

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CAMPUS II - CAMPINA GRANDE-PB

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

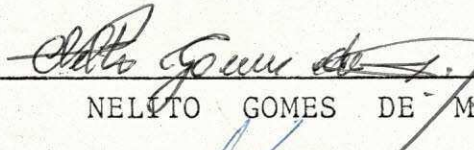
A L U N O: NELITO GOMES DE MATOS

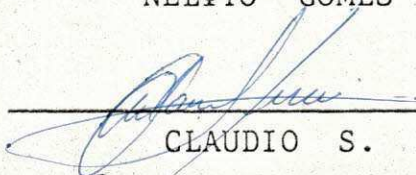
ORIENTADOR: PROFESSOR CLAUDIO S. KIMINAMI

Estagiário: NELITO GOMES DE MATOS

Orientador: Prof. CLAUDIO S. KIMINAMI

Campina Grande,


NELITO GOMES DE MATOS


CLAUDIO S. KIMINAMI



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

1 - INTRODUÇÃO

O presente trabalho, como estágio supervisionado, teve a duração de 360 horas conforme pert de trabalho anexo; durante o qual foi desenvolvido um projeto de um forno cubilô e construção de um forno com aquecimento resistivo (por resistência), tendo como orientador o professor CLAUDIO S. KIMINAMI que acompanhou passo a passo todas as etapas do mesmo, assim desenvolvido:

- I) - Estudo do cubilô
- II) - Levantamento das características do forno já existente no D.N.O.C.S.
- III) - Cálculos e especificações do cubilô
- IV) - Desenho dos componentes
- V) - Conclusão
- VI) - Construção da carcaça do forno resistivo
- VII) - Montagem do forno e do painel de controle
- VIII) - Calibragem caracterização do forno.

- PROJETO DE UM FORNO CUBILÔ PARA 120 Kg.
- CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO RESISTIVO PARA TRATAMENTO TÉRMICO DE MATERIAIS

	DURAÇÃO	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAIO	JUN:
A T I V I D A D E S	(hs)	1979	1979	1979	1980	1980	1980	1980	1980	1980
I. ESTUDO DE CUBILÔ	20	10 10								
II. LEVANTAMENTO DE CARACTERÍSTICA DO FORNO	20		10 10							
III. CÁLCULO E ESPECIFICAÇÕES DO CUBILÔ	120		20	40	40	20				
IV. DESENHO DOS COMPONENTES	80							20	40	20
V. CONCLUSÃO	20									20
VI. CONSTRUÇÃO DA CARÇAÇA	40	20				20				
VII. MONTAGEM DO FORNO E DO PAINEL DE CONTROLE	42						40	2		
VIII. CALIB.E CARACT. DO FORNO	18							18		

2. - PROJETO DO FORNO CUBILÔ

2.1. FORNO CUBILÔ

O forno cubilô é basicamente as partes apresentadas e descritas abaixo. (Figura 1)

- Carcaça - envoltório cilíndrico de eixo vertical, construído de chapas de aço, em secções soldadas ou rebitadas entre si.
- Cadinho - parte inferior do forno, desde a soleira até o plano médio das ventaneiras. É o elemento básico para o dimensionamento do forno cubilô e tem por finalidade servir de reservatório para o ferro fundido e escória.
- Ventaneiras - orifícios para a entrada do ar, construídas de ferro fundido e parafusadas internamente contra a carcaça
- Anel ou caixa de vento - de formato retangular ou circular, que envolve todo o forno e serve para a distribuição do ar nas ventaneiras.
- Cuba - parte do forno compreendido do plano superior das ventaneiras até a porta de carga.
- Porta de carga - serve para dar entrada aos materiais de carga. Suas dimensões dependem do tipo de carregamento: "Skip" ou panela de fundo falso.
- Bica de sangria - calha de aço ou ferro fundido revestido de argamassa, pela qual o banho líquido jorra para o exterior do forno.
- Bica de sangria de escória - destina-se à retirada da

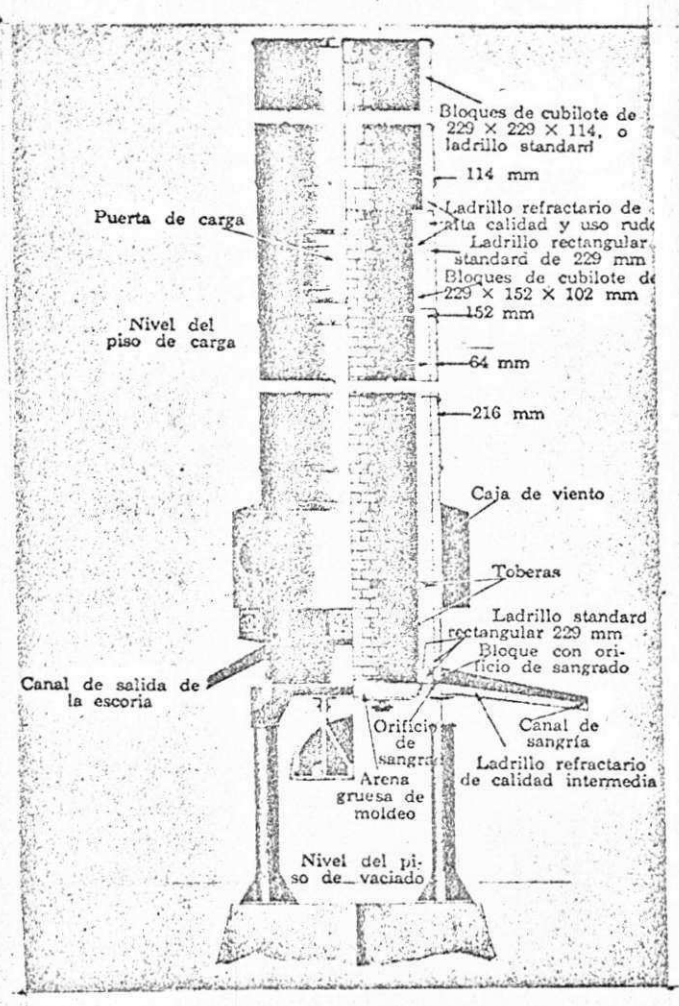


Figura 1.
 Detalhes de um forno cubilô.

escória e se situa 10 a 15 cm abaixo do plano inferior das ventaneiras. As bicas de escória e de ferro fundido podem constituir-se num só elemento no caso de sangria contínua.

- Porta de trabalho ou de visita - está geralmente oposta a bica de sangria do ferro fundido. Serve para possibilitar a preparação da soleira e acendimento do ferro.
- Porta de descarga - abertura situada na base do forno, com a finalidade de retirar, por queda livre, os materiais de carga. Durante a operação é parte integrante do fundo, sustentando através da soleira, toda a carga.
- Soleira - fundo do forno feito de areia de moldar.
- Colunas de apoio - geralmente de ferro fundido, ou perfis de aço soldados, servem de sustentação do forno.

DIÂMETRO INTERNO DO CADINHO

O diâmetro interno do cadinho é fator condicionante da capacidade nominal do cubilô, tais como:

A capacidade de fusão de um cubilô está condicionada a quantidade de carbono que o mesmo pode queimar numa dada unidade de tempo, como a quantidade de carbono queimado, em um minuto, depende única e exclusivamente da quantidade de ar fornecida e levando-se em conta que, só a medida que o coque é consumido, o ferro, que é adicionado a proporção constante, pode fundir, é possível se escrever:

$$S = \frac{C}{K.K} \quad \text{onde: } C - \text{quantidade de carbono queimado}$$

S - capacidade de fusão, em Kg de Fe/min.

