

2302388

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica
Projeto Mecânico

Projeto de uma Caldeira para Galvanoplastia

Autor: Riccardo Vanni Morici
Orientador: Prof. Hildo Pera

- 1987 -

TF-87
M 824p

NOTA: 9,5
(NOVE E MEIO).



Índice

I - Apresentação	02
II - Tipos de caldeiras	04
III - Projeto teórico de uma caldeira	06
IV - Cálculos	11
V - Dispositivos auxiliares	25
VI - Material	28
VII - Considerações	32
VIII - Normas	39
IX - Tabelas	41
X - Bibliografia	63

I - APRESENTAÇÃO

Parte das tarefas acadêmicas dos engenheirandos o Trabalho de Formatura é, mais do que um projeto teórico, a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos após anos de estudos na Escola. O Trabalho de Formatura apresentado, desenvolvido paralelamente ao 5º Ano de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da U.S.P., versa sobre um gerador de vapor, uma caldeira. É notória a especialidade Térmica encontrada, entre outras, no Departamento de Mecânica da Poli.

Tendo optado pela área Térmica como escopo deste trabalho final, o próximo passo foi o de escolher o sistema ou aparelho a ser projetado. Após muitas considerações, a escolha recaiu finalmente em uma caldeira, com óleo BPF como combustível. A escolha levou em consideração principalmente o fato de tal elemento ter seu uso consagrado pela eficiência e utilidade. Além disso, possibilita a utilização não de apenas cálculos matemáticos, mas princípios físicos (como resistência dos materiais), químicos (processos de combustão) e físico-químicos (fadiga dos materiais), que, integrados, formam a ciência da Engenharia. Dessa maneira, foi possível atingir um vasto número de disciplinas oferecidas pela Escola em seus diversos Departamentos.

Durante os cálculos do projeto uma série de simplificações foram feitas, baseadas em hipóteses levantadas ou então porque o nível de detalhe seria muito elevado para o projeto, o que no caso do Trabalho de Formatura se tornaria anti-produtivo. O objetivo do Trabalho é o de se obter um projeto bom e funcional, sem a necessidade de uma longa

busca pela perfeição, mesmo porque o período de tempo que temos não seria suficiente.

Quero expressar os meus agradecimentos aos colegas, professores e a todos aqueles que possibilitaram a elaboração desse projeto, e em especial ao Professor Hildo Pera, membro do Corpo Docente do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da U.S.P., meu orientador.

Riccardo Vanni Morici
(10/11/87)

II - TIPOS E USOS

Atualmente, o uso industrial de caldeiras é obtido através de diversos combustíveis. Podemos utilizar o gás natural, o GLP, a nafta, a lenha, o BPF, o OC-4, o óleo Diesel ou mesmo a energia elétrica. Outras fontes de energia possuem uso menos difundido e outras ainda estão em estudo. O interesse da utilização de uma caldeira com determinada fonte de energia leva em consideração menos o desenvolvimento tecnológico e mais o preço de custo do uso dos diversos tipos de combustível. A flutuação dos preços dos combustíveis deveria levar a uma mudança nesse tipo de critério. Um peso maior deveria ser dado a fontes não poluentes de energia (ou a sistemas de filtros) e a recursos recicláveis, para que não fiquemos a mercê de uma crise mundial, quando as reservas de certos elementos se exaurirem.

As caldeiras normalmente são dos tipos flamotubular ou aquotubular. Nas do tipo flamotubular temos que o fogo passa no interior dos tubos (chamados propriamente de tubos de fogo) e a água passa por fora desses tubos, recebendo, dessa forma, o calor. Nas aquotubulares ocorre o inverso, com a água passando internamente aos tubos e o fogo externamente.

Para uso industrial geral, encontramos desde caldeiras aquotubulares a GLP com

produção de 25 kg/h até caldeiras flamotubulares a óleo combustível com 10.000 kg/h (para usos mais específicos, podemos ampliar esses limites).

III - PROJETO TEÓRICO DE UMA CALDEIRA

Para o projeto de uma caldeira, deveremos levar em consideração um sem-número de itens:

- * Tipo de caldeira (combustível)
- * Produção de vapor
- * Pressão de trabalho
- * Características do combustível
- * Rendimento
- * Temperatura da água (entrada e saída)
- * Volume da caldeira
- * Material construtivo
- * Material para isolamento térmico
- * Dispositivos auxiliares de segurança e controle
- * Processos de soldagem
- * Outros

É possível se verificar que um projeto real deveria, levando-se em conta a minúcia exigida em cada item, levar um considerável período de tempo por um número razoável de Engenheiros e técnicos. Dessa maneira, quando me parecer razoável, simplificarei os cálculos, mas sempre indicando a referência para cálculos mais exatos e de maior eficiência.

Tipos de caldeira

Como já foi visto, existem diversas aplicações para as caldeiras. Dessa maneira, o pró-

ximo passo é o de escolher o tipo de aplicação da caldeira.

O tipo escolhido é o de caldeira para servir como gerador de vapor para uma unidade de Galvanoplastia. O interior da caldeira cria vapor d'água saturado seco, que é enviado por uma linha de vapor até o local de utilização (tanques para banhos químicos, como decapagem, limpeza, etc.).

Combustível

Temos, atualmente, diversas opções de a fonte de energia para a caldeira. Vamos nos deter a escolher uma entre as três opções a serem consideradas: energia elétrica, queima de óleo combustível BPF e gás de rua.

(a) Energia Elétrica:

- * Possui eficiência térmica alta (cerca de 98%)
- * Manutenção simples
- * Construção mais fácil que os outros tipos
- * Não possui o ambiente
- * A operação é totalmetnte automática, não necessitando de cuidados especiais
- * Necessidade de potência da ordem de 200 Kw
- * Possíveis problemas com a rede elétrica, o que pode tornar sua instalação de difícil execução

(b) Óleo BPF:

- * Construção mais difícil que a elétrica

- * Problemas de poluição ambiental
- * Custo mais baixo de produção
- * Eficiência térmica inferior à elétrica
- * Possibilidade de adaptação para funcionar a gás

(c) Gás de rua:

- * Necessita a instalação de um ramal de gás de rua pela Comgás. Isso pode levar a construção de uma canalização de grande extensão, a partir do distribuidor da Comgás.
- * É mais complexa no aspecto construtivo à elétrica (é semelhante, a excessão do queimador, a caldeira a óleo BPF)

Comparação

Apesar das diversas vantagens da caldeira elétrica, o preço do combustível BPF ou do gás de rua é inferior , no dia de hoje, (base Agosto de 87).

Por outro lado, a caldeira alimentada a gás de rua pode levar a investimentos proibitivos para a instalação. Assim, uma caldeira a óleo BPF teria um maior mercado, atulamente. Por isso, eu escolhi a caldeira a óleo BPF: levando em conta o mercado consumidor.

Com isso definimos o combustível. Finalmente deveremos escolher o modelo de caldeira. Para essa aplicação, com essa produção de vapor e pressão de trabalho, escolhi a do tipo aquotubular. Temos então o projeto de uma caldeira a óleo BPF, aquotubular.

A caldeira movida a óleo BPF pode ser facilmente adaptada para a utilização com gás de rua. A diferença básica será a do queimador. Existem atualmente no mercado queimadores que funcionam com os dois tipos de combustível. O projeto poderia utilizar um desse tipo. A caldeira pode também usar a nafta.

Na caldeira aquotubular é a água que circula no interior dos tubos. O fogo circula por fora. O sistema de circulação aplicado é o de por serpentinas.

Dados do projeto

O nosso problema agora é o definir os parâmetros de projeto. Para resolver esse tipo de circunstância, o método utilizado foi o de utilizar de uma pequena pesquisa. Assim, os dados do projeto são baseados em valores que correspondem às reais necessidades de uma unidade de galvanoplastia de uma fábrica. O estudo foi obtido durante um estudo em diversas empresas, e os valores são médios.

São eles:

- * Produção de vapor ----- 2 T/h
- * Qualidade do vapor ----- Saturado
seco
- * Pressão de trabalho ----- 4 kgf/cm²

* Combustível ----- óleo BPF/GN

* Rendimento ----- 90%
(referente ao PCI do óleo)

* Temperatura da água ----- 15°C
(alimentação)

IV - CÁLCULOS E DIMENSIONAMENTO

(1) Fluido a ser vaporizado

Temos

$$\dot{Q}_v = D (h_v - h_a) \quad \text{onde } \dot{Q}_v = \text{calor para vaporização}$$

$D = \text{produção de vapor}$

$h_v = \text{entalpia do vapor produzido}$

$h_a = \text{entalpia da água de alimentação}$

$$D = 2.000 \text{ kg/h}$$

e das tabelas do VDI-Wasserdampfatafein, de Ernest Schmidt, temos

$$h_v = 653,00 \text{ kcal/kg}$$

$$h_a = 15,04 \text{ kcal/kg}$$

$$\dot{Q}_v = 2.000 (653,00 - 15,04)$$

$$\dot{Q}_v = 1.275.920 \text{ kcal/h}$$

(2) Consumo de combustível

Estamos utilizando como combustível o BPF.
Suas características são:

Composição:

C -----	85,89%
H -----	11,66%
S -----	2,40%
H ₂ O e sedimentos -----	0,05%

Densidade -----	0,9558 (15°C)
Ponto de fluidez -----	0 (0°C)
Viscosidade SFS -----	122 (50°C)
PCS -----	10.450
PCI -----	9.800 kcal/kg
Ponto de fulgor -----	102
(vaso aberto)	

Podemos calcular o consumo:

$$B = \frac{\dot{Q}_v}{PCI \cdot \eta}$$

onde η = eficiência
térmica

B = consumo de
combustível

$$B = \frac{1.275.920}{9.800 \cdot 0,90}$$

$$B = 144,7 \text{ kg/h}$$

(3) Volume dos fluidos gasosos

Alguns dos valores deverão ser procurados em ábacos especiais.

Para o PCI dado, com $m = 1,15$ (excesso de ar de 15%), teremos das tabelas

$$V_{ar}^t = 10.7 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$V_g^t = 13.0 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$V_{ar}^r = V_{ar}^t * m$$

$$V_{ar}^r = 10.7 * 1.15$$

$$V_{ar}^r = 12.3 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$V_{ar}^t = \text{volume teórico de ar necessário}$$

$$V_g^r = \text{volume real dos gases}$$

$$V_{ar}^r = \text{volume real de ar necessário}$$

Se quisermos os volumes reais pela unidade de tempo (em horas), devemos calcular:

$$V_{arh}^r = V_{ar}^r * B$$

$$V_{arh}^r = 12.3 * 144.7$$

$$V_{arh}^r = 1779.8 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$V_{gh}^r = V_g^r * B$$

$$V_{gh}^r = 13.0 * 144.7$$

$$V_{gh}^r = 1881.1 \text{ m}^3 / \text{h}$$

(4) Calor fornecido

$$\dot{Q}_p = B * PCI + V_{arh}^r * C_p * T_{ar}$$

$$C_p = 0.31 \text{ kcal/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{ar} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_p = \text{calor fornecido}$$

$$C_p = \text{calor específico do ar}$$

$$T_{ar} = \text{temperatura do ar}$$

$$\dot{Q}_p = 144.7 * 9.800 + 1779.8 * 0.31 * 25$$

$$\dot{Q}_p = 1.4.8.060 + 13.793,45$$

$$\dot{Q}_p = 1.431.853,4 \text{ kcal/h}$$

(5) Dimensionamento

Os cálculos que se seguem atuam de maneira iterativa. Devemos obter valores idênticos para o comprimento do feixe de convecção e para o comprimento da câmara de combustão. Para posteriores recálculos foi utilizada uma planilha eletrônica de cálculo (ver Capítulo VII - CONSIDERAÇÕES para maiores detalhes).

