

2301909

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO

PROJETO DE UM GERADOR DE VALOR ALIMENTADO A GÁS NATURAL

Autor:.. Tarcísio Antonio Hess Coelho

Orientador:.. Prof. Hildo Pera

1.987

C65P
TF-87

NOTA 8.0
(Oito zeros)


Meus sinceros agradecimentos ao Professor
Hildo Pera pela orientação dada.

Gostaria de agradecer também à Srtª
Leila Juceli pelo excelente trabalho de
datilografia.

ÍNDICE

I	- Introdução	1
II	- Justificação para Escolha do Projeto	1
III	- Dados de Projeto	1
IV	- Cálculos Térmicos	1
IV.I	- Cálculos da Caldeira	1
1)	- Características do fluido vaporizante	1
2)	- Características do combustível utilizado	2
3)	- Consumo de Gás Natural	2
4)	- Reações de Combustão e Determinação do Volume dos fluídos	2
5)	- Pré-Aquecedor de Ar	3
6)	- Volume de Câmara de Combustão	3
7)	- Esquema dos tubos e câmara com as dimensões	3
8)	- Cálculos: Superfície da Câmara, Comprimento da Câmara, <u>Su</u> perfície Reduzida, Superfície Projetada e Calor Absorvido na Câmara	4
9)	- Cálculos: feixe de Convecção	5
10)	- Cálculos: Pré-Aquecedor de Ar	6
11)	- Balanço Térmico	9
V	- Bibliografia	10
VI	- Apêndice	11
VI.I	- Gráficos	11
VI.II	- Desenho da Caldeira	12

PROJETO DE FORMATURA

I) Introdução:

Neste trabalho trata-se do projeto de um gerador de vapor, queimando gás natural, que deverá atender a determinadas especificações que serão listadas posteriormente.

II) Justificação para Escolha do Projeto:

A minha preferência pelo projeto de um gerador de vapor se deve a que os geradores, independentemente dos seus combustíveis, são muito requisitados nas indústrias em geral.

III) Dados de Projeto:

- D= 35.000 kg/h
- Qualidade de vapor: Saturado
- Pressão: 18 kgf/cm²
- Temperatura da água de alimentação: 105°C
- Temperatura do ar: 25°C
- Eficiência Térmica: 92%
- Gás Natural fornecido pela Petrobrás

IV) Cálculos Térmicos:

IV.1) Cálculos da Caldeira:

1) Características do fluido vaporizante

$Q_u = D(h_v - h_a)$, onde

Q_u - calor útil

D - Produção normal de vapor

h_v - entalpia do vapor saturado a 18kgf/cm²

h_a - entalpia da água de alimentação a 105°C.

das tabelas de vapor d'água obtemos:

$h_v = 668,2 \text{ kcal/kg}$

$t_v = 206,1^\circ\text{C}$

$V_v = 0,1125 \text{ m}^3/\text{kg}$

$h_a = 105 \text{ kcal/kg}$

$Q_u = 35.000 (668,2 - 105) = 19.712.000 \text{ kcal}$

h

2) Características do Combustível utilizado:

Gás Natural fornecido pela Petrobrás:

$$\text{CO}_2 - 0,7\%$$

$$\text{N}_2 - 0,5\%$$

$$\text{CH}_4 - 84\%$$

$$\text{C}_2\text{H}_6 - 14,8\%$$

$$\text{PCi} = 8675 \frac{\text{Kcal}}{\text{Nm}^3}$$

3) Consumo de gás natural:

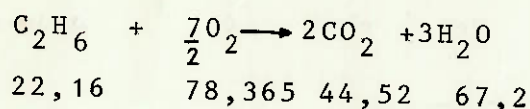
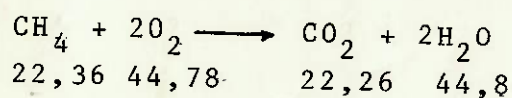
$$B = \frac{Q_u}{\text{PCi} \times N} \quad \text{onde}$$

B- Consumo de gás natural

N- eficiência térmica

$$B = \frac{19.712.000}{8675.0,92} = 2469,9 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

