide fig 11.74).

A seguir o gás entra no piloto por uma conexão rosquada e passa por um orifício (1/16 diâmetro) que produz um jato de gás. Este orifício é adequado para cada capacidade e pressão de gás (vide fig. 11.71).

O ar entra pelo regulador de ar primário por meio de aberturas reguláveis. A regulagem é feita por meio de uma arruela rosqueada, que a medida que se aproxima mais ou menos das janelas de entrada de ar primário, aumenta ou diminui a abertura das mesmas.

Após a regulagem da entrada de ar primário, a arruela reguladora é travada na posição por meio de uma contra porca.

Em seguida o ar entra na câmara de mistura, onde sofre um turbilhamento e sua velocidade, homogeneiza-se. Essa restrição é um tubo venturi e acha-se localizado internamente no corpo do piloto.

Após a restrição, a mistura ar-gás, sofre uma expansão e passa internamente no tubo de mistura e sai pelo bico do piloto.

Esse bico possui orifícios que orientam a mistura ar-gás, para a parte central do queimador.

Para queima completa existe a entrada de ar secundário, conforme já descrito no subitem 3.2.1, anteriormente.

O piloto é fixado a parte inferior do maçarico, através de um flange, com dois estojos e porcas.

Tal dispositivo permite fácil retirada em operação, para limpeza e manutenção.

### 3.2.3- Maçarico a Óleo

Os maçaricos a óleo tem como finalidade queimar o combustível líquido, para fornecer calor a carga do forno que passa internamente na serpentina. Essa queima deve ser completa e homogênea. Para que isso se realize, os maçaricos são projetados de tal forma que o combustível ao sair do maçarico, está atomizado ou finamente dividido.

Em operação, o óleo vem por um anel de óleo, passa uma válvula de controle e vai para o maçarico ( vide fig. 11.73 e 11.74 ).

No maçarico, o óleo entra numa das conexões do coletor desmontável. Esse coletor possui duas entradas, uma de óleo e outra de vapor. ( vide fig 11.72 ). A seguir , passa pela parte in-terna da caneta , até o bico de atomização.

O vapor , ar ou gás, usado para atomização, entra pela segunda conexão do coletor desmontável, que é simétrica a entrada de óleo. Após passar pelo espaço compreendido entre o tubo interno e o tubo externo, o vapor passa por orifícios periféricos de bico de atomização.