5.3a) Volume da câmara de combustão

Temos

$$V = \frac{\dot{Q}_p}{C_{Te}}$$

V = volume da câmara
de combustão
 C_{Te} = carga térmica es-
pecífica

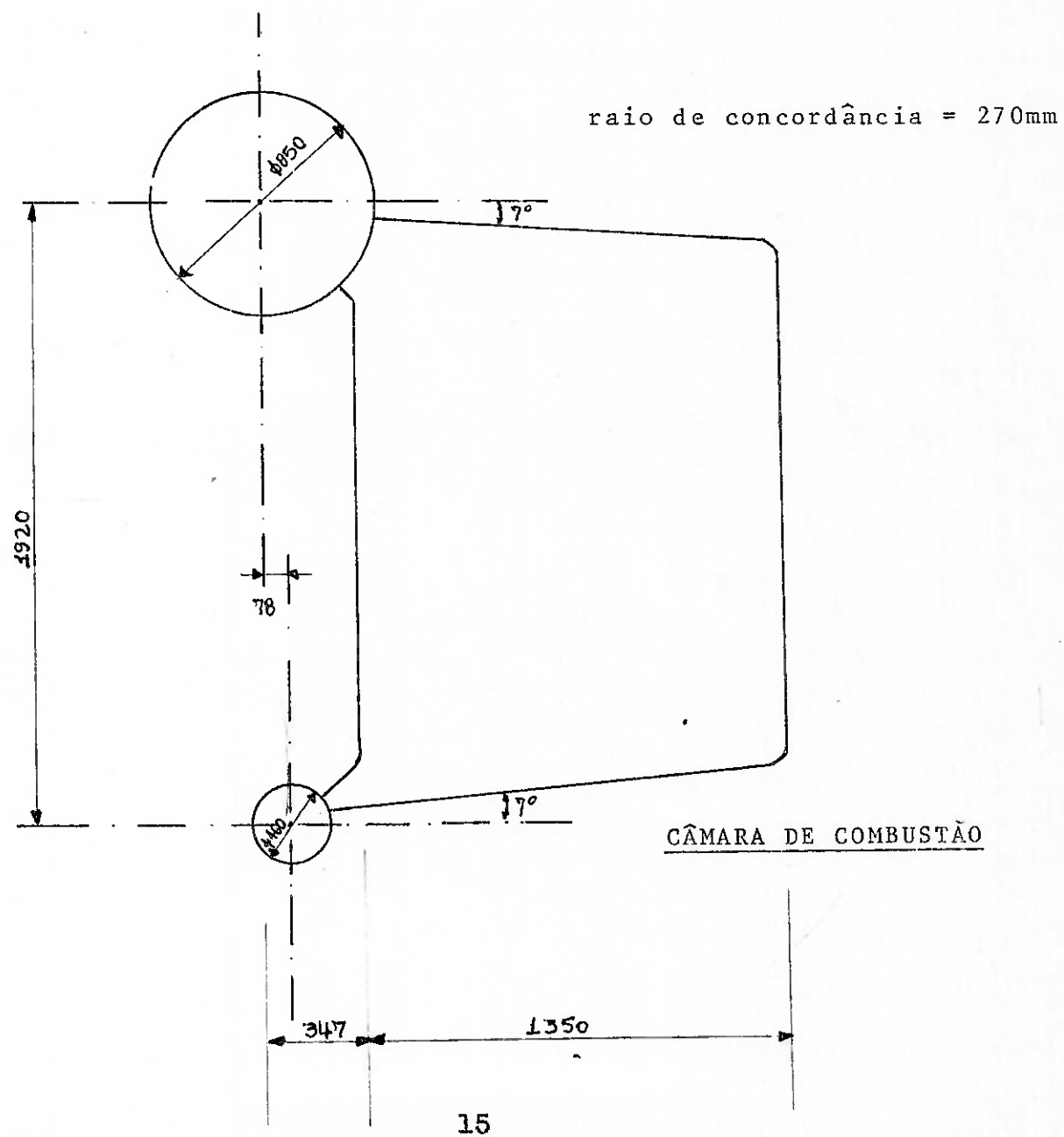
O C depende do tipo de caldeira. Se tivermos uma fornalha formada de " paredes de água " (ou seja, revestida internamente de tubos de água), com piso recoberto de material refratário, teremos um C variando entre os valores de 300.000 e 800.000 kcal/m³ h. Adotemos inicialmente que obtivemos com materiais e técnicas adotadas um valor de $C_{Te} = 450.000$ kcal/m³ h.

$$V = \frac{1.431.853,4}{450.000}$$

$$V = 3,18 \text{ m}^3$$

5.b) Comprimento da câmara de combustão

Para isso, devemos adotar, inicialmente, um modelo de câmara de combustão. Podemos usar dimensões aproximadas, para os primeiros cálculos, dimensões essas sujeitas a mudanças para a facilidade de transporte, montagem ou manutenção.



Definimos ainda

diâmetro dos tubos = 3"

Temos

$$L_{cc} = \frac{V}{S_{cc}}$$

L_{cc} = comprimento da
câmara de com-
bustão

S_{cc} = área da câmara
de combustão

Da figura esquemática, $S_{cc} = 2,15 \text{ m}^2$

$$L_{cc} = \frac{3,18}{2,15}$$

$$L_{cc} = 1,48 \text{ m}$$

5.c) Superfície irradiada

$$S_{irr} = (L_e + L_i) * L_{cc} * \psi$$

S_{irr} = superfície
irradiada

Do esquema

L_e = comprimento do
tubo externo

$$L_e = 4,12 \text{ m}$$

L_i = comprimento do
tubo interno

$$L_i = 1,48 \text{ m}$$

ψ = fator de dis-
tribuição dos
tubos

Das tabelas

$$\psi = 1$$

$$S_{iaa} = (4,12 + 1,48) * 1,48 * 1$$

$$S_{iae} = 8,29 \text{ m}^2$$

5.d) Superfície reduzida

$$S_r = \frac{C_{iae} * S_{iaa} * 250}{V_{gh}^n}$$

S_r = superfície
reduzida

C_{iae} = coeficiente
de irradiação

Temos $C_{iae} = 4,8 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$

$$S_r = \frac{4,8 * 8,29 * 250}{1881,1}$$

$$S_r = 5,29 \text{ m}^2$$

5.e) Temperatura de equilíbrio

A T_e sai de tabelas. Como entrada, de
vemos fornecer h_o , m , PCI e S_r , onde

T_e = temperatura de equilí
brio da câmara

h_o = conteúdo térmico espe
cífico dos gases

Devemos calcular h_o :

$$h_o = \frac{\dot{Q}_p}{V_{gA}^n}$$

$$h_o = \frac{1.431.853,4}{1881,1}$$

$$h_o = 761,2 \text{ kcal/m}^3$$

E. pelos ábacos,

$$T_e \approx 940 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5.f) Balanço térmico

Devemos calcular as diversas temperaturas e quantidades de temperaturas de calor fornecidas ou perdidas no processo.

$$\dot{Q}_{AC} = h_{Te} * V_{gA}^n$$

$\dot{Q}_{AC}$ = saldo de calor após a câmara

h_{Te} = conteúdo térmico específico à temperatura de equilíbrio

Das tabelas:

$$h_{Te} = 340 \text{ kcal/m}^3$$

$$\dot{Q}_{AC} = 340 * 1881,1$$

$$\dot{Q}_{AC} = 639.574 \text{ kcal/h}$$

$$\dot{Q}_{AF} = Q - Q$$

$$\dot{Q}_{AF} = 1.431.853,4 - 639.574$$

$\dot{Q}_{AF}$ = calor absorvido na fornalha

$$\dot{Q}_{AF} = 792.279,4 \text{ kcal/h}$$

$$\dot{Q}_{FO} = \frac{\dot{Q}_v}{\eta}$$

$\dot{Q}_{FO}$ = calor fornecido pelo combustível

$$\dot{Q}_{Fo} = \frac{1.275.920}{0,90}$$

$$\dot{Q}_{Fo} = 1.417.688,8 \text{ kcal/h}$$

Numa caldeira integralmente irradiada, temos que as perdas de calor por irradiação são da ordem de 1% do calor fornecido pelo combustível.

$$\dot{Q}_{Di} = 0,01 * \dot{Q}_{Fo}$$

$\dot{Q}_{Di}$ = calor perdido por irradiação

$$\dot{Q}_{Di} = 0,01 * 1.417.688,8$$

$$\dot{Q}_{Di} = 14.176,9 \text{ kcal/h}$$

Temos

$$\dot{Q}_{Ac_e} = \dot{Q}_{Ac} - \dot{Q}_{Di}$$

$\dot{Q}_{Ac_e}$ = saldo de calor efetivo após a câmara

$$\dot{Q}_{Ac_e} = 639.574 - 14.176,9$$

$$\dot{Q}_{Ac_e} = 625.397,1 \text{ kcal/h}$$

Para obtermos T_{ef} pelas tabelas, devemos conhecer primeiramente o h_{ef}

T_{ef} = temperatura na entrada do feixe

h_{ef} = conteúdo térmico na entrada do feixe

$$h_{ef} = \frac{\dot{Q}_{me}}{V_{gh}^{\cdot}}$$

$$h_{ef} = \frac{625.397,1}{1881,1}$$

$$h_{ef} = 332,5 \text{ kcal/m}^3$$

Das tabelas

$$T_{ef} \approx 918 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temos

$$\dot{Q}_{AFC} = \dot{Q}_v - \dot{Q}_{AF}$$

$$\dot{Q}_{AFC} = 1.275.920 - 792.279,4$$

$$\dot{Q}_{AFC} = 483.640,6 \text{ kcal/h}$$

$\dot{Q}_{AFC}$ = calor a ser absorvido pelo feixe de convecção

$$\dot{Q}_{sg} = \dot{Q}_{me} - \dot{Q}_{AFC}$$

$$\dot{Q}_{sg} = 625.397,1 - 483.640,6$$

$$\dot{Q}_{sg} = 141.756,5 \text{ kcal/h}$$

$\dot{Q}_{sg}$ = saldo de calor na saída dos gases

Para a obtenção de T_{sg} pelas tabelas, devemos conhecer primeiramente o h_{sg} :

T_{sg} = temperatura de saída dos gases
 h_{sg} = conteúdo térmico específico de saída dos gases

$$h_{sg} = \frac{\dot{Q}_{sg}}{V_{gh}^{\cdot}}$$

$$h_{sg} = \frac{141.756,5}{1881,1}$$

$$h_{sg} = 75,36 \text{ kcal/m}^3$$

Os ábacos consultados não fornecem valores de T_{sg} para valores tão baixos de h_{sg} . Para isso, devemos prolongar as curvas, obtendo o valor desejado.

$$T_{sg} \cong 240 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5.g) Superfície de convecção

Calculadas as temperaturas e quantidades de calor, podemos, agora, calcular a superfície de convecção.

$$S_c = \frac{\dot{Q}_{FC}}{\alpha * \Delta T}$$

S_c = superfície de convecção

α = coeficiente de transmissão para fluxo gasoso normal e externo aos tubos

ΔT = diferença média logarítmica de temperatura

Para distribuição apropriada com 5 ou mais fileras, temos

$$\alpha = \frac{v^{0,654}}{d^{0,346}} * \left(4,3 + 2,51 * \frac{\bar{T}}{1000} \right) * 1,4 * f_c$$

v = velocidade dos gases
 $\bar{T}$ = temperatura média do gás (antes e depois do feixe)

f_c = fator de sujeira

d = diâmetro externo dos tubos

Sabemos que

$$v = \frac{V_{\frac{m}{h}}}{3600 * S_{pg}}$$

S_{pg} = superfície de passagem dos gases entre os tubos do feixe

Do esquema

$$S_{pg} = 0,54 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{1881,1}{3600 * 0,54}$$

$$v = 0,97$$

Adotando-se d = 2" ($\cong 0,051 \text{ m}$)

$$f_c = 0,95$$

devemos encontrar $\bar{T}$

$$\bar{T} = \frac{T_{of} + T_{sg}}{2}$$

$$\bar{T} = \frac{918 + 240}{2}$$

$$\bar{T} = 579 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\alpha = \frac{(0,97)^{0,654}}{(0,051)^{0,346}} * \left(4,3 + 2,51 * \frac{579}{1000} \right) * 1,4 * 0,95$$

$$\alpha = 21,00$$

Temos

$$\Delta T = \frac{T_{cf} - T_{sg}}{\ln \frac{T_{cf} - T_v}{T_{sg} - T_v}}$$

das tabelas de saturação de vapor :

$$p_g = 4 \text{ kgf/cm}^2 \quad T_v = 143 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \frac{918 - 240}{\ln \frac{918-143}{240-143}}$$

$$\Delta T = 326 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$S_c = \frac{483 * 640,6}{21,00 * 326}$$

$$S_c = 70,65 \text{ m}^2$$

5.h) Comprimento do feixe

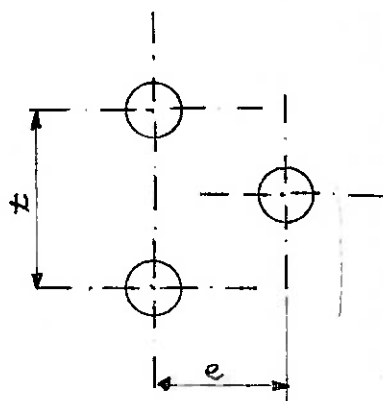
$$\text{Temos } L_{FC} = (n - 1) * e$$

L_{FC} = comprimento do feixe de convecção

n = número de secções do feixe

e = espaço entre os tubos

Adotemos o esquema



t = passo dos tubos

$$t = 78 \text{ mm}$$

$$e = t * \sqrt{3}$$

$$e = 78 * \sqrt{3}$$

$$e = 67,6 \text{ mm}$$

$$n = \frac{S_c}{\pi * d * l}$$

l = comprimento total dos tubos do feixe de con

vecção

Para $l = 19,2$ m temos

$$n = \frac{70,65}{\pi * 0,051 * 19,2}$$

$$n = 22,96 \quad n \approx 23 \text{ secções}$$

$$L_{FC} = (23 - 1) * 67,6 * 10^{-3}$$

$$L_{FC} = 1,48 \text{ m}$$

(6) Análise

Obtivemos os seguintes valores :

$$L_{CC} = 1,48 \text{ m}$$

$$L_{FC} = 1,48 \text{ m}$$

Tais valores são idênticos e, portanto, a iteração foi realizada apenas uma vez, sendo perfeitamente realizada.

Na verdade, durante um processo iterativo, dificilmente serão alcançados os valores desejados na primeira iteração. Ocorre que os cálculos aqui apresentados não foram feitos diretamente, como apresentado, mas sim com o auxílio de um computador digital. Para maiores esclarecimentos, temos no capítulo VII um item de programação de re solução iterativa.

Para efeito de cálculos, desprezou-se a superfície do fundo da fornalha.

Utilizamos a distribuição quinquên-
cia para os tubos do feixe de convecção.