4) Reações de Combustão e Determinação do Volume dos Fluidos



$$\text{VO}_2^T = \frac{44,78}{22,36} \cdot 0,84 + \frac{78,365}{22,16} \cdot 0,148 = 2,2 \text{ Nm}^3 \text{O}_2 / \text{Nm}^3 \text{GN}$$

$$\text{Var}^T = 2,2 \times \frac{100}{21} = 10,477 \text{ Nm}^3 \text{ar} / \text{Nm}^3 \text{GN}$$

$$\begin{aligned} \text{Vg} &= \frac{22,26}{22,36} \cdot 0,84 + \frac{44,52}{22,16} \cdot 0,148 + 0,007 + \frac{44,8}{22,36} \cdot 0,84 + \\ &\frac{67,2}{22,16} \cdot 0,148 + 0,005 + 0,79 \cdot 10,477 = 11,55 \text{ Nm}^3 \text{ gas} / \text{Nm}^3 \text{GN} \end{aligned}$$

Trabalharemos com 10% de excesso de ar.

$$\text{Var} = m_{\text{ru}} \text{Var} = 1,10 \cdot 10,477 = 11,525 \text{ Nm}^3 \text{ar} / \text{Nm}^3 \text{GN}$$

$$\text{Vg} = 11,55 + (1,1 - 1) \cdot 10,477 = 12,6 \frac{\text{Nm}^3 \text{gás}}{\text{Nm}^3 \text{GN}}$$

$$\text{Vg}^{rt} = B \cdot \text{Vg}^{ru} = 2469,9 \cdot 12,6 = 31120,7 \frac{\text{Nm}^3 \text{gás}}{\text{h}}$$

$$\text{Var} = B \cdot \text{Var}^{r'} = 2469,9 \cdot 11,525 = 28465,6 \frac{\text{Nm}^3 \text{ar}}{\text{h}}$$

5) Prê-Aquecedor de ar:

- Como a eficiência da caldeira deve ser de 92% é necessário o uso de um pré-aquecedor de ar de combustão.
- Ar entrará na câmara de combustão com uma temperatura de 150°C
- então o calor no pré-aquecedor será:

$$Q_{p-a} = \text{Var. Cpar. Tar} \quad \text{onde}$$

Var - razão em volume de ar (Nm^3/h)

Cpar- calor específico do ar (Kcal/Nm³ °C)

Tar - Temperatura do ar na entrada da câmara de combustão.

$$Q_{p-a} = 28465,6 \times 0,31 \times 150 = 1.323.650,4 \text{ Kcal/h.}$$

- logo o calor total (Q_t) será:

$$Q_t = Q_{p-a} + B \times PC_i = 1.323.650,4 + 2.469,9 \times 8675 = 22.750.033 \text{ Kcal/h.}$$