K - Kg de coque para cada 100 Kg de Fe.

K, - teor de carbono do coque (%)

Por outro lado sabe-se que $C = \frac{L}{4,44 (1 + \eta c) \frac{100}{100}}$

onde: L - volume de ar insuflado (Nm³/min.)

$$\eta_c - \text{rendimento da combust\~{a}o} = \frac{CO_2}{CO_2 + CO} \times 100 (\%)$$

Substituindo estes valores na express\~{a}o verifica-se que a capacidade de fus\~{a}o \u00e9 dada por:
$$S = \frac{L}{K.K. 4,44 (1 + \frac{\eta_c}{100})}$$

As express\~{o}es encontradas para o c\~{a}lculo da capacidade nominal na produ\~{c}o de ferros fundidos, muitas vezes, diferem entre si na forma de apresenta\~{c}o e at\~{e} mesmo nos valores num\u00e9ricos. Em geral, s\~{a}o express\~{o}es dos tipos:

$$C = K_1 S i^e \text{ e } C = K_2 D_i^2, \text{ onde:}$$

C = capacidade do forno em t/h

K₁ e K₂ = constantes

D_i = di\~{a}metro interno, medido a vinte cent\u00edmetros acima das ventaneiras, em m.

Atrav\u00e9s destas express\~{o}es pode-se determinar o di\~{a}metro interno do cadinho quando conhecida a capacidade nominal desejada.

DI\~{A}METRO EXTERNO DO CADINHO

O di\~{a}metro externo (D_e) \u00e9 igual ao di\~{a}metro interno (D_i) acrescido de duas vezes a espessura do refrat\u00e1rio (a) mais um dado b entre o refrat\u00e1rio e a chapa met\u00e1lica. O espa\~{c}o b \u00e9 usado para facilitar as dilata\~{c}oes.

Tem-se pois para o c\~{a}lculo do di\~{a}metro externo, a seguinte express\~{a}o: $D_e = D_i + 2(a + b)$.

O valor b deve ser tal que permita uma livre dilata\~{c}o e est\u00e1 na ordem de 5 mm. O citado espa\~{c}o \u00e9 preenchido por areia sem aglomerantes ou finos de coque. Em fornos cubil\~{o} refrigerados a \u00e1gua n\u00e3o deve haver este espa\~{c}o, pois reduz consideravelmente a condutividade calor\u00edfica.

A espessura do refrat\u00e1rio para fornos de 500 a 1000 mm de di\~{a}metro deve ser de 200 mm e para fornos maiores, 250 mm. H\u00e1 autores

entretanto que recomendam 300 mm para fornos sem refrigeração e 70 a 80 mm para os refrigerados à água.

ALTURA DO CADINHO

O cadinho constitui-se no espaço entre a soleira e o primeiro plano de ventaneiras. Tem a função de ser reservatório do banho líquido e escória, e conter o pé de coque que sustenta a carga metálica.

Recomenda-se que o cadinho tenha um volume correspondente a um peso múltiplo da carga, com a finalidade de facilitar a mudança do tipo de ferro que se deseja obter.

ALTURA DA CUBA

A altura útil do forno (cuba), ou seja a distância o plano superior das ventaneiras até a porta de carga, deve ser tal que permita uma boa troca de calor entre a carga descendente e os gases ascendentes. Recomenda-se que a altura da cuba seja nunca a 3,5 m. Em fornos de diâmetro superior a um metro, onde o perigo de engaiolamento é menor, a altura da cuba pode variar entre 4 a 6 m.

São citadas também as seguintes relações entre a altura e o diâmetro do cadinho:

fornos pequenos	-	3,7:1 a 5:1
fornos médios	-	3,0:1 a 4,5:1
fornos grandes	-	2,5:1 a 3,5:1

A temperatura dos gases acima da porta de carga, pode ser uma medida indicativa da escolha de uma altura adequada, pois através dela se tem uma idéia da quantidade de calor que é cedida pelos gases à carga.

DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO DE AR E ANEL DE VENTO

A tubulação de ar deve ser, se possível, em linha reta, para evitar perdas de carga. Para a medição exata da quantidade de ar, a tubulação deverá ter um trecho reto, sem turbulência, de no mínimo 10 vezes o diâmetro da tubulação. Este trecho poderá estar antes ou depois do ponto de medição.

Adota-se, em geral, um diâmetro de tubulação, igual a 2 vezes o diâmetro de saída do ventilador.

O anel de vento ou caixa de vento deve possuir um grande volume a fim de promover uma boa distribuição de ar nas ventaneiras. Normalmente uma seção transversal retangular, onde a largura é igual ao diâmetro da tubulação e a altura duas vezes este.

VENTANEIRAS (NÚMERO, FORMA E ÁREA)

As ventaneiras são os orifícios de entrada de ar para o interior do forno, geralmente, são construídos de ferro fundido, podendo também serem refrigeradas a água. São fixadas na carcaça do forno de forma a apresentar uma inclinação de 10 a 15% para interior do mesmo.

A forma de seção transversal das ventaneiras pode ser circular, quadrada ou retangular. As retangulares promovem uma melhor distribuição de ar, entretanto, entopem com maior facilidade. As circulares são as de fácil operação.

Nas ventaneiras retangulares recomenda-se uma relação entre a altura e a largura 1:3.

A área total das ventaneiras é estabelecida em função da área da seção interna do cadinho.

CHAMINÉ

O diâmetro da chaminé deve ser o próprio diâmetro externo do forno até uma altura de no mínimo 2 m acima da porta da carga. Poderá ser mantido este diâmetro também acima do telhado.

A chaminé, por uma extensão de 1,5 a 2 m imediatamente acima da porta da carga deve ser revestida com a espessura normal de refratário. Logo acima a espessura pode ser reduzida, empregando-se tijolos delgados apenas para proteger a carcaça metálica.

AS PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE OPERAÇÃO

O PÉ DE COQUE (CAMA DE COQUE)

O pé de coque ou cama é a coluna de coque que ocupa a parte inferior do cubilô e serve de suporte para as cargas.

11

O pé de coque deve ser tal que permita que a primeira carga metálica se situe no limite superior da zona de fusão, Dessa forma, a medida da altura do pé de coque seria dada pela distância da soleira ao limite superior da zona de fusão, entretanto, costuma-se considerar a altura do pé de coque como sendo a distância do limite superior das ventaneiras ao limite superior da zona de fusão.

A zona de fusão pode ter sua posição e extensão alteradas pelos seguintes fatores:

- a) - Quanto maior o diâmetro do forno, mais elevado será o limite superior da zona. Portanto, a extensão da zona de fusão aumenta com o tempo de operação, em face do desgaste interno do revestimento;
- b) - Em fornos com ventaneiras em diversos planos, a zona de fusão é maior.
- c) - Coque de granulação mais grosseira desloca toda zona de fusão para cima, porém mais acentuadamente o limite superior.
- d) - Quantidade crescente de ar desloca o limite superior para cima, enquanto o limite inferior permanece inalterado.
- e) - Temperatura de ar crescente reduz a zona de fusão pelo abaixamento do limite superior.

A altura de pé de coque depende, portanto, do forno cubilô empregado e das condições de operação. Diante disto, a altura correta do pé de coque só pode ser determinada através da operação do forno.