V - DISPOSITIVOS AUXILIARES

A caldeira necessita de outros aparelhos, tanto para o próprio funcionamento quanto para a segurança da operação. Aqui, uma lista dos principais :

- * Válvula de Segurança
- * Válvula de Alívio
- * Válvula de descarga
- * Manômetros
- * Termômetros
- * Conjunto Motor-Bomba d'água
- * Queimador
- * Instrumentos de segurança

A seguir, uma pequena descrição de cada um deles :

Válvula de Segurança

É, segundo a NB-284, um dispositivo automático de alívio de pressão, caracterizado pela total e imediata abertura (" pop action ").

Válvula de alívio

Também segundo a NB-284, é um dispositivo idêntico ao anterior, porém de ação de abertura relacionada com o acréscimo da pressão aplicada.

Válvula de Descarga

É aquela que liga a tubulação de saída da caldeira com a linha que conduzirá o vapor até o local de uso.

Manômetros

Medidores de pressão da caldeira, servem tanto para verificar se a operação ocorre dentro do planejado quanto como dispositivo de segurança (mostra no indicador se a pressão está deixando níveis seguros de operação).

Termômetros

Medem o valor da temperatura de diversos pontos da caldeira (dependendo do local em que forem posicionados).

Conjunto Motor-Bomba

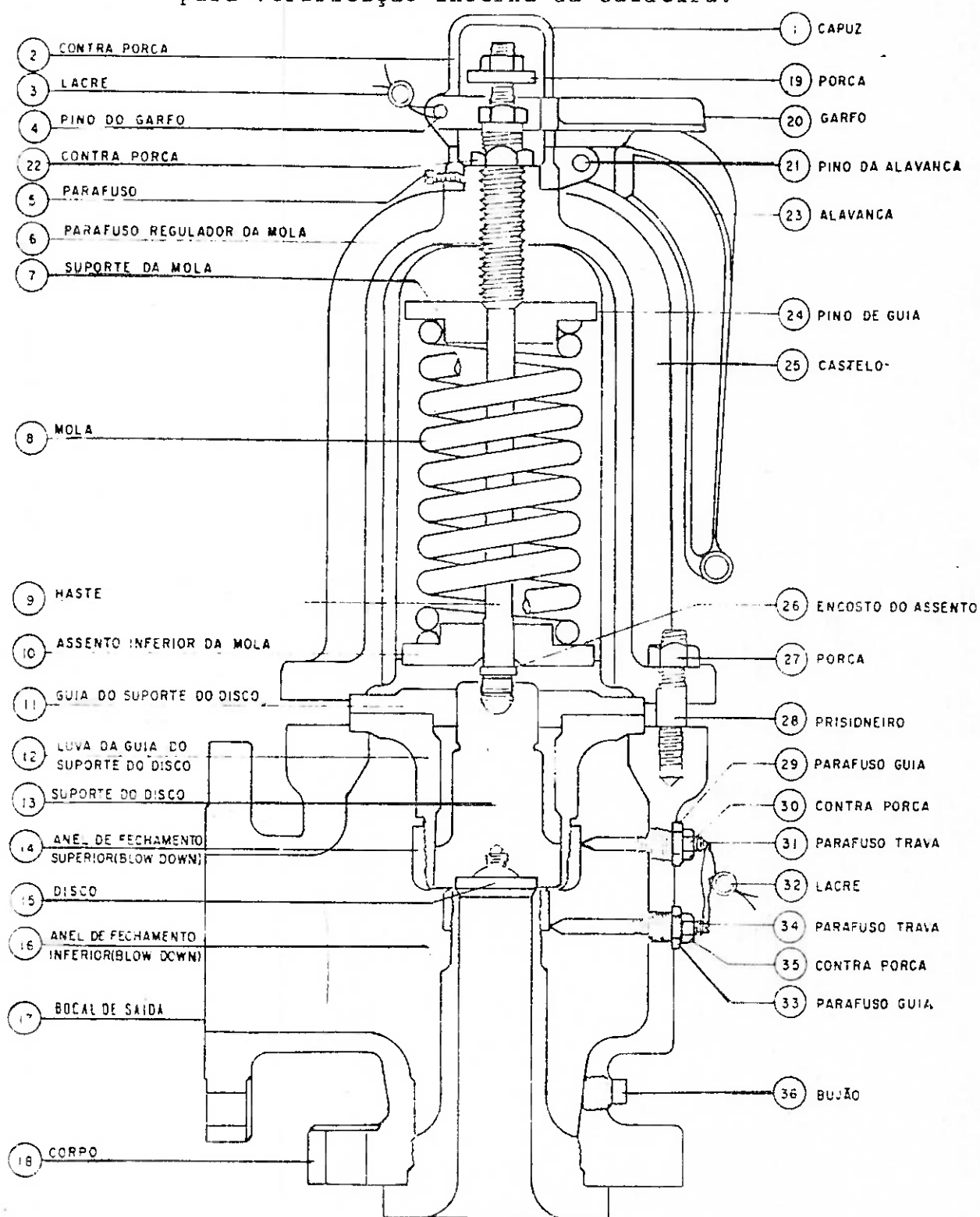
Serve para elevar a água de suas linhas de condução até o compartimento interno de armazenagem ou uso da caldeira.

Queimador

Sistema de ignição que provoca a contínua combustão dentro da caldeira.

Instrumentos de Segurança

Onde destacamos um medidor de nível de água (óptico), para evitar que exista falta de água na caldeira; tampa de inspeção, para verificação interna da caldeira.



VI - MATERIAL

Façamos, agora, pequenas considerações sobre os tipos e características dos materiais utilizados para o projeto de uma caldeira como a desse Projeto de Graduação.

(1) Refratário

Para a utilização do material refratário necessário à construção da caldeira, devemos nos basear em 2 projetos de normas presentes na A.B.N.T. :

- * P-EB- 179 = Produtos Refratários Moldáveis
(Argilas, Argamassas, Cimentos e Concretos Refratários).
- * P-MB- 317 = Método de Preparação de Amostra de Argilas, Argamassas, Cimentos e Concretos Refratários para Análise Química e Refratariedade.

O uso do refratário na caldeira leva em consideração o fato de que a mínima quantidade de calor deve ser transmitida para o meio externo. Portanto, para o projeto, escolhemos o material do tipo R M I (refratário moldável, isolante).

De acordo com a P-EB- 179, temos as seguintes características do material:

Características	Categorias			
	RMI-8	RMI-10	RMI-11	RMI-12
Densidade aparente máxima após a secagem a 110°C (g/cm)	0,90	1,00	1,20	1,50
Retração linear permanente inferior a 1,5% após a queima a ...	850°C	1050°C	1150°C	1250°C

Quanto menor a perda de calor para o meio externo, maior a eficiência da caldeira.

(2) Isolamento Térmico

Para locais que necessitem de isolamento contra perdas de calor, o tipo de material recomendado é a lã de vidro. Um exemplo de aplicação seria o da tubulação externa da caldeira. A A.B.N.T. prevê para esse material duas diferentes normas, conforme o estado em que se apresentem (na verdade essas normas já foram superadas por novas normas equivalentes ; para outras informações devemos consultar a A.B.N.T. no Rio de Janeiro). Assim, temos a EB- 374 para lã de vidro em flocos e a EB- 376 para a lã de vidro em placas.

A seguir damos algumas das definições e características encontradas na EB- 374 :

A Temperatura mínima de fusão é de 680°C e temos flocos classe A, com aglutinante (ligante incorporado ao material termo-isolante), para temperaturas entre -30 e 600°C; classe B, sem agluti-

nante, para temperaturas entre -30°C e 600°C.

A condutibilidade térmica do material deve ser determinada de acordo com o método ASTM 177/63, com indicação do peso específico (20 kgf/m). O coeficiente máximo da condutibilidade térmica " k " em kcal/mh°C a 20 kgf/m pode ser encontrada na tabela abaixo

t	20°C	50°C	80°C	110°C	140°C
k	0,045	0,048	0,058	0,069	0,082

O diâmetro médio da lâ não deverá exceder a 6 m e a alcalinidade expressa em Na O não deve ultrapassar 0,6%.

(3) Material para carcaça e tubos

Para a construção da carcaça e tubos, necessitamos de um material de boa resistência mecânica, por problemas de ordem estrutural. Também necessitamos de um material resistente à corrosão. Escolhemos, portanto, aços-liga. A liga, por outro lado, sob constante aquecimento e resfriamento favorece o surgimento de pontos frágeis no aço. Como ponto de equilíbrio entre esses dois fatores, devemos selecionar um aço de baixa liga.

Não podemos nos esquecer que o aço de baixa liga escolhido deve possuir boas características de soldabilidade e de resistência à fadiga. Um grande número de aços de baixa liga é dado pela ASME. As tabelas da

secção VIII de tal norma podem ser encontradas
nesse projeto, no Capítulo IX - TABELAS.

Com temperaturas que atingem 940°C,
um aço para a caldeira seria o SA-217.

VII - CONSIDERAÇÕES:

Reservamos este capítulo para algumas considerações que devem ser levadas em conta quando de um projeto a nível industrial. São considerações a nível construtivo e a nível de operação, bem como mostrar um pouco o método iterativo, via computador, para a obtenção mais rápida de soluções de cálculos.

(1) Poluição:

Uma preocupação constante nos dias de hoje é o da busca de fontes não poluidoras de energia. Nosso planeta encontra-se em um estado crítico de acúmulo de detritos, tanto sob forma sólida espalhando-se por áreas cada vez maiores quanto sob forma de gases tóxicos se acumulando na atmosfera (causando buracos nas camadas superiores de ozônio ou provocando o conhecido "efeito-estufa", ao mesmo tempo em que enchem nossos organismos de material venenoso).

Devemos levar em conta que o SO_2 liberado em reações de combustão (como o do óleo Diesel, por exemplo) é um elemento altamente poluidor, e, por isso, deve ser deixado a níveis mínimos e posteriormente eliminado como resíduo de processo para obtenção de energia.

(2) Operação:

Uma importante consideração a ser feita diz respeito à manipulação da caldeira. O seu "modus operandi" deve ser encarado de maneira clara e objetiva, tal como sua fabricação. A mão-de-obra brasileira ainda não atingiu um nível ótimo de especialização. Dessa forma, a fabricação e o uso devem ser simples, o suficiente para esse nível de operariado.

No caso da fabricação, os dados utilizados implicam em uma caldeira, sem lances especiais, a serem fabricados ou montados. Tudo cumpre as normas existentes. As técnicas necessárias para a fabricação, portanto estão dentro dos padrões encontrados no país.

No que diz respeito à manipulação, o operário deverá simplesmente conhecer a pressão, temperatura e vazão de trabalho e compará-las com os instrumentos anexos à caldeira. Caso estejam em desacordo, sua correção seja feita de maneira simples, com uma ou duas operações que se repitam durante o ciclo. Dessa maneira, sem maiores sofisticções, os instrumentos de medição devem ser de fácil leitura.

A caldeira deve ter funcionamento quase que totalmente automático. Com isso, não é necessária a presença de um operador durante todo o período de operação. Devemos proceder a verificação em períodos curtos ou longos de tempo, de acordo com os parâmetros de utilização e segurança envolvidos. Além disso, devemos proceder a meios de se avisar à pessoa competente que a caldeira não está funcionando de acordo, Isso é possível com a instalação de alarmes e de outros dispositivos automáticos de segurança.

(3) Algumas considerações sobre a fadiga das ligações:

Certos fatores relacionados à fadiga de ligações foram desprezados no projeto, mas se quisermos aproveitar ao máximo a durabilidade que nos oferecem determinados tipos de ligação não podemos deixar de lado. Um exemplo típico é quanto a diferença de resistência a fadiga ocasionado pela distribuição geométrica dos tubos de fogo no interior da caldeira. Vejamos o esquema a seguir:

A distribuição de pressões no interior da caldeira dependerá da relação d/e . Isto ocasionará um maior ou menor esforço das ligações soldadas no tubo. Portanto, teremos uma maior ou menor fadiga nas juntas soldadas dependendo da relação d/e . Para maiores informações, consulte o catálogo da ASME Section VIII, Division 2 - no capítulo "Stresses in Ligaments (article 4-9)".

(4) Pintura:

Uma consideração importante no aspecto de acabamento é o relacionado à pintura da caldeira. O trabalho a altas temperaturas enfrentado pela caldeira provocará rachaduras ou mesmo o derretimento da tinta que envolve a capa metálica. Por isso, devemos selecionar o processo de acabamento superficial do metal, a base e o acabamento de Pintura.

Para eliminar problemas no acabamento superficial, recorramos ao jateamento abrasivo do metal quase branco. Esse método é encontrado no mercado nacional e não provoca maiores problemas.

Para a pintura em si, normas internas de fabricantes de caldeiras recomendam o uso como base do ETIL SILICATO DE ZINCO BICOMPONENTE. Para o acabamento, o alumínio silicone para altas temperaturas.

Tais processos e materiais são utilizados no país.

(5) Tipo de água utilizada:

A água utilizada industrialmente, em caldeiras, por exemplo, tem uma composição diferente da de uso doméstico. A água fornecida pela SABESP (que em 1987 é a fornecedora da água doméstica) pode ser responsável por corrosão e pelo aparecimento de incrustações. Esses dois problemas podem tanto causar perdas da eficiência como mesmo provocar danos à estrutura da caldeira.