6) Volume da Câmara de Combustão

$$V_{cc} = \frac{Q_{\text{t}}}{K} \quad \text{onde}$$

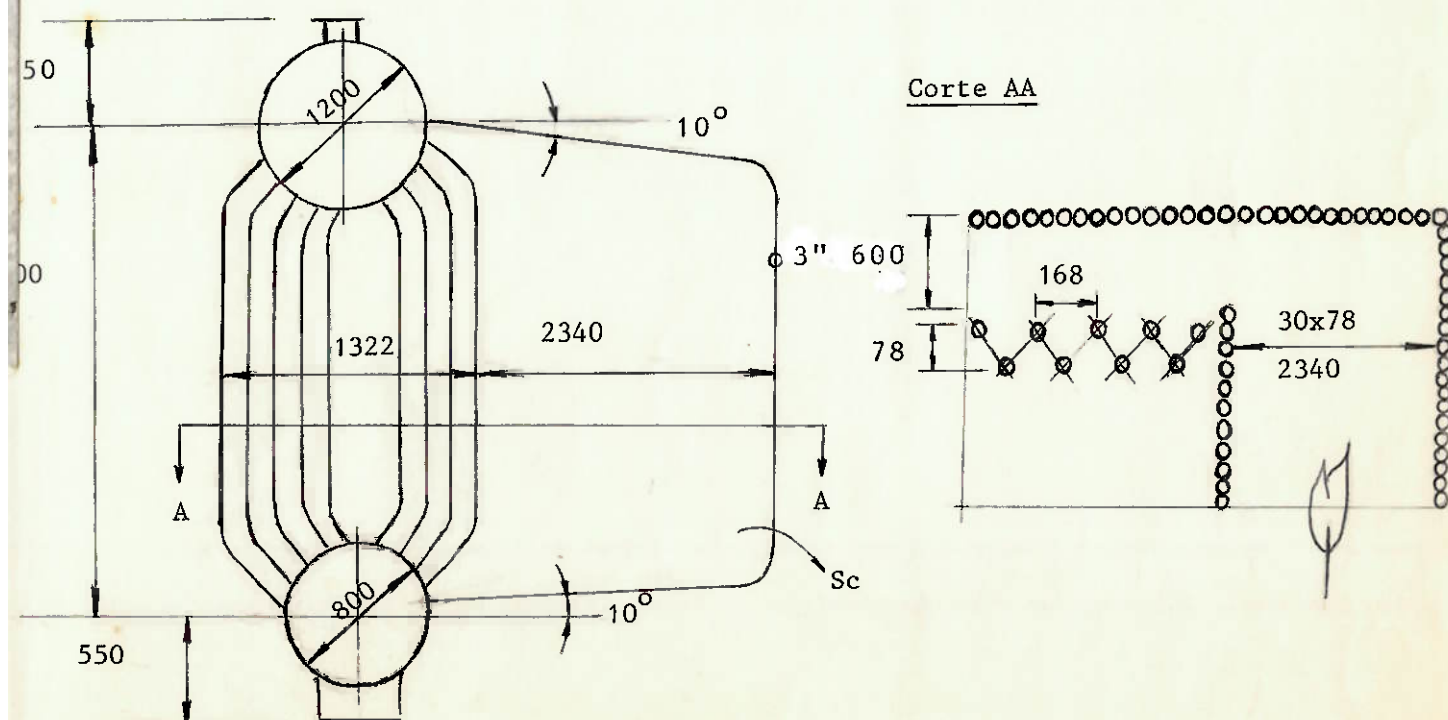
K - carga específica da câmara de combustão (kcal/m³.h)

- para o gás natural pode-se adotar

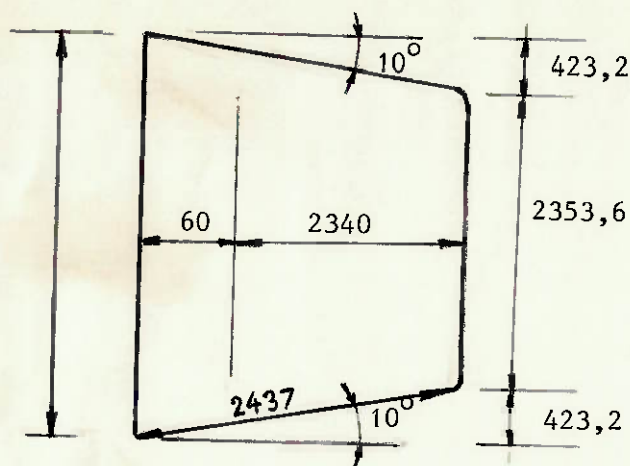
$$K = 500.000 \text{ Kcal/m}^3 \cdot \text{h}$$

$$V_{cc} = \frac{22.750.033}{500.000} = 45,5 \text{ m}^3$$

7) Esquema dos tubos e câmara com as dimensões:



8) Cálculos: Superfície da Câmara, Comprimento da Câmara, Superfície Reduzida, Superfície Projetada e Calor Absorvido na Câmara:



$$S_c = 3,5 \times 2,4 - 2 \times \frac{1}{2} \times 2,4 \times 0,423 = 7,38 \text{ m}^2$$

$$- l_c = \frac{V_c}{S_c} = \frac{45,5}{7,38} = 6,165 \text{ m}$$

$$- S_{proj} = 2S_c + P.l_c = 2 \times 7,38 + 11,03 \times 6,17 = 82,82 \text{ m}^2$$

$$P = 2437,2 + 2653,6 + 3500 = 11.027,6 \text{ mm} = 11,03 \text{ m}$$

$$- S_{red} = \frac{3,5 \cdot 1000 \cdot S_{irr}}{4 \cdot V_g^{rt}} = \frac{3,5 \cdot 1000 \cdot 82,82}{4 \cdot 31.120,7} = 2,33 \text{ m}^2$$

$$\text{onde } S_{red} = \frac{C_{irr} \cdot S_{irr} \cdot 1000}{4 \cdot V_g^{rt}} \text{ e } S_{irr} = \psi \cdot S_{proj} = 1 \times 82,82 = 82,82 \text{ m}^2$$