Para fins de início de operação, quando não se conhece ainda a altura correta do pé de coque pode-se adotar uma altura correspondente a uma vez e meia do diâmetro interno do cubilô. Existem também expressões para o cálculo da altura de pé de coque em função da pressão do ar insuflado, bem como tabelas que fornece a altura da cama de coque quando se conhece o coque de fusão. Estas expressões e tabelas, fornecem, entretanto, valores indicativos do desejado.

COQUE DE FUSÃO

Denomina-se coque de fusão a porção de coque, adicionado simultaneamente com as cargas metálicas, destinada a repor a parcela da cama de coque consumida para a geração do calor necessário à fu-

são de cada carga e superaquecimento da liga fundida.

A quantidade de coque de fusão usualmente é fixada em porcentos sobre o peso da carga metálica, apesar de depender também das condições de operação do forno. De modo geral, para um forno cubilô de ar frio, 10% - 12% de coque de fusão são suficientes para se obter boas temperaturas.

Quando se opera com sucata de aço, ou quando necessárias temperaturas mais elevadas, deve-se operar com uma quantidade maior, podendo-se atingir até 15 - 18%.

Com a finalidade de se garantir uma uniformidade de marcha do forno cubilô é conveniente limitar-se em 200 - 250 mm a espessura da camada do coque de fusão dentro do forno. A determinação do peso do coque é efetuado na prática, da seguinte forma: constrói-se um anel de chapa de aço, com uma altura de 200 - 250 mm e diâmetro igual ao diâmetro interno do forno; enche-se o anel com coque pesando-o em seguida. A quantidade de carga metálica é determinada em função deste peso de coque.

Os efeitos diretos da variação do coque de fusão, durante a operação do forno, são evidentemente, sobre a altura do pé do coque. Desse modo, as alterações que ocorrem no processo de fusão, com modificação do coque de fusão, são aquelas impostas pela redução ou acréscimo da cama de coque.

PESO DA CARGA METÁLICA

Como já foi mencionado, o peso do coque de fusão depende fundamentalmente da constituição da carga metálica. Por esta razão, é fixada em porcentagem do peso da carga metálica. Entretanto, como para se obter um bom funcionamento do forno, a altura da camada de coque de fusão deve estar entre certos limites, é conveniente se fixar primeiro um peso de coque de fusão que promovam a formação de uma camada no interior do forno de altura adequada. Em seguida, levando-se em conta este peso e conhecendo-se a relação entre o peso de coque de fusão e o peso da carga metálica, mais conveniente para as condições existentes, determina-se o peso da carga metálica.

O AR INSUFLADO

O ar é insuflado no cubilô com a finalidade de fornecer o oxigênio necessário à combustão do coque. O volume de ar a ser so-

prado depende, portanto, fundamentalmente do coque de fusão (características e quantidades).

Em geral, o volume de ar necessário a combustão de 1 Kg de coque varia de 7 a 9,5 Nm³. Pode-se também calcular o volume de ar a ser consumido por hora, através da seguinte expressão.

$$Q = 5,7 D_i^2 K$$

$$Q = \text{volume de ar por hora (Nm}^3/\text{h)}$$

$$D_i = \text{diâmetro do cadinho (dm)}$$

$$K = \text{coque de fusão (\%)}$$

Assim, por exemplo para um forno de 800 mm de diâmetro e com coque de fusão igual a 12% teríamos:-

$$Q = 5,7 \cdot 8^2 \cdot 12 = 4.380 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Se calcularmos por base num consumo de 9,5 Nm³/h, tendo-se em conta que a capacidade nominal de um forno de diâmetro igual a 800 mm é de 3,8 t/h resulta:

$$Q = \frac{3.800 \cdot 12 \times 9,5}{100} = 4.330 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Como se observa os valores diferem muito pouco entre si, dessa maneira pode-se usar qualquer uma das formas citadas como meio de cálculo. Convém alertar, entretanto, que os valores assim obtidos são apenas indicativos do valor ideal que só pode ser determinado experimentalmente.

Para o controle dessa quantidade de ar devem ser instalados medidores de vazão. O tipo comumente empregado é o medidor de vazão de diafragma. A medida de vazão neste medidor é efetuada através da pressão diferencial, ou seja pela diferença de pressão entre dois pontos situados antes e depois de um diafragma intercalado na tubulação de ar. Esse tipo de medidor, apesar de certas restrições, permite controlar a contento as quantidades de ar normalmente empregadas na operação de fornos cubilôs, além de acusar imediatamente perturbações internas do forno, tais como igaiolamento, forno vazio e coroa de escória.

Para a construção deste medidor deve-se atentar para os seguintes pontos:

14

a) - O medidor instalado na tubulação de tal forma que se tenha um trecho reto de pelo menos 10 vezes o diâmetro da tubulação. Preferencialmente este trecho reto deve-se situar-se após o medidor,

b) - A relação $m = (d/D)^2$ deve ser escolhida de maneira a se obter uma elevada pressão diferencial, ou seja uma grande coluna de água.

c) - Para a leitura direta da vazão por meio da pressão diferencial, é conveniente construir-se uma escala para os diversos valores da pressão diferencial (h).

O cálculo da vazão é efetuado pela seguinte expressão:

$$V = \alpha \cdot f_0 \cdot 60 \sqrt{\frac{2g}{\rho} \cdot h} \quad (\text{m}^3/\text{min.})$$

$$m = \left(\frac{d}{D} \right)^2, \quad (\text{relação de abertura}); \quad d = \text{diâmetro do diafragma e } D, \text{ diâmetro da tubulação de ar.}$$

$p = 1,293 \text{ Kg/m}^3$ peso específico do ar, nas CNPP e 0% de umidade relativa. O correto seria empregar-se o peso específico do ar no instante da leitura, mas para as condições de operações de um forno cubilô, tem-se uma precisão suficiente empregando-se o valor acima.

$$h = (\text{mm H}_2\text{O}) = \text{pressão diferencial}$$

Obs: Para relações d/D normalmente empregadas assume os seguintes valores:

$$= 0,645 \text{ para } d = 0,6 D$$

$$= 0,695 \text{ para } d = 0,7 D$$

$$= 0,785 \text{ para } d = 0,8 D$$

Estudios realizados pela A.P.S. (American Foundeymen's Society)
para o forno cubilôs convencionais.

