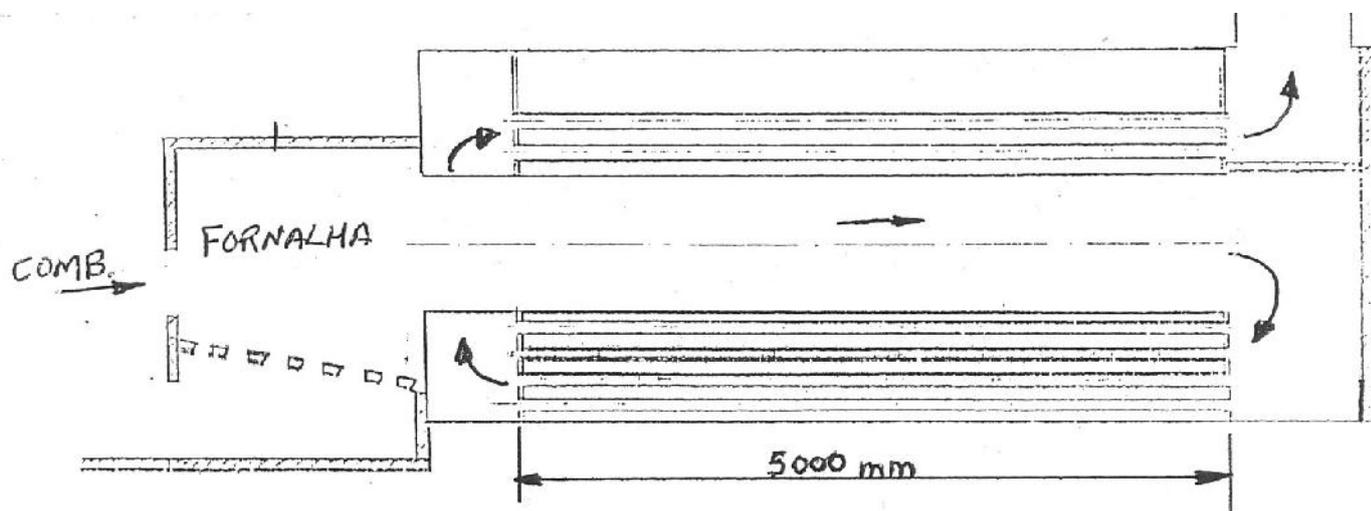


## PROBLEMAS SOBRE GERADORES DE VAPOR

1) Um gerador de vapor flamotubular apresenta dimensões conforme o esquema abaixo e deve ser pré-dimensionado para funcionar com as seguintes características:

a – Dimensões:	tubo central	$\phi$ 600 x 5000 mm
	100 tubos inferiores	$\phi$ 63,5 x 5000 mm
	80 tubos superiores	$\phi$ 63,5 x 5000 mm
b – Vapor produzido:	pressão:	10 kgf/cm <sup>2</sup> abs
	temperatura	180 °C
	entalpia	663 kcal/kg
c – Combustível:	tipo	lenha
	poder calorífico inferior	3100 kcal/kg
d – Coeficiente de excesso de ar		1,5
e – Rendimento da fornalha		92%
f – Perda por condução e convecção para o ambiente		5%
g – Temperatura da água de alimentação		50°C
h – Temperatura dos gases na chaminé		230°C
i – Coeficiente global de transferência de calor		28 kcal / h m <sup>2</sup> °C
j – Velocidade dos gases da chaminé		12 m /s
l – Calor específico médio dos gases		0,27 kcal / kg °C
m – Temperatura/pressão ambiente		20°C / 1 kgf/cm <sup>2</sup>
n – Calor específico do ar		0,24 kcal / kg °C
o – Constante termodinâmica dos gases		28,5 kgfm /kg °K



Desprezando o calor irradiado na fornalha (sem paredes d'água), pede-se calcular:

- 1 – A superfície de vaporização da caldeira
- 2 – O ar necessário à combustão (relação ar / combustível)
- 3 – A temperatura na fornalha
- 4 – A produção de vapor da caldeira
- 5 – O rendimento da caldeira
- 6 – O consumo de combustível em kg /h
- 7 – O diâmetro da chaminé

$$\text{Dado: } AC_0 = \frac{1,38 \text{ PCI}}{10^3} \quad [ \text{kg}_{\text{ar}} / \text{kg}_{\text{cb}} ] \quad \text{PCI} = [ \text{kcal} / \text{kg} ]$$

2) No pré-dimensionamento de um gerador de vapor de água tipo aquotubular para produção de vapor saturado seco, foram fornecidos os seguintes dados:

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| a) Produção de vapor:                                       | 15 ton / h                    |
| b) Condições do vapor:                                      | 13 kgf/cm <sup>2</sup> 190°C  |
| c) Entalpia do vapor:                                       | 665 kcal / kg                 |
| d) Poder calorífico inferior do carvão                      | 4400 kcal / kg                |
| e) Rendimento da fornalha                                   | 95%                           |
| f) Perda de calor por condução e convecção para o ambiente: | 4%                            |
| g) Temperatura dos gases na chaminé                         | 240°C                         |
| h) Coeficiente de irradiação da fornalha                    | 0,28                          |
| i) Coeficiente de excesso de ar                             | 1,4                           |
| j) Temperatura da água de alimentação                       | 70°C                          |
| l) Temperatura ambiente                                     | 20°C                          |
| m) Coeficiente global de transferência de calor             | 35 kcal / h m <sup>2</sup> °C |
| n) Calor específico dos gases                               | 0,246 [kcal / kg °C]          |

Pede-se calcular:

- 1) O rendimento total do gerador de vapor
- 2) O consumo horário de combustível
- 3) A temperatura média da fornalha
- 4) A superfície de vaporização da caldeira

$$\text{Dado: } AC_0 = \frac{1,38 \text{ PCI}}{10^3} \quad [ \text{kg}_{\text{ar}} / \text{kg}_{\text{cb}} ]$$

3) Um gerador de vapor do tipo aquotubular funciona com as seguintes características:

- |   |   |
|---|---|
| a) Produção de vapor:                         | 25000 kg / h                                  |
| b) Pressão do vapor produzido:                | 30 kgf/cm <sup>2</sup> abs                    |
| c) Entalpia do vapor:                         | 720 kcal / kg                                 |
| d) Combustível utilizado:                     | carvão mineral com 40% de Carbono ( c = 0,4 ) |
| e) Poder calorífico inferior do combustível   | 4300 kcal / kg                                |
| f) Perda de calor:                            |   |
| nas cinzas                                    | 3%  |
| por formação de fuligem                       | 2%  |
| por presença de CO nos gases                  | 2%  |
| por condução/convecção                        | 4%  |
| g) Coeficiente de excesso de ar               | 1,45  |
| h) Temperatura dos gases na saída da caldeira | 352 °C  |
| i) Temperatura da água de alimentação         | 60°C  |
| j) Coeficiente de irradiação da fornalha      | 0,23  |
| l) Calor específico dos gases da combustão:   |   |
| a 0 °C  | 0,245 kcal / kg                               |
| a 1000 °C                                     | 0,295 kcal / kg                               |

m) Calor específico do ar	0,24 kcal / kg
n) Constante termodinâmica do ar	29,27 kgfm / kg K
o) Temperatura ambiente	20°C
p) Pressão ambiente	0,98 kgf/cm <sup>2</sup> abs

Pede-se determinar:

- 1) O rendimento do gerador de vapor
- 2) O consumo horário de combustível
- 3) O ar necessário à combustão, em m<sup>3</sup>/ h
- 4) O teor de CO<sub>2</sub>, em massa, nos gases da combustão
- 5) A temperatura teórica na câmara de combustão

$$\text{Dado: } AC_0 = \frac{1,38 PCI}{10^3} \quad [ \text{kg}_{\text{ar}} / \text{kg}_{\text{cb}} ]$$

4) Uma caldeira horizontal do tipo flamotubular de 3 passes é formada por um tubo fornalha central (1° passe) e possui 110 tubos na parte inferior (2° passe) e 81 tubos na parte superior (3° passe) e apresenta as seguintes características:

a) Dimensões:	tubo fornalha	φ 600 x 5000 mm
	tubos do vaporizador	φ 63,5 x 5000 mm
b) Vapor produzido	pressão:	10 kgf/cm <sup>2</sup> abs
	temperatura	180 °C
	entalpia	663 kcal/kg
c ) Poder calorífico inferior do óleo combustível		9800 kcal / kg
d ) Perda de calor por combustão incompleta		4%
e) Perda de calor para o ambiente		5%
f ) Temperatura da água de alimentação		60°C
g ) Excesso de ar		40%
h ) Coeficiente global de transf. de calor no vaporizador		35 kcal / h m <sup>2</sup> °C
i ) Temperatura ambiente		20°C
j ) Pressão do ar ambiente		1 kgf/cm <sup>2</sup>
l ) Velocidade dos gases da chaminé		12 m /s
m) Calor específico médio dos gases		0,27 kcal / kg °C
n) Emissividade na fornalha		0,72
o ) Coeficiente de irradiação na fornalha		0,3
p ) Temperatura dos gases na chaminé		240°C
q ) Comprimento da parte irradiada do tubo fornalha		5 m