C_{irr} ... coeficiente de irradiação

V_g^{rt} ... volume dos gases

$\psi = 1$ pois temos tubos aletados tangentes

$$- q_{esp} = \frac{Q_t - \text{perdas por irradiação}}{V_g^{rt}} =$$

$$= \frac{Q_t - 1\% Q_t}{V_g^{rt}} = \frac{22.522.533}{31.120,7} = 723 \frac{\text{Kcal}}{\text{Nm}^3}$$

$$- \text{Gráficos: } t_g = 1100^\circ \text{C} \quad h_g = 412 \text{ Kcal/Nm}^3$$

$$- \text{Saldo após a fornalha: } Q_s = V_g \cdot h_g =$$

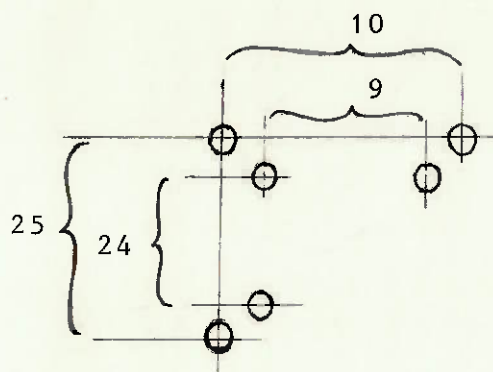
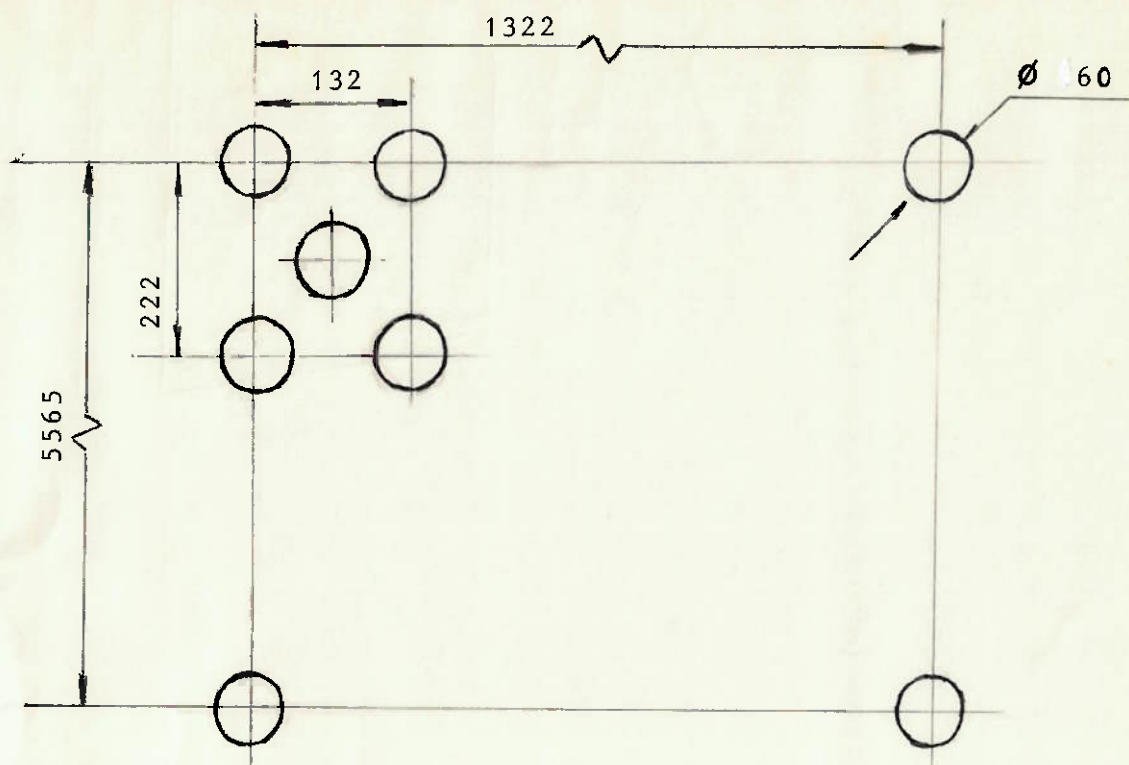
$$= 31.120,7 \times 412 = 12.821.728 \text{ Kcal/h}$$