TABLA 5. INSTRUCCIONES GENERALES DE CARGA DE CUBILOTES (véase Tabla 14 para dimensiones en sistema inglés)

Tamaño del cubilote	Diám. coraza (mm)	Espesor del revestimiento bajo, (mm)	Diámetro interior revestimiento (mm)	Área adentro del revestimiento, (cm ²)	Producción fundida, en ton/hora, con relaciones de				Altura ¹ de la cama arriba de los tableros (cm)	Cargas de coque y hierro kg					Fundente kg	Aire por toberas m ³ /min	Presión normal caja de viento, kg/m ² (mm agua)	Selección sugerida para el soplador		Área total de las toberas cm ²
					6	8	10	12		Hierro				m ³ /min				presión desc. kg/m ²		
										Coque	6/1	8/1	10/1						12/1	
0	686	114	457	1640	0.68	0.91	1.14	1.36	711-854	9	54	72	90	103	1.800	16.120	30.8	18.10	35.2	206.45
1	813	114	554	2375	0.91	1.36	1.82	2.27	914-1057	16	96	128	160	192	3.200	26.600	52.8	23.85	70.4	548.40
2	914	114	686	3600	1.59	2.05	2.50	2.96	914-1057	20	120	160	200	240	4.000	36.500	52.8	40.45	70.4	761.00
2½H	1041	178	686	3600	1.59	2.05	2.50	2.96	914-1057	20	120	160	200	240	4.000	36.500	52.8	40.45	74.4	780.00
2½L	1041	114	813	5180	2.27	2.96	3.64	4.32	1016-1168	30	180	240	300	360	6.000	51.150	61.6	56.60	70.4 ²	780.00
3	1168	178	813	5180	2.27	2.96	3.64	4.32	1016-1168	30	180	240	300	360	6.000	51.150	61.6	56.60	70.4 ²	1038.00
3½	1296	178	940	6940	2.96	3.86	4.77	5.91	1016-1168	38	228	304	380	456	7.600	68.450	61.6	76.40	70.4 ²	1175.00
4	1422	178	1067	8935	3.64	5.00	6.36	7.50	1067-1219	50	300	400	500	600	10.000	82.700	70.4	97.50	88.0	1695.00
5	1600	229	1143	10255	4.08	5.67	7.26	8.62	1067-1219	59	354	472	590	708	11.800	104.000	70.4	113.00	88.0	2025.00
6	1676	229	1219	11663	5.00	6.58	8.17	9.75	1143-1295	66	396	528	660	792	16.200	116.000	79.2	127.30	105.6	2240.00
7	1829	229	1372	14785	6.36	8.40	10.42	12.48	1143-1295	84	504	672	840	1008	16.800	147.000	79.2	162.60	105.6	3010.00
8	1981	229	1524	18250	6.36	10.21	12.70	15.43	1143-1295	102	612	816	1020	1224	20.400	181.000	79.2	201.00	105.6	3520.00
9	2134	229	1676	22055	9.53	12.48	15.43	18.60	1143-1295	125	750	1000	1250	1500	25.000	218.000	79.2	243.50	105.6	4130.00
9½	2266	229	1829	26258	11.12	14.75	18.40	22.24	1194-1346	148	888	1184	1480	1776	29.600	260.000	88.0	289.00	123.2	5165.00
10	2438	229	1981	30618	13.62	17.25	21.65	26.10	1194-1346	175	1050	1400	1750	2100	35.000	313.000	88.0	337.00	123.2	5925.00
11	2591	305	1981	30918	13.62	17.25	21.65	26.10	1194-1346	175	1050	1400	1750	2100	35.000	319.000	88.0	337.00	123.2	5925.00
12	2743	305	2134	35746	15.43	20.10	25.20	30.20	1194-1346	202	1212	1616	2020	2424	40.400	354.000	88.0	393.00	140.8	5545.00

¹ El espesor del revestimiento en cubilotes operados durante periodos de 8 a 16 horas debe ser apreciablemente mayor que el mostrado en las tablas.

² Se recomiendan sopladores con 88.0 kg/m² de presión de descarga, cuando se emplean sistemas de control de peso de aire.

³ La altura de la cama varía con la raíz cuadrada de la presión de soplado.

2.2- CRITÉRIOS DO PROJETO

O objetivo deste trabalho foi projetar um forno cubilo, dentro dos padrões exigidos pelo D N O C S e com a finalidade de atender a gama de serviços desenvolvido pelo mesmo. Dentro das limitações apresentadas, isto é com referência ao custo total do equipamento nos prendemos a projetar um forno com características indispensáveis e que pudessemos aproveitar o soprador do já existente a fim de que esse componente de vital importância ao funcionamento do cubilo não ficasse obsoleto o que oneraria sobre maneira a construção do forno.

2.3 - PROJETO

2.3.1 - DETALHES DO FORNO CUBILÔ

O desenho anexo, esquematiza com detalhes todo o complexo do forno em questão.

2.3.2 - CARACTERÍSTICA DO CUBILÔ

- Tamanho do cubilô, conforme American FOUNDRTMEN'S SOCIETY
2 1/2 H.

- Diâmetro interno da carcaça: 1,04m

- Espessura do revestimento: 0,18m

- Diâmetro interno do revestimento: 0,686mm

- Área dentro do revestimento: 0,32m²

Produção fundida em t/h, com relação ferro/coque 1,6 t/h.

Altura da carga acima da base

Carga de coque: 20 Kg

Carga de ferro 6:1 = 120 Kg

Fundentes: 4 Kg

- Ar soprado: 36,5 m³/min.

- Pressão da caixa de vento: 52,8 Kg/m²

Seleção sugerida para o soprador. 40,45 m³/min.

Pressão de descarga: 74,4 Kg/m²

Área total dos tubos de entrada de ar: 0,08m²

2.3.3 - CARCAÇA DO CUBILÔ

Espessura na Seção do corpo: 6,35 mm

Espessura na Seção superior do corpo: 4,76 mm

Altura total: 9,140 m

Altura da porta da Carga: 4,57 m, desde a placa do fundo.

Base (conforme desenho)

AB = 1,00 m

AC = 1,00 m

AD = 1,60 m

AE = 0,40 m

Peso por metro = 505 Kg

Peso total: 12.250 Kg

Seção do corpo

- Sapata: Chapa ABNT - 1020 de 0,0254 x 0,40 x 0,40
- Chumbadores: Aço ABNT = 1020 ϕ = 19 mm com 250 mm de comprimento.
- Colunas: Aço ABNT - 1020 ϕ = 150 x 660 mm (tubos sem costura com enchimento de concreto nº 2)
- Suporte da carcaça: Em viga I com base de 200 mm, h = 250 mm e alma de 10 mm. Sendo necessário chapas com 12,7 mm de espessura nas extremidades, fixadas nas laterais por contoneiras "L" de abas iguais de Aço ABNT - 1020 de 50 x 6,34 mm.
- Porta do fundo. Em ferro-fundido com espessura de 20 mm, reforçada com nervuras convenientemente distribuídas.

Revestimento refratário

A qualidade e uniformidade são necessários no revestimento refratários, para proteger os componentes estruturais do forno, para assegurar um trabalho feito em dimensões estáveis e para ajudar uma descida suave de carga com a mínima contaminação do ferro-fundido. Geralmente pode ser empregado um só tipo de refratário do fundo até a porta de carga, sempre selecionando o tipo que atende a Zona de fusão.

A experiencia mostra que não se tem vantagens em utilizar mais de um tipo de refratário.

Revestimento inferior

Diâmetro da carcaça; 1,04/m

Espessura do revestimento; 178 mm

Diâmetro int. do revestimento: 686 mm

Tijolos circulares 229 x 114 x 102

24 - 33 = 9 (D = 166)

36 - 45 = 4 (D = 183)

Total = 13 tijolos por fiada

Diâmetro externo 2.C + D interno

Diâmetro externo = 2.114 + 685 = 913 mm

Espasso para a areia e cimento 38 mm

Tijolos circulares

HF = 4.970

HT = 102

Nº de fileira $\frac{4.570}{102} = 45$

Nº de tijolos 24 - 33 = 9.45 = 441

Nº de tijolos 36 - 45 = 4.49 = 156

Acima da entrada de carga

Tijolos placa de 229 x 114 x 38

HF = 9.140 mm

HT = 229 mm

Nº de fileira: $\frac{9140}{229} = 40$

Nº de tijolos: 40.29 = 1.170

OBS. Espasso de 19 mm entre o revestimento e a carcaça. A medida em que se vai colocando cada fiada de tijolo, enche-se de areia para observar os fortes esforços de expansão que acontece quando os tijolos são aquecidos (não no chaminé).