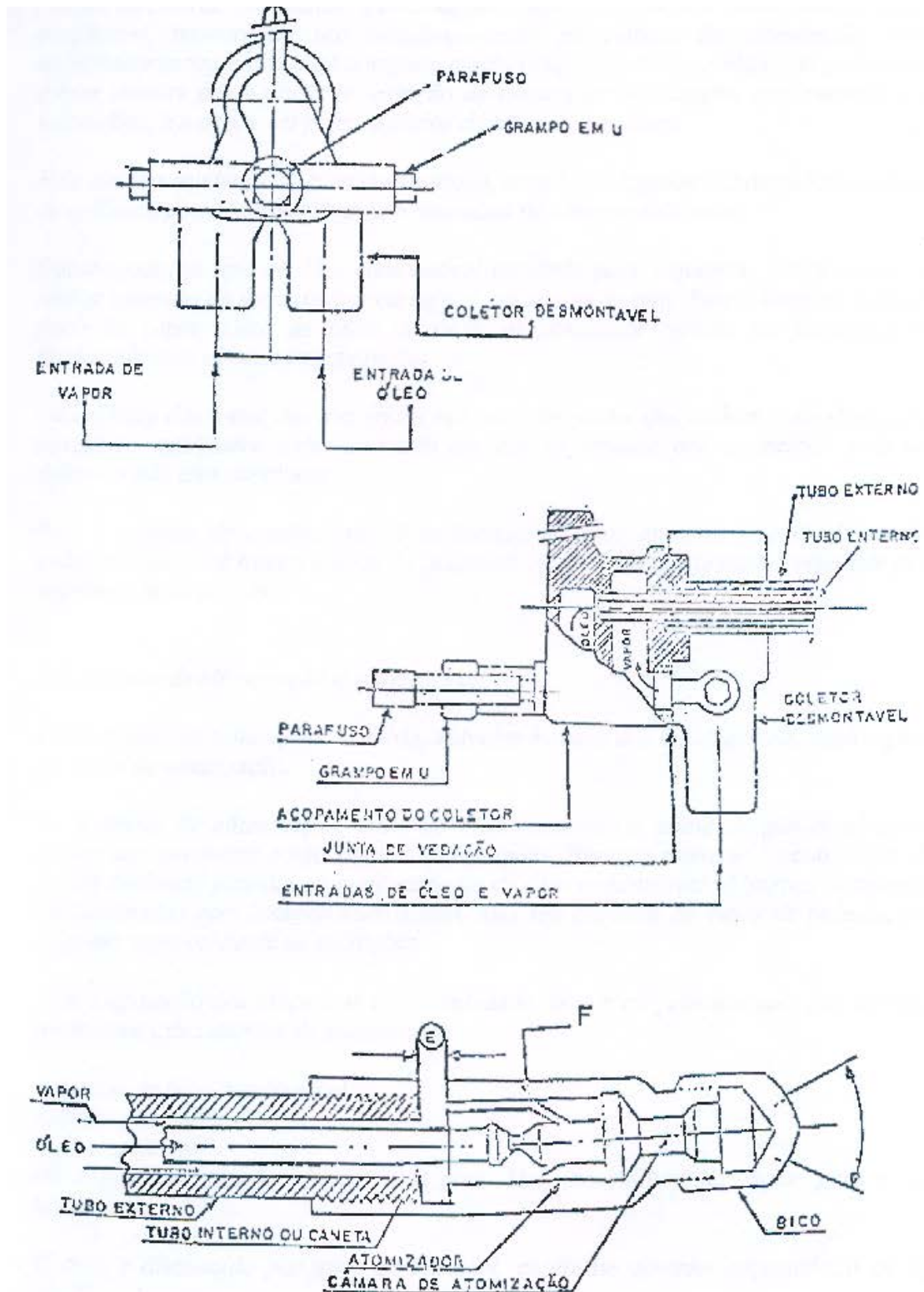


Figura 11.72

Assim, no bico de atomização o óleo sai pelo orifício central e o vapor pelos orifícios periféricos, provocando um turbilhonamento na câmara de atomização. Essa turbulência proporciona uma completa emulsificação do óleo combustível pelo vapor e essa mistura

passa por uma restrição da câmara de atomização, que aumenta sua velocidade, e a seguir sai pelos orifícios da boca do maçarico.

Pela simples mudança do bico do maçarico, usando-se ângulos e dimensões variáveis de orifícios, pode-se obter formas e tamanhos de chamas diferentes.

Dependendo do tipo de óleo combustível utilizado para a queima, temos maior ou menor acúmulo de incrustações ou sujeira em sua passagem. Para a limpeza tanto da parte de vapor como da parte de óleo, os maçaricos podem ser desmontáveis facilmente com o forno em operação.

Os orifícios dos bicos dos maçaricos são uma das partes que sofrem mais desgastes e devem ser calibrados todas às vezes em há retirada dos maçaricos, pois seu diâmetro não tem tolerância.

Para a queima do combustível, é necessário ar, esse ar entra através de janelas existentes na parte tronco cônica do maçarico. A abertura das janelas é regulada pelo regulador de ar cônico.

### 3.3 – Sistema de Alimentação dos Maçaricos

É constituído de tubulações, bombas, válvulas e vasos dos combustíveis, óleo e gás e do vapor de atomização.

As pressões de alimentação, tanto do óleo combustível como gás combustível devem ser constantes e não sujeitas a flutuações. Bombas rotativas e centrifugas são as que melhores prestam ao bombeamento do óleo combustível. Algumas instalações são projetadas com bombas alternativas, mas são providas de vasos de pulmão, que atenuam sensivelmente as pulsações.

Para a operação dos maçaricos tipo combinado, isto é, que operam com gás e óleo, possuímos três sistemas de alimentação:

- sistema de óleo combustível
- sistema de vapor
- sistema de gás

Os maçaricos quando alimentados com óleo necessitam de vapor para a sua atomização.

O óleo é distribuído por meio de um anel, conforme desenho esquemático da fig. 11.73.

A fig.11.74 apresenta os detalhes de alimentação para um maçarico. As tubulações de 1/2, 1 e 3/8, são rosqueadas as conexões do maçarico propriamente dito; e já apresentada nas figuras 11.69/70 e 71.

### 4– Operação com Maçarico de Gás e Óleo :

## 4 – Procedimento para Acender Queimadores com Combustão a Gás:

O procedimento abaixo é aplicável a todo o tipo de maçarico, com exceção daqueles que são equipados com piloto.

- a-) verificar se as válvulas do anel distribuidor estão fechadas
- b-) certificar-se de que todas as válvulas individuais de cada queimador estão fechadas
- c-) drenar o sistema de distribuição de gás
- d-) fechar o controlador de ar primeiro e abrir o ar secundário
- e-) usar o vapor de purga da câmara de combustão, durante 15 a 20 minutos
- f-) abrir válvulas de admissão de gás para o anel de distribuição e verificar a pressão do sistema. A pressão mínima necessária para o anel é função da composição e a máxima no anel quando sob controle é  $1,6 \text{ kg/cm}^2$
- g-) introduzir a tocha acesa através da entrada de ar secundário do maçarico, de modo que a chama queime da boca do queimador. ( obs hoje já existem sistemas de acendimento automático para esse tipo de operação ).
- h-) abrir lentamente a válvula individual do queimador ate se observar uma queima estável.
- i-) acender os demais queimadores , seguindo o mesmo procedimento.

