

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

DEPARTAMENTO DE INSTALAÇÕES  
E MATERIAIS NUCLEARES

**PROJETO IEN**

**COMBUSTOR A LEITO FLUIDIZADO**

**Paulo Fernando Lavalle Heilbron Filho**

**Ana Maria Xavier**

**Agosto, 1985**

<b>I</b>	<b>- INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>II</b>	<b>- PROJETO</b>	<b>3</b>
	<b>II-1- O COMBUSTOR</b>	<b>3</b>
	<b>II-2- AQUECIMENTO DO COMBUSTOR</b>	<b>5</b>
	<b>II-3- SISTEMA DE TRATAMENTO DOS GASES</b>	<b>11</b>
<b>III</b>	<b>- INSTRUMENTAÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>IV</b>	<b>- MATERIAL</b>	<b>19</b>
<b>V</b>	<b>- LIMITES DE INCINERAÇÃO</b>	<b>21</b>
<b>VI</b>	<b>- CONCLUSÕES</b>	<b>25</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>27</b>
	<b>Apêndice 1 - Propriedades de materiais</b>	<b>28</b>
	<b>Apêndice 2 - Tabelas de Resistências</b>	<b>33</b>
	<b>Apêndice 3 - Padronização dos aços (ABNT)</b>	<b>38</b>
	<b>Apêndice 4 - Tabela de Limite de MCP (ar)</b>	<b>40</b>

I - INTRODUÇÃO

A necessidade de se construir um combustor deve-se ao fato que determinados rejeitos orgânicos produzidos em instalações radioativas devem ser tratados antes de seu armazenamento final. Dada as dificuldades inerentes ao armazenamento de tais rejeitos orgânicos nos laboratórios e Institutos que utilizam material radioativo para experiências científicas, a Divisão de Instalações Nucleares do DIN, elaborou um projeto para a construção de um combustor fluidizado, em escala de laboratório, para queima dos rejeitos radioativos orgânicos de baixo nível.

O sistema de queima dos rejeitos orgânicos é apresentado na figura 1.1 e consiste basicamente de um preaquecedor (1) que utiliza o calor gerado no combustor (2) que é resfriado por um trocador de calor (3) antes de passar pelo ciclone (4) cuja função é recolher as cinzas provenientes da queima do material orgânico. Ao passar pelo ciclone o gás segue para uma coluna de lavagem de água (5) cuja finalidade é reter o  $CO_2$  passando em seguida por duas colunas de água e soda (6) para reter o iodo. Para que se tenha um controle das condições dos lavadores o gás passa em seguida por um filtro a base de carvão ativado (7) que periodicamente deverá ser analisado. Ao atravessar o filtro de carvão o gás segue para um filtro lepa (8) antes de ser liberado para a atmosfera,

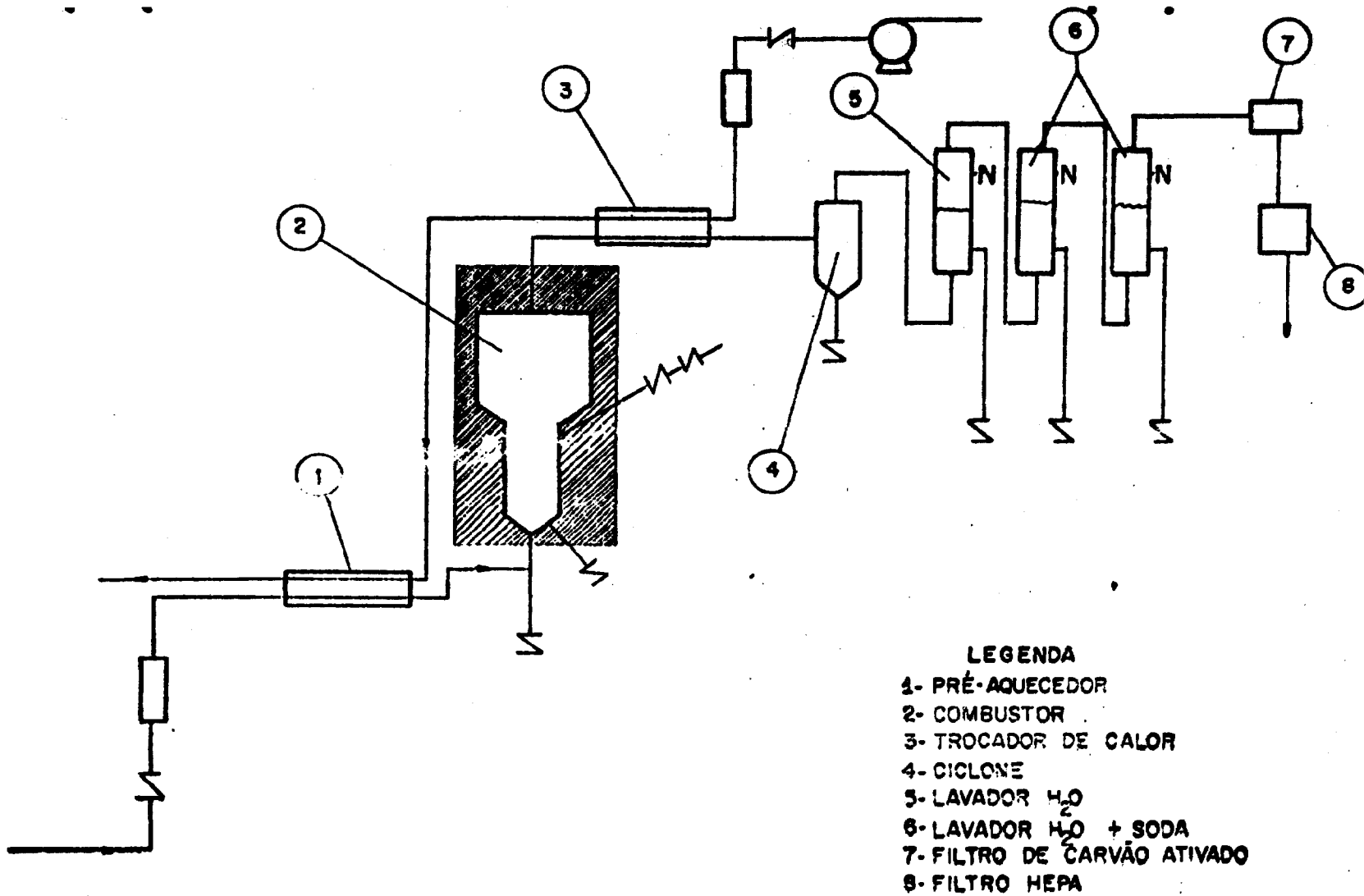


DIAGRAMA DA PLANTA

FIGURA 1.1

## II - PROJETO

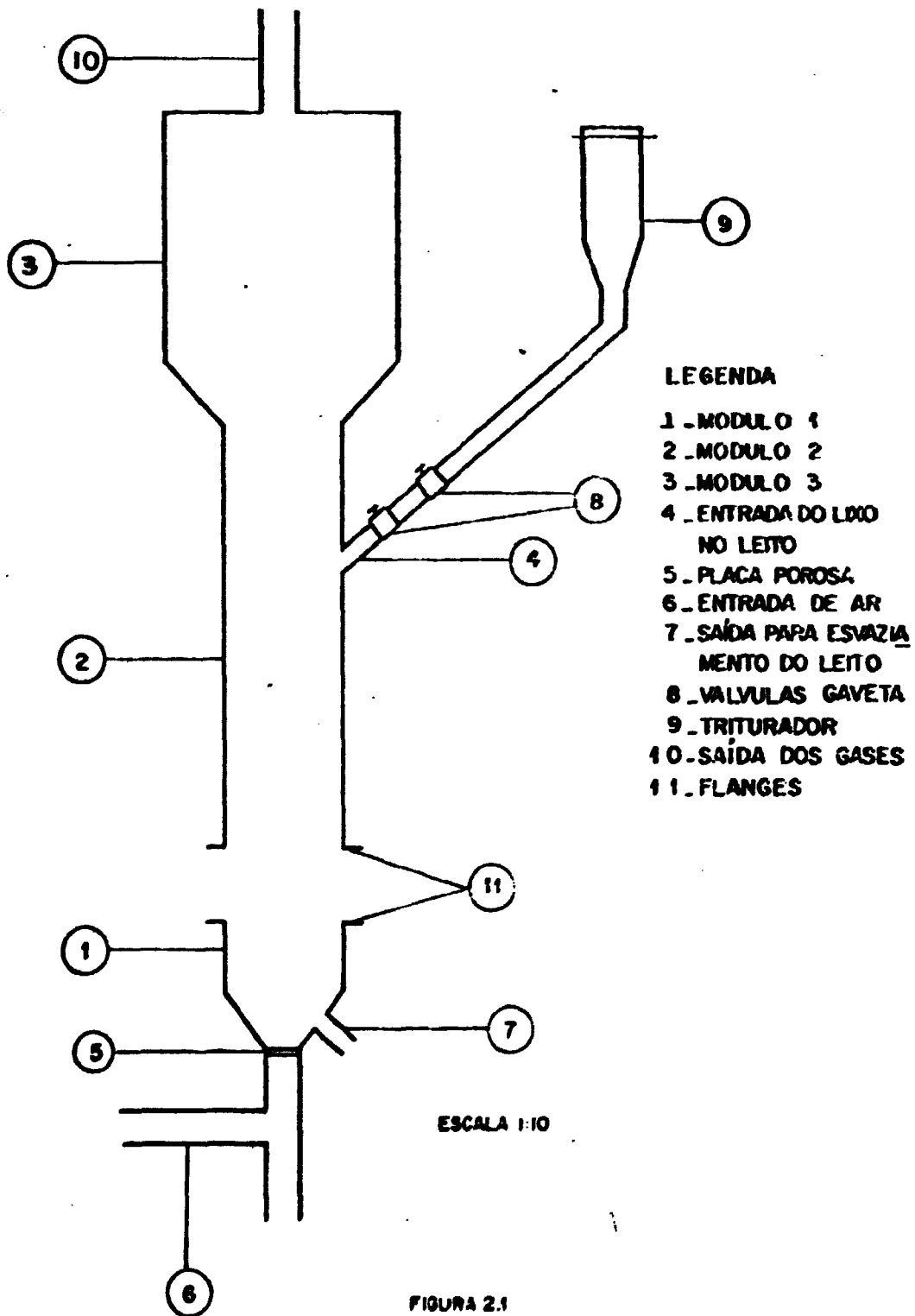
O projeto consiste de 3 sistemas básicos: o combustor, o aquecedor e o sistema de tratamento de gases.

### II-1- O. COMBUSTOR (Figura 2.1)

O material selecionado para o combustor foi o aço inox 316 ( $d_i = 20$  cm), devido a sua alta resistência a pressão e temperatura. O combustor foi projetado em 3 módulos distintos com finalidades diferentes. O módulo 1 é responsável pela alimentação de ar do sistema, feita através de um compressor. O ar é distribuído no leito por uma placa porosa. Esse módulo é afunilado na parte inferior para facilitar a coleta do material que se acumula no final do leito e uma saída para descarga e troca do material do leito (areia).