- Cada bloco deve ser colocado o mais junto possível pois as juntas são mais vulneráveis se ataque de escória, por isso utiliza-se o maior bloco possível.

- Utilizar cimento refratário de boa qualidade.

- Suportes de ferro em círculo e cada 1,5 m para ajudar a suportar o revestimento.

O cimento refratário a ser usado, é de pega ao ar FIX - AR, tipo 42 ou argamassa no total de 540 Kg.

SOPRADOR

O soprador é do tipo ventilador de 8 pás de 250 x 125 mm, motor trifásico de 7,5 CV, 3510 rpm, 380 volts, com uma seção de saída da ordem de 15: 327 mm², produzindo 36.500 m/min. de ar, com uma pressão de 52,8 Kg/m².

2.24 ORÇAMENTO

O custo total do forno está estimado para o DNOCS, em torno de CR\$ 2.500.000,00 (DOIS MILHÕES E QUINHENTOS MIL CRUZEIROS), sendo CR\$ 2.200,000,00 (DOIS MILHÕES E DUZENTOS MIL CRUZEIROS), referente a material e CR\$ 300.000,00 (TREZENTOS MIL CRUZEIROS), destinado a serviço de mão-de-obra especializada.

2.5. - BIBLIOGRAFIA:

THE CUPOLA AND ITS OPERATION
EDIÇÃO AUTORIZADA POR:

AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY, INC.
CHICAGO.

TRADUÇÃO DE:

ING. FRANCISCO ANDIÓN UZ

INGENHEIRO MECÂNICO ELETRICISTA,
EGRESADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MÉXICO

COMPANHIA EDITORIAL CONTINENTAL, SA.
MEXICO, OCTUBRE DE 1960

2.6. - ESTUDOS REALIZADOS PELA A.F.S.

(AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY), PARA FORNO CUBILÔ
CONVENCIONAIS, ESTABELOU-SE OS PARÂMETROS DE FUNDIÇÃO
E TAMANHO DO FORNO CONFORME TABELA 5.

BASEADO NESTA TABELA E NA VASTA EXPERIENCIA DO OPERADOR
DO FORNO CUBILÔ DO DNOCS E DO CRITÉRIO ACIMA CITADO, DE
SENVOLVEM-SE O PROJETO

2.7. - CATÁLOGO DE PRODUTOS DA IBAR REFRAATÓRIOS S.A.

2.8. - CATÁLOGO DE PRODUTOS DA C S N (COMPANHIA SIDERURGICA NA-
CIONAL).

2.9. - CATÁLOGO DE PRODUTOS CERÂMICOS TOGNI S.A.

3. - - CONSTRUÇÃO DO FORNO RESISTIVO

O projeto utilizado para construção do forno elétrico de aquecimento resistivo, foi desenvolvido pelo professor CLAUDIO KIMINAMI. (Anexo I)

3.1 - CONSTRUÇÃO

Carcaça e tampa: Essas peças, foram construídas em aço SAE - 1020, sendo que a carcaça utilizou-se um tubo sem costura com o diâmetro correspondente ao projeto, com parede de 1/4 de espessura, tornando-a mais pesada o que acarretou a vantagem de ser mais compacta e robusta e por outro lado a desvantagem no que se refere ao transporte do mesmo; a tampa foi construída em Aço 1020 de 1/16" de espessura conforme projeto e preenchida com barro refratário para dar uma melhor vedação e isolamento térmico na abertura do forno.

- Resistência - A resistência foi confeccionada em Aço KANTAL - Al de 2,4 mm, visto que não foi possível adquirir o material especificado no projeto; conseqüentemente, houve um aumento no seu comprimento e uma conseqüente redução do diâmetro da espira.

Material isolante:

Utilizou-se bofe de bentonita moído e seco em estufa, adquirindo-se um bom resultado, uma vez que devido as dificuldades não foi possível a aquisição de Diatonita.

- Painel de controle - Construído em chapa de Aço 1020 de 1/16", com tampas lateral e frontal rebitados, ficando mais compacto: jateado com areia e pintado com tinta especial, dando assim uma excelente apresentação, aliada a facilidade de utilização dos instrumentos de comando e leitura de temperatura. (Figura 2)

Modificações:

Não foi possível acoplar ao sistema, um variador de voltagem (Variac) como previsto no projeto devido a dificuldade na sua aquisição, esse fato acarreta uma desvantagem ao nosso sistema não se podendo ter um controle na cinética de aquecimento e prejudicando também a vida útil do fio de resistência.

3.2 - OPERAÇÃO:

Foram aquecidas amostras de aço AISI 1020, com a finalidade de caracterizar o forno construído, para tanto seguiu-se as seguintes etapas:

- 1 - Colocou-se a amostra dentro do forno;
- 2 - A tampa foi fechada e o termo-par colocado;
- 3 - O controlador de temperatura ajustado a 800°C e 1200°C , na primeira e segunda operação respectivamente;
- 4 - O forno foi acionado;
- 5 - Acompanhou-se o aquecimento do forno com leitura da temperatura no controlador de temperatura, por períodos de 2 minutos;
- 6 - Atingido a temperatura de ajuste, deixou-se por 15 minutos, em seguida foi desligado o forno.

Das operações acima realizadas, concluímos que:

- 1º - Considerando-se como linear o aquecimento do forno, a taxa de aquecimento do forno construído é de $100^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Esse resultado mostra a necessidade tão logo quanto for possível, acoplar-se um variac ao sistema, pois essa taxa de $100^{\circ}\text{C}/\text{min}$. é muito elevada podendo comprometer a peça a ser aquecida assim como a resistência do forno.
- 2º - A variação da temperatura em torno de ajuste, foi de mais ou menos 60°C . Esse resultado mostra que temos um bom controle de temperatura.
- 3º - A parede do forno ficou esquentor muito, podendo-se tocar-lhe durante a operação do forno.
- 4º - O painel de controle apresentou bom desempenho tanto de controle quanto de fácil visão e operação.
- 5º - Das características do forno conseguidas, ela se mostra adequada para tratamento térmico de peças simples; tanto em atmosfera normal como em banho de sal.

Az FIGURA 5 e 6 mostram o sistema construído.