(5) Tipo de água Utilizada:

A água utilizada industrialmente, em caldeiras, por exemplo, tem uma composição diferente da de uso doméstico. A água fornecida pela SABESP (que em 1987 é a fornecedora de água doméstica para São Paulo) pode ser responsável por corrosão e pelo aparecimento de incrustações. Esses 2 problemas podem tanto causar perdas da eficiência como, mesmo, provocar danos à estrutura da caldeira.

A resistência à transmissão de calor relativa ao aparecimento de incrustações pode levar a perdas de até 15% na eficiência, valores estimados pelas tabelas:

Incrustações: compostos aderentes
Lodos : compostos não aderentes,

podemos punar.

Temos aqui uma relação de substâncias que podem levar a ocasionar os problemas já mencionados

- | | |
|---|--|
| (*) <u>Hidróxido de Magnésio:</u>
. $Mg(OH)_2$ | Ocasiona a formação de lodos e incrustações |
| (*) <u>Carbonato de Cálcio:</u>
. $CaCO_3$ | Que, dissolvido em água, forma o $Ca(HCO_3)_2$. Este, por sua vez é dissolvido em água quente e provoca o aparecimento de lodos e incrustações. |
| (*) <u>Sulfato de Magnésio:</u>
. $MgSO_4$ | Provoca corrosão |
| (*) <u>Cloreto de Magnésio:</u>
. $MgCl_2$ | Reage formando o ácido clorídrico, tornando-se um elemento corrosivo. |

- (*) Gases: Como o Oxigênio (O_2) e o Dióxido de Carbono (CO_2) que aceleram a corrosão.
- (*) OUTROS: como materiais orgânicos (que provocam corrosão) ou sais de sódio e óxido de silício (que provocam incrustações)

(6) Ensaio Hidrostático:

Por meio deste ensaio, podemos verificar se a caldeira pode realmente operar dentro da pressão de projeto (multiplicada normalmente por um fator de segurança). Problemas de rupturas poderão ser verificados com esse ensaio. Os ensaios são regidos pela P-NB-284.

A bancada de hidrostático deve atender as condições exigidas na NB-230 "Inspeção de Válvula e Aço Fundido e Forjado para a Indústria de Petróleo e Petroquímica".

(7) Método iterativo de dimensionamento:

O método de cálculo dos diversos itens desse projeto foi o de se equacionar as fórmulas sob forma de células de uma planilha eletrônica.

Uma planilha eletrônica consiste em uma matriz de $n \times m$ elementos, onde cada um desses elementos é chamado de célula. As células podem conter fórmulas, valores numéricos ou então palavras. O método é simples: cada vez que um dos valores de uma célula é alterado, o computador refaz automaticamen-

te todos os cálculos necessários (ou seja, aqueles que estão envolvidos em fórmulas dentro de cada uma das células). Dessa forma, alterações de valores localizados provocam uma rápida alteração global. As únicas alterações que ainda deverão ser efetuadas são aquelas que envolvem valores obtidos de gráficos e tabelas.

Um exemplo de alterações em planilhas eletrônicas:

A	B	C	D
1 calor vap.	1.275.920		
2 pci	9.800		
3 efic. term.	0,90		
4 cons.comb.	(B1/B2/B3)		
5			
6			

Na coluna A temos apenas títulos referentes aos valores encontrados na coluna B. Se em B4, entre parênteses, temos uma fórmula que envolve os valores encontrados nas células B1, B2, e B3, quaisquer um desses valores que eu altere automaticamente o valor calculado em B4 se modifica. Note que em B4 não aparece a fórmula, tal como é mostrada aqui, e sim o resultado da operação matemática.

Com esse processo foi possível se utilizar de cálculos iterativos, como exige a solução do problema de dimensionamento, apenas

me utilizando de um computador do tipo Commodore 64, de 64 Kbytes de memória, e de um monitor de computador. A planilha utilizada para os cálculos foi a Calcaid 64, especial para a linha Commodore.

VIII-NORMAS TÉCNICAS

Para a construção de caldeiras e de outros vasos de pressão, uma série de normas internacionais podem ser seguidas. No Brasil, temos uma norma específica da A.B.N.T., também. Além dos vasos de pressão, temos também uma série de normas relacionadas a projetos paralelos ao da caldeira (quanto fornecedor de calor em si).

Um procedimento padrão é o de, quando de um projeto, sempre se seguir o mesmo instituto normativo. Assim, se começarmos usando uma norma DIN, por exemplo, deveremos utilizar sempre a DIN como base do projeto. Certos fabricantes possuem normas próprias. Isso deve ser visto com reserva, pois nem sempre tais normas são confiáveis e seguras.

As normas geralmente aceitas para a construção de caldeiras são:

* NB-2227

* DIN - 4750

* ISO - R - 831

* ASME - Section VIII - Boiler and Pressure
vessel Code

As demais normas, específicas para válvulas, bombas d'água, soldagem, material, etc., se encontram presentes nos capítulos correspondentes a esses itens.

Quanto ao aspecto construtivo da caldeira, procurou-se se seguir a NB-227 apesar de estar atualmente com o seu uso bloqueado pela A.B.N.T. (em 11/1987).

Para materiais e soldagem, preferi, por julgá-los mais completos, me utilizar da ASME.

Uma série de tabelas fornecidas por essas normas pode ser encontrada no Capítulo IX - TABELAS, logo a seguir.

IX - TABELAS

Temos nesse capítulo tabelas utilizadas para os cálculos apresentados e também tabelas que demonstram outras soluções para o problema de dimensionamento.

O autor se utilizou de tabelas de normas existentes por julgar que tal ato não representaria nenhum tipo de prejuízo para as entidades editoras.

ASME VIII - Tabela UCS-23

Máximo valor de fadiga para Aços de baixa liga e Carbono
(continuação)

Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temp., °F, Not Exceeding												Spec. No.	Ext. Press. Chart Fig. No.
-20 to 650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200		
Low Alloy Forgings, Castings and Bars (Cont'd)													
16.3	16.3	16.2	15.8	15.3	13.7	8.2	4.8	...	...	...	...	SA-217	UCS-28.2
17.5	17.5	17.5	17.5	17.1	15.0	9.2	5.9	...	...	...	...	SA-217	UCS-28.2
17.5	17.5	17.5	17.5	17.1	16.3	11.0	6.9	4.6	2.8	...	...	SA-217	UCS-28.2
17.5	17.5	17.5	17.5	17.1	15.9	11.0	6.9	4.6	2.8	...	...	SA-217	UCS-28.2
...	16.6	16.1	15.7	15.0	14.2	11.0	7.6	5.8	4.4	2.5	1.3	SA-217	UCS-28.2
...	20.5	19.8	19.1	14.3	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	SA-217	UCS-28.2
...	20.5	19.8	19.1	18.2	16.5	11.0	7.4	5.0	3.3	2.2	1.5	SA-217	UCS-28.2
17.5	17.5	17.5	17.5	17.1	13.7	8.2	4.8	...	...	...	...	SA-336	UCS-28.2
17.5	17.5	17.5	17.5	17.1	15.9	11.0	6.6	4.3	2.6	1.4	1.0	SA-336	UCS-28.2
15.0	15.0	15.0	15.0	14.4	13.1	11.0	7.8	5.8	4.2	3.0	1.6	SA-336	UCS-28.2
...	17.5	17.2	16.9	16.4	15.8	11.0	7.6	5.8	4.4	2.5	1.3	SA-336	UCS-28.2
...	14.8	14.5	13.9	13.2	12.0	9.0	7.0	5.5	4.0	2.7	1.5	SA-336	UCS-28.2
...	17.5	17.2	16.9	16.4	13.1	9.5	6.8	4.9	3.2	2.4	1.3	SA-336	UCS-28.2
...	13.7	13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	SA-336	UCS-28.2
...	18.2	17.6	17.0	14.3	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	SA-336	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-350	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-350	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-350	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-352	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-352	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-352	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-372	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-372	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-372	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-372	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-487	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-487	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-487	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-487	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-487	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-487	UCS-28.2
...	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	SA-508	UCS-28.2
...	19.1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-508	UCS-28.5
...	19.1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-508	UCS-28.5
...	12.0	9.2	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	SA-541	UCS-28.2
...	19.1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-541	UCS-28.5
...	19.1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-541	UCS-28.5
...	17.5	17.1	15.9	11.0	6.9	4.6	2.8	2.1	1.2	...	...	SA-739	UCS-28.2
...	16.9	16.4	15.8	11.0	7.6	5.8	4.4	2.5	1.3	...	...	SA-739	UCS-28.2

ASME VIII - Tabela UCS-23

Máximo valor de fadiga de Aços de baixa liga e Carbono
(continuação)

Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temp., °F, Not Exceeding													Spec. No.	Ext. Press. Chart Fig. No.
-20 to 650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200			
Seamless Low Alloy Pipes and Tubes (Cont'd)														
13.8	13.8	13.8	13.5	13.2	12.7	8.2	4.8	...	...	...	...	...	SA-335	UCS-28.2
13.8	13.8	13.8	13.5	13.2	12.8	9.2	5.9	...	...	...	...	...	SA-335	UCS-28.2
15.0	15.0	15.0	14.8	14.2	13.1	11.0	7.5	5.0	2.8	1.6	1.0	...	SA-335	UCS-28.2
15.0	15.0	15.0	14.4	13.8	12.5	10.0	6.3	...	...	...	...	...	SA-335	UCS-28.2
15.0	15.0	15.0	14.4	13.1	11.0	7.8	5.8	4.2	3.0	2.0	...	...	SA-335	UCS-28.2
15.0	14.8	14.5	13.9	13.2	12.0	9.0	7.0	5.5	4.0	2.7	1.5	...	SA-335	UCS-28.2
...	13.7	13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	...	SA-335	UCS-28.2
...	13.7	13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	...	SA-335	UCS-28.2
...	13.7	13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	...	SA-335	UCS-28.2
...	13.7	13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	...	SA-335	UCS-28.2
...	13.7	13.2	12.8	12.1	11.4	10.6	7.4	5.0	3.3	2.2	1.5	...	SA-335	UCS-28.2
13.8	13.8	13.8	13.5	13.2	12.7	8.2	4.8	...	...	...	...	...	SA-369	UCS-28.2
13.8	13.8	13.8	13.5	13.2	12.8	9.2	5.9	...	...	...	...	...	SA-369	UCS-28.2
15.0	15.0	15.0	14.8	14.2	13.1	11.0	7.5	5.0	2.8	1.6	1.0	...	SA-369	UCS-28.2
15.0	15.0	15.0	14.4	13.1	11.0	7.8	5.5	4.0	2.5	1.2	...	...	SA-369	UCS-28.2
...	14.2	13.9	13.5	13.1	12.5	10.0	6.2	4.2	2.6	1.4	1.0	...	SA-369	UCS-28.2
15.0	15.0	15.0	15.0	14.4	13.1	11.0	7.8	5.8	4.2	3.0	1.6	...	SA-369	UCS-28.2
15.0	14.8	14.5	13.9	13.2	12.0	9.0	7.0	5.5	4.0	2.7	1.5	...	SA-369	UCS-28.2
...	13.7	13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.6	4.2	2.9	2.0	1.3	...	SA-369	UCS-28.2
...	13.7	13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.2	...	SA-369	UCS-28.2
...	13.7	13.2	12.8	12.1	11.4	10.6	7.4	5.0	3.3	2.2	1.5	...	SA-369	UCS-28.2
15.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-423	UCS-28.2
15.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-423	UCS-28.2
Electric Resistance Welded Low Alloy Pipes and Tubes [See Note (28)]														
11.3	11.2	11.0	10.7	10.4	10.1	7.0	4.1	...	...	...	...	...	SA-250	UCS-28.1
11.7	11.7	11.7	11.5	11.2	10.8	7.0	4.1	...	...	...	...	...	SA-250	UCS-28.2
12.8	12.8	12.6	12.2	11.9	11.6	7.0	4.1	...	...	...	...	...	SA-250	UCS-28.2
13.9	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-334	UCS-28.2
13.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-334	UCS-28.2
12.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-423	UCS-28.2
12.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-423	UCS-28.2
Low Alloy Forgings, Castings and Bars														
17.5	17.5	17.5	17.1	13.7	8.2	4.8	...	...	...	...	...	...	SA-182	UCS-28.2
17.5	17.5	17.5	17.1	15.0	9.2	5.9	...	...	...	...	...	...	SA-182	UCS-28.2
17.5	17.5	17.5	17.1	15.9	11.0	6.6	4.3	2.6	1.4	1.0	...	...	SA-182	UCS-28.2
17.5	17.5	17.5	17.1	15.9	11.0	6.9	4.6	2.8	2.1	1.2	...	...	SA-182	UCS-28.2
17.2	17.2	16.9	16.4	15.8	11.0	7.6	5.8	4.4	2.5	1.3	...	...	SA-182	UCS-28.2
15.0	15.0	15.0	14.4	13.1	11.0	7.8	5.8	4.2	3.0	1.6	...	...	SA-182	UCS-28.2
17.5	17.2	16.9	16.4	13.1	9.5	6.8	4.9	3.2	2.4	1.3	...	...	SA-182	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-182	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-182	UCS-28.2
16.0	15.4	14.9	14.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	...	...	SA-182	UCS-28.2
19.4	18.7	18.1	17.1	16.2	11.0	7.4	5.0	3.3	2.2	1.5	...	...	SA-182	UCS-28.2

ASME VIII - Tabela UCS-23

Máximo valor de fadiga para Aços de baixa liga e Carbono
(continuação)

Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temp., °F, Not Exceeding												Spec. No.	Ext. Press. Chart Fig. No.
-20 to 650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200		
Plate—Low Alloy Steels (Cont'd)													
13.8	13.8	13.8	13.8	13.4	12.8	9.2	5.9	...	...	...	...	SA-387	UCS-28.2
17.5	17.5	17.5	17.5	16.8	14.5	10.0	6.3	...	...	...	...	SA-387	UCS-28.2
13.8	13.8	13.8	13.8	13.4	12.8	11.0	6.6	4.3	2.6	1.4	1.0	SA-387	UCS-28.2
16.3	16.3	16.3	16.3	15.8	15.1	11.0	6.6	4.3	2.6	1.4	1.0	SA-387	UCS-28.2
15.0	15.0	15.0	15.0	14.6	13.9	11.0	6.9	4.6	2.8	2.1	1.2	SA-387	UCS-28.2
18.8	18.8	18.8	18.8	18.3	15.9	11.0	6.9	4.6	2.8	2.1	1.2	SA-387	UCS-28.2
15.0	15.0	15.0	15.0	14.4	13.1	11.0	7.8	5.8	4.2	3.0	1.6	SA-387	UCS-28.2
...	17.2	17.2	16.5	16.4	15.8	11.0	7.6	5.8	4.4	2.5	1.3	SA-387	UCS-28.2
15.0	14.8	14.5	13.9	13.2	12.0	9.0	7.0	5.5	4.0	2.7	1.5	SA-387	UCS-28.2
...	17.5	17.2	16.9	16.4	13.1	9.5	6.8	4.9	3.2	2.4	1.3	SA-387	UCS-28.2
...	13.7	13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	SA-387	UCS-28.2
...	17.1	16.5	16.0	15.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	SA-387	UCS-28.2
20.0	20.0	20.0	19.1	16.8	13.3	10.0	6.3	...	...	...	...	SA-533	UCS-28.2
20.0	20.0	20.0	19.1	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-533	UCS-28.2
20.0	20.0	20.0	19.1	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-533	UCS-28.2
Seamless Low Alloy Pipes and Tubes													
15.0	15.0	15.0	15.0	14.4	13.1	11.0	7.8	5.5	4.0	2.5	1.2	SA-199	UCS-28.1
15.0	15.0	15.0	14.7	14.0	12.5	10.0	6.2	4.2	2.8	1.8	1.2	SA-199	UCS-28.1
15.0	15.0	15.0	15.0	14.4	13.1	11.0	7.8	5.8	4.2	3.0	1.6	SA-199	UCS-28.1
15.0	14.5	14.5	13.9	13.2	12.0	9.0	7.0	5.5	4.0	2.7	1.5	SA-199	UCS-28.1
12.8	12.4	12.1	11.6	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	SA-199	UCS-28.1	
12.8	12.4	12.1	11.6	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	SA-199	UCS-28.1	
12.8	12.4	12.1	11.6	11.0	10.3	7.4	5.0	3.3	2.2	1.5	SA-199	UCS-28.1	
13.3	12.9	12.6	12.3	11.9	8.2	4.8	...	...	...	...	...	SA-209	UCS-28.2
13.8	13.8	13.5	13.2	12.7	8.2	4.8	...	...	...	...	...	SA-209	UCS-28.2
15.0	14.8	14.4	14.0	13.6	8.2	4.8	...	...	...	...	...	SA-209	UCS-28.2
13.9	13.5	13.1	12.8	9.2	5.9	...	...	...	...	...	...	SA-213	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-213	UCS-28.2
15.0	14.8	14.2	13.1	11.0	7.5	5.0	2.8	1.6	1.0	...	...	SA-213	UCS-28.2
15.0	15.0	14.4	13.1	11.0	7.8	5.5	4.0	2.5	1.2	...	...	SA-213	UCS-28.2
15.0	15.0	14.4	13.1	11.0	7.8	5.8	4.2	3.0	1.6	...	...	SA-213	UCS-28.2
14.5	13.9	13.2	12.0	9.0	7.0	5.5	4.0	2.7	1.5	...	...	SA-213	UCS-28.2
13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	...	...	SA-213	UCS-28.2
13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	...	...	SA-213	UCS-28.2
13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	...	...	SA-213	UCS-28.2
13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	...	...	SA-213	UCS-28.2
13.2	12.8	12.1	11.4	10.6	7.4	5.0	3.3	2.2	1.5	...	...	SA-213	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-333	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-333	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-333	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-333	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-334	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-334	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-334	UCS-28.2

ASME VIII - Tabela UCS-23

Máximo valor de fadiga para aços de baixa liga e Carbono
(continuação)

Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temp., °F, Not Exceeding												Spec. No.	Ext. Press. Chart Fig. No.
-20 to 650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200		
Carbon Steel Forgings—Castings—Bars (Cont'd)													
14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	SA-181	UCS-28.2
16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	SA-181	UCS-28.2
14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	SA-216	UCS-28.2
16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	SA-216	UCS-28.2
16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	SA-216	UCS-28.2
14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	SA-266	UCS-28.2
16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	SA-266	UCS-28.2
17.7	15.7	12.6	9.6	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	SA-266	UCS-28.2
16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	SA-266	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-350	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-350	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-352	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-372	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-372	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-372	UCS-28.2
10.3	9.0	7.8	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-675	NA
11.7	9.6	8.1	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-675	UCS-28.2 (29)
12.1	10.2	8.4	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-675	UCS-28.2 (29)
13.0	10.8	8.7	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-675	UCS-28.2 (29)
13.9	11.4	10.0	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	SA-675	UCS-28.2 (29)
14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	SA-675	UCS-28.2 (29)
12.6	10.8	8.6	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	SA-695	UCS-28.2
14.7	12.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-695	UCS-28.2
12.9	10.8	8.6	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	SA-727	UCS-28.2
Plate—Low Alloy Steel													
12.0	7.8	5.0	3.0	1.5	...	...	...	...	...	...	...	SA-202	UCS-28.2
12.0	7.8	5.0	3.0	1.5	...	...	...	...	...	...	...	SA-202	UCS-28.2
11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	...	SA-203	UCS-28.2
12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	...	SA-203	UCS-28.2
11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	...	SA-203	UCS-28.2
12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	...	SA-203	UCS-28.2
15.3	13.7	8.2	4.8	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-204	UCS-28.2
17.1	13.7	8.2	4.8	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-204	UCS-28.2
18.3	13.7	8.2	4.8	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-204	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-225	UCS-28.2
14.8	13.7	8.2	4.8	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-302	UCS-28.2
17.1	13.7	8.2	4.8	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-302	UCS-28.2
17.1	13.7	8.2	4.8	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-302	UCS-28.2
17.1	13.7	8.2	4.8	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-302	UCS-28.2

ASME VIII - Tabela UCS-23

Máximo valor de fadiga para Aços de baixa liga e Carbono
(continuação)

Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temp., °F, Not Exceeding												Spec. No.	Ext. Press. Chart Fig. No.
-20 to 650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200		
Seamless Carbon Steel Pipes and Tubes (Cont'd)													
11.8	11.5	10.6	9.2	7.9	6.5	...	...	...	...	...	...	SA-179	UCS-28.1
11.8	11.5	10.6	9.2	7.9	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-192	UCS-28.1
15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-210	UCS-28.2
17.5	16.6	14.8	12.0	7.8	5.0	3.0	1.5	...	...	...	...	SA-210	UCS-28.2
13.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-333	UCS-28.2
15.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-333	UCS-28.2
13.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-334	UCS-28.2
15.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-334	UCS-28.2
15.0	14.3	12.9	10.8	8.6	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-524	UCS-28.2
13.7	13.2	12.0	10.2	8.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-524	UCS-28.2
11.8	11.5	10.6	9.2	7.9	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-556	UCS-28.2
15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-556	UCS-28.2
17.5	16.6	14.8	12.0	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-556	UCS-28.2
Electric Resistance Welded Carbon Steel Pipes and Tubes [See Note (28)]													
11.8	9.9	9.1	7.9	6.7	5.5	...	...	...	...	...	...	SA-53	UCS-28.1
12.2	12.2	11.0	9.2	7.4	5.5	...	...	...	...	...	...	SA-53	UCS-28.1
12.2	9.9	9.1	7.9	6.7	5.5	...	...	...	...	...	...	SA-135	UCS-28.1
12.2	12.2	11.0	9.2	7.4	5.5	...	...	...	...	...	...	SA-135	UCS-28.1
9.7	9.0	7.8	6.7	5.5	3.8	2.1	...	...	...	...	...	SA-178	UCS-28.2
12.2	11.0	9.2	7.4	5.5	3.8	2.1	...	...	...	...	...	SA-178	UCS-28.2
9.7	9.0	7.8	6.7	5.5	3.8	2.1	...	...	...	...	...	SA-214	UCS-28.2
9.7	9.0	7.8	6.7	5.5	3.8	2.1	...	...	...	...	...	SA-226	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-334	UCS-28.1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-334	UCS-28.2
9.8	8.3	7.8	6.7	4.3	2.6	1.3	...	...	...	...	...	SA-557	UCS-28.1
12.2	10.9	9.2	6.7	5.5	3.8	2.1	...	...	...	...	...	SA-557	UCS-28.2
14.1	12.5	10.2	7.4	5.5	3.8	2.1	...	...	...	...	...	SA-557	UCS-28.2
9.9	9.1	7.9	6.7	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-587	UCS-28.2
Carbon Steel Forgings — Castings — Bars													
10.3	9.0	7.8	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-31	NA
12.6	10.6	8.6	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-31	UCS-28.1 (29)
12.6	10.5	8.5	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-36	UCS-28.2
14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	SA-105	UCS-28.2

ASME VIII - Tabela UCS-23

Máximo valor de fadiga para Aços de baixa liga e Carbono
(continuação)

Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temp., °F, Not Exceeding												Spec. No.	Ext. Press. Chart Fig. No
-20 to 650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200		
Carbon Steel Plates and Sheets (Cont'd)													
13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	...	...	...	...	...	...	...	SA-442	UCS-28.2
15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	...	...	...	...	...	...	...	SA-442	UCS-28.2
18.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-455	UCS-28.2
18.3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-455	UCS-28.2
17.5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-455	UCS-28.2
13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-515	UCS-28.2
15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-515	UCS-28.2
16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-515	UCS-28.2
17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-515	UCS-28.2
13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-516	UCS-28.2
15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-516	UCS-28.2
16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-516	UCS-28.2
17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	SA-516	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-537	UCS-28.4
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-537	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-537	UCS-28.4
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-537	UCS-28.4 (Use Class 1 Curve)
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-562	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-612	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-612	UCS-28.2
24.3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-662	UCS-28.2
24.3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-662	UCS-28.2
27.3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-662	...
27.3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-737	UCS-28.4
27.3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-737	UCS-28.4
Seamless Carbon Steel Pipes and Tubes													
10.7	9.3	7.9	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-53	UCS-28.2
13.0	10.8	8.7	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-53	UCS-28.2
10.7	9.3	7.9	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	SA-106	UCS-28.2
13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	SA-106	UCS-28.2
14.8	12.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-106	UCS-28.2

ASME VIII - Tabela UCS-23

Máximo valor admissível de fadiga para Aços-liga
(baixa liga) e Aços-Carbono

Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi),
for Metal Temp., °F, Not Exceeding

-20 to 650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	Spec. No.	Ext. Press. Chart Fig. No.
Bolting — All Carbon & Low Alloy Steels													
20.0	20.0	20.0	18.5	14.5	10.4	7.6	5.6	4.2	3.1	2.0	1.3	SA-193	NA
25.0	25.0	23.6	21.0	17.0	12.5	8.5	4.5	...	...	...	...	SA-193	NA
23.0	23.0	22.2	20.0	16.3	12.5	8.5	4.5	...	...	...	...	SA-193	NA
18.8	18.8	18.8	18.0	16.3	12.5	8.5	4.5	...	...	...	...	SA-193	NA
20.0	20.0	20.0	18.5	16.2	12.5	8.5	4.5	...	...	...	...	SA-193	NA
25.0	25.0	25.0	25.0	23.5	20.5	16.0	11.0	6.3	2.8	...	...	SA-193	NA
22.0	22.0	22.0	22.0	21.0	18.5	15.3	11.0	6.3	2.8	...	...	SA-193	NA
20.0	20.0	20.0	20.0	18.8	16.7	14.3	11.0	6.3	2.8	...	...	SA-193	NA
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-307	NA
25.0	25.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-320	NA
23.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-320	NA
25.2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-325	NA
25.2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-325	NA
18.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-325	NA
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-354	NA
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-354	NA
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-354	NA
23.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-449	NA
25.2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-449	NA
18.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-449	NA
Carbon Steel Plates and Sheets													
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-36	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-283	UCS-28.1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-283	UCS-28.1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-283	UCS-28.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-283	UCS-28.2
10.3	9.0	7.8	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-285	UCS-28.1
11.2	9.6	8.1	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-285	UCS-28.1
12.1	10.2	8.4	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-285	UCS-28.2
15.7	12.6	9.6	6.5	4.5	2.5	...	...	...	...	...	...	SA-299	UCS-28.2
10.3	9.0	7.8	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-414	UCS-28.1
11.2	9.6	8.1	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-414	UCS-28.1
12.1	10.2	8.4	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-414	UCS-28.2
12.9	10.8	8.6	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-414	UCS-28.2
13.8	11.4	8.9	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-414	UCS-28.2
14.7	12.0	9.2	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-414	UCS-28.2
15.7	12.6	9.6	6.5	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-414	UCS-28.2

Diagrama para determinar a eficiência das
ligações longitudinais e diagonais entre
tubos em carcasas cilíndricas.