## 5 – Operação com Maçaricos a Gás

Uma vez os queimadores individuais terem sido acesos e sendo controlados pelas válvulas individuais dos mesmos, as condições das chamas devem ser observadas e ajustadas. Proceder da forma abaixo:

- a-) abrir lentamente o controlador de ar primário e fechar o ar secundário , ate obter-se chama clara , brilhante e cor azul clara
- b-) ajustar a vazão de gás para cada maçarico de forma a procurar igualar as pressões de distribuição.
- c-) para encurtar a chama , aumentar o ar primário e diminuir o ar secundário.
- d-) para aumentar a chama, diminuir o ar primário e aumentar o secundário.

## 4.4 – Procedimento para Apagar os Queimadores

a-) verificar o aquecimento do óleo combustível e controlar a temperatura, de forma que possa ter uma viscosidade máxima permitida para uma boa atomização. Dependendo do tipo de combustível, a temperatura requerida varia de 70 a 120°C . O baixo aquecimento poderá também provocar gotejamento. Quanto ao vapor, os requisitos mínimos são: vapor saturado seco 100 psig mínimo no queimador. A pressão do distribuidor deve ser constante, e o sistema equipado com purgadores de capacidade resultará num chama fuliginosa.

b-) fechar todas as válvulas individuais dos maçaricos , inclusive a de vapor de atomização.

c-) se o forno possui tiragem mecânica ( forçada ou induzida ) , colocada em funcionamento com baixa capacidade

d-) iniciar a circulação de óleo combustível através do anel de distribuição

e-) iniciar o envio de vapor ao anel, drenando-o

f-) fazer a purga na câmara de combustão com vapor durante 15 a 20 minutos

g-) injetar vapor na linha de óleo combustível , para limpeza e aquecimento

h-) abrir vapor de atomização para aquecimento da linha aos queimadores

i-) abrir os reguladores de ar secundário e fechar o de ar primário

j-) quando os sistemas de alimentação de óleo e vapor estiverem limpos e aquecidos, fechar a válvulas de vapor e a de atomização até sair um pequeno jato de vapor

l-) colocar a tocha através da portinhola de modo que a chama fique próxima ao jato de vapor ( já existem sistemas para acendimento automático ).

m-) abrir rapidamente a válvula de óleo combustível,  $\frac{3}{4}$  aproximadamente e fechá-la imediatamente a fim de expulsar o óleo frio . Em seguida, abri-la vagarosamente até que o óleo entre em ignição.

Se não acender, fechar a válvula reguladora e verificar a causa que pode ser:

-aquecimento baixo de óleo

-tocha apagada ( sistema de ignição )

-vapor de atomização

-presença de água no óleo

n-) após o óleo entrar em ignição , ajustar o óleo , vapor e o ar , a fim de obter-se uma chama viva e uniforme

o-) acender os demais queimadores , usando o mesmo procedimento

p-) depois que todos os maçaricos estiverem acesos, uniformizar as chamas

## 4.5 – Requisito para Uma boa Combustão

a-) a chama deve ser brilhante , límpida e de cor amarela-laranja

b-) seu comprimento não deve exceder a 2/3 da distância do forno à abóboda. Sob nenhuma hipótese deve-se permitir que a chama incide na abóboda.

c-) a chama deve ser compacta e não tocar nos tubos

d-) evitar o aparecimento de centelhas na pinta da chama. Atomização imprópria, geralmente resulta em pequenas gotas de óleo, inflamando-se através da chama com incidências nos tubos e cone. A temperatura excessiva e substâncias corrosivas dessas gotas resultarão em rápida deterioração do com e tubos.

e-) não deve possuir regiões escuras o corpo da chama , de vez que evidencia a existência de fuligem , que , possivelmente depositará nas partes superiores dos tubos, e , conseqüentemente abaixará a transferência de calor nesses locais.

## 5 - Medidores de Temperatura

Para medir a temperatura de carga, ou do produto que passa internamente nas serpentinas de aquecimento, são colocados na entrada e na saída forno pares termo-elétricos. Tais pares são colocados internamente num poço de aço inoxidável, e não estão em contato direto com produto. Essa temperatura deve ser controlado com precisão, pois pequenas variações podem afetar o rendimento operacional da unidade.

Além da temperatura da carga, deve ser medido também a temperatura da parede dos tubos do forno.

Considerando-se que poderá haver queima irregular da chama dos maçaricos, e que elas podem ser distorcidas e incidirem sobre a parede dos tubos , coloca-se pares termo-elétricos nos pontos de maior temperatura, a fim de ser controlada a temperatura da parede do tubo. Da mesma forma que na medida da temperatura da carga, tais pares termo-elétricos ou SKIN-POINTS, são colocados internamente em poços, que são por sua vez soldados à superfície ex-terna da parede do tubo do forno.

Tais pares termo-elétricos são necessários para controle de temperatura da parede do tubo em condições normais, e sua necessidade aumenta com o tempo de campanha da unidade, pois a medida que aumenta o numero de horas de operação aumenta também as incrustações interna-mente e externamente nos tubos.