O módulo 2 consiste na câmara de combustão propriamente dita por onde o material a ser queimado é introduzido. Para evitar o choque direto do rejeito com a base do leito uma tela deverá ser colocada entre os módulos 1 e 2. Para garantir-se a estanqueidade do sistema, a introdução dos rejeitos no combustor será feita por meio de duas válvulas tipo gaveta colocadas em série.

O módulo 3 consiste numa câmara de expansão de gases do combustor. Seu diâmetro interno é o dobro ( $d_i = 40$  cm) do diâmetro interno do módulo 2. Na parte superior desse módulo há uma saída para o sistema 3 que servirá para filtração, tratamento dos gases e coleta das cinzas.



As dimensões dos módulos 1, 2 e 3 são apresentadas respectivamente nas figuras 2.2, 2.3 e 2.4.

A união entre os módulos 1 e 2 deverá ser feita através de flanges e soldas (Figura 2.5).

## II-2- AQUECIMENTO DO COMBUSTOR

Considerando-se uma velocidade mínima de fluidização de cerca de 100 cm/s pode-se calcular a vazão de ar necessário para se fluidizar o leito.

Pela continuidade tem-se:

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 = \rho_2 v f A e$$

onde e = fração de vazio do leito = 0,4

$$A = \text{área da seção transversal} = \frac{\pi(0,2)^2}{4} = 0,031416 \text{ m}^2$$

$$\rho = \text{densidade do ar } \rho_1(20^\circ) = 1,165 \text{ kg/m}^3 ; \rho_2(700^\circ) = 0,355 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_1 = \frac{\rho_2 v f A e}{\rho_1} = \frac{(0,355 \times 100 \times \pi \times (20)^2 \times 0,4)}{1,165 \times 4} = 3825,96 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$m = \rho_1 Q_1 = 1,666 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3 \times 3825,96 \text{ cm}^3/\text{s} = 4,46 \text{ g/s}$$

### Cálculo da Potência Necessária Para Aquecer o Leito a 800°C

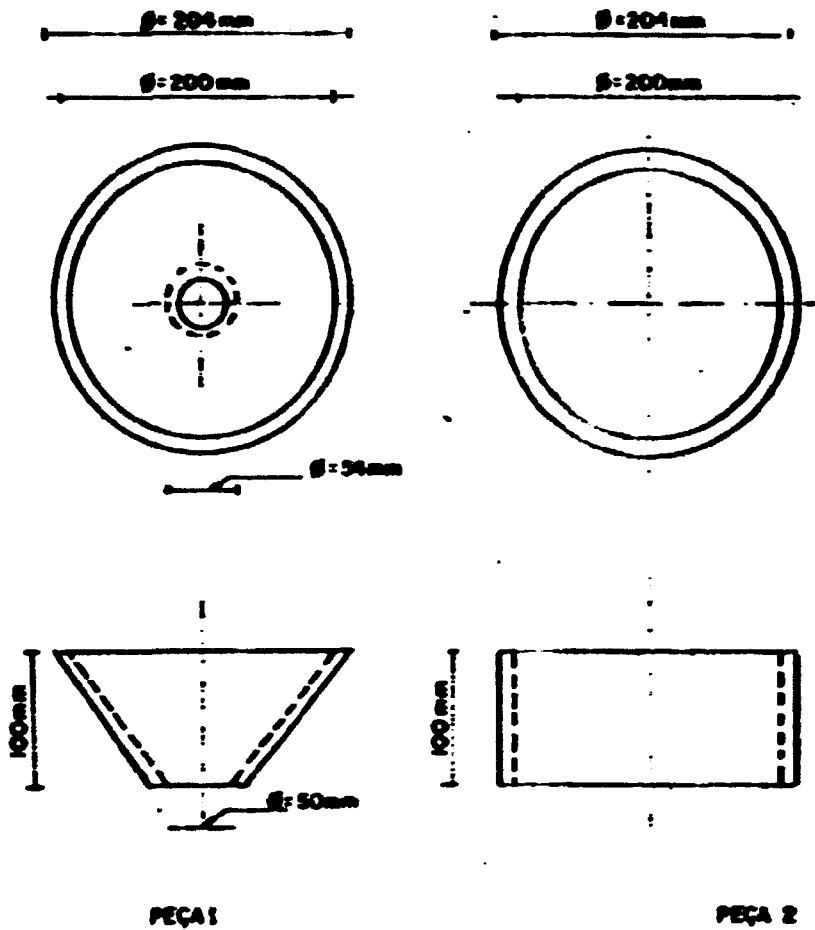
Considerando-se:

$$\rho \text{ areia} = 2,65 \text{ g/cm}^3$$

$$l = 0,5 \text{ m}$$

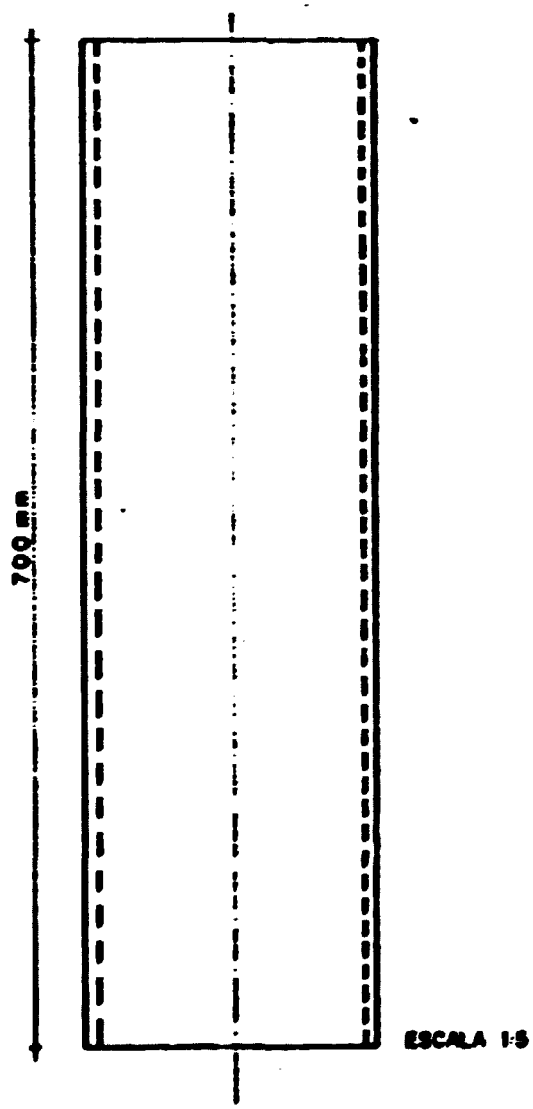
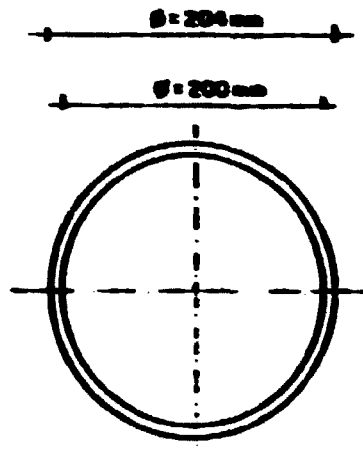
$$A = \frac{\pi(20)^2}{4} = 314,16 \text{ cm}^2$$





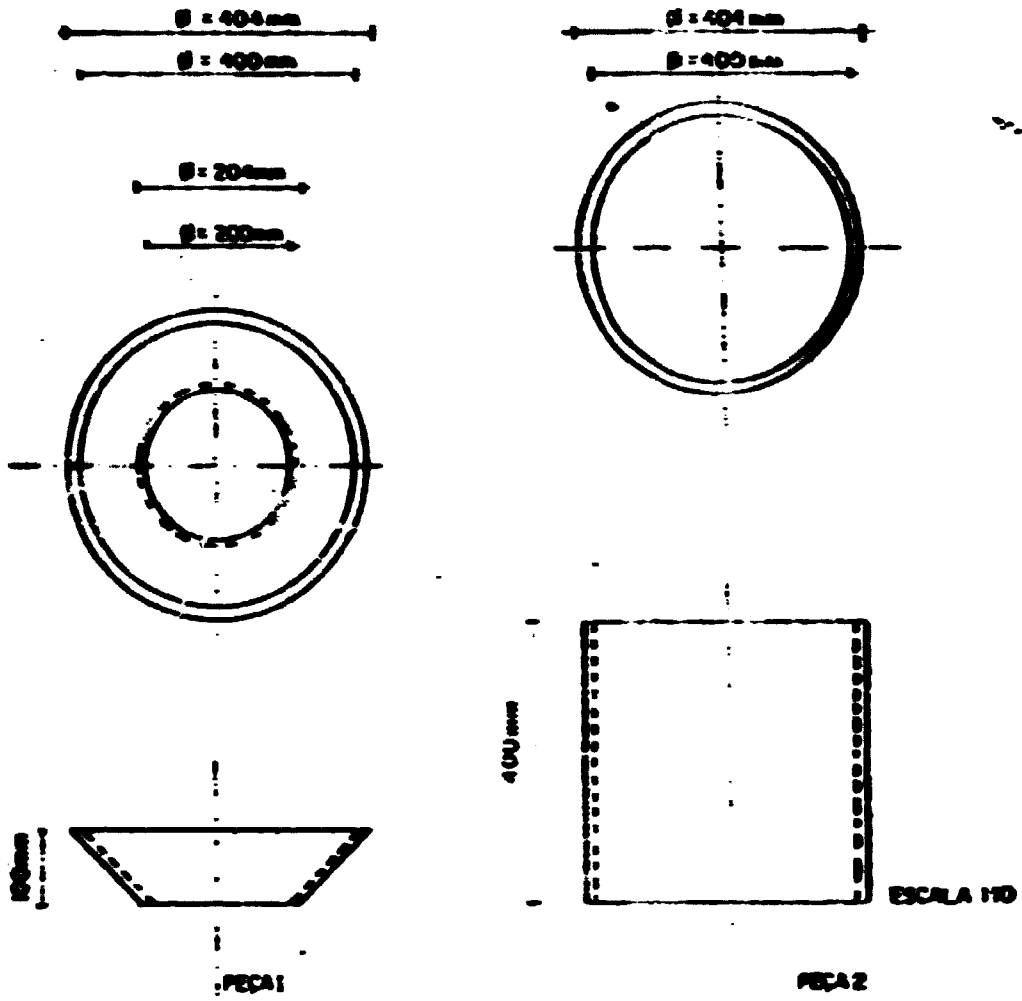
DETALHE DO MÓDULO 1

FIGURA 22



DETALHE DO MÓDULO 2

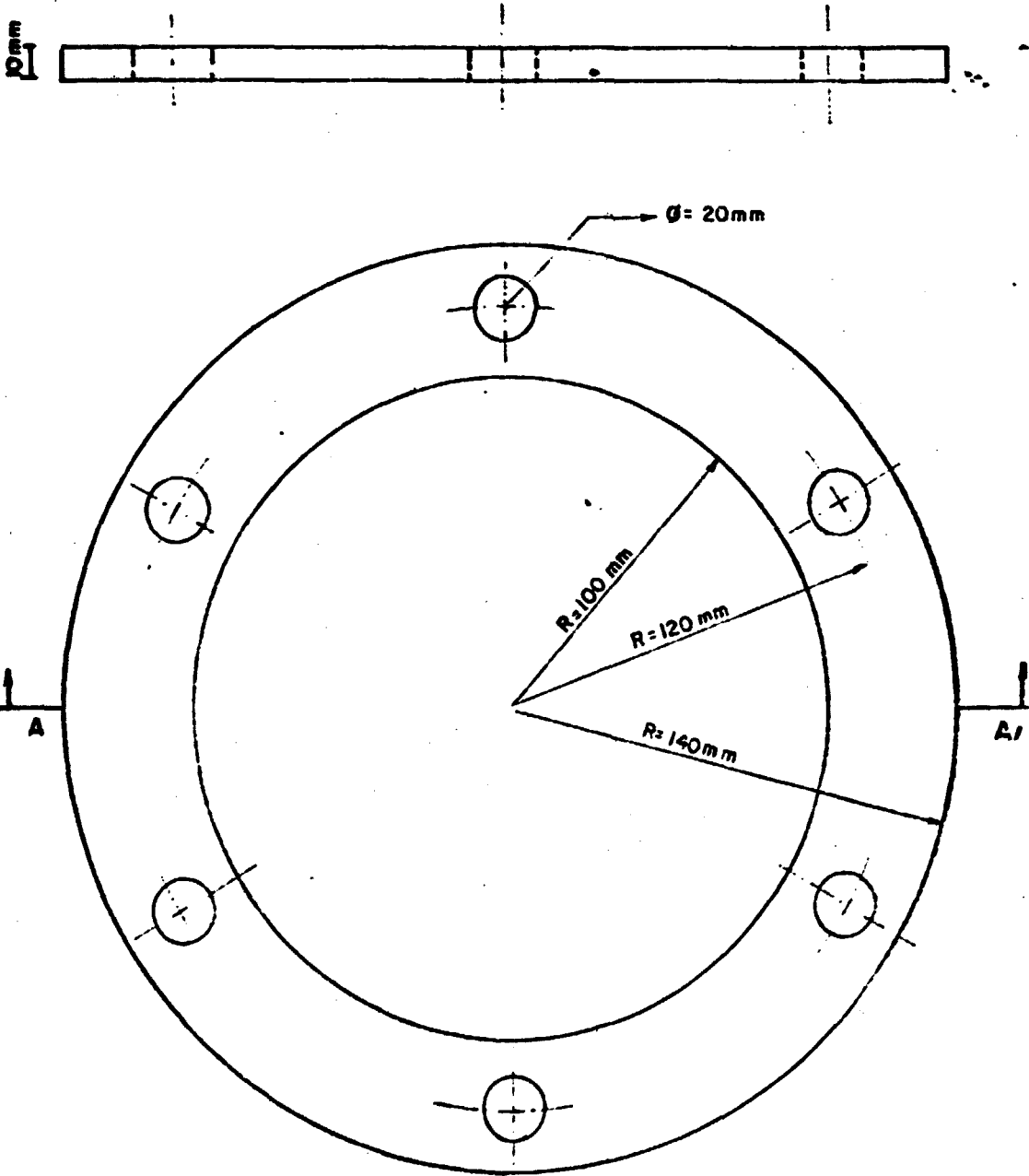
FIGURA 2.3



DETALHE DO MÓDULO 3

FIGURA 2.4

CORTE AA/



ESCALA 1:2

DETALHE DO FLANGE

- AÇO CARBONO -

FIGURA 2.5

$$\text{Volume total de areia} = 314.16 \times 50 \times 0.6 = 9424 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa total de areia} = V \times \rho = 24.975,7\text{g} = 25 \text{ kg}$$

$$q = Mcp\Delta T$$

$$\Delta t = 700^\circ\text{C}$$

$$m = 25 \text{ kg}$$

$$cp = 0.2 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$q = 25 \times 0.2 \times 700 = 3500 \text{ Kcal}$$

$$q = 3500 \times 4186 = 1465100 \text{ J}$$

Usando-se uma resistência de cerca de 10 KW o tempo de aquecimento será:

$$t = \frac{q}{P} = \frac{14651000}{10000} = 1465 \text{ s} = 24 \text{ min}$$

#### Cálculo da Resistência

$$I = \frac{P}{DDP} = \frac{10000}{220} = 45.46 \text{ A}$$

$$R = \frac{DDP}{I} = \frac{220}{45.46} = 4.84 \Omega$$

Da tabela 2.1 Konthal/DS (1150°C)

$$P = 7\text{W/cm}^2 \text{ (Limite para carga de superfície)}$$

#### Cálculo da Superfície Irradiante

$$S_i = \frac{I^2 \times ct}{P}$$

Da tabela 2.2

$$ct (900^\circ) = 1.03$$

$$S_i = \frac{(45.46)^2 \times 1.03}{7} = 304.09 \text{ cm}^2/\Omega$$

Da tabela 2.3 o mais próximo para fita  
 5 x 1 (mm)  $R_{20} = 0.27 \Omega/\text{m}$   $S = 4445 \text{ cm}^2/\Omega$

#### Cálculo do Comprimento Total da Fita

$$l_f = \frac{r_t}{r_{20} \times c_t} = \frac{4.84}{0.27 \times 103} = 17.4 \text{ m}$$

#### Cálculo do Valor Definitivo da Carga de Superfície

$$P = \frac{I^2 \times c_t}{S} = \frac{(45.46)^2 \times 1.03}{444.5} = 4.79 \text{ w/cm}^2$$

#### Fita Selecionada

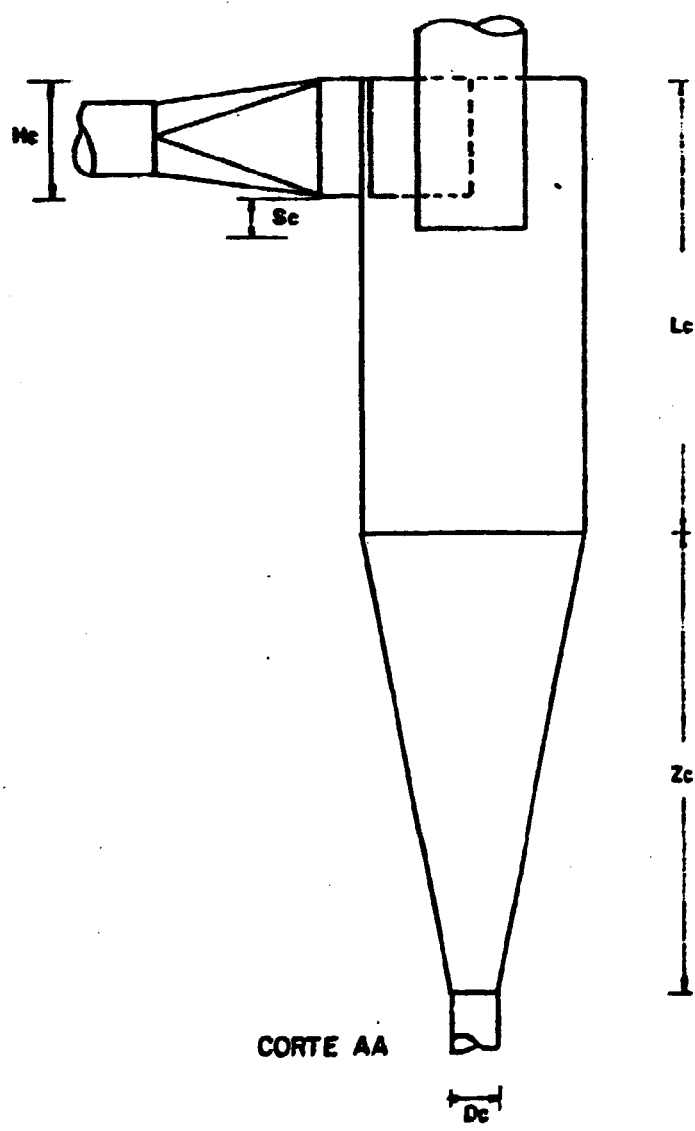
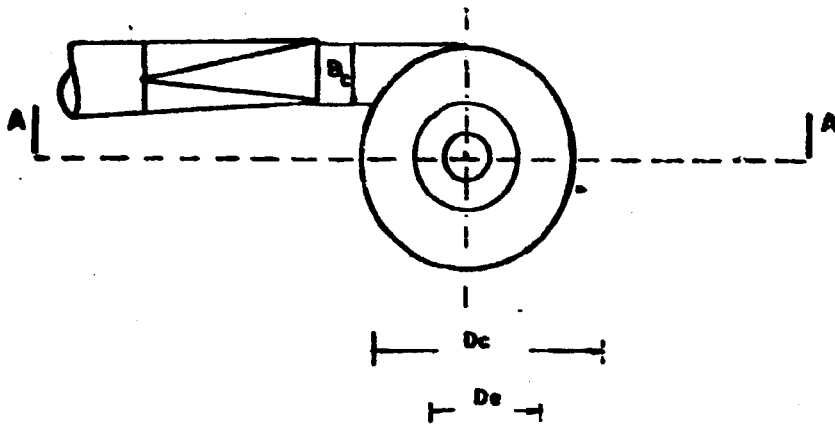
5 x 1 (mm),  $S = 444.5 \text{ cm}^2/\Omega$ ,  $R_{20} = 0.27 \Omega/\text{m}$ ,  $L = 17.4 \text{ m}$

Para diminuir a perda de calor o leito deverá ser envolvido por uma camada de aproximadamente 20 cm de material refratário (tijolos).

### II-3- SISTEMA DE TRATAMENTO DOS GASES

Ao saírem do combustor os gases estão numa temperatura de aproximadamente 800°C e portanto deverão ser resfriados antes de passarem pelo ciclone (figura 2.7)

O resfriamento dos gases será feito por meio de um trocador de calor contra-corrente descrito a seguir



- $D_c = 10 \text{ cm}$
- $B_c = \frac{D_c}{4}$
- $D_e = \frac{D_c}{2}$
- $H_c = \frac{D_c}{2}$
- $S_c = \frac{D_c}{8}$
- $L_c = 2D_c$
- $Z_c = 2D_c$
- $J_c = \frac{D_c}{4}$

ESQUEMA DO CICLONE

FIGURA 2.7

## DIMENSIONAMENTO DO TROCADOR DE CALOR

Um balanço térmico na figura 2.7 mostra o seguinte:

Temperatura de entrada do ciclone = 60° (T4)

Temperatura da saída do combustor = 800°C (T3)

Temperatura da água de refrigeração na entrada do trocador = 20°C (T5)

Temperatura do ar na entrada do pré-aquecedor = 20°C (T1)

Vazão de ar = 5 g/s

$C_{par}(700°) = 0.24 \text{ Kcal/Kg}°\text{C}$

$C_{H_2O}(30°) = 0.998 \text{ Kcal/kg}°\text{C}$

$$(1) \dot{q} = \dot{m}_{ar} C_{par} (T_3 - T_2)$$

$$(2) \dot{m}_{H_2O} C_{H_2O} (T_6 - T_5) = \dot{m}_{ar} C_{par} (T_3 - T_4)$$

$$(3) \dot{m}_{H_2O} C_{H_2O} (T_6 - T_7) = \dot{m}_{ar} C_{par} (T_2 - T_1)$$

Admitindo-se uma potência elétrica de 3717 watts, pode-se obter o valor de  $T_2$  em (1)

$$T_2 = 800 - \frac{3717}{4.186 \times 5 \times 0.24} = 60°$$

Da equação 2 considerando-se uma vazão de água de 14.83 g/s obtém-se a temperatura  $T_6$ .

$$T_6 = 20 + \frac{5 \times 0.24 \times 740}{14.83 \times 0.998} = 80°\text{C}$$

Da equação 3 pode-se obter  $T_7$

$$T_7 = 80 - \frac{0.24 \times 5 \times 40}{14.83 \times 0.998} = 77°\text{C}$$

Cálculo da Velocidade do ar ( $d_i = 10 \text{ cm}$ )

$$\dot{m}_{ar} = \rho_{ar} V_{ar} A$$

$$\rho_{ar} = (600°\text{C}) = 0.391 \text{ Kg/m}^3$$

$$V_{ar} = \frac{5 \times 10^{-3} \times 4}{0.391 \times (0.1)^2} = 1.63 \text{ m/s}$$



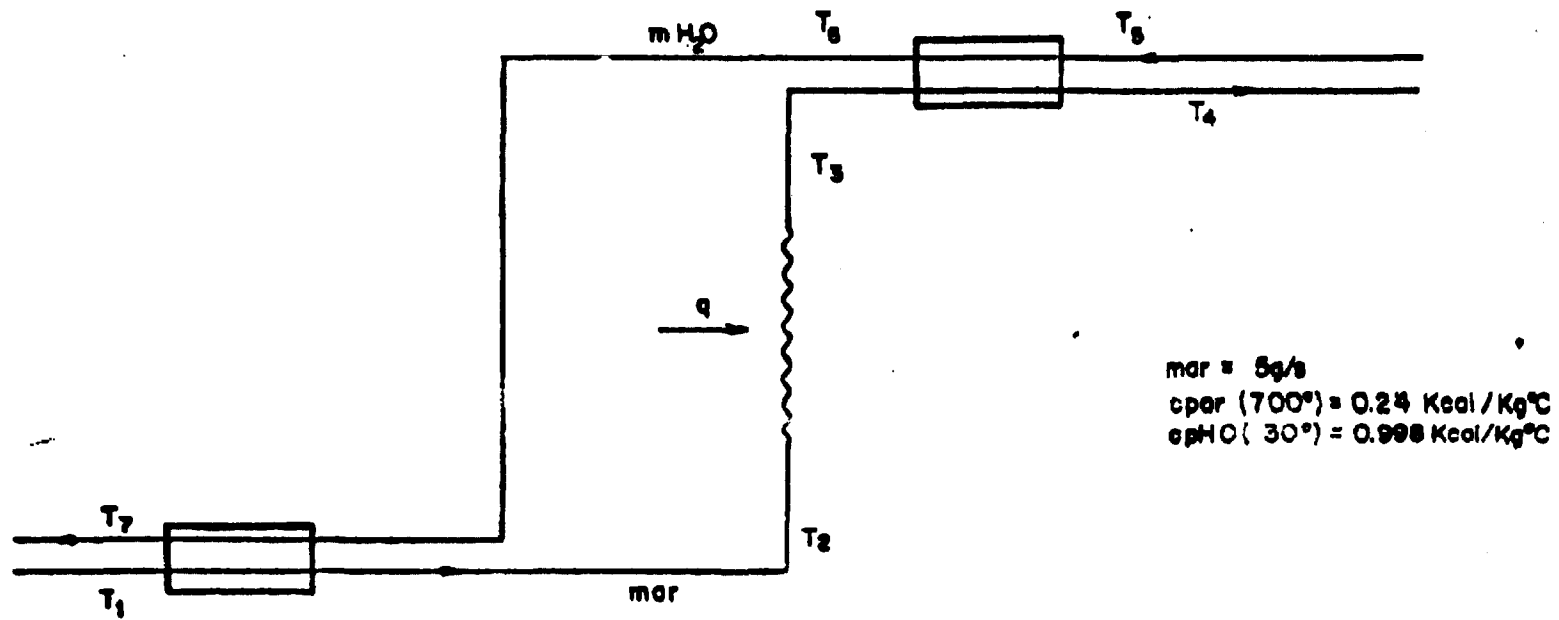


FIGURA 2.6

Cálculo do número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{0.1 \times 1.63}{0.989 \times 10^{-4}} = 1648$$

$$Pr(600^\circ) = 0.7$$

Cálculo do número de Nusselt

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} = 7.47$$

Cálculo do coeficiente de troca de calor

$$h = \frac{KNu}{d}$$

$$Kor(600^\circ) = 0.6129 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h = \frac{0.6129 \times 7.47}{0.1} = 45.79 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Cálculo da temperatura média logarítmica

$$\Delta T = \frac{(\Delta T_a - \Delta T_b)}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}}$$

$$\Delta T_a = 800 - 80 = 720$$

$$\Delta T_b = 60 - 20 = 40$$

$$\Delta T = \frac{720 - 40}{\ln \frac{720}{40}} = 235.26$$

Cálculo da área total de troca e do comprimento do trocador de calor

$$A = \frac{q}{h \Delta T} = \frac{3717}{235.26 \times 45.79} = 0.345 \text{ m}^2$$

$$l = \frac{A}{2\pi r} = \frac{0.345}{2\pi \times 0.05} = 1.1 \text{ m}$$

Para o segundo trocador de calor tem-se:

$$V = 1.63 \text{ m/s}$$

$$Re = 1648$$

$$Pr = 0.7$$

$$Nu = 7.47$$

$$h = 45.79 \text{ W/m}^2\text{K}$$

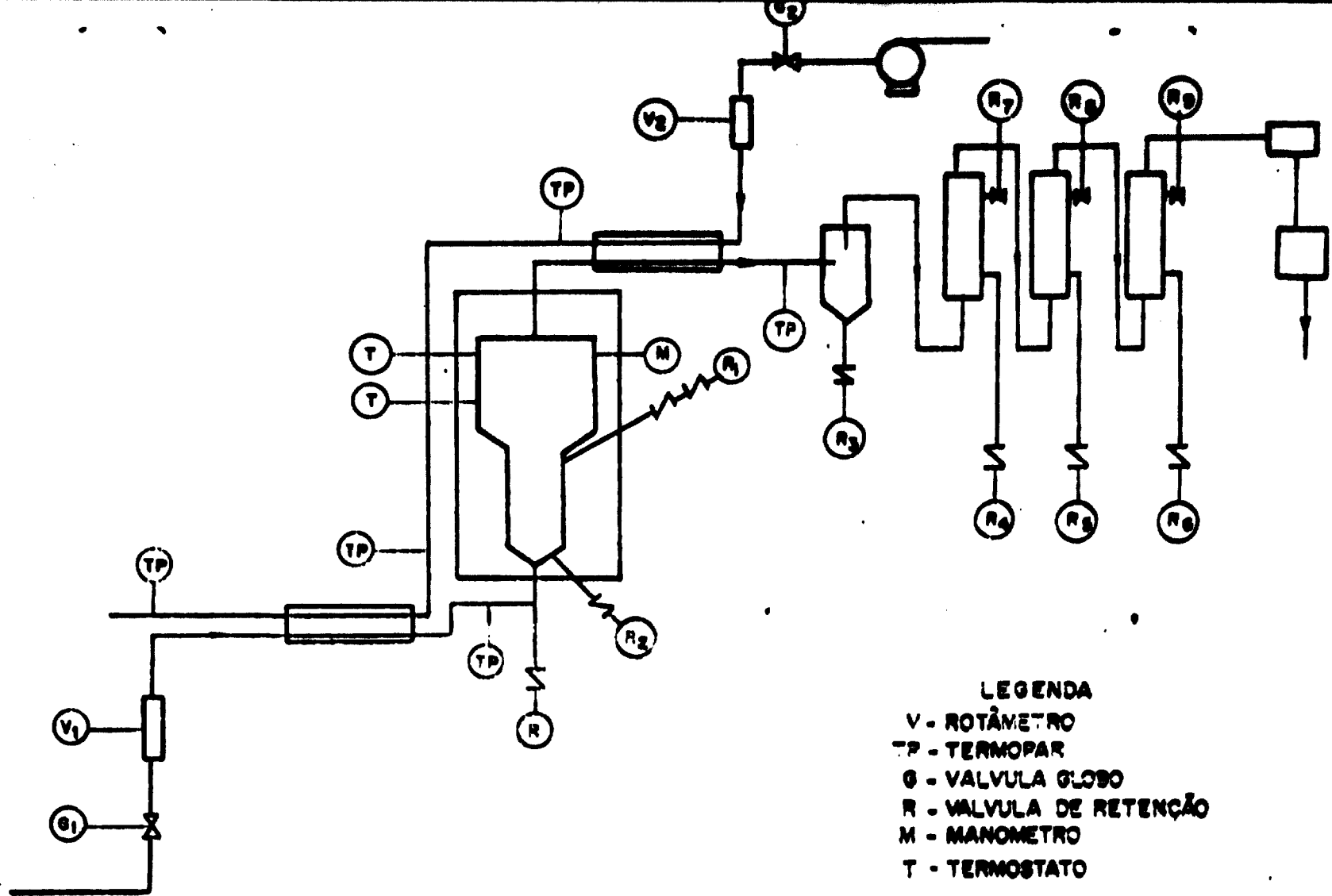
$$\Delta T = \frac{(80-60) - (77-20)}{\ln\left(\frac{20}{57}\right)} = 34.6$$

$$A = \frac{q}{h\Delta T} = \frac{200}{34.6 \times 45.79} = 0.126 \text{ m}^2$$

$$l = \frac{A}{2\pi r} = \frac{0.126}{2 \times \pi \times 0.05} = 0.4 \text{ m}$$

### III- INSTRUMENTAÇÃO (Figura 3.1)

O controle da vazão de ar é feita por meio de um rotâmetro  $V_1$  e uma válvula globo  $G_1$ . A vazão de água utilizada nos dois trocadores é regulada através de uma válvula globo  $G_2$  e de um rotâmetro  $V_2$ . A introdução do material no leito é feita através das válvulas de retenção  $R_1$ . A válvula de retenção  $R_2$  é usada para esvaziar o leito e trocar o meio poroso quando necessário. O controle da pressão interna do combustor deverá ser feito através do manômetro  $M$ . O aquecimento do combustor deverá ser feito mediante o uso de dois termostatos ligados ao VARIAC de modo a garantir a temperatura do leito constante a  $800^{\circ}\text{C}$ . As temperaturas dos trocadores de calor são controladas pelos termopares  $TP$  indicados na figura 3.1. A coleta das cinzas no ciclone é feita utilizando-se a válvula de retenção  $R_3$ . A troca das soluções nas colunas de lavagem é feita através das válvulas de retenção  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  respectivamente. A troca do líquido de lavagem poderá ser feita através das válvulas  $R_7$ ,  $R_8$  e  $R_9$ .



- LEGENDA**  
V - ROTÂMÉTRO  
TP - TERMOPAR  
G - VALVULA GLOBO  
R - VALVULA DE RETENÇÃO  
M - MANOMETRO  
T - TERMOSTATO

**INSTRUMENTAÇÃO**

FIGURA 3.1

#### **IV - MATERIAL NECESSÁRIO PARA A MONTAGEM DA PLANTA**

- 1) tubo de aço inox 316  
diâmetro interno = 20 cm  
comprimento = 80 cm  
espessura = 4mm
- 2) tubo de aço inox 316  
diâmetro interno = 40 cm  
comprimento = 40 cm  
espessura = 4mm
- 3) 2 peças cônicas aço inox 316
  - a) diâmetro maior = 20 cm  
diâmetro menor = 5 cm  
altura = 10 cm
  - b) diâmetro maior = 40 cm  
diâmetro menor = 20 cm  
altura = 10 cm
- 4) chapa de aço para 2 fianças e para parte superior do combustor
- 5) 11 válvulas gaveta e 2 válvulas globo
- 6) 4 placas porosas
- 7) conexões necessárias ao acoplamento pré-aquecedor-combustor e combustor-saída de gases.
- 8) características da resistência  
fita DS 5 x 1mm;  $S = 444.5 \text{ cm}^2/\Omega$ ;  $R_{20} = 0.27\Omega/\text{m}$ ;  $L = 17.4\text{m}$
- 9) Isolante elétrico para resistência

- 10) 1 conector
- 11) 1 variac
- 12) Material refratário (tijolos)
- 13) 2 termostatos
- 14) 1 manômetro
- 15) 5 termopares
- 16) 2 rotâmetros
- 17) uma bomba centrífuga de 1/8cv
- 18) 1 filtro Hepa
- 19) Material para o ciclone, os trocadores de calor e as celu  
nas de lavagem.
- 20) Instrumentação para controle de radiação.

## V - LIMITES DE INCINERAÇÃO

A fato de se queimar materiais radioativos não implica na eliminação da radioatividade e sim reduzir o volume do rejeito sólido em forma de cinzas.

De acôrdo com as propriedades químicas do isótopo envolvido, a radioatividade pode ser transferida para as cinzas que irão se depositar em partes da planta, a sua maioria no ciclone, e parte de sua radioatividade será transferida para os gases provenientes da queima do rejeito e que necessita portanto de um tratamento adequado, no caso lavadores, para evitar assim a contaminação de áreas e pessoas perto do incinerador.

Incineradoras de pesquisa tem mostrado ser bastante útil no tratamento de rejeitos sólidos de baixo nível particularmente em lixos putrescíveis, como carcaças de animais anplamente utilizados em Institutos de pesquisa.

Como em pequenas plantas não existe sistemas perfeitos para a limpeza do ar, é fundamental manter a atividade do rejeito a ser queimada a níveis de segurança que não ocasionem a exposição da população que não ultrapassem a MPC ar. (concentração máxima permitida no ar).

Existem duas limitações para cálculo da atividade máxima permitida segundo Safety Series Nº 19. Uma limitação referente a concentração nos gases provenientes da queima e outra referente a concentração nas cinzas.

Assumindo uma distribuição uniforme dos radionuclídeos no rejeito tem-se:



$t$  = tempo de queima em minutos por dia da planta.

$A$  = taxa de descarga do gás em  $\text{cm}^3/\text{min}$

$Y$  = atividade total a ser queimada por dia em  $\mu\text{Ci}/\text{dia}$

Logo a concentração média dos gases produzidos assumindo uma liberação completa é:

$$C = \frac{Y}{tA} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$$

Assumindo uma diluição de 100 entre o início da chaminé e o seu funil (hipótese conservativa) e usando um fator de segurança de 1/10 para a concentração máxima permitida tem-se:

$$Y = 10 \text{ MPCtA}$$

Por exemplo para um incinerador operando 300 min/d, para uma descarga de gás de cerca de  $2 \times 10^7 \text{ cm}^3/\text{min}$ , desejando-se saber o limite de atividade para queima do Iodo 131 (MPCar =  $3 \times 10^{-9} / \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ) ocupacional tem-se:

$$Y (\text{I } 131) = 10 \times 3 \times 10^{-9} \times 300 \times 2 \times 10^7 \text{ Ci} = 180 \mu\text{Ci}$$

A completa liberação dos gases necessita ser considerada apenas para os isótopos em compostos voláteis como,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{74}\text{As}$ ,  $^{82}\text{Br}$ ,  $^{131}\text{I}$  e  $^{203}\text{Hg}$ .

Para isótopos não voláteis assume-se que apenas 10% da atividade é liberada nos gases o que permite uma queima dez vezes maior.

A limitação da atividade nas cinzas é calculada da seguinte maneira:

Supondo um resíduo de cinzas igual a 10% em peso do lixo queimado e sendo  $C$  igual a máxima concentração de pó que pode ser suspensa no ar ( $3.7 \times 10^{-7} \text{ g}/\text{cm}^3$ ),  $W$  como sendo o peso em gramas do lixo a ser queimado e  $y$  sendo a atividade do material

radioativo introduzida no combustor em W gramas de lixo, tem-se:

$$\frac{Y}{0.1 W} = \text{atividade específica da cinza}$$

Utilizando novamente um fator ocupacional de 1/10 tem-se:

$$\frac{Y}{0.1 W} = \frac{0.1 \text{ MPCar}}{C}$$

$$y = \frac{W \cdot \text{MPCar}}{3 \times 10^{-5}}$$

Por exemplo se 100 kg de lixo é queimado no incinerador antes de se remover as cinzas, a quantidade de  $^{32}\text{P}$  ( $\text{MPCar} = 2 \times 10^{-8} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ) que pode estar contida nas cinzas antes de se requerer um cuidado na remoção é:

$$Y (^{32}\text{P}) = \frac{10^5 \times 2 \times 10^{-8}}{3 \times 10^{-5}} = 67 \mu\text{Ci}$$

No caso de isótopos voláteis como foi visto anteriormente apenas 10% de atividade permanece nas cinzas logo tem-se:

$$Y = \frac{W \cdot \text{MPCa}}{3 \times 10^{-6}}$$

Quando a atividade ultrapassar os limites recomendados cuidados devem ser usados para remoção das cinzas pelos operadores como respiradores etc ...

No nosso caso específico a vazão de ar é muito pequena pois deve ser a vazão de fluidização que é igual a aproximadamente  $4000 \text{ cm}^3/\text{s}$  teríamos que a máxima atividade de todo  $^{131}\text{I}$  a ser queimada por dia operando a planta por 2 horas o seguinte:

$$Y = 10 \times 3 \times 10^{-9} \times 120 \times 4000 \times 60 = 8.64 \times 10^{-1} \mu\text{Ci}$$

De modo a poder queimar uma quantidade maior de Iodo 131 po  
demos fazer com que os gases ao passarem o filtro hepa se  
misture com uma outra quantidade de ar proveniente diretamen  
te da linha do compressor.

## VI - CONCLUSÃO

Deve ser lembrado aqui que a construção do combustor em escala de laboratório não é uma solução definitiva para o problema de rejeito de baixo nível, e sim um passo fundamental para o estudo e pesquisa de soluções para o problema em questão.

A princípio o projeto foi feito para queimar rejeitos orgânicos radioativos de baixo nível provenientes de laboratórios e institutos como por exemplo cobaias (ratos) contaminados por iodo, o que não significa que outros materiais não possam ser queimados, bastando para isso acoplar lavadores adequados a filtragem e limpeza dos efluentes gasosos.

O comprimento das tubulações não foram indicados por motivos óbvios, já que irá depender do local a ser instalado a planta.

A parte de sustentação da planta será construído durante a montagem e também não foi indicado.

Os comprimentos dos lavadores e concentrações adequadas também não foram dimensionados pois vai depender da maior atividade do lixo orgânico que se deseja queimar nessa planta.

Falta ainda instrumentar adequadamente a planta para controle de dose e concentração dos gases na saída para atmosfera.

Espera-se com os dados fornecidos nesse trabalho poucas dificuldades apareçam durante a sua execução.

Os parâmetros reais de operação da planta, tais como vazão de ar, de água e potência necessária para manter o combustor a 800°C etc..., serão obtidos experimentalmente da planta através das instrumentações instaladas.

Alguns testes preliminares serão feitos antes de se usar o material contaminado, de modo a garantir a segurança e perfeita performance do sistema.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Projeto e construção de um combustor fluidizado piloto  
(Roberto de Souza, Raad Yahya Qassin e José Carlos Cunha  
Neiva) - Programa de Engenharia Nuclear - COPPE-UFRJ-Agosto  
1981.
- 2) Transmissão de calor - Frank Kreith - Editora Edgard Blücher  
Ltda.
- 3) Incineration of Ion-Exchange Resins in a fluidized Bed.  
(Matti Valkiainen and Mikko Pykryri) - Nuclear Technology  
Vol. 58 - Aug. 1982
- 4) Doe Radioactive Waste Incineration Technology (L.C. Bordiun  
and A.L. Taboas) - Nuclear Safety - Vol.22 nº 1, January-  
February 1981.
- 5) Apuntes sobre a Incineracion de Resíduos Radiactivos (Lorenzo  
Martin Martin) Energia Nuclear Espana 28 (148) Marzo-Abril  
1984.
- 6) Safety Series Nº 19 - The Management of Radioactive Wastes  
Produced by Radioisotope Users - Technical Addendum -  
International Atomic Energy Agency - VIENNA, 1966.

APÉNDICE I

Tabela A 1 (a) Condutibilidade térmica, calor específico, densidade e difusividade térmica de metais e ligas (sistema métrico)

Material	Densidade kg/m <sup>3</sup>	Calor específico kcal/kg °C	Difusividade térmica m <sup>2</sup> /h	Condutibilidade térmica kcal/m h °C	Preparados a 20 °C (a menos que seja especificado)												
					-100 °C	0 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	800 °C	1000 °C	1200 °C		
Alumínio	2710	0,214	0,741	175,5	184,5	174	177	184,5	196,5	214							
Chumbo	11370	0,031	0,058	29,2	31,7	30,2	28,7	27,1	25,6								
Cobre	8960	0,0715	0,404	332,0	350	332	326	323	317	313	303						
Estatu	7310	0,1041	0,140	55	64	56,7	50,6	49,1									
Ferro	7870	0,108	0,0729	62,5	74,4	62,5	58,0	53,6	47,4	41,7	36,7	31,2	29,8	31,2			
Magnésio	1746	0,242	0,2490	147,5	153	147,5	144,5	140	135,5								
Molibdênio	8910	0,060	0,1925	106	119	107	103	98,2	95,2	93,8	90,9	87,8	84,8	81,8			
Níquel	19290	0,1065	0,0921	77,4	89,3	81,4	71,4	62,5	55								
Chão	10520	0,0559	0,448	267													
Prata	10520	0,0559	0,6100	360	360	358	337	334									
Tungstênio	19350	0,0321	0,2260	14,0		14,3	139,5	122,0	114,6	108,6	96,8	65,4					
Urânio	18750	0,078	0,048	25													
Zinco	7140	0,0918	0,148	96,4	98,2	96,7	98,7	98,7	96,3	90,3							
Zigra																	
Bronze, 10% Cu, 90% Sn	8670	0,082	0,0309	72,4													
Constantan 60% Cu, 40% Ni	8920	0,098	0,0270	19,5	17,9												
Latão 70% Cu, 30% Zn	8530	0,092	0,120	95,2	75,8												
Aço-carbono 0,3% C	7800	0,113	0,0429	96,1		47,6	64,6	61,6	38,7	35,7	39,7	26,8	23,2	26,8			
" " 1,0% C	7800	0,113	0,0429	37,2		37,2	37,2	35,2	34,2	31,2	28,3	25,3	23,8	23,8			
" " 1,5% C	7800	0,116	0,0149	31,2		31,2	31,2	31,3	29,7	28,3	26,8	25,6	23,8	23,8			
Aço inoxidável	7820	0,11	0,0160	14,0		16,0	16,9	16,9	16,4	16,4	15,3	14,3	13,3	13,3			



Tabela A.2 Propriedades físicas de alguns não-metais

Material	Temperatura média (°F)	$k$ (Btu/h ft °F)	$c$ (Btu/lb °F)	$\rho$ (lb/ft <sup>3</sup> )	$\alpha$ (ft <sup>2</sup> /s)
<b>Materiais isolantes</b>					
Asbesto	32	0.087	0.23	36	~0.01
	392	0.12	-	36	~0.01
Carvão	86	0.025	0.04	10	~0.006
Algodão, secado	200	0.046	-	-	-
Terra diatomácea, pulverizada	100	0.030	0.21	10	~0.01
	300	0.036	-	-	-
	600	0.046	-	-	-
Revestimento moldado para tubos	400	0.051	-	26	-
	1600	0.058	-	-	-
Lã de vidro					
Fina	20	0.022	-	-	-
	100	0.031	-	1.5	-
	200	0.043	-	-	-
Prensada	20	0.016	-	-	-
	100	0.022	-	6.0	-
	200	0.029	-	-	-
Filtro de cana	100	0.027	-	8.2	-
Tijolo isolante de caulim	932	0.15	-	27	-
	2102	0.26	-	-	-
Tijolo refratário de caulim	392	0.05	-	19	-
	1400	0.11	-	-	-
Magnésia 85%	82	0.032	-	17	-
	200	0.037	-	17	-
Lã de rocha	20	0.017	-	8	-
	200	0.030	-	-	-
Borracha	32	0.087	0.48	75	0.0024
<b>Materiais de construção</b>					
Tijolo					
Argila refratária	392	0.58	0.20	144	0.02
	1832	0.95	-	-	-
Alvenaria	70	0.38	0.20	106	0.018
Óxido de zircônio	392	0.84	-	304	-
	1832	1.13	-	-	-
Tijolo à base de cromo	392	0.87	-	246	-
Concreto	1832	0.96	-	-	-
Pedra	~70	0.54	0.20	144	0.019
10% de umidade	~70	0.70	-	140	~0.025
Vidro de janela	~70	~0.45	0.2	170	0.013
Calçário seco	70	0.40	0.22	105	0.017
Areia					
Seca	68	0.20	-	95	-
10% de H <sub>2</sub> O	68	0.60	-	100	-
Terra					
Seca	70	~0.20	0.44	-	~0.01
Úmida	70	~1.5	-	-	~0.03
Madeira					
Carvalho 1 à fibra	70	0.12	0.37	51	0.0041
1 à fibra	70	0.20	0.37	51	0.0049
Pinho 1 à fibra	70	0.06	0.67	31	0.0029
1 à fibra	70	0.14	0.67	31	0.0067
Ceto	32	1.28	0.46	57	0.048

Tabela A.3(a) Propriedades físicas dos gases (sistema métrico) (pressão dos gases, 1 kgf/cm<sup>2</sup>)

Material	Temp. (°C)	Dens. ρ (kg/m <sup>3</sup> )	Cal. esp. c <sub>p</sub> (kcal/kg °C)	Viscos. dinâm. μ (kgf·m/s <sup>2</sup> )	Viscos. cinem. ν (m <sup>2</sup> /s)	Conduc. term. λ (kcal/mh °C)	Difus. term. D (m <sup>2</sup> /h)	N. de Prandtl, Pr
Ar	-100	1,984	0,241	1,21	0,260	0,0133	0,0781	0,77
	-50	1,933	0,240	1,47	0,508	0,0172	0,0958	0,73
	-20	1,948	0,240	1,55	0,120	0,0199	0,0997	0,73
	0	1,251	0,240	1,75	0,138	0,0207	0,0899	0,72
	20	1,166	0,240	1,86	0,156	0,0221	0,0799	0,71
	40	1,091	0,241	1,95	0,175	0,0236	0,0992	0,71
	60	1,026	0,241	2,05	0,196	0,0247	0,100	0,71
	80	0,968	0,241	2,14	0,217	0,0250	0,111	0,70
	100	0,916	0,242	2,23	0,239	0,0272	0,123	0,70
	120	0,869	0,242	2,32	0,261	0,0286	0,135	0,70
	140	0,827	0,243	2,40	0,285	0,0297	0,148	0,69
	160	0,789	0,243	2,48	0,308	0,0309	0,161	0,69
	180	0,754	0,244	2,56	0,333	0,0320	0,174	0,69
	200	0,722	0,245	2,64	0,358	0,0332	0,188	0,69
	250	0,652	0,247	2,83	0,426	0,0359	0,233	0,69
	300	0,596	0,250	3,01	0,495	0,0386	0,299	0,69
	350	0,548	0,253	3,18	0,569	0,0412	0,398	0,69
400	0,508	0,255	3,34	0,648	0,0437	0,537	0,69	
500	0,442	0,261	3,65	0,810	0,0493	0,419	0,70	
600	0,391	0,267	3,94	0,999	0,0537	0,506	0,70	
800	0,319	0,276	4,47	1,37	0,0610	0,697	0,71	
1000	0,265	0,285	4,94	1,83	0,0690	0,913	0,72	
1200	0,232	0,293	5,38	2,28	0,0766	1,13	0,73	
1400	0,204	0,302	5,79	2,78	0,0834	1,35	0,74	
1600	0,183	0,312	6,17	3,31	0,090	1,58	0,75	
Vapor d'água	100	0,378	0,501	1,29	0,217	0,0227	0,0713	1,69
	120	0,347	0,486	1,36	0,246	0,0219	0,0814	1,60
	140	0,319	0,478	1,43	0,272	0,0222	0,0935	1,04
	160	0,294	0,474	1,50	0,298	0,0246	0,105	1,02
	180	0,272	0,472	1,58	0,329	0,0259	0,116	1,02
	200	0,251	0,472	1,66	0,361	0,0273	0,128	1,01
	220	0,233	0,473	1,73	0,392	0,0287	0,140	1,01
	240	0,216	0,475	1,81	0,425	0,0301	0,152	1,01
260	0,200	0,476	1,89	0,457	0,0315	0,165	1,01	
300	0,172	0,481	2,04	0,537	0,0343	0,192	1,01	

Tabela A.3(b) Propriedades físicas dos líquidos (sistema métrico) (pressão: 1.0 kgf/cm<sup>2</sup>)

Substância	Temp. (°C)	Dens. $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cal. esp. $c_p$ kcal/kg °C	Viscos. dinâm. $\mu$ (kgf/m <sup>2</sup> )	Viscos. cinem. $\nu$ (cm <sup>2</sup> /s)	Condut. term. $k$ kcal/m h °C	Difus. term. $D$ (cm <sup>2</sup> /s)	Nº de Prandtl $Pr$	Coef. exp. vol. $\beta$ (1/°C)	Tens. sup. $\sigma$ (dyne/cm)
Água	0	999.9	1.000	$2.10^{-4}$	$2.10^{-6}$	0.076	$2.10^{-9}$	13.6	-0.05	$7.72 \times 10^{-5}$
	10	999.7	1.002	1.829	1.79	0.080	4.33	9.37	-0.09	7.72
	20	998.2	0.999	1.029	1.01	0.011	1.13	7.11	0.20	7.30
	30	995.7	0.998	0.816	0.801	0.026	3.29	3.55	0.29	7.24
	40	992.3	0.998	0.676	0.668	0.040	5.43	4.41	0.8	7.08
	50	988.1	0.999	0.569	0.564	0.052	7.39	3.63	2.45	6.90
	60	983.2	1.000	0.482	0.480	0.062	9.12	3.02	3.54	6.74
	70	977.8	1.001	0.416	0.417	0.071	1.18	2.69	0.90	6.58
	80	971.8	1.003	0.365	0.363	0.078	3.93	2.23	0.65	6.37
	90	965.3	1.005	0.323	0.320	0.083	6.04	1.97	3.72	6.19
	100	958.4	1.007	0.290	0.297	0.086	8.08	1.76	3.70	6.00
	120	943.1	1.014	0.238	0.247	0.089	6.16	1.44	3.91	
	140	928.1	1.023	0.203	0.213	0.090	4.21	1.25	1.63	
	160	907.3	1.037	0.178	0.192	0.089	2.71	1.11	1.20	
	180	886.9	1.056	0.159	0.173	0.088	1.62	1.01	1.37	
	200	864.7	1.075	0.142	0.161	0.086	0.81	0.93	1.59	
	220	840.3	1.102	0.129	0.150	0.084	0.38	0.90	1.80	
	240	814	1.136	0.118	0.142	0.082	0.18	0.88		
	260	784	1.183	0.108	0.133	0.081	0.07	0.87		
280	751	1.250	0.101	0.130	0.080	0.03	0.86			
300	712	1.36	0.094	0.13	0.082	0.01	0.85			
320	667	1.54	0.089	0.13	0.083	0.00	1.12			
Água quente	5	1103.6		2.077						
	10	1106.0	1.009	1.717						
	15	1105.9	1.008	1.479						
	20	1103.4	1.006	1.283						
	25	1100.3	1.015	1.124						
	30	1102.3	1.025	0.991						
	35	1101.8	1.034	0.880						
40	1100.0									
Amônia	-50	704	1.046	0.312	0.434	0.471	6.27	2.60		4.2
	-30	679	1.069	0.288	0.387	0.472	6.48	2.15		
	0	640	1.107	0.263	0.379	0.463	5.35	2.05		
	20	612	1.146	0.234	0.359	0.444	6.39	2.02	2.09	
	40	581	1.194	0.201	0.340	0.423	6.12	2.00		
Fluor 12 (CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )	-50	1547	0.209	0.489	0.310	0.2581	1.80	6.20		
	-30	1490	0.214	0.394	0.233	0.2596	1.90	4.79		
	0	1397	0.223	0.304	0.214	0.2626	2.01	3.83		
	20	1330	0.231	0.270	0.199	0.2676	2.02	3.53		
	40	1257	0.239	0.254	0.191	0.2736	2.00	3.44		
Óleo lubrificante	20	871	0.442	13.31	15.0	0.124	3.22	16.8	0.74	3.17
	40	839	0.442	6.94	7.93	0.123	3.10	92.0	2.19	
	60	845	0.482	4.26	4.93	0.122	3.00	39.4	0.79	
	80	832	0.502	2.89	3.40	0.121	2.90	42.1	3.76	
	100	820	0.522	2.04	2.44	0.120	2.80	31.4	3.77	
	120	807	0.542	1.57	1.91	0.119	2.70	28.3	3.78	
Glicerina	0	1276	0.540	10800	8310	0.243	3.34	84700		
	20	1264	0.570	1520	1180	0.243	3.40	12300	2.388	6.37
	40	1252	0.600	285	223	0.244	3.29	2450		
Alcool etílico (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	20	790	0.577	1.22	1.51	0.157	3.44	15.8	1.12	2.10
Alcool metílico (CH <sub>3</sub> OH)	20	790	0.59	0.586	0.727	0.182	3.90	6.71	1.20	

APÉNDICE II

Tabela 2.1

**TABELA 1 — CARGAS DE SUPERFÍCIE ADHESIVAS**  
 expressas em Kg/cm<sup>2</sup> de superfície incidente do material de resistência em função da temperatura de aplicação

Linha	Tipo	Temperatura de teste °C							
		20	50	100	150	200	250	300	350
KANTHAL A-1	Fe	—	—	—	—	4,0	3,0	2,0	1,5
(max. 1000°C)	Fe	—	—	—	—	—	—	—	—
KANTHAL A	Fe	—	—	—	2,9	2,3	1,5	1,2	—
(max. 1000°C)	Fe + In	—	—	—	—	—	—	—	—
KANTHAL C-1	Fe	—	—	—	—	—	—	—	—
(max. 1000°C)	Fe + In	1,9	1,3	1,0	0,4	0,5	—	—	—
	Fe	—	—	—	—	—	—	—	—

**TAB. 2 — EXEMPLOS PARA ISOLAR A CARGA DE SUPERFÍCIE ADHESIVA**  
 em condições críticas de ensaio para material resistente KANTHAL C-1

1) Fatores de segurança	3,5 vezes
2) Fatores de segurança	
a) resistência sobre placa de metal de resistência	4,6 "
b) resistência aplicada em condição refratária, ciclo normal	6,0 "
c) sem proteção para o	7,5 "
3) Resistência máxima	— "
4) Resistências subjacentes de metais	
a) para fe de resistência	200 "
b) para superfície exterior de fe	5,5 "
5) Cargas	
aplicadas em condição crítica sem placa refratária	2100 "

**TAB. 3 — FATOR DE TEMPERATURA C, PARA MATERIAL KANTHAL**

Temperatura de teste em °C		20	100	200	300	400	500	600	700
C <sub>1</sub>	A-1	1,0	1,002	1,005	1,007	1,010	1,014	1,019	1,024
	A	1,0	1,002	1,005	1,008	1,012	1,018	1,023	1,028
	B-05	1,0	1,002	1,005	1,008	1,012	1,018	1,023	1,028
Temperatura de teste em °F		68	392	392	572	752	932	1112	1292
C <sub>1</sub>	A-1	1,038	1,055	1,062	1,069	1,076	1,083	1,090	—
	A	1,033	1,045	1,048	1,050	1,055	1,060	—	—
	B-05	1,030	1,040	1,045	1,050	1,055	—	—	—

Tabela 2.2

TABELA 3 — DADOS TÉCNICOS DAS FITAS MANTIPAL 22 e A-7

Dimensão DE	Fitas „B-1” em 1150°C			Fitas „A-1” em 1150°C		
	$\frac{F_2}{F_1}$ (2570) %	F110 V%	$\frac{S}{10^{10} \text{ cm}^2}$ %	$\frac{F_2}{F_1}$ (2570) %	F110 V%	$\frac{S}{10^{10} \text{ cm}^2}$ %
25 x 2,0	0,07760	322,5	20000	0,07990	315,0	18521
20 x 2,0	0,08175	275,0	13237	0,08305	274,0	12122
	0,08590	217,5	9555	0,08831	213,0	8576
15 x 2,0	0,09507	217,5	7554	0,09231	212,0	7334
	0,09600	165,1	5509	0,09544	161,0	5121
	0,09855	102,8	3556	0,09667	109,5	3319
10 x 1,5	0,0700	102,8	2016	0,07167	104,5	2379
	0,1350	72,5	1630	0,1450	71,0	1517
8 x 1,5	0,1125	82,0	1639	0,1208	85,0	1272
	0,1635	55,0	1067	0,1713	55,0	973,1
	0,3175	28,0	503,7	0,3525	28,40	459,0
5 x 1,0	0,2700	34,25	494,5	0,2900	35,50	417,9
	0,5400	18,13	253,7	0,5600	17,75	172,7
	0,8700	10,85	117,8	0,9000	10,65	100,7

TAB. 6 — DADOS TÉCNICOS DAS FITAS FIBRAS KANDHAL DE

DIMENSÃO	Fitas fibra „D-1” em 1150°C		
	$\frac{F_2}{F_1}$ (2570) %	F110 V%	$\frac{S}{10^{10} \text{ cm}^2}$ %
1/8" x .0015"	4,10	2,2013	21,50
	4,47	2,1510	19,10
1/16" x .005"	7,2750	1,3447	4,7100
	9,0954	1,0700	3,7100
1/32" x .004"	13,1858	0,8279	0,6312
1/64" x .002"	36,3516	0,2637	0,2705
3,0 x 0,1 mm	4,592	2,175	12,70
2,5 x 0,15	3,913	2,321	12,25
	5,370	1,670	8,84
2,25 x 0,125	5,217	1,876	9,190
	4,671	2,201	8,797
2,0 x 0,15	5,670	1,673	7,240
	7,337	1,334	5,710
	7,337	1,214	4,752
1,6 x 0,125	9,171	1,257	3,737
	10,18	0,700	3,120
	7,876	1,201	4,127
1,5 x 0,125	9,783	1,001	3,271
	10,87	0,6705	2,910
	14,67	0,6070	1,200
0,8 x 0,1	18,34	0,5310	0,6316
	20,30	0,4000	0,8717
	27,93	0,4041	0,7674
	18,77	0,2015	0,4241
0,7 x 0,125	20,94	0,4067	0,7433
	27,35	0,3335	0,4207
0,6 x 0,1	27,35	0,3335	0,4207
0,4 x 0,07	40,76	0,2401	0,2379

Tabela 2.3

TAB. 6 - DADOS TÉCNICOS DOS FIOS  
NANTREL A-1

G	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
mm	mm	mm	mm
6,50	0,04270	22,15	4650
6,00	0,05133	2228	2476
5,50	0,06101	1837	2322
5,00	0,07135	129,4	2127
4,75	0,08144	1225	1824
4,50	0,09119	1129	1651
4,25	0,1022	1007	1426
4,00	0,1124	8122	1222
3,75	0,1233	75,25	1022
3,50	0,1397	62,21	9227
3,25	0,1745	52,29	8221
3,00	0,2041	42,22	7225
2,75	0,2355	42,22	6225
2,50	0,2721	37,20	5222
2,25	0,2954	34,25	4220
2,00	0,3295	32,22	3222
1,75	0,3490	29,20	2221
1,50	0,3514	25,28	1812
1,25	0,4,21	24,27	1525
1,00	0,4514	22,21	1221
0,80	0,5114	22,21	1221
0,60	0,5523	18,27	9224
0,40	0,5523	14,25	7222
0,20	0,7222	14,25	6222
1,00	0,8225	12,24	5225
1,20	0,9119	12,22	4225
1,30	1,022	9,224	3222
1,40	1,122	8,225	2222
1,50	1,222	7,225	22,21
1,60	1,322	6,225	22,22
1,70	1,395	5,225	22,22
1,80	1,506	4,727	22,22
1,90	1,675	4,151	16,71
2,00	1,845	3,576	17,22

TABELA 7 - VALORES DE AMPERES

Volts	220	210	200	150	110	100
100	0,45	0,45	0,50	0,50	0,70	1,00
200	0,91	0,90	1,00	1,00	1,40	2,00
300	1,36	1,40	1,50	1,50	2,10	3,00
400	1,82	1,90	2,00	2,00	2,80	4,00
500	2,27	2,35	2,50	2,50	3,50	5,00
600	2,73	2,80	3,00	3,00	4,20	6,00
700	3,18	3,25	3,50	3,50	4,90	7,00
800	3,64	3,70	4,00	4,00	5,60	8,00
900	4,09	4,15	4,50	4,50	6,30	9,00
1000	4,55	4,60	5,00	5,00	7,00	10,00
1100	5,00	5,05	5,50	5,50	7,70	11,00
1200	5,46	5,50	6,00	6,00	8,40	12,00
1300	5,91	5,95	6,50	6,50	9,10	13,00
1400	6,37	6,40	7,00	7,00	9,80	14,00
1500	6,82	6,85	7,50	7,50	10,50	15,00
1600	7,28	7,30	8,00	8,00	11,20	16,00
1700	7,73	7,75	8,50	8,50	11,90	17,00
1800	8,18	8,20	9,00	9,00	12,60	18,00
1900	8,64	8,65	9,50	9,50	13,30	19,00
2000	9,09	9,10	10,00	10,00	14,00	20,00
2200	10,00	10,00	11,00	11,00	15,40	22,00
2400	11,00	11,00	12,00	12,00	16,80	24,00
2600	12,00	12,00	13,00	13,00	18,20	26,00
2800	13,00	13,00	14,00	14,00	19,60	28,00
3000	14,00	14,00	15,00	15,00	21,00	30,00

Tabela 2.4

TABELA 4 - DADOS TÉCNICOS DOS FIOS MANIFRAV "DST" e "TST"

Número do Fio	C	Fios "DST" em 2150°C			Fios "TST" em 2150°C		
		Força em Kg	Força em lb	Alongamento em %	Força em Kg	Força em lb	Alongamento em %
2	6,54	0,0401	242,03	5,110	0,0413	240,17	4,952
3	5,93	0,0355	192,5	3,619	0,0370	190,8	3,515
4	5,19	0,0308	153,3	2,923	0,0327	151,2	2,879
5	4,62	0,0265	121,5	1,871	0,0289	119,2	1,749
6	4,12	0,0232	95,6	1,277	0,0242	95,31	1,241
7	3,66	0,1283	76,27	2,65,8	0,1321	75,22	2,672
8	3,26	0,1416	63,54	6,21,2	0,1494	59,73	6,142
9	2,91	0,2230	46,21	4,52,1	0,2263	47,55	4,57,1
10	2,59	0,2581	39,21	3,17,5	0,2657	37,68	3,09,3
11	2,30	0,3253	30,12	2,22,0	0,3349	29,71	2,15,3
12	2,05	0,4093	22,92	1,57,5	0,4212	22,59	1,52,5
13	1,82	0,5122	18,55	1,12,1	0,5346	17,59	1,02,9
14	1,63	0,6439	15,15	7,7,23	0,6652	14,24	7,5,23
15	1,45	0,815	11,970	5,5,43	0,842	11,22	5,4,43
16	1,29	1,033	9,445	3,8,22	1,063	9,25	3,8,22

TABELA 4 - Continuação

17	1,15	1,300	7,321	2,7,22	1,358	7,427	2,7,22
18	1,024	1,652	5,930	1,9,45	1,751	5,855	1,8,22
19	0,912	2,047	5,050	1,3,35	2,129	4,865	1,4,42
20	0,812	2,604	3,923	9,7,84	2,633	3,710	9,5,21
21	0,723	3,292	2,972	6,5,75	3,320	2,926	6,6,76
22	0,644	4,141	2,322	4,8,93	4,054	2,210	4,7,42
23	0,573	5,232	1,812	3,4,42	5,237	1,816	3,2,25
24	0,511	6,545	1,476	2,4,27	6,740	1,457	2,3,42
25	0,455	8,222	1,184	1,7,25	8,527	1,267	1,6,22
26	0,405	10,465	0,926	1,2,15	10,077	0,922	1,1,25
27	0,361	13,24	0,7242	0,8,15	13,61	0,7253	0,8,21
28	0,321	16,60	0,5535	0,6,42	17,12	0,5795	0,5,27
29	0,286	21,56	0,4355	0,4,227	21,65	0,4350	0,4,147
30	0,255	28,42	0,3479	0,3,221	27,20	0,3448	0,3,642
31	0,227	36,23	0,2833	0,2,123	34,32	0,2594	0,2,272
32	0,202	45,19	0,2320	0,1,524	43,44	0,2254	0,1,465

Tabela 2.5



APENDICE III

Diámetro nominal (mm)	Diámetro externo (mm)	Espesor de pared (mm)	Peso teórico (kg/m)	Clase	Serie
100	114,30	3,18	8,69	-	-
	114,30	3,96	10,79	-	-
	114,30	4,78	12,96	-	-
	114,30	5,56	14,88	-	-
	114,30	6,02	16,06	N	10
	114,30	6,35	16,99	-	-
	114,30	7,14	18,85	-	-
	114,30	7,93	20,80	-	-
	114,30	8,56	22,29	R	80
	114,30	11,13	28,34	-	120
	114,30	13,49	33,51	-	160
	114,30	17,12	40,98	DR	-
125	141,30	3,96	13,62	-	-
	141,30	4,78	16,01	-	-
	141,30	5,56	18,59	-	-
	141,30	6,55	21,76	N	40
	141,30	7,14	23,67	-	-
	141,30	7,93	26,07	-	-
	141,30	8,74	28,51	-	-
	141,30	9,52	30,92	R	80
	141,30	12,70	40,24	-	120
	141,30	15,89	49,05	-	160
	141,30	19,05	57,37	DR	-
	150	168,28	4,78	19,18	-
168,28		5,56	22,78	-	-
168,28		6,35	25,31	-	-
168,28		7,14	28,23	N	40
168,28		7,92	31,36	-	-
168,28		8,74	34,32	-	-
168,28		9,52	37,25	-	-
168,28		10,97	42,52	R	80
168,28		14,27	54,20	-	120
168,28		18,26	67,67	-	160
168,28		21,95	79,11	DR	-
200		219,08	4,78	25,15	-
	219,08	5,16	27,19	-	-
	219,08	5,56	29,23	-	-
	219,08	6,35	33,28	-	20
	219,08	7,04	36,76	-	30
	219,08	7,92	41,29	-	-
	219,08	8,18	42,48	N	40
	219,08	8,74	45,24	-	-
	219,08	9,52	49,17	-	-
	219,08	10,31	53,07	-	60
	219,08	11,13	56,94	-	-
	219,08	12,70	64,57	R	80
219,08	15,09	75,79	-	100	
219,08	18,26	90,32	-	120	
219,08	20,62	100,59	-	140	
219,08	22,23	107,78	DR	-	
219,08	25,01	111,18	-	160	
250	273,05	4,78	31,48	-	-
	273,05	5,16	34,05	-	-
	273,05	5,56	36,61	-	-
	273,05	6,35	41,73	-	20
	273,05	7,09	46,43	-	-
	273,05	7,80	50,96	-	30
	273,05	8,74	56,83	-	-
	273,05	9,27	60,34	N	40
	273,05	11,13	71,72	-	-
	273,05	12,70	81,46	R	60
	273,05	15,00	95,84	-	80
	273,05	18,26	114,59	-	100
273,05	21,44	132,85	-	120	
273,05	25,40	154,96	DR	140	
273,05	28,58	172,11	-	160	

Diámetro nominal (mm)	Diámetro externo (mm)	Espesor de pared (mm)	Peso teórico (kg/m)	Clase	Serie
300	323,85	5,16	40,30	-	-
	323,85	5,56	43,57	-	-
	323,85	6,35	49,63	-	20
	323,85	7,14	55,73	-	-
	323,85	7,93	61,78	-	-
	323,85	8,38	65,14	-	30
	323,85	8,74	67,79	-	-
	323,85	9,52	73,76	N	-
300	323,85	10,31	79,71	-	40
	323,85	11,13	85,62	-	-
	323,85	12,70	97,36	R	-
	323,85	14,27	108,97	-	60
	323,85	17,46	133,79	-	80
	323,85	21,44	159,64	-	100
	323,85	25,40	186,75	DR	120
	323,85	28,58	207,87	-	140
323,85	33,32	238,63	-	160	
350	355,60	5,33	46,02	-	-
	355,60	5,56	47,91	-	-
	355,60	6,33	54,63	-	20
	355,60	7,14	61,33	-	-
	355,60	7,93	67,99	-	30
	355,60	8,74	74,62	-	-
	355,60	9,52	81,21	N	40
	355,60	11,13	94,31	-	60
	355,60	11,91	100,84	-	-
	355,60	12,70	107,38	R	-
	355,60	15,09	125,51	-	80
	355,60	18,05	157,34	-	100
355,60	21,33	194,54	-	120	
355,60	27,79	224,36	-	140	
355,60	31,75	253,31	-	160	
355,60	35,71	281,89	-	-	
355,60	40,80	341,04	-	-	
355,60	53,98	421,03	-	-	
355,60	55,59	412,59	-	-	
355,60	63,50	456,49	-	-	
400	406,40	5,36	54,86	-	-
	406,40	6,35	62,58	-	10
	406,40	7,14	70,27	-	-
	406,40	7,93	77,92	-	20
	406,40	8,74	85,54	-	-
	406,40	9,52	93,13	N	30
	406,40	11,13	108,22	-	-
	406,40	11,91	115,59	-	-
	406,40	12,70	123,18	R	40
	406,40	16,66	160,54	-	60
	406,40	21,44	203,25	-	80
	406,40	26,19	243,34	-	100
406,40	30,96	284,32	-	120	
406,40	36,53	332,71	-	140	
406,40	40,49	364,73	-	160	
450	457,20	6,35	70,52	-	10
	457,20	7,93	87,85	-	20
	457,20	9,53	105,05	N	-
	457,20	11,13	122,12	-	30
	457,20	12,70	139,07	R	-
	457,20	14,27	155,90	-	40
	457,20	19,05	203,61	-	60
	457,20	23,83	254,24	-	80
	457,20	29,34	309,54	-	100
	457,20	34,93	361,32	-	120
	457,20	39,67	409,20	-	140
	457,20	45,24	459,17	-	160

APÉNDICE IV

Elemento	Elemento	Elemento	Elemento	Elemento	Elemento	Elemento	Elemento
Isotopo	Isotopo	Isotopo	Isotopo	Isotopo	Isotopo	Isotopo	Isotopo
ARGONIO (18)	ARGONIO (18)	ARGONIO (18)	ARGONIO (18)	ARGONIO (18)	ARGONIO (18)	ARGONIO (18)	ARGONIO (18)
Ar-37	Ar-37	Ar-37	Ar-37	Ar-37	Ar-37	Ar-37	Ar-37
ARSENIO (33)	ARSENIO (33)	ARSENIO (33)	ARSENIO (33)	ARSENIO (33)	ARSENIO (33)	ARSENIO (33)	ARSENIO (33)
As-75	As-75	As-75	As-75	As-75	As-75	As-75	As-75
BARIO (56)	BARIO (56)	BARIO (56)	BARIO (56)	BARIO (56)	BARIO (56)	BARIO (56)	BARIO (56)
Ba-131	Ba-131	Ba-131	Ba-131	Ba-131	Ba-131	Ba-131	Ba-131
BERILIO (4)	BERILIO (4)	BERILIO (4)	BERILIO (4)	BERILIO (4)	BERILIO (4)	BERILIO (4)	BERILIO (4)
Be-7	Be-7	Be-7	Be-7	Be-7	Be-7	Be-7	Be-7
BISMUTO (83)	BISMUTO (83)	BISMUTO (83)	BISMUTO (83)	BISMUTO (83)	BISMUTO (83)	BISMUTO (83)	BISMUTO (83)
Bi-206	Bi-206	Bi-206	Bi-206	Bi-206	Bi-206	Bi-206	Bi-206
BROMO (35)	BROMO (35)	BROMO (35)	BROMO (35)	BROMO (35)	BROMO (35)	BROMO (35)	BROMO (35)
Br-82	Br-82	Br-82	Br-82	Br-82	Br-82	Br-82	Br-82
CAONIO (48)	CAONIO (48)	CAONIO (48)	CAONIO (48)	CAONIO (48)	CAONIO (48)	CAONIO (48)	CAONIO (48)
Ca-109	Ca-109	Ca-109	Ca-109	Ca-109	Ca-109	Ca-109	Ca-109
CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)
Ca-45	Ca-45	Ca-45	Ca-45	Ca-45	Ca-45	Ca-45	Ca-45
CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)	CALCIO (20)
Ca-42	Ca-42	Ca-42	Ca-42	Ca-42	Ca-42	Ca-42	Ca-42
CARBONO (6)	CARBONO (6)	CARBONO (6)	CARBONO (6)	CARBONO (6)	CARBONO (6)	CARBONO (6)	CARBONO (6)
C-14	C-14	C-14	C-14	C-14	C-14	C-14	C-14
CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO
CESIO (55)	CESIO (55)	CESIO (55)	CESIO (55)	CESIO (55)	CESIO (55)	CESIO (55)	CESIO (55)
Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137
CHUMBO (82)	CHUMBO (82)	CHUMBO (82)	CHUMBO (82)	CHUMBO (82)	CHUMBO (82)	CHUMBO (82)	CHUMBO (82)
Pb-205	Pb-205	Pb-205	Pb-205	Pb-205	Pb-205	Pb-205	Pb-205
CLORO (17)	CLORO (17)	CLORO (17)	CLORO (17)	CLORO (17)	CLORO (17)	CLORO (17)	CLORO (17)
Cl-36	Cl-36	Cl-36	Cl-36	Cl-36	Cl-36	Cl-36	Cl-36
COBALT (27)	COBALT (27)	COBALT (27)	COBALT (27)	COBALT (27)	COBALT (27)	COBALT (27)	COBALT (27)
Co-60	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60
COPRE (29)	COPRE (29)	COPRE (29)	COPRE (29)	COPRE (29)	COPRE (29)	COPRE (29)	COPRE (29)
Cu-64	Cu-64	Cu-64	Cu-64	Cu-64	Cu-64	Cu-64	Cu-64
CROMO (24)	CROMO (24)	CROMO (24)	CROMO (24)	CROMO (24)	CROMO (24)	CROMO (24)	CROMO (24)
Cr-51	Cr-51	Cr-51	Cr-51	Cr-51	Cr-51	Cr-51	Cr-51