Pede-se calcular:

- 1 – A superfície de vaporização da caldeira
- 2 – A relação ar / combustível necessária à combustão
- 3 – A temperatura média na fornalha
- 4 – A produção de vapor da caldeira
- 5 – O calor contido nos gases da chaminé [kcal / kg gases emitidos]

6 – O rendimento da caldeira

7 – O consumo horário de combustível

8 – O diâmetro da chaminé

$$\text{Dado: } AC_0 = \frac{1,38 \text{ PCI}}{10^3} \quad [ \text{kg}_{\text{ar}} / \text{kg}_{\text{cb}} ]$$

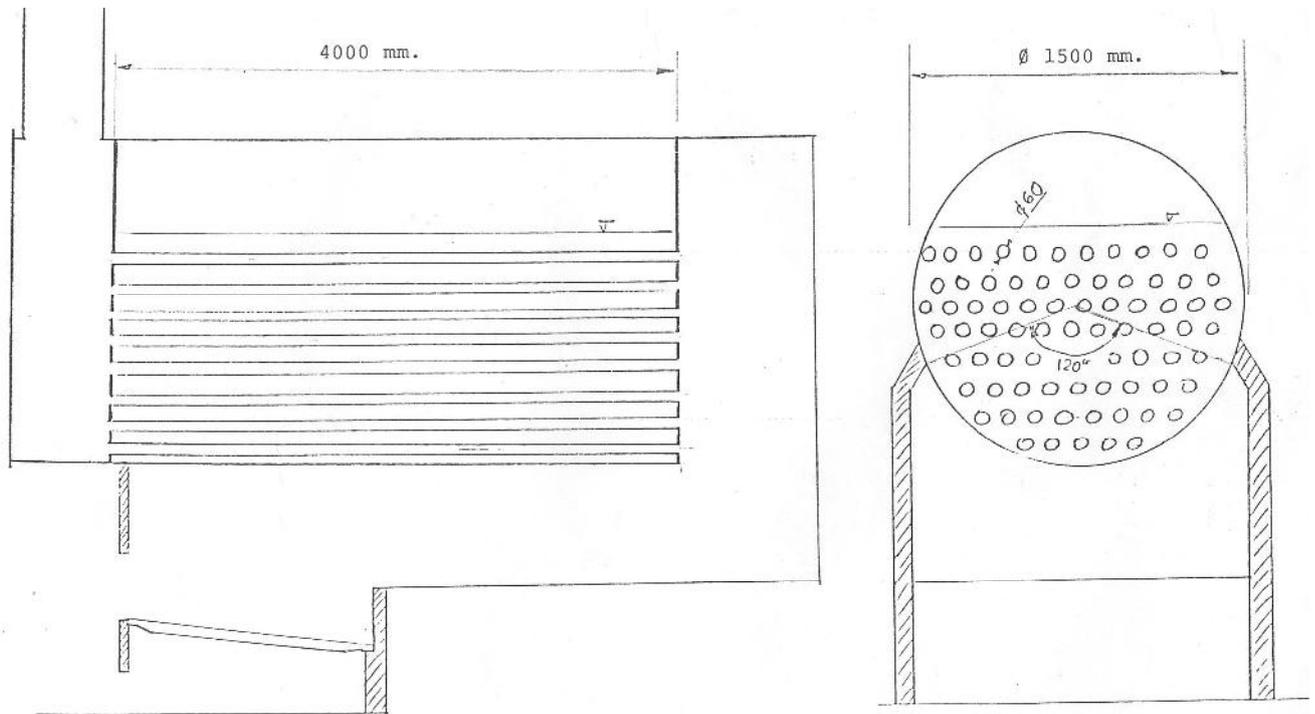
---

5) No ante-projeto de um gerador de vapor de água tipo flamotubular, conforme o esquema da próxima página, foram fornecidos os seguintes dados:

a) Dimensões : - corpo da caldeira	Ø 1500 mm.
- 120 tubos	Ø 60 x 4000 mm.
b) Superfície irradiada	3,5 m <sup>2</sup>
c) Combustível	carvão mineral PCI = 4500 kcal / kg
d) Excesso de ar	45%
e) Perdas de calor : - combustível nas cinzas	4,5%
- calor contido nas cinzas	1,0%
- fuligem e gases combustíveis	3,5%
- condução/convecção p/ ambiente	6,0%
f) Vapor produzido : - pressão	10 kgf / cm <sup>2</sup> abs
- temperatura	179°C
- entalpia	663 kcal / kg
g) Temperatura da água de alimentação	65°C
h) Temperatura dos gases na chaminé	230°C
i) Temperatura ambiente	22°C
j) Emissividade da fornalha	0,74
l) Calor específico dos gases	0,247 kcal / kg.°C
m) Coeficiente global de transferência de calor	30 kcal / h. m <sup>2</sup> °C

Admitindo-se inicialmente um coeficiente de irradiação na fornalha igual a 0.2 , pede-se determinar:

1. O ar necessário à combustão, em kg ar / kg comb.
2. A superfície de vaporização da caldeira
3. O rendimento total do gerador de vapor
4. A temperatura na câmara de combustão
5. O calor irradiado na fornalha
6. O calor transferido por convecção
7. A produção de vapor da caldeira
8. O consumo horário de combustível
9. Calcular o coeficiente de irradiação na fornalha



CALDEIRA FLAMOTUBULAR (PROBLEMA 5)

6) Um gerador de vapor de água, do tipo aquotubular, possui tubos conforme indica a figura da próxima página e apresenta as seguintes características:

a) Tubos do vaporizador

- Quantidade	96 tubos de 6,0 m 12 tubos de 3,6 m 12 tubos de 1,8 m
- Diâmetro externo x espessura	102 x 4 mm

b) Tubulão de vapor

- Diâmetro externo	1600 mm
Comprimento útil	2200 mm

c) Condições do vapor saturado

- Pressão	30 kgf / cm <sup>2</sup> abs
- Temperatura	232°C
- Entalpia	670 kcal / kg

d) Combustível

- Tipo	óleo combustível
- Poder calorífico inferior	10000 kcal / kg
- Consumo horário	345 kg / hora

e) Coeficiente de excesso de ar 1,3

f) Perdas por condução/convecção p/ ambiente 6%

g) Temperatura da fornalha 1450°C

h) Rendimento global do gerador de vapor 78%

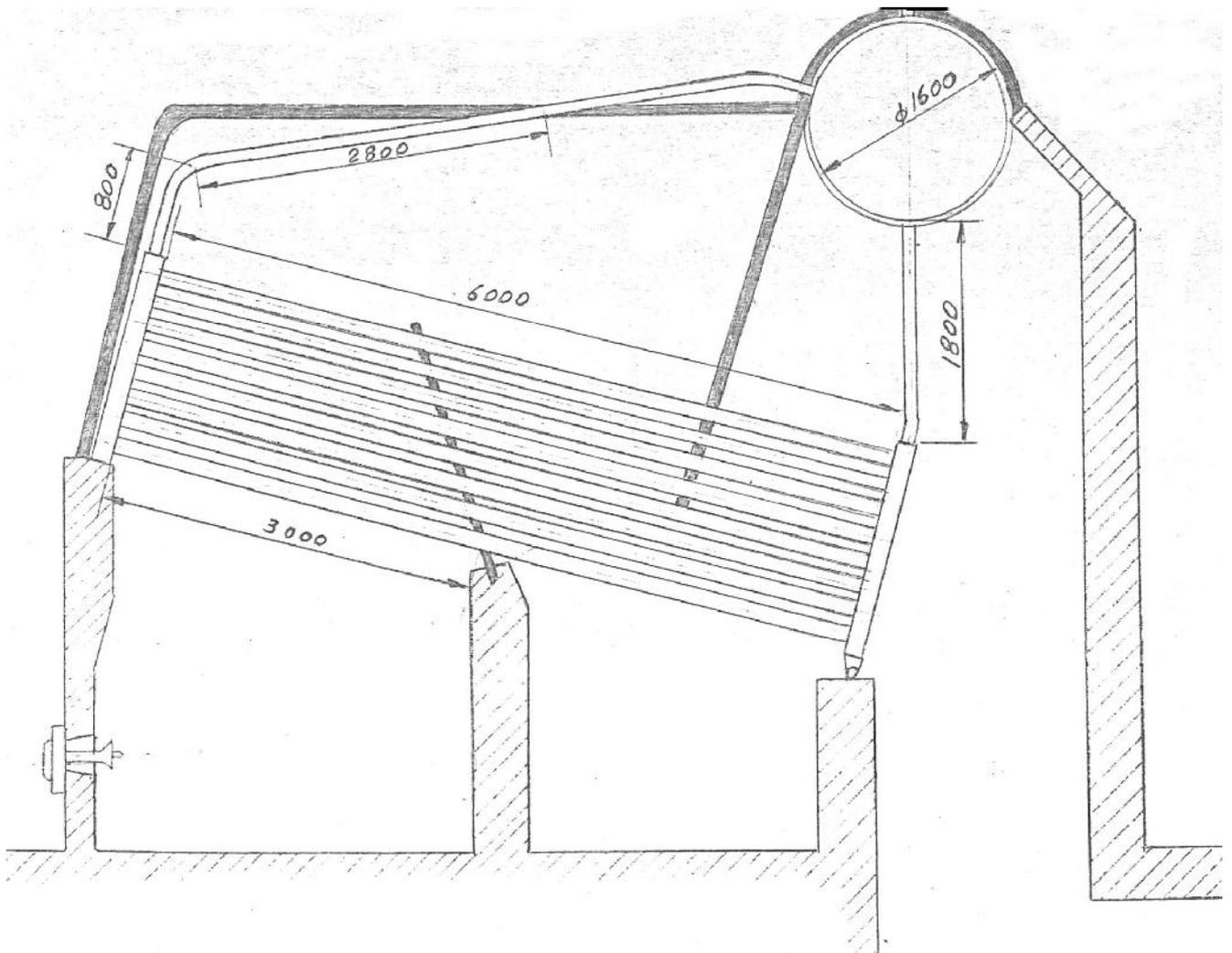
i) Temperatura da água de alimentação 70°C

j) Coeficiente de transferência de calor	23 kcal / h. m <sup>2</sup> °C
k) Emissividade da fornalha	0,72
l) Calor específico dos gases da combustão	0°C : 0,246 kcal / kg°C 800°C : 0,280 "
m) Fator de correção da superfície irradiada	0,9
n) Ar ambiente	20°C / 1 kgf / cm <sup>2</sup>

Calcular:

- 1) A superfície de vaporização da caldeira
- 2) A produção de vapor
- 3) A temperatura dos gases na chaminé
- 4) O rendimento da fornalha

Dado:  $AC_0 = \frac{1,38 \text{ PCI}}{10^3} \quad [ \text{kg}_{\text{ar}} / \text{kg}_{\text{cb}} ]$



## PROBLEMAS SOBRE GERADORES DE VAPOR – RESPOSTAS

### Problema 1

- 1)  $S_V = 189 \text{ m}^2$
- 2)  $L = 6,417 \text{ kg}_{\text{ar}} / \text{kg}_{\text{cb}}$
- 3)  $t_c = 1444 \text{ }^\circ\text{C}$
- 4)  $D = 3245 \text{ kg} / \text{h}$
- 5)  $\eta = 73,4 \%$
- 6)  $B = 874 \text{ kg} / \text{h}$
- 7)  $d = 523 \text{ mm}$

### Problema 2

- 1)  $\eta = 79,3 \%$
- 2)  $B = 2558 \text{ kg} / \text{h}$
- 3)  $t_c = 1308 \text{ }^\circ\text{C}$
- 4)  $S = 493 \text{ m}^2$

### Problema 3

- 1)  $\eta = 70,5 \%$
- 2)  $B = 5445 \text{ kg} / \text{h}$
- 3)  $V = 40980 \text{ m}^3 / \text{h}$
- 4)  $t_{\text{CO}_2} = 15,3 \%$
- 5)  $t_c = 1186 \text{ }^\circ\text{C}$  (com  $C_{\text{pg}}=0,275$ )

### Problema 4

- 1)  $S = 200 \text{ m}^2$
- 2)  $L = 18,9 \text{ kg}_{\text{ar}} / \text{kg}_{\text{cb}}$
- 3)  $t_c = 1244 \text{ }^\circ\text{C}$
- 4)  $D = 6930 \text{ kg} / \text{h}$
- 5)  $q_g = 59,4 \text{ kcal} / \text{kg}$
- 6)  $\eta = 78,9 \%$
- 7)  $B = 540 \text{ kg} / \text{h}$
- 8)  $d = 690 \text{ mm}$

### Problema 5

- 1)  $L = 9 \text{ kg}_{\text{ar}} / \text{kg}_{\text{cb}}$
- 2)  $S = 96,8 \text{ m}^2$
- 3)  $\eta = 73,6 \%$
- 4)  $t_c = 1348 \text{ }^\circ\text{C}$
- 5)  $Q_i = 865500 \text{ kcal} / \text{h}$
- 6)  $Q_c = 1037000 \text{ kcal} / \text{h}$
- 7)  $D = 3180 \text{ kg} / \text{h}$
- 8)  $B = 574 \text{ kg} / \text{h}$
- 9)  $\sigma = 0,3$

### Problema 6

- 1)  $S = 210,9 \text{ m}^2$
- 2)  $D = 4485 \text{ kg} / \text{h}$
- 3)  $t_g = 272,6 \text{ }^\circ\text{C}$
- 4)  $\eta_F = 96 \%$