Essas incrustações atuam como isolamento térmico e para manter-se a mesma temperatura de carga, necessitamos de maior quantidade de calor, com o conseqüente aumento de temperatura da parede dos tubos, ou mesmo superaquecimento.

O coque e a formação de sais internamente nos tubos, são os produtos que mais freqüentemente encontramos como incrustações nas paredes internas dos tubos. Ao passo que externamente pode haver incrustações de óleo combustível e cinzas.

Convém lembrar que uma vez iniciada a formação de coque internamente nos tubos, sua espessura aumenta rapidamente, pois, o coque atua como uma barreira para a transferência de calor, necessitando de maior quantidade de calor para se manter a temperatura da carga.

Neste caso, a temperatura do tubo também aumenta. Tendo em vista que, quanto maior a temperatura da parede do tubo, maior a formação de coque internamente, entramos num ciclo vicioso, chegando a temperaturas críticas de operação do material com o conseqüente rompimento do tubo.

## 6 – Materiais :

### 6.1 – Metálicos

Os materiais metálicos utilizados na fabricação dos fornos variam desde ferro fundido comum até os aços inoxidáveis especiais, passando através de toda a gama de aços carbono e aços ligas.

#### 6.1.1 - Considerações Gerais

“ o aço é a liga de ferro-carbono contendo geralmente 0,008 % até 2,0 % de carbono, além de certos elementos residuais resultantes dos processos de fabricação.

Desta forma o teor de 2% de carbono que separa o aço de ferro fundido, é o limite superior dos aços e o limite inferior dos ferros fundidos.

As propriedades mecânicas dos aços variam grandemente em função dos elementos de liga.

Além disso, outros fatores influenciam em suas propriedades como, por exemplo, a deformação a frio, temperatura, o tempo, a velocidade de resfriamento.

Para o primeiro caso, isto é, com relação aos elementos de liga, de um maneira geral podemos considerar:

A medida que o teor de carbono cresce, aumentam os valores representativos da resistência mecânica, isto é, o limite de escoamento, o limite de resistência a tração e dureza, ao passo que caem os valores relativos a ductilidade, como alongamento, estricção e resiliência.

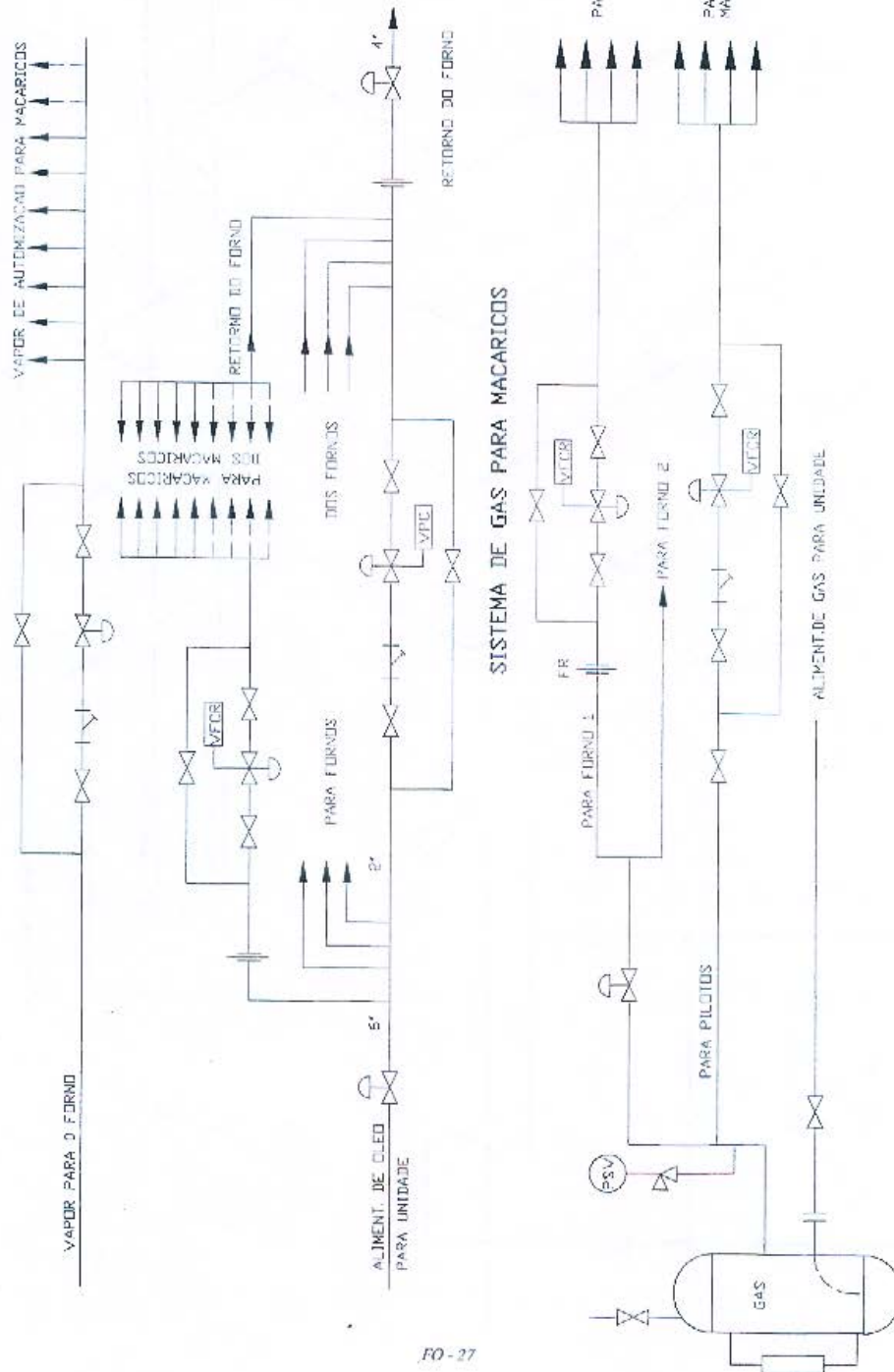
No caso específico de materiais empregados nos fornos, a utilização de aços liga e aços inoxidáveis são necessários a fim de melhorar uma das seguintes propriedades:

- aumentar a resistência ao calor
- conferir resistência a corrosão
- aumentar a dureza e a resistência mecânica
- aumentar a resistência ao desgaste

Entre os elementos de liga que são introduzidos intencionalmente nos aços a fim de melhorar determinadas propriedades, podemos citar:

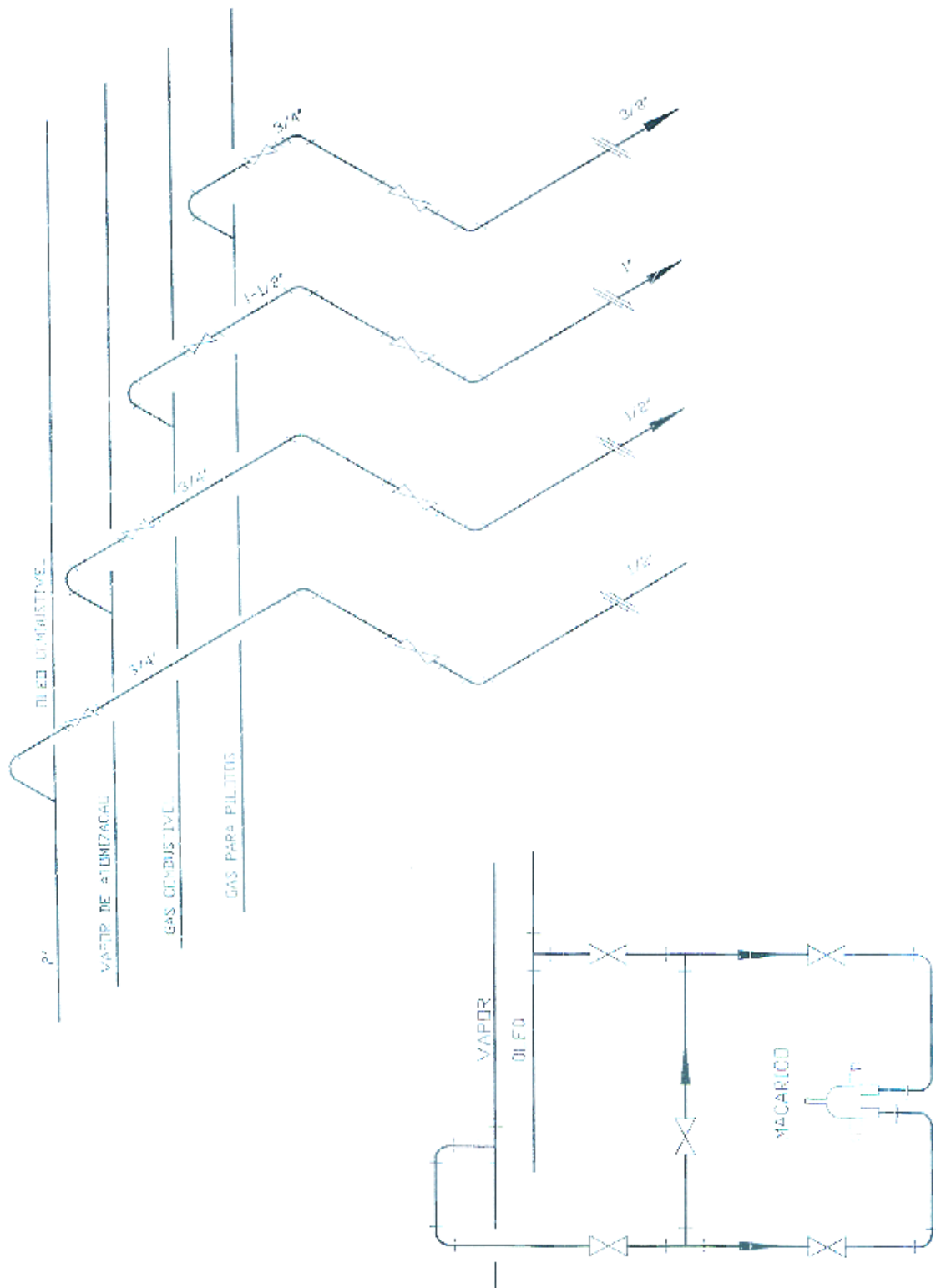
Sistema de Vapor e Óleo Combustível para Maçaricos