$$- \text{Calor absorvido na câmara} = Q_{abs \text{ câmara}} =$$

$$= (Q_t - 1\% Q_t) - V_g h_g = 22.522.533 - 12.821.728 =$$

$$= 9.700.805 \text{ Kcal/h}$$

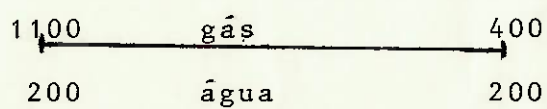
9) Cálculos: Feixe de Convecção



$$N^{\circ} \text{ tubos} = 25 \times 10 \times 24 \times 9 = 466$$

$$S \text{ feixe} = \pi \times 76 \times 10^{-3} \times 3,5 \times 466 = 389 \text{ m}^2$$

No feixe temos,



$$\Delta t_{\log} = \frac{1100 - 400}{\ln \frac{1100 - 200}{400 - 200}} = 465^{\circ} \text{C}$$

- Q absorvido no feixe = $q_c \cdot S_{\text{feixe}} \cdot \Delta t =$
 $= 55 \times 389 \times 465 = 9.948.675 \text{ Kcal/h}$

- Saldo após o feixe = $12.821.728 - 9.948.675 =$
 $= 2.873.053 \text{ Kcal/h.}$

- Temperatura dos gases após o feixe:

$$\frac{\text{Saldo após o feixe}}{V_g^{rt}} = \frac{2.873.053}{31.120,7} = 92,3 \frac{\text{Kcal}}{\text{Nm}^3}$$

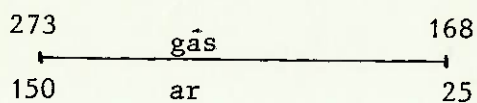
Dos gráficos obtemos $t = 273^\circ\text{C.}$

10) Cálculos: Pré-Aquecedor de Ar:

$$Q_{p-a} = \text{Var.} \cdot C_{\text{par.}} \cdot \Delta T$$

$$\text{Var} = 28.465,6 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$C_{\text{par}} = 0,31 \frac{\text{Kcal}}{\text{Nm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}}$$



$$\Delta T \approx 150 - 25 = 125^\circ\text{C}$$

- $Q_{p-a} = 28.465,6 \times 0,31 \cdot 125 = 1.103.042,0 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$

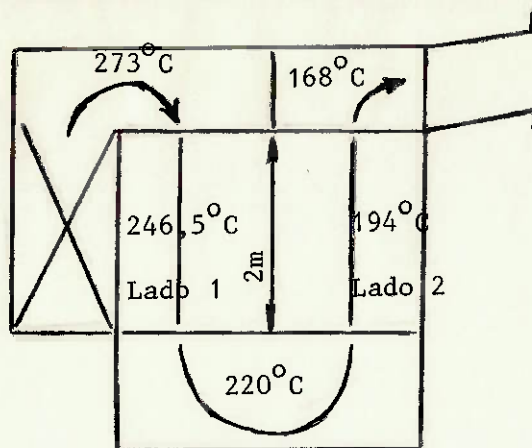
- Saldo para a chaminé = $1.770.011 \text{ Kcal/h}$

- Temperatura de chaminé:

$$\frac{\text{Saldo após chaminé}}{V_g^{rt}} = \frac{1.770.011}{31.120,7} = 56,9 \frac{\text{Kcal}}{\text{Nm}^3}$$

Dos gráficos obtermos $t = 168^\circ\text{C}$

- Dimensionamento do Prê-aquecedor de Ar:



a) Tubos:

$$\varnothing \text{ ext} = 60,3 \text{ mm}$$

$$\varnothing \text{ int} = 56,3 \text{ mm}$$

$$S_{\text{int}} = \frac{\pi}{4} (0,0563)^2 = 2,49 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Sendo $V = 12 \text{ m/s}$ a velocidade de escoamento dos gases, temos que a área total S_1 de seção dos tubos no lado 1 será:

$$S_1 = \frac{V_g^r \cdot f_1}{3600 \cdot V} = \frac{31.120 \times 1,9}{3600 \times 12} = 1,37 \text{ m}^2$$

$$\text{onde } f_1 = \left(1 + \frac{t_1}{273} \right) = \left(1 + \frac{246,5}{273} \right) = 1,9$$