FIGURA 2 - PAINEL DE CONTRÔLE

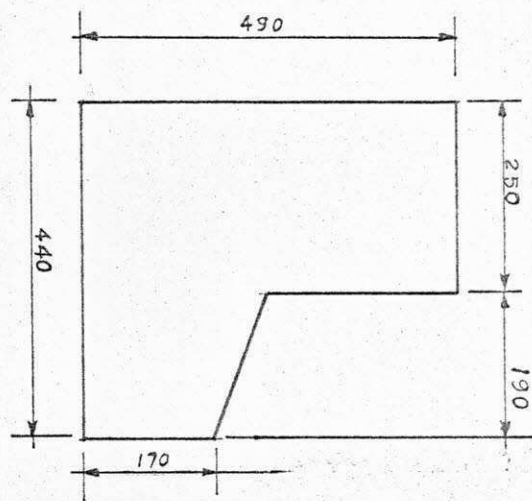
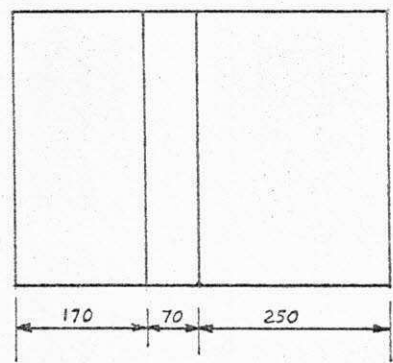
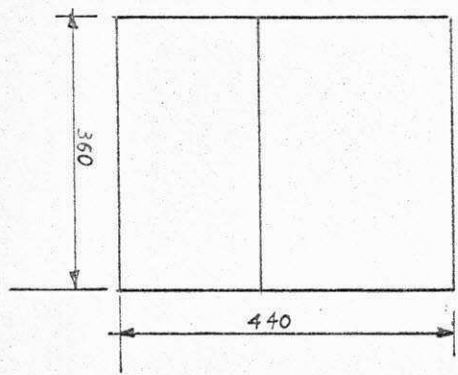




Figura 3. Foto do forno de aquecimento resistivo construido.

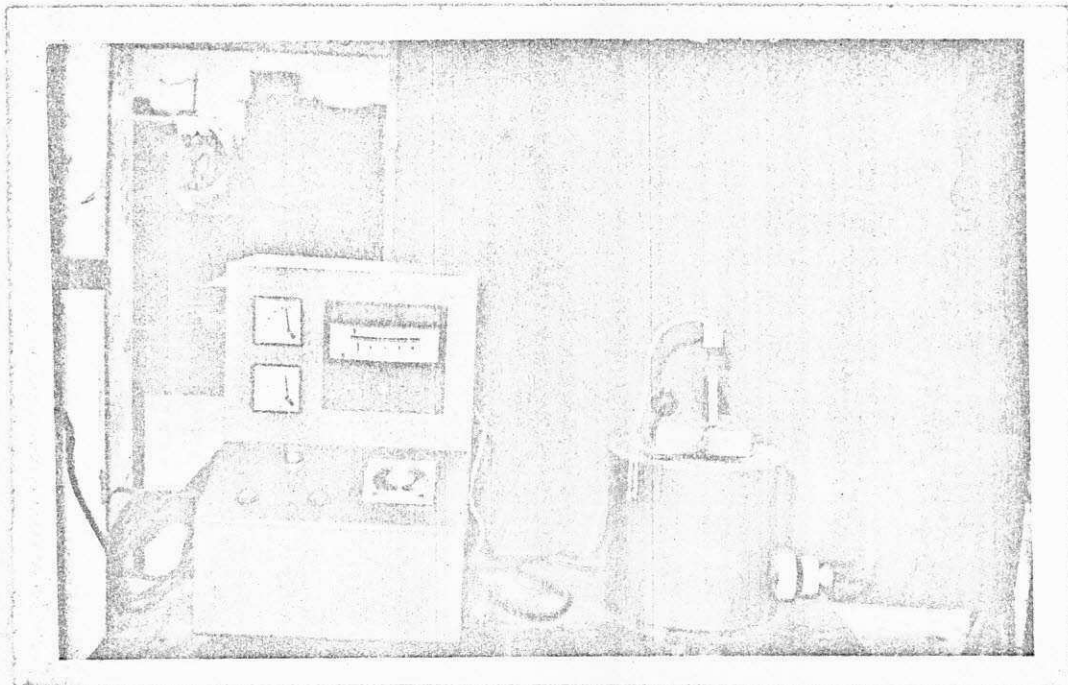


Figura 4. Foto do forno de aquecimento resistivo construido.

26

ANEXO I

PROJETO DE UM SISTEMA COM FORNO DE AQUECIMENTO
RESISTIVO PARA TRATAMENTO TÉRMICO DE METAIS,
PARA LABORATÓRIO.

PROF. CLAUDIO SHYNTI KIMINAMI
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA.

27

PROJETO DE UM SISTEMA COM FORNO DE AQUECIMENTO RESISTIVO PARA TRATAMENTO TÉRMICO DE METAIS, PARA LABORATÓRIO:

I. OBJETIVO

Projetar um sistema versátil no que se refere à possibilidade de tratar termicamente, em escala de laboratório, uma gama bem grande de metais e ligas.

II. CRITÉRIOS DE PROJETO

- Homogenidade de temperatura na câmara de aquecimento.
- Bom controle de temperatura (pequena oscilação da temperatura de ajuste)
- Operação em ampla faixa de temperatura
- Operação em ampla faixa de potência
- Baixo custo
- Maximização de utilização de material nacional.

III. SISTEMA PARA TRATAMENTO TÉRMICO DE METAIS E LIGAS

A figura 1 esquematizada o sistema necessário para tratamento térmico de metais e ligas. O sistema é formado pelos seguintes componentes:

1. Forno com aquecimento resistivo
2. Circuito de potência
3. Circuito de controle de temperatura.

IV. FORNO COM AQUECIMENTO RESISTIVO

1. Cálculo da resistência

Os critérios 3 e 4 do projeto levam a estabelecer como temperatura máxima requerida de 1200°C e como potência máxima requerida de 3 KW. desse modo cobertos a maioria dos metais e ligas quanto à temperatura de tratamento térmico convencionais e quanto à quantidade de calor necessária para aquecer esses metais e ligas num tempo razoável.

Estabelecendo a tensão máxima de trabalho de 200V, temos como dados básicos:

- a. Potencia do resistor (Pe) = 300W
- b. Tensão (Ee) = 220V
- c. Temperatura máxima requerida = 1200°C

O fio da liga KANTHAL A-1 é o mais adequado para esse forno observando o seu limite de temperatura que é de 1350°C.

O valor da "carga admissível de superfície" (p) para esse material à temperatura de serviço do forno é de 2,0 W/cm².

- cálculo da intensidade de corrente do resistor.

$$1. I_e = \frac{P_e}{E_e} = 15 \text{ A}$$

- cálculo da resistência ohmica do resistor em estado quente

$$2. r_t = \frac{E_e}{I_e} = 13,3$$

- cálculo da superfície irradiante (Si) do material de resistência mais indicada.

$$3. S_i = \frac{I^2 \times C_t}{p}$$

onde Ct é o fator de temperatura para o material KANTHAL A-1 à 1200°C que é 1,076

$$S_i = 121 \text{ cm}^2/$$

O fio KANTHAL A-1 de diâmetro 2,40 tem superfície irradiante' (S) igual a 136,1 cm²/ sendo um valor aproximado e superior à Si requerida. Assim sendo, esse fio é o indicado.

- cálculo do comprimento do resistor

$$4. l = \frac{r_t}{r_{20} \times C_t}$$

onde r₂₀ é a resistência métrica do fio à 20°C que é igual à 0,4616 /m.

l = 38,6m

O resistor a ser utilizado tem as seguintes características:

- MATERIAL. liga KANTHAL A-1
- DIÂMETRO DO FIO: 2,4 mm
- COMPRIMENTO DO FIO: 26,8 m
- RESISTÊNCIA: 13,3

2. Forno com aquecimento resistivo

As figuras 2 e 3 mostram os desenhos em detalhes do forno requerido.

A resistência em forma de espiral de 10,0 mm de diâmetro é enrolada num cilindro cerâmico de alumina 110 mm de diâmetro, 200 mm de altura e 5 mm de espessura. A isolação preenchedo o espaço entre o resistor e a parede externa do forno é feita com pó de diatomita.

A tampa e a extremidade do braço são de cerâmica refratária.

O furo existente na tampa é para permitir a introdução do termopar.

Toda carcaça é de chapa de aço ABNT 1020 de 1/16" de espessura.

A parte superior do forno é parafusada a parte inferior permitindo assim a fácil operação de troca de resistência, quando necessário for.

V. CIRCUITO DE POTÊNCIA

O circuito de potencia é responsável pelo aquecimento de do resistor do forno pela passagem de corrente através da mesma.

Um transformador variador de voltagem (VARIAL) alimenta o circuito formado pelo resistor dentro do forno, sendo que a voltagem pode ser variável permitindo assim variar a potencia dissipada.

A corrente e a voltagem do circuito podem ser acompanhadas por um amperímetro e voltímetro.

As especificações dos equipamentos são as seguintes:

1. Transformador variador de voltagem (variac)

Entrada: 220 V 60 Hz

Saída: 0 - 240 V

Corrente máxima: 25 A

Potência máxima: 6 KVA

Fabricante: Sociedade Técnica Paulista S/A

Modelo: Varivolt UM 260

2. Amperímetro e Voltímetro

Escala: 0-25 A

0-250 V

Fabricante: Instrumentos Elétrico ENGR0 S/A

Modelo: Linha quadrante 72 L (50 divisões)

VI. CIRCUITO DE CONTROLE DE TEMPERATURA

A finalidade do controlador de temperatura é abrir ou fechar o circuito de alimentação do transformador variador de voltagem para o forno, dependendo da sua temperatura.

Optou-se por modelos PD em vez dos modelos liga - desliga.

A diferença é que o modelo PD analisa a inclinação da curva temperatura x tempo do forno antes de desligar ou ligar o forno, e não só o valor da temperatura como é o caso dos modelos liga-desliga, proporcionando assim um controle mais efetivo.

Como a temperatura máxima de trabalho do forno é de 1200°C, o termopar mais indicado é o tipo K, Cromel - Alumel que tem alta potência termo elétrica e é bem mais barato que o tipo S, Pt/Pt 90 Rh 10 que também atende a essa faixa de temperatura. É o termopar que envia o sinal ao controlador de temperatura que permite a ele medir a temperatura e a sua evolução.

A abertura e o fechamento do circuito é feita com o auxílio de um contactor (chave magnética) que abre ou fecha o circuito seguindo o sinal enviado pelo controlador de temperatura.

31

As especificações dos equipamentos são as seguintes:

1. Controlador de temperatura
Contrôle: PD ajustável
Escala: 50 - 1200°C
Sensor: TC - K, Cromel - Alumel
Alimentação: 220 V CA, 60 Hz
Fabricante: Instrumentos Elétricos ENGR0 S.A.
Modelo: 6000 analógico

2. Chave magnética - contactor
Tensão = 220 V
Corrente: 32 A
Potência máxima = 8,5 KW
Fabricante: SIEMENS S.A.
Tipo: 3 TA 22

3. Termopar.
Tipo: K - Cromel - Alumel
Capa protetora: inox 10⁰⁸
Diâmetro do cabo: 1,5 mm
Fabricante: ECIL S.A.

VIII. ESTIMATIVA APROXIMADA DE CUSTO

- Forno de aquecimento resistivo	CR\$ 18.000,00
- Circuito de potência	CR\$ 23.000,00
- Circuito de controle de temperatura.....	CR\$ <u>14.000,00</u>
T O T A L	CR\$ 55.000,00