Figura 11.73





Alimentação dos Maçaricos  
Figura 11.74



Cromo ( Cr ): aumentar a resistência a corrosão e a oxidação. Aumentar a dureza. Melhorar a resistência a altas temperaturas. Resiste ao desgastes com alto carbono.

Molibidênio ( Mo ): diminui a fragilidade. Eleva a dureza a quente, a resistência a quente e a fluência. Melhora a resistência a corrosão dos aços inoxidáveis. Melhora a resistência a abra-são.

Níquel ( Ni ): aumenta a tenacidade. Torna austenítica as ligas Fe e Cr. Melhora a resistência a altas temperaturas.

Entre outros fatores que podem afetar a resistência ou as propriedades mecânicas dos aços podemos considerar ainda:

#### 1) deformação a frio

Os tubos dos fornos quando mandrilados aos cabeçotes sofrem deformação bem pronunciadas que afeta, as propriedades mecânicas do tubo naquela região. No caso específico aumenta a resistência a tração, e a suscetibilidade a corrosão.

#### 2) temperatura

Os materiais se aquecidos acima de determinadas temperaturas( 740° para aço carbono ) modificam a estrutura metalografica do material. Essa modificação implicara provavelmente nu-ma modificação das propriedades mecânicas do mesmo. Essa modificação será mais acentuada quanto maior for a temperatura.

#### 3) tempo

A permanência a temperatura muito alta faz com que o material metálico sofra modificações metalográficas sensíveis, modificando as propriedades físicas. Assim , a resistência a ruptura cai com o tempo. Determinados aços inoxidáveis tornam-se extremamente frágeis.

Os tubos dos fornos sofrem fluência, isto é, deformação plástica, que depende também da temperatura e pressão. A formação de abaulamento e “ laranjas ” em tubos de fornos , são causados pela existência conjunta desses dois fatores ( temperatura e pressão ).

#### 4) Velocidade de resfriamento

Determinados aços, quando aquecidos acima da temperatura critica ( 740°C para o aço carbono ), se resfriado rapidamente com água ou mesmo o ar, sofrem grande endurecimento, acarretando muitas vezes trincas. É o caso específico dos aços liga ao

cromo e aços com alto carbono. Este fato é particularmente perigoso no caso de incêndios em fornos. Por outro lado, os aços inoxidáveis austeníticos ( 18 – 8% CrNi 25 – 20 CR Ni ), quando submetidos ao mesmo procedimento tornam-se extremamente duteis. Portanto teremos resultado antagônicos para os aços inoxidáveis austeníticos quando submetidos a resfriamento bruscos.

### 6.1.2 – Usos

As serpentinas de aquecimento, dependendo das condições operacionais, podem se aço de carbono, aço liga cromo ou aço inoxidável.

Os tubos das serpentinas da convecção normalmente são com pinos ou aletas , e o material é aço carbono , pois operam a temperatura relativamente baixa. Este material poderá ser mais nobre ou em aço liga , dependendo da agressividade do meio internamente nos tubos.

Já o material dos tubos das serpentinas da radiação podem variar desde o aço carbono , até o inoxidável 25 – 20% Cr Ni, passando por toda a gama intermediária de aços liga.

As especificações dos materiais aplicados numa industria são fixados normalmente pela ASTM ( American Society Testing and Materials ). Esta especificação estabelece as propriedades físicas, químicas, bem como exigências de testes, inspeção , ensaios especiais e certas dimensões e tolerâncias.

O material mais comumente utilizado na especificação dos tubos da radiação é o aço liga com 5 a 6% de cromo , e 0,5% Mo . Essa especificação, segundo a ASTM , é A-335 grade P-22.

A fornalha , com já foi dito anteriormente , é constituída da estrutura de sustentação da serpentina , a estrutura externa , refratários e equipamentos auxiliares.

A estrutura de sustentação das serpentinas normalmente está submetida a alta temperatura e não troca calor com nenhum meio. Os aços empregados para essa finalidade chama-se aços refratários e os mais comumente usados são o AISI 310 ( 25 – 20% Cr Ni ) e AISI (25 – 12% Cr Ni ). Costuma-se revestir essas peças com argamassa refrataria, a fim de protege-las contra corrosão por alta temperatura.

A estrutura de sustentação das serpentinas, estão fixadas ou suportadas pela estrutura externa do forno ou arcabouço do forno.

Essa estrutura é constituída de perfis de aço carbono. Algumas partes como portas de inspeção portas visita, etc. são fabricadas em ferro fundido.

As partes acima descritas não podem estar expostas ao calor da câmara de combustão. Assim sendo, para sua proteção , utiliza-se material refratário.

## 6.2 – Não Metálicos

Da mesma forma que os materiais metálicos, os não metálicos variam dentro de uma grande faixa, em função das condições operacionais a que serão submetidos. Os materiais não metálicos também são regidos por especificações estabelecidas pela ASTM.

Entre as propriedades dos tijolos refratários que devem ser controlados , citamos:

- ponto de fusão
- composição
- deformação
- trincamento quando reaquecido
- porosidade
- peso específico

Para o caso específico dos tijolos refratários fabricados no Brasil , existem certas propriedades que ainda não foram alcançadas pelos fabricantes, contudo tem sido utilizados com sucesso.

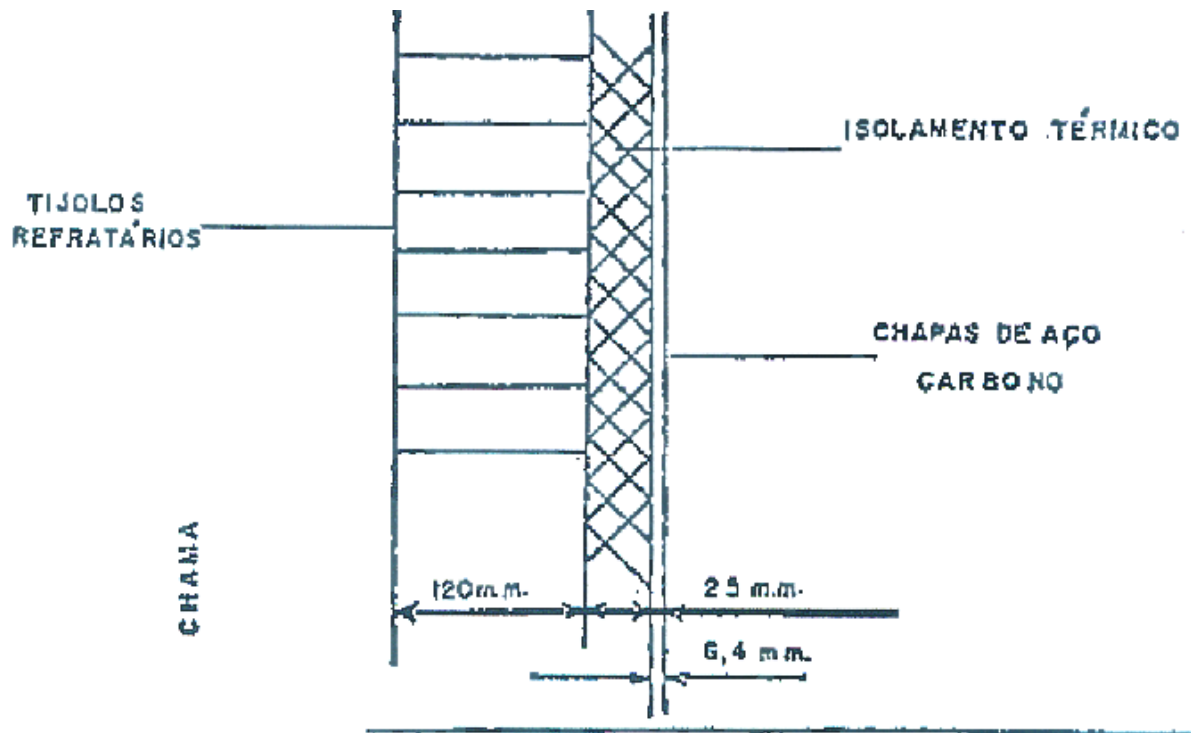
Os principais componentes de um tijolo refratário são a sílica e a alumina , contendo em torno de 54 a 42% respectivamente.

Apresentamos a seguir , um corte típico de uma parede do forno . figura 11.75.

Os tijolos refratários recebem a maior quantidade de calor, e estão algumas vezes diretamente em contato com a chama. A seguir vem uma camada de isolamento térmico, que tem melhores propriedades isolantes que os tijolos. O calor passa com mais dificuldade pelo isolamento térmico do que pelo tijolo refratário, enquanto que esse ultimo tem maior resistência mecânica.

Externamente, existe a chapa de aço da estrutura, que tem finalidade de conter e suportar as paredes refratárias e isolamento.

Entre os materiais utilizados como isolamento térmico citamos a lã de vidro, lã de rocha, magnésia, asbestos, plásticos, etc.



*Figura 11.75*

### 6.2.1 – Usos

Os tijolos refratários são utilizados normalmente nas paredes, teto ou abóboda e ao redor das bocas de visita e inspeção e nos queimadores.

Dependendo de sua finalidade, eles deverão ser mais ou menos resistentes ao desgaste.

No fundo do piso do forno, internamente na chaminé, dutos de ar quente e gases, (revestimentos de suportes), normalmente se utiliza argamassa ou concreto refratário.

Para a fixação dessa argamassa, existe uma malha de aço ou grampos soldados na chaparia externa, que proporciona a sua ancoragem.

### 7 - Testes e Nomenclatura de Fornos:

Todas as vezes que um forno for aberto para limpeza ou manutenção e inspeção, deve-se efetuar-se testes de pressão.

Os testes normalmente são feitos com água, isto é , hidrostático , podendo ser feito também com óleo. Deve-se evitar a execução de testes com ar, faz-se a sua periculosidade, enquanto que os testes com vapor são impraticáveis devido a dificuldade de verificação de vazamento.

Os testes tem dupla finalidade:

-a primeira é verificar possíveis vazamento que acarretarão incêndios quando da entrada do forno em operação.

-em segundo lugar ele constitui-se num procedimento de inspeção que indicará possíveis pontos fracos que passaram despercebidos na inspeção visual.

Se houver alguma parte de serpentina com baixa resistência , poderá apresentar um pequeno vazamento, ou mesmo um rompimento violento.

Os testes dos tubos do forno poderão ser executados com a pressão 1,5 vezes a pressão de operação. Contudo esse teste é aplicável somente para verificação de vazamento através das se desde assentamento dos plugues.

O teste recomendado quando há reparos na mandrilagem ou substituição de tubos, deve ser 1,5 vezes a máxima pressão de operação, ou pressão de abertura de válvula de segurança que protege o sistema. Essa pressão de teste normalmente é estabelecidos pelo fabricante do forno, e acha-se nos certificados e desenhos fornecidos pelo projetista.

Por ocasião dos teste, deve-se tomar particular cuidado com sedes de assentamento dos plugues, mandrilagens, soldas recentemente executadas. Raramente constata-se vazamento através do corpo dos cabeçotes, contudo é um ponto que deve ser inspecionado por ocasião do teste.

Os testes são executados pela manutenção e assistidos pela operação e inspeção, para a aprovarem ou não.

Quaisquer reparos que seja necessários executar no forno, deverão ser recomendadas pela inspeção para a manutenção, com conhecimento da operação.

Os vazamentos existentes através da sede assentamento do plugues e pela mandrilagem deverão ser sanados ou não , dependendo dos seguintes fatores:

-temperatura e pressão de operação

-tipo de carga

-tamanho do vazamento

em alguns casos não se admite quaisquer vazamento, pois são fontes de incêndio em potencial.

Qualquer vazamento através de juntas soldadas ou pelo corpo de cabeçotes não é admitido,e deverá ser sanado de acordo com uma técnica e padrões apropriados da engenharia de soldagem.

-nomenclatura de forno:

1- Fornos

1.1 – Horizontal

1.2 - vertical

2 – Chaminé

2.1 – caixa de fumaça

3 – secção

3.1 – convecção

3.2– radiação

4– câmara de combustão

4.1 – piso

4.2– paredes

4.3– abóboda

5– caixa de combustão

6– dutos

7– tubos

7.1 – simples

7.2 – com pinos

7.3 – com aletas

8– cabeçotes

8.1 – corpo

a) curva de retorno

b) ligação terminal

c) ligação de canto

8.2 – plugue

8.3 – travessa

8.4 – parafuso

9– cone de radiação

9.1 – bico

a) laminadas

a . 1 – grampos

a . 2 – cunhas

b) fundidas

c) anel

d) tirantes

d . 1 – suporte de fixação

d . 2 – luva

- d . 3 – corpo de tirante
- d . 4 – estribo
- d . 5 – arruela biselada

10 – camisa de convecção

10.1 – chapas

- a) chicana
- b) corpo cilíndrico

11 – chicana de ar frio

12 – espelho

13 – queimadores

13.1 – caixa de ar

13.2 – bloco de maçarico

13.3 – maçaricos

- a) óleo
  - a . 1 – tubo interno ( caneta )
  - a . 2 – atomizador
  - a . 3 – bico
  - a . 4 – câmara de atomização
  - a . 5 – tubo externo
  - a . 6 – válvula de limpeza

- b) gás
  - b . 1 – tubo venturi
  - b . 2 – tê terminal
  - b . 3 – niple
  - b . 4 – bico

13.4 – regulador de ar

- a) primário
- b) secundário

14 – posicionadores dos tubos

14.1 – placas

- a) sustentação
- b) fixação

14.2 – cruzetas

14.3 – grampos

15 – refratários

15.1 – tijolos

15.2 – blocos

15.3 – argamassa

16 – isolamento



16.1 – manta  
16.2 – argamassa

17 – abafador  
17.1 – dutos  
17.2 – chaminé

18 – porta de visita

19 – janela de inspeção

20 – poço dos tubos  
20.1 – grampo retentor