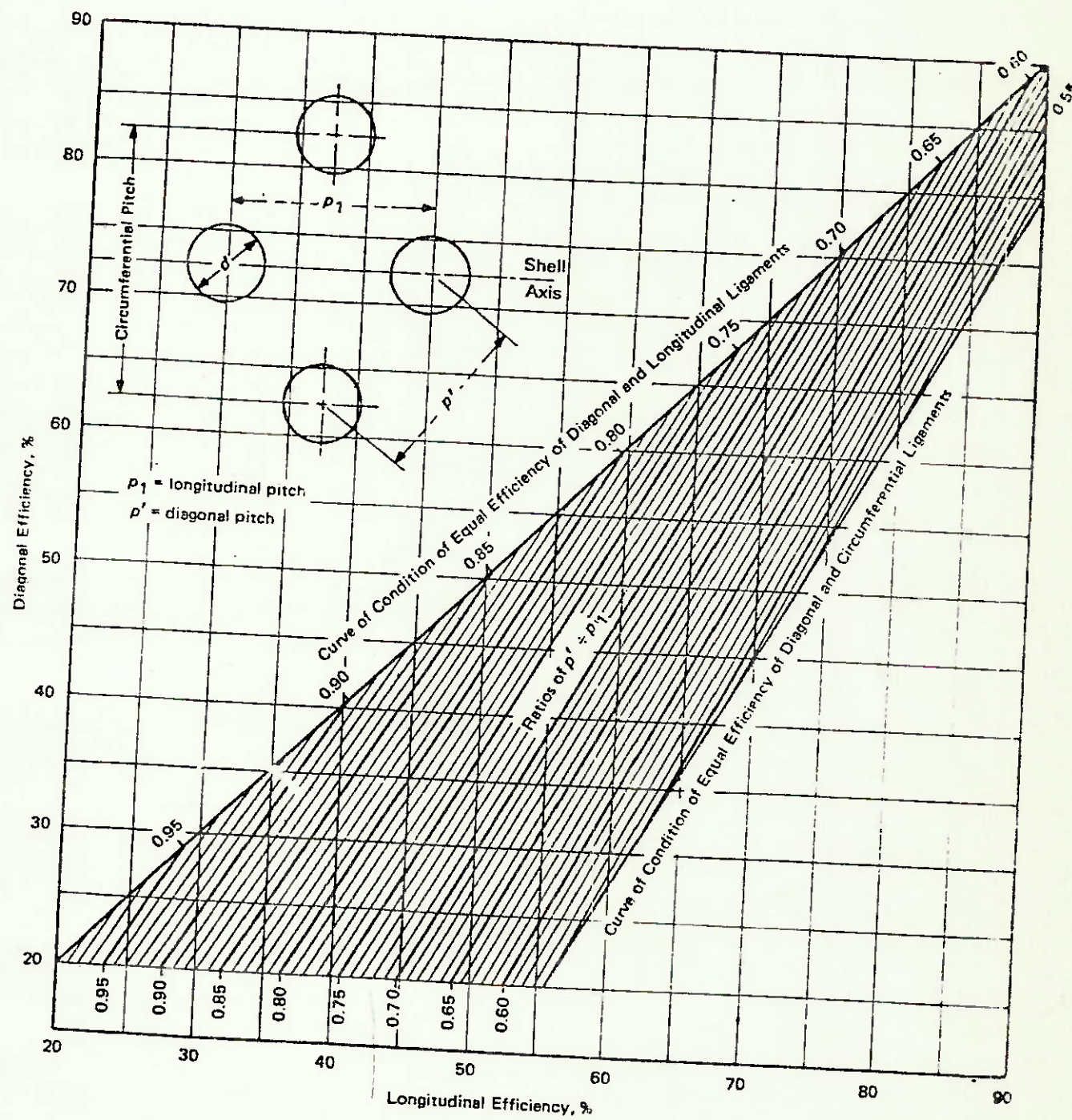
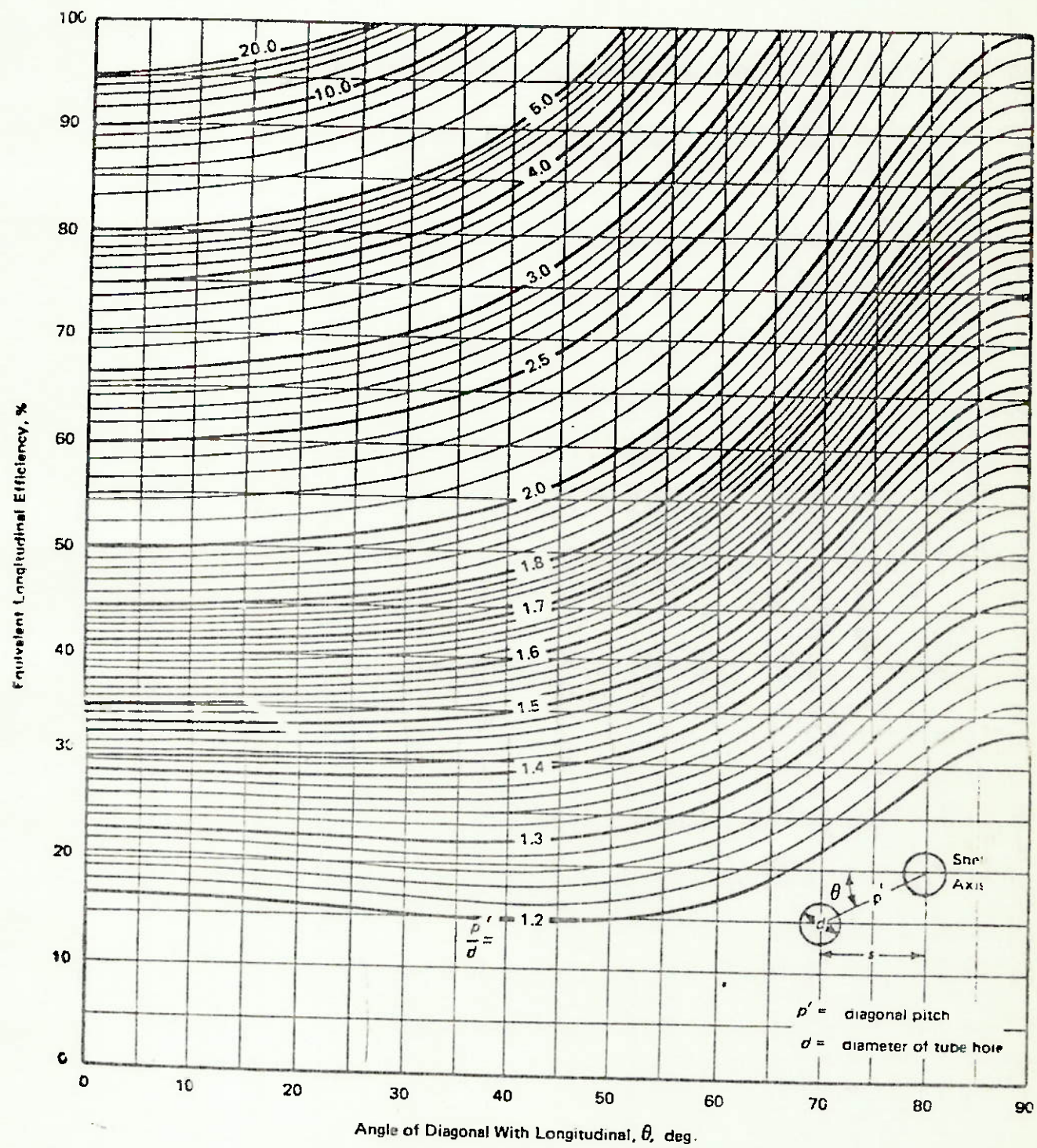
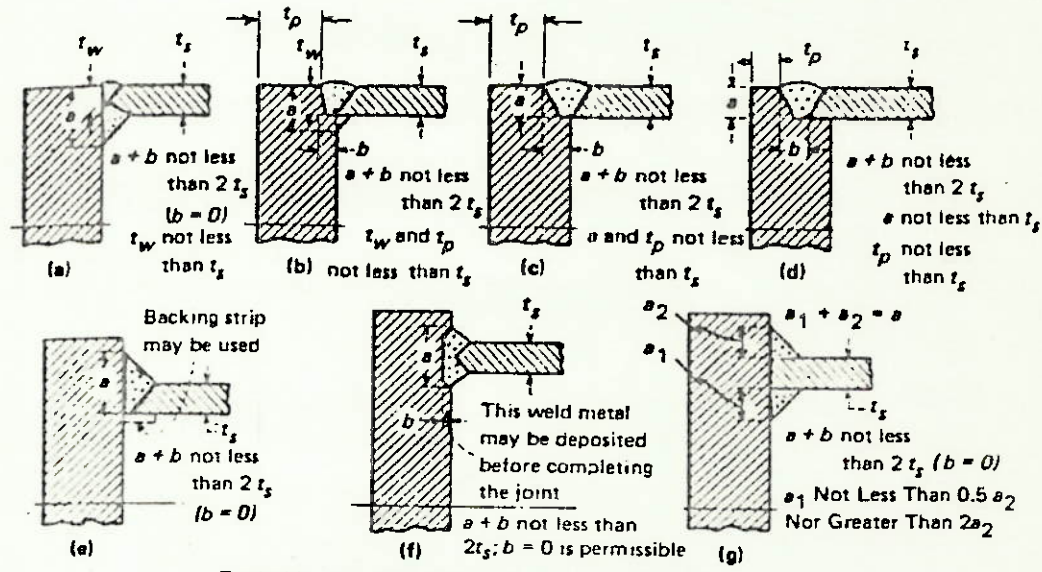


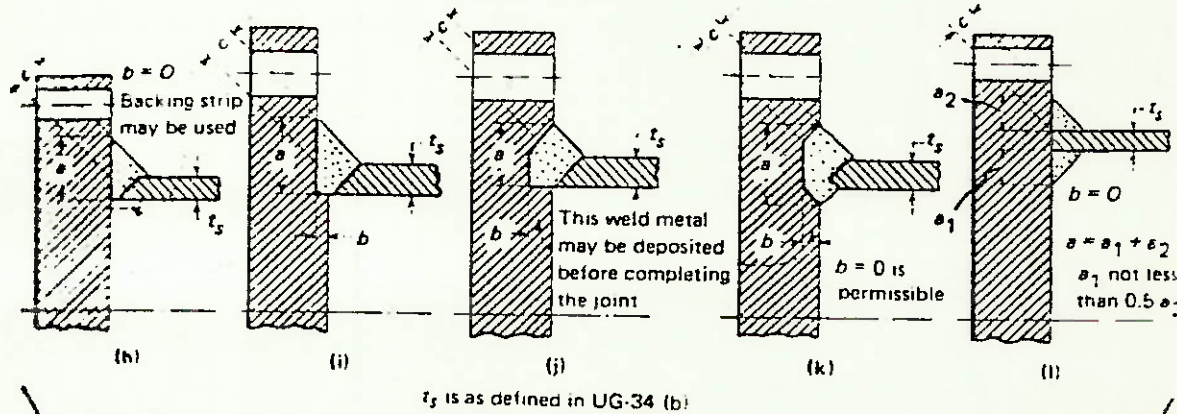
Diagrama para determinar eficiência longitudinal equivalente de ligações diagonais entre tubos em carcaças cilíndricas.



Técnicas de soldagem de elementos planos (sujeitos à pressão).

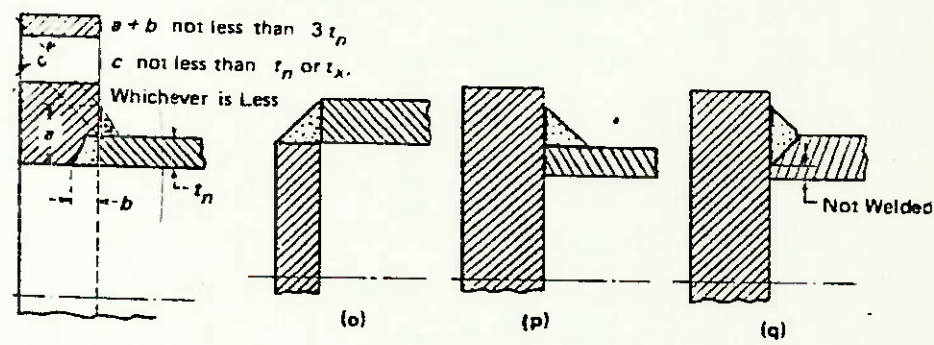


Typical Unstayed Flat Heads, Supported and Unsupported
Tubesheets Without a Bolting Flange, and Side Plates of Rectangular Vessels
For unstayed flat heads, see also UG-34



Typical Supported and Unsupported Tubesheets With a Bolting Flange

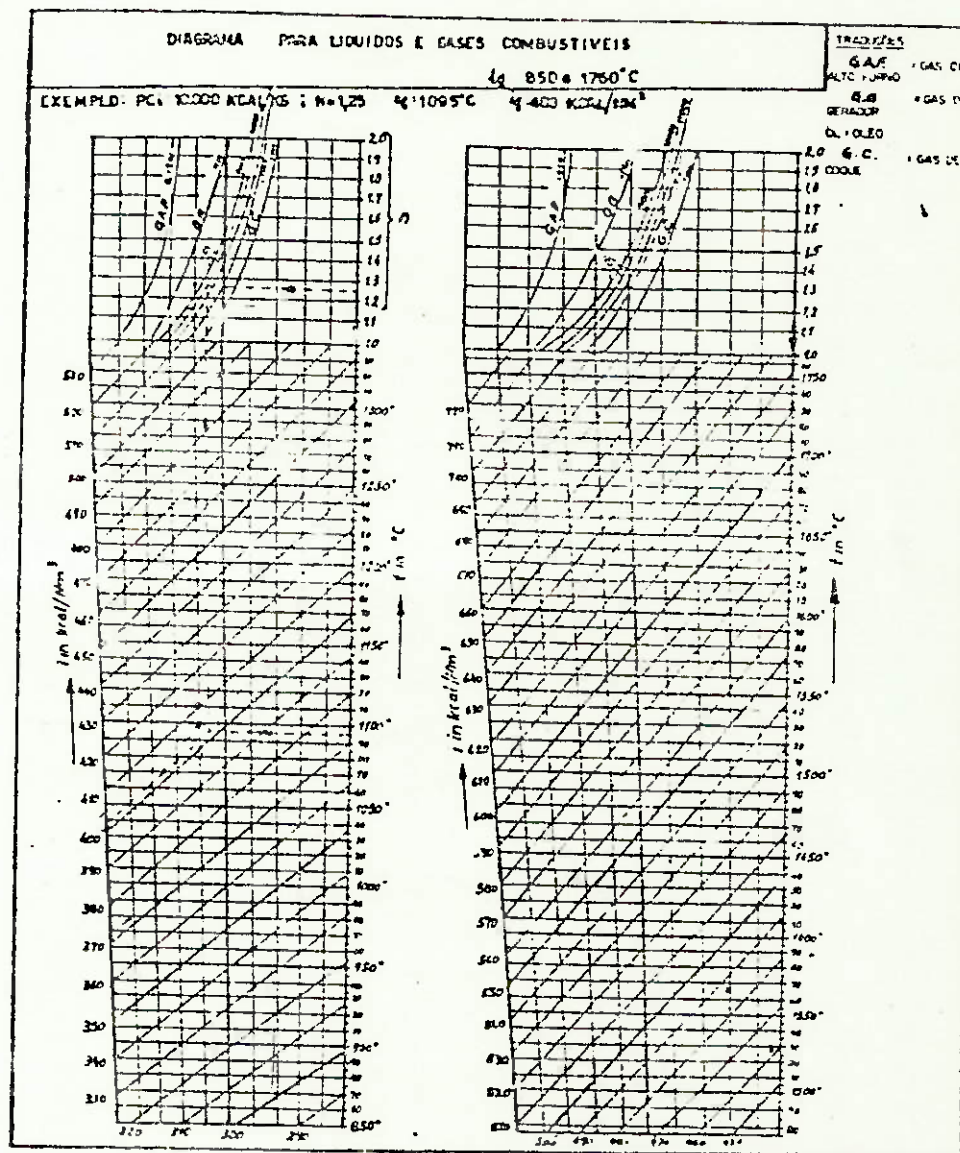
For supported tubesheets: $a + b$ not less than $2t_s$, c not less than $0.7t_s$ or $1.4t_r$, whichever is less;
For unsupported tubesheets: $a + b$ not less than $3t_s$, c not less than t_s or $2t_r$, whichever is less
 t_s and t_r are as defined in UG-34 (b)
See UW-12(a)(3) for definition of supported tubesheet



Typical Non-Permissible Corner Joints

(n) Flange Connections

Diagrama do conteúdo térmico específico



Valores aproximados de coeficientes globais de
transferência de calor

Situação física	U	
	Btu/h.ft ² .°F	W/m ² .°C
Parede com superfície externa de tijolo aparente, revestida internamente de gesso, não isolada	0.45	2.55
Parede estrutural, revestida internamente de gesso:		
Não isolada	0.25	1.42
Isolada com lã de rocha	0.07	0.4
Janela de vidro simples	1.10	6.2
Janela de vidro duplo	0.40	2.3
Condensador de vapor	200-1000	1100-5600
Aquecedor de água de alimentação	200-1500	1100-8500
Condensador de Freon-12 resfriado com água	50-150	280-850
Trocador de calor água-água	150-300	850-1700
Trocador de calor de tubo aletado com água no interior dos tubos e ar sobre os tubos	5-10	25-55
Trocador de calor água-óleo	20-60	110-350
Vapor-óleo combustível leve	30-60	170-340
Vapor-óleo combustível pesado	10-30	56-170
Vapor-querosene ou gasolina	50-200	280-1140
Trocador de calor de tubo aletado, vapor nos tubos, ar sobre os tubos	5-50	28-280
Condensador de amônia, água nos tubos	150-250	850-1400
Condensador de álcool, água nos tubos	45-120	255-680
Trocador de calor gás-gás	2-8	10-40

Diagrama de volume teórico de ar necessário
volume real dos gases

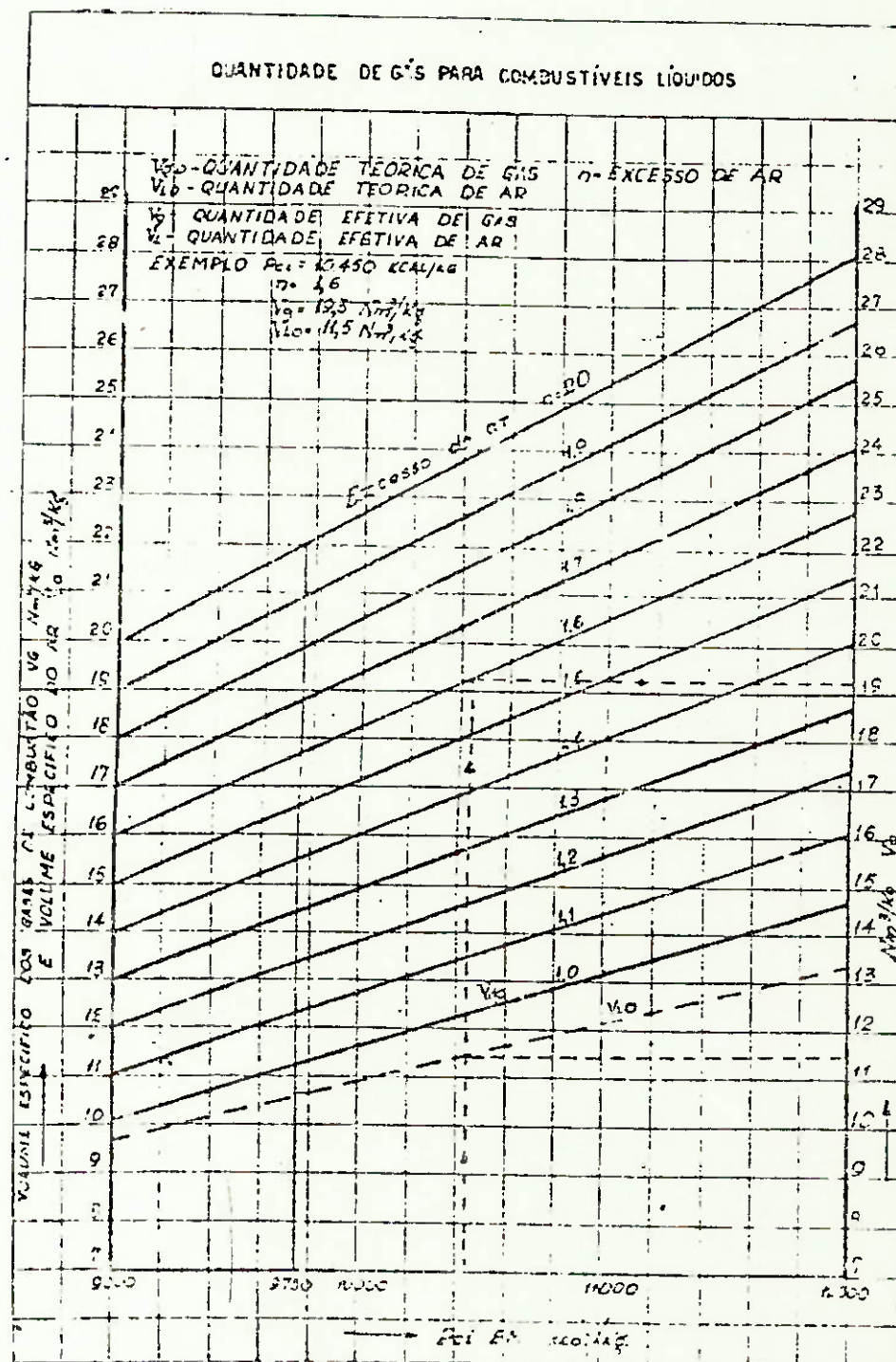


Diagrama de fator de distribuição dos tubos

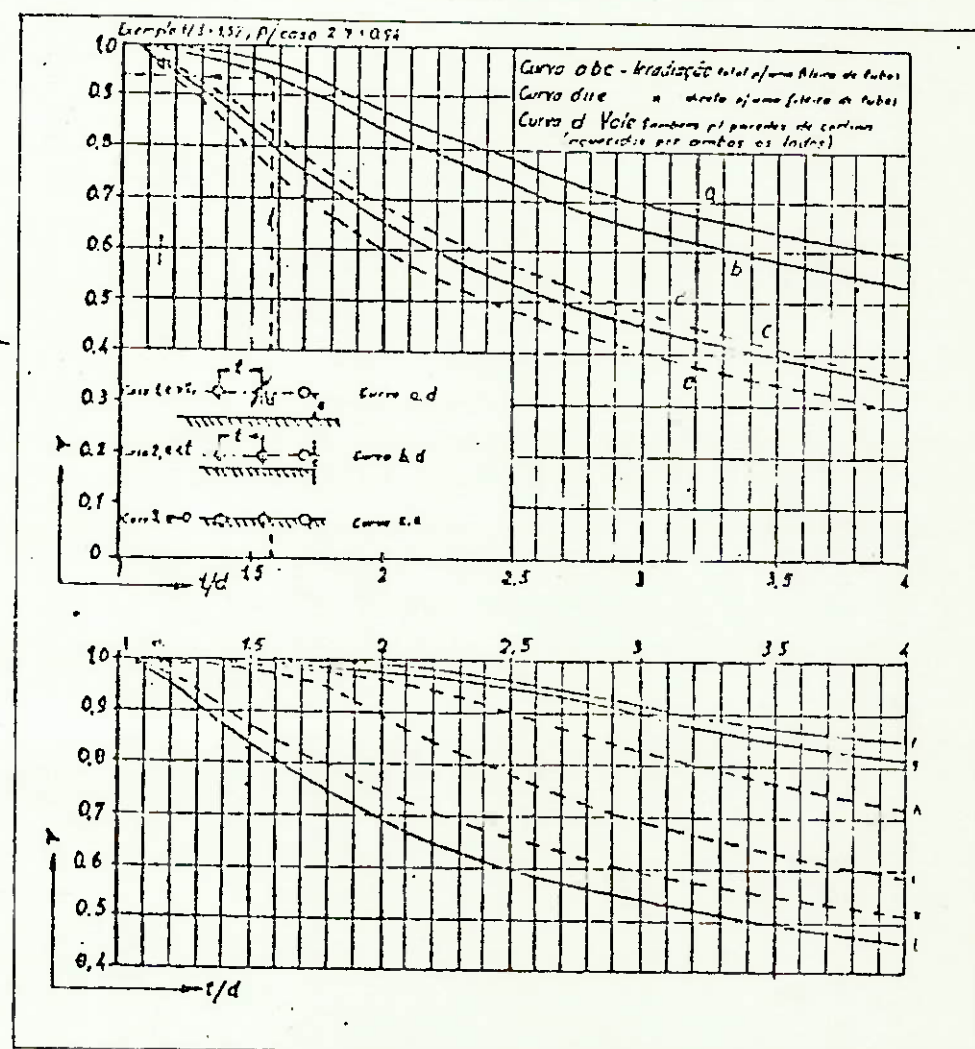


Tabela de fatores de incrustação normais

Tipo de fluido	Fator de incrustação	
	h.pé ² . °F/Btu	m. ² . °C/W
Água do mar, abaixo de 125°F	0.0005	0.00009
Acima de 125°F	0.001	0.0002
Água de alimentação tratada para caldeira, acima de 125°F	0.001	0.0002
Óleo combustível	0.005	0.0009
Óleo de resfriamento	0.004	0.0007
Vapores de álcool	0.0005	0.00009
Vapor de água	0.0005	0.00009
Air industrial	0.002	0.0004
Líquido refrigerante	0.001	0.0002

Dimensões em tubos de aço

Tamanho nominal do tubo	Diâmetro externo, pol	Schedule	Espessura da parede, pol	Diâmetro interno, pol	Área da seção transversal do metal, in^2	Área da seção transversal interna, in^2
	0,405	40	0,068	0,269	0,072	0,0049
		80	0,095	0,215	0,093	0,0025
	0,540	40	0,088	0,364	0,125	0,0072
		80	0,119	0,302	0,157	0,0050
	0,675	40	0,091	0,493	0,167	0,0133
		80	0,126	0,423	0,217	0,0098
	0,840	40	0,109	0,622	0,250	0,0211
		80	0,147	0,546	0,320	0,0167
	1,050	40	0,112	0,824	0,333	0,0371
		80	0,154	0,742	0,432	0,0306
1	1,315	40	0,123	1,049	0,494	0,0677
		80	0,179	0,957	0,639	0,0489
1 1/2	1,900	40	0,145	1,610	0,799	0,0944
		80	0,200	1,500	1,068	0,0725
		160	0,281	1,338	1,429	0,0376
2	2,375	40	0,154	2,067	1,075	0,0939
		80	0,218	1,939	1,477	0,0550
3	3,500	40	0,216	3,068	2,228	0,0814
		80	0,300	2,900	3,016	0,0457
4	4,500	40	0,237	4,026	3,173	0,0884
		80	0,317	3,826	4,407	0,0798
5	5,563	40	0,258	5,047	4,304	0,139
		80	0,375	4,813	6,112	0,1265
		120	0,500	4,563	7,953	0,1139
		160	0,625	4,313	9,696	0,1013
6	6,625	40	0,280	6,065	5,584	0,2008
		80	0,432	5,761	8,405	0,1810
10	10,75	40	0,365	10,020	17,90	0,5478
		80	0,500	9,750	26,10	0,5185

Propriedades de não metais

Substância	Tem- pera- tura, °C	k, W/m·°C	ρ , kg/m ³	C, kJ/kg·°C	α , m ² /s · 10 ⁻⁶
Materiais estruturais e resistentes ao calor					
Asfalto	20-55	0,74-0,76			
Tijolo:					
Tijolo de construção, comum	20	0,69	1600	0,84	5,2
de parâmetro		1,32	2000		
Tijolo carborundum	600	18,5			
	1400	11,1			
Tijolo de cromo	200	2,32	3000	0,84	9,2
	550	2,47			9,8
	900	1,99			7,9
Terra diatomácea, moldada e queimada	200	0,24			
	870	0,31			
Tijolo refratário, queimado a 1330°C	500	1,04	2000	0,96	5,4
	800	1,07			
	1100	1,09			
queimado a 1450°C	500	1,28	2300	0,96	5,8
	800	1,37			
	1100	1,40			
Magnesita	200	3,81		1,13	
	650	2,77			
	1200	1,90			
Cimento, portland		0,29	1500		
Argamassa	23	1,16			
Concreto, de escória	23	0,76			
Mistura de pedras 1-2-4	20	1,37	1900-2300	0,88	3,2-5,8
Vidro, de janela	20	0,78 (med)	2700	0,84	3,4
Borosilicato	30-75	1,09	2200		
Emboço, gesso	20	0,48	1440	0,84	4,0
Fasquia de metal	20	0,47			
Sarraio de madeira	20	0,28			
Pedra					
Granito		1,73-3,98	2640	0,82	8-18
Calcário	100-300	1,26-1,33	2500	0,90	5,6-5,9
Marmore		2,07-2,94	2500-2700	0,80	10-13,6
Aranito	40	1,83	2160-2300	0,71	11,2-11,9
Madeira (perpendicular ao sentido das fibras)					
Balsa	30	0,055	140		
Pin de cipreste	30	0,097	460		
Pinho	23	0,11	420	2,72	0,96
Carvalho	30	0,166	540	2,4	1,28
Pinheiro amarelo	23	0,147	540	2,8	0,82
Pinheiro branco	30	0,112	430		

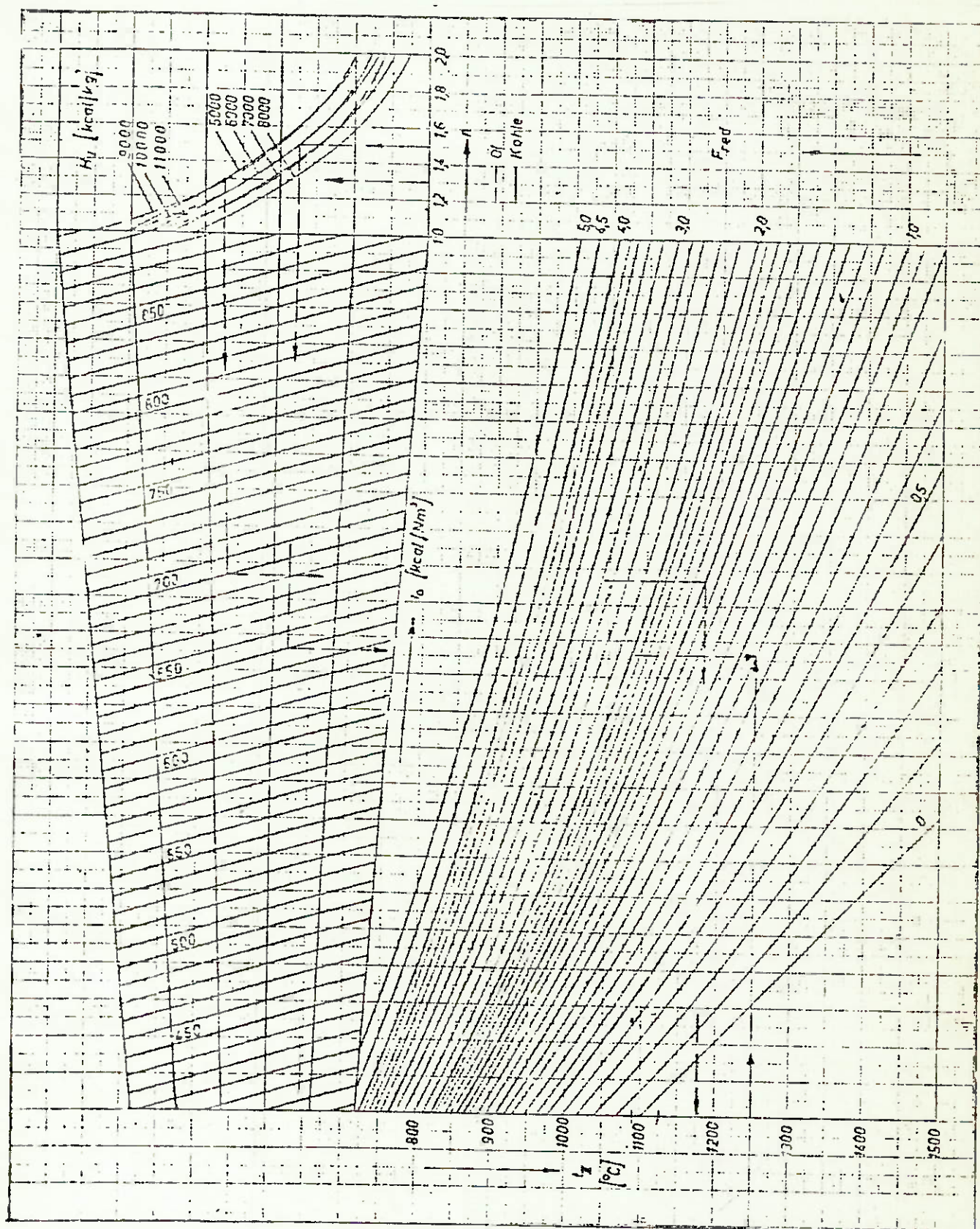
Propriedades de não metais

Substância	Tem- pera- tura, °C	k, W/m·°C	ρ , kg/m ³	c, kJ/kg·°C	α , m ² /s × 10 ⁷
Materiais isolantes					
Amianto					
Não compactado	-45	0,149			
	0	0,154	470-570	0,816	3,3-4
	100	0,161			
Chapas de cimento amianto	20	0,74			
Folhas	51	0,166			
Feltro, 40 laminações por polegada	38	0,057			
	150	0,069			
	260	0,083			
20 laminações por polegada	38	0,078			
	150	0,095			
	260	0,112			
Corrugado, 4 dobras por polegada	38	0,087			
	93	0,100			
	150	0,119			
Cimento amianto	—	2,08			
Madeira balsa	32	0,04	35		
Papelão ondulado	—	0,064			
Celotex	32	0,048			
Prancha de cortiça	30	0,043	160		
Cortiça granulada	32	0,045	45-120	1,88	2-5,3
Molda	32	0,043	150		
Terra diatomácea	0	0,061	320		
Feltro de crina	30	0,036	130-200		
Feltro de lã	30	0,052	330		
Cartão de fibra isolante	20	0,048	240		
Lã de vidro	23	0,038	24	0,7	22,6
Insulux, seco	32	0,064			
		0,144			
Kapok	30	0,035			
Magnésia 35%	38	0,067	270		
	93	0,071			
	150	0,074			
	204	0,080			
Lã de rocha	32	0,040	160		
Não compactada	150	0,067	64		
	260	0,087			
Serragem	23	0,059			
Sílica aerogel	32	0,024	140		
Apurais de madeira	23	0,059			

Metal	Propriedades a 20°C				Condutividade Térmica k, W/m . °C									
	ρ , kg/m ³	c_p , kJ/kg . °C	k, W/m . °C	α , m ² /s . 10 ⁶	-100°C -148°F	0°C 32°F	100°C 212°F	200°C 392°F	300°C 572°F	400°C 752°F	600°C 1112°F	800°C 1472°F	1000°C 1832°F	1200°C 2192°F
40% 60% Ligar 30% Ni Aço cromo Cr - 0% 1% 5% 20% Cr Ni (cromo/ níquel): 15% Cr, 10% Ni 18% Cr, 8% Ni (V2A) 20% Cr, 15% Ni 25% Cr, 20% Ni Aço tungstênio W - 0% 1% 5% 10%	8.169 8.618 8.137 7.897 7.865 7.833 7.865 7.865 7.865 7.817 7.833 7.865 7.897 7.913 8.073 8.314	0.46 0.46 0.46 0.452 0.46 0.46 0.46 0.46 0.46 0.46 0.46 0.46 0.452 0.448 0.435 0.419	10 35 10.7 73 61 40 22 19 16.3 15.1 12.8 73 66 54 48	0.279 0.872 0.286 2.026 1.665 1.110 0.635 0.527 0.444 0.415 0.361 2.026 1.858 1.525 1.391		73 62 40 22	67 55 38 22	62 52 36 22	55 47 36 22	48 42 33 24	40 36 29 24	36 33 29 26	35 33 29 29	36
Cobre: Puro Bronze alumínio 95% Cu, 5% Al	8.954 8.666	0.3831 0.410	386 83	11.234 2.330	407	386	379	374	369	363	353			

Metal	Propriedades a 20°C					Condutividade térmica k , W m ⁻¹ C ⁻¹									
	ρ , kg m ⁻³	γ , kg C ⁻¹	k , W m ⁻¹ C ⁻¹	α , m ² s ⁻¹ $\times 10^5$	-100°C -148°F	0°C 32°F	100°C 212°F	200°C 392°F	300°C 572°F	400°C 752°F	600°C 1112°F	800°C 1472°F	1000°C 1832°F	1200°C 2192°F	
Alumínio:															
Puro	2.707	0,896	204	8,418	215	202	206	215	228	249					
Al-Cu (Duralumínio), 94-96% Al, 3-5% Cu, traços de Mg	2.787	0,883	161	6,676	126	159	182	194							
Al-Si (Silumín) em mancal de cobre															
86,5% Al, 1% Cu	2.659	0,867	137	5,933	119	137	144	152	161						
Al-Si (Alusil), 78- 80% Al, 20-22% Si	2.627	0,854	161	7,172	144	157	168	175	178						
Al-Mg-Si, 97% Al, 1% Mg, 1% Si	2.707	0,892	177	7,311		175	189	204							
1% Mn	11.373	0,130	35	2,343	36,9	35,1	33,4	31,5	29,8						
Chumbo															
Puro	7.807	0,452	73	2,034	87	73	67	62	55	48	40	36	35	36	
Ferro forjado, 0,5% C	7.849	0,46	59	1,626		59	57	52	48	45	36	33	33	33	
Aço															
(C máx $\approx$ 1,5%)															
Aço carbono	7.833	0,465	54	1,474		55	52	48	45	42	35	31	29	31	
C $\approx$ 0,5%	7.801	0,473	43	1,172		43	43	42	40	36	33	29	28	29	
1,0%	7.753	0,486	36	0,970		36	36	36	35	33	31	28	28	29	
1,5%															
Aço níquel															
Ni $\approx$ 0%	7.897	0,452	73	2,026											
20%	7.933	0,46	19	0,526											

Diagrama da Temperatura de equilíbrio da
Câmara de combustão.



X - BIBLIOGRAFIA

A seguir, a bibliografia utilizada para a elaboração do presente projeto:

- * Geradores de vapor - Hildo Pera
- * VDI - Wasserdampf tafeln - Ernest Schmidt
- * NB - 227 / 74
- * DIN - 4750
- * ISO R 831 - Construction des Chaudières fixes
- * ASME - Section VIII - Boiler and Pressure vessel code
- * NB - 284 / 76
- * P-EB- 179
- * P-MB- 317
- * EB - 374
- * EB - 376
- * ASTM 177 / 63
- * ANSI-ASTM A 178-79b - Electric-resistance welded carbon steel boiler tubes

- * Tabelas de aços da Villares
- * Guia de pintura para caldeiras da BBC
Brown Boveri
- * Refrigeração e Ar condicionado - W.F.Stoecker
& J.W.Jones
- * Fundamentos da termodinâmica clássica -
G.J.Van Wylen & R.E.Sonntag
- * Tecnologia mecânica - V.Chiaverini
- * Transferência de calor - J.P.Holman