E no lado 2 será:

$$S_2 = \frac{V_g^r \cdot f_2}{3600 \times V} = \frac{31.120 \times 1,71}{3600 \times 12} = 1,2 \text{ m}^2$$

$$\text{onde } f_2 = \left(1 + \frac{194}{273} \right) = 1,71$$

Assim, o número de tubos em cada lado será:

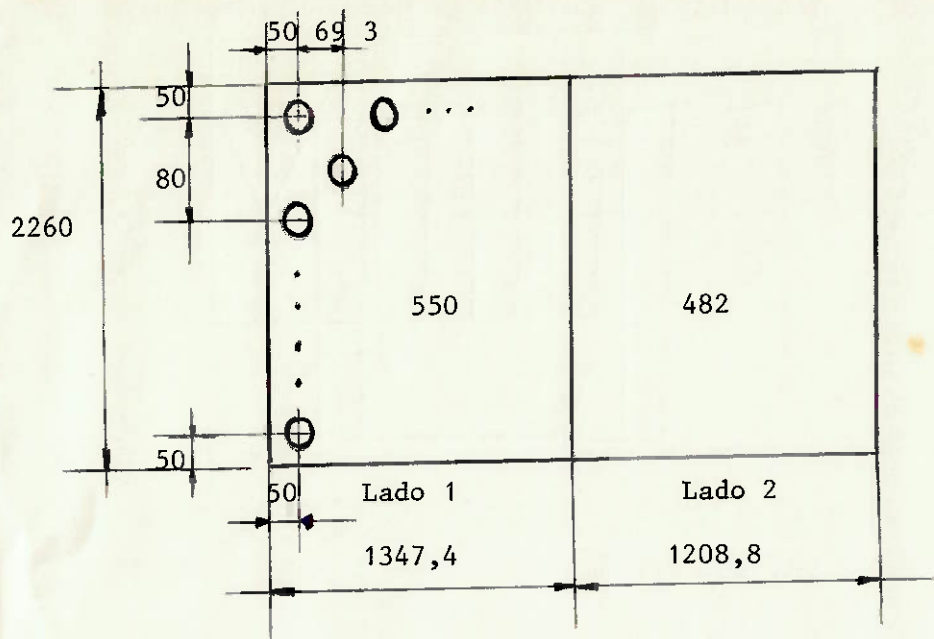
$$\text{lado 1: } N_1 = \frac{S_1}{S_{\text{int}}} = \frac{1,31}{2,49 \times 10^{-3}} = 550 \text{ tubos}$$

$$\text{lado 2: } N_2 = \frac{S_2}{S_{\text{int}}} = \frac{1,2}{2,49 \times 10^{-3}} = 482 \text{ tubos}$$