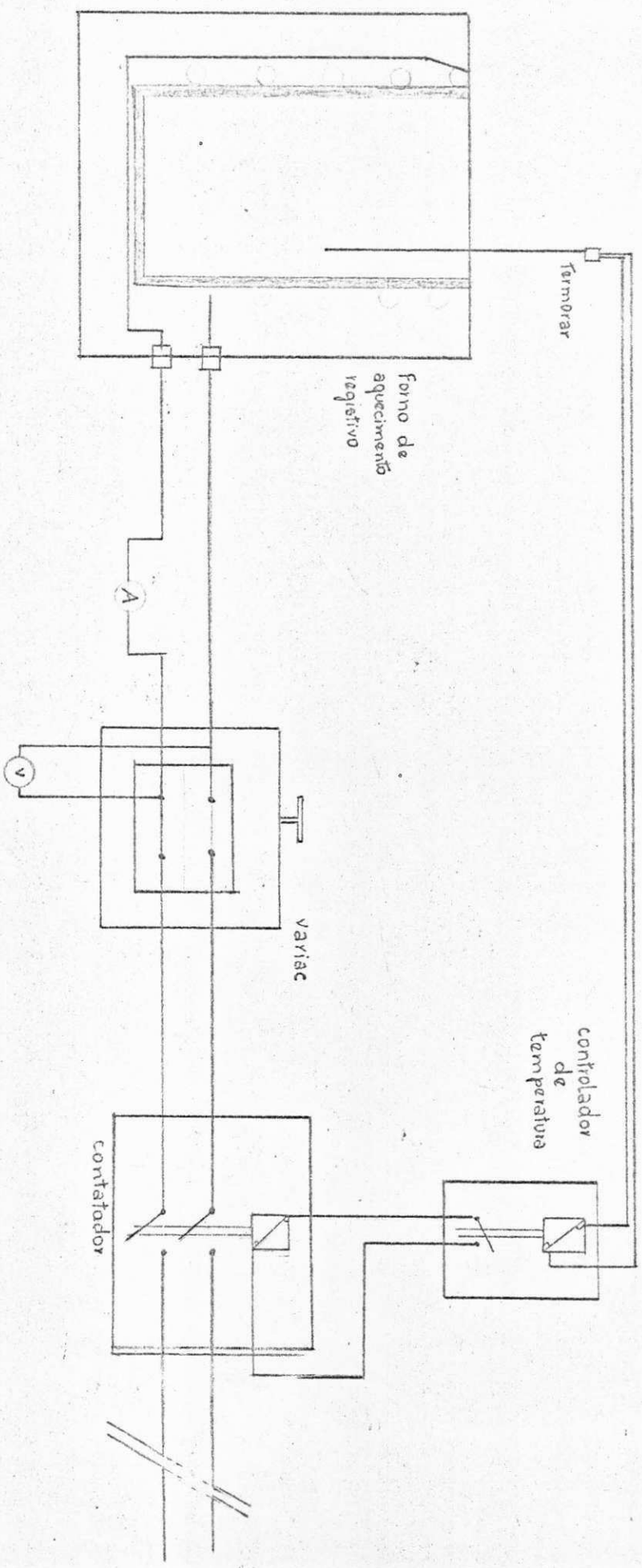


figura 1 esquema do sistema para Tratamento termico

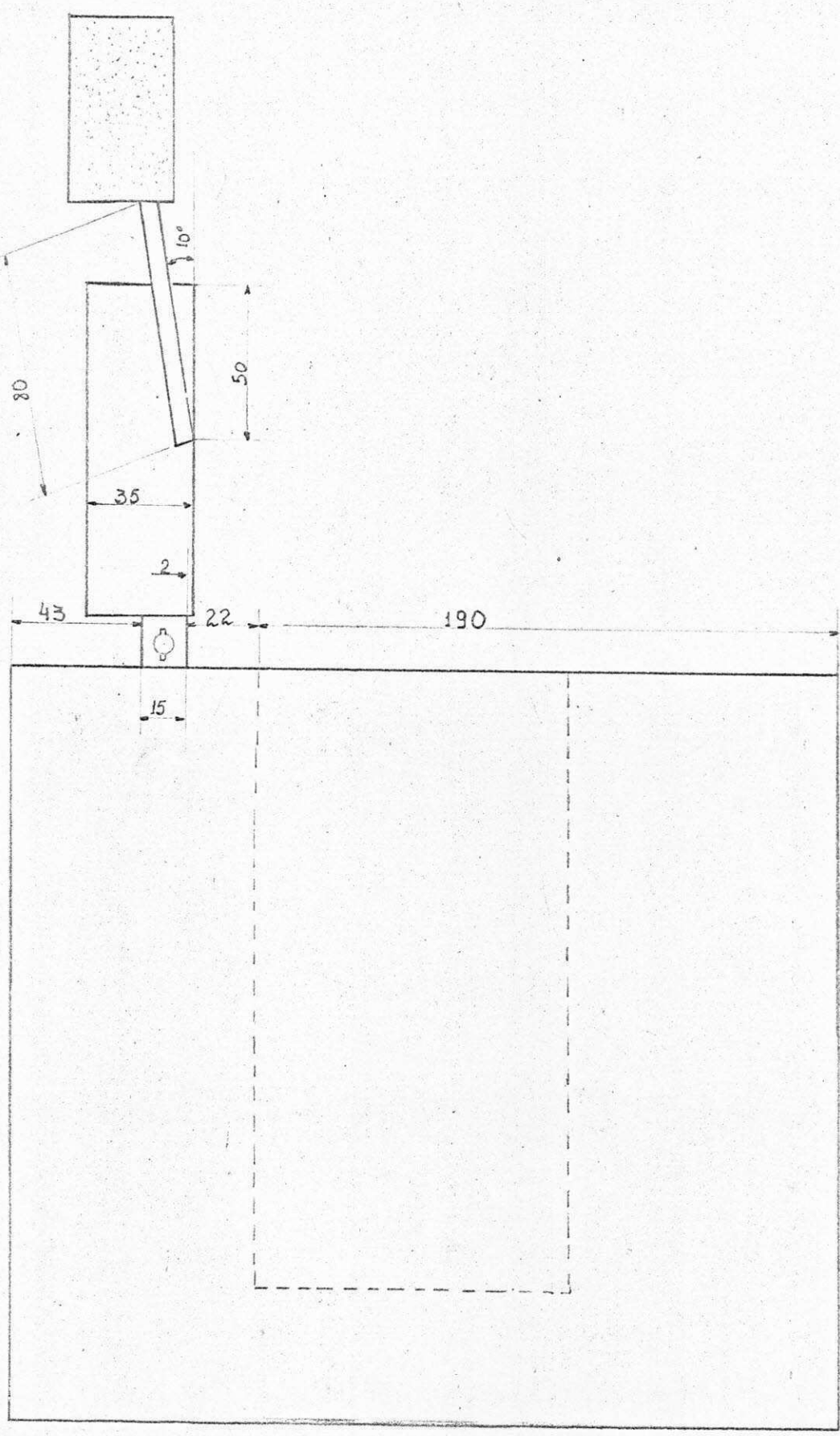


figura 2.

escala 1:2

lateral do forno com aquecimento resistivo para tratamento termico

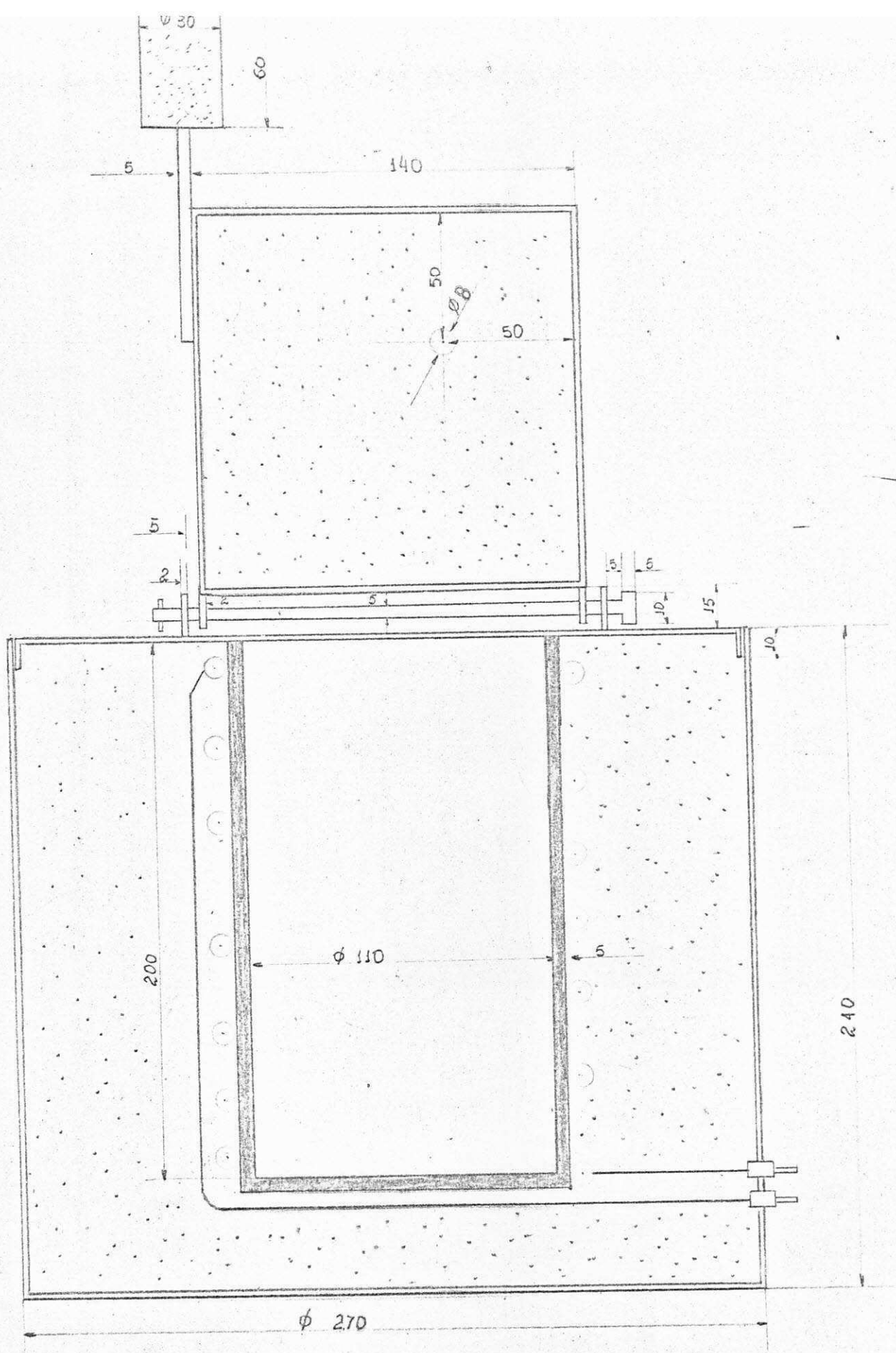


Figura 3

escala 1:2

Vista frontal em corte do forno com aquecimento resistivo para tratamento térmico