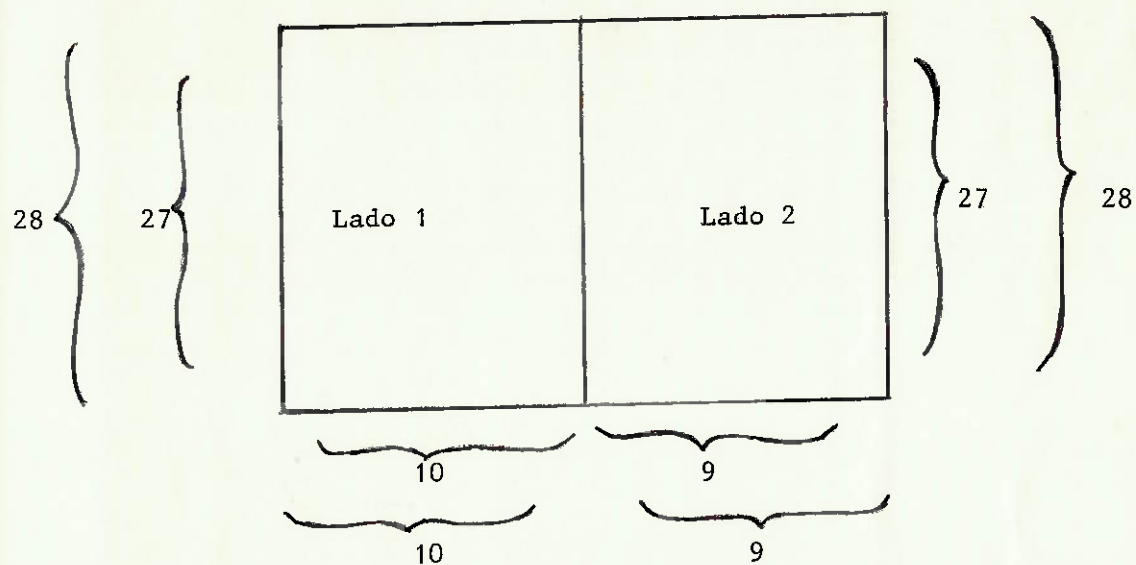
$$S_2 = 1,209 \times 2,260 = 2,73 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{total do prê-ar}} = S_1 + S_2 = 3,05 + 2,73 = 5,78 \text{ m}^2$$

b) Área do pré-aquecedor:

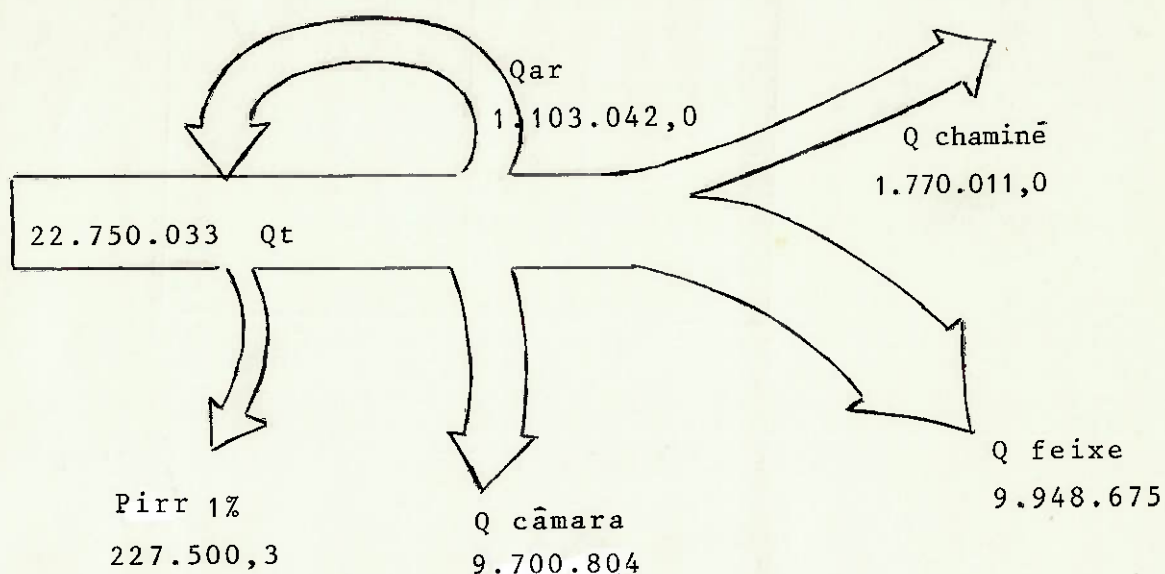


- disposição dos tubos:



$$S_1 = (2,260 \times 1,35) = 3,05 \text{ m}^2$$

11) Balanco Térmico:



	Fornecido	Absorvido	Saldo
Calor Total (Q_t)	22.750.033,0		
Perda por irradiação		227.500,3	22.522.533
Absorvido Câmara		9.700.804	12.821.728
Absorvido feixe		9.948.675	2.873.053
Absorvido Ar		1.103.042,0	1.770.011
Saldo p/Chaminê		1.770.011	1.770.011
		22.750.033	

V) Bibliografia:

- . Pera, Hildo - Geradores de Vapor de Água
- . Pera, Hildo - Notas de Aula

VI.II) Desenho da Caldeira: