

2175002

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia Mecânica

Trabalho de Formatura

Título: Banho de Temperatura Constante

Subtítulo: Banho Líquido de Temperatura Controlada  
para medida de Viscosidade

Autor: Myung Bo Park

Orientador: Edson Kiyohara

1 9 8 1

## ÍNDICE

## SUMÁRIO

### Capítulo

	Pág.
1 - VISCOSÍMETRO CAPILAR . . . . .	01.
1.1 - Teoria . . . . .	01
1.2 - Fator de correção de energia cinética . . . . .	04
1.3 - Redução à prática . . . . .	07
2 - DESCRIÇÃO E CONSTRUÇÃO . . . . .	09
2.1 - Duas unidades principais . . . . .	09
2.2 - Aquecimento. . . . .	09
2.3 - Agitação. . . . .	13
2.4 - Iluminação. . . . .	14
2.5 - Refrigeração. . . . .	15
2.6 - Controle. . . . .	18
2.7 - Suporte e pegadores para a suspensão de viscosí- metros . . . . .	20
3 - MEDIDA DE TEMPERATURA . . . . .	21
3.1 - Escala Internacional Prática de Temperatura(1968). . . . .	21
3.2 - Termometria de resistência de platina . . . . .	21
3.3 - O efeito da luz sobre termômetros de resistência de platina. . . . .	23

## SUMÁRIO

O equipamento, cuja construção é descrita detalhadamente neste Trabalho, tem a finalidade de propiciar a obtenção de um meio líquido (banho) de temperatura estável e homogênea. O banho, por sua vez, será utilizado na calibração de viscosímetros.

Os requisitos do banho são obtidos mediante convenientes sistemas de recirculação, aquecimento e refrigeração os quais, juntamente com a unidade de controle, constituem um só módulo compacto e funcional.

O líquido a ser usado no banho deve ser selecionado em função da temperatura de operação. Geralmente usa-se água destilada ou óleo.

Os detalhes de construção e operação do equipamento serão abordados nos capítulos que compõem este texto.

Convém ainda salientar que as dimensões mencionadas são adequadas para portar um máximo de oito viscosímetros.

Este Trabalho só foi possível graças ao conhecimento adquirido em um ano de estágio no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e a assistência dada pelo orientador Engenheiro Edson Kiyohara, a quem agradeço.

## 1 - VISCOSÍMETRO CAPILAR

Este método extremamente preciso para medida de viscosidade foi descoberto experimentalmente e relatado em detalhe por Poiseuille em 1842. Mais tarde a expressão matemática para escoamento de fluido em tubo capilar foi derivada teoricamente.

### 1.1 - Teoria

Considerar um tubo cilíndrico de raio interno  $R$  com espessura fina uniforme. Um líquido Newtoniano está mantido em escoamento viscoso uniforme através desse tubo capilar por meio da queda de pressão  $p$  atuando ao longo do comprimento  $L$  do tubo (ver figura 1).

Considerar uma carcaça cilíndrica do líquido, concêntrica com o tubo, tendo raio  $r$ , espessura  $dr$  e comprimento  $L$ .

Do arranjo simétrico dessa fina carcaça fica evidente que cada partícula de líquido contida na superfície externa da carcaça se move com velocidade  $v$  e na superfície interna com velocidade diferencial  $v + dv$ .

Portanto, o gradiente de velocidade através da espessura da carcaça é  $-\frac{dv}{dr}$ . O sinal menos indica que a velocidade diminui

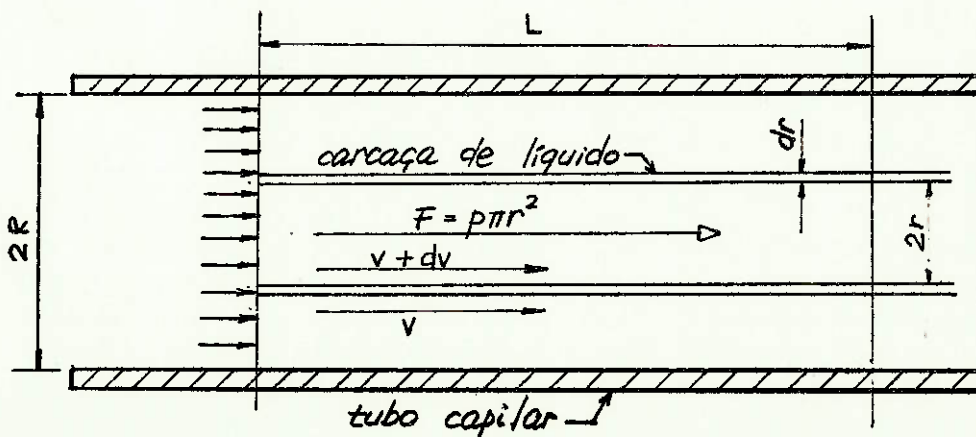


Figura 1. Líquido Newtoniano escoando através de um tubo capilar.

com o aumento do raio. A força  $F$  que age sobre o cilindro de líquido contido na carcaça é igual à queda de pressão  $P$  atuando ao longo da carcaça multiplicada pela área da seção transversal  $\pi r^2$ . Essa força é distribuída como a tensão de cisalhamento sobre a superfície interna da carcaça numa área igual a  $2\pi rL$ . A tensão de cisalhamento ao longo da superfície interna é dada pela expressão:

$$\zeta = \frac{p\pi r^2}{2\pi rL} = \frac{pr}{2L} \quad (1)$$

por definição, viscosidade  $\mu$  é a razão entre a tensão de cisalhamento e a variação de velocidade:

$$\mu = \frac{pr/2L}{-dv/dr}$$

$$dv = \frac{-pr}{2\mu L} dr \quad (2)$$

A equação (2) dá a velocidade diferencial através da espessura de líquido  $dr$  a distância  $r$  do eixo do tubo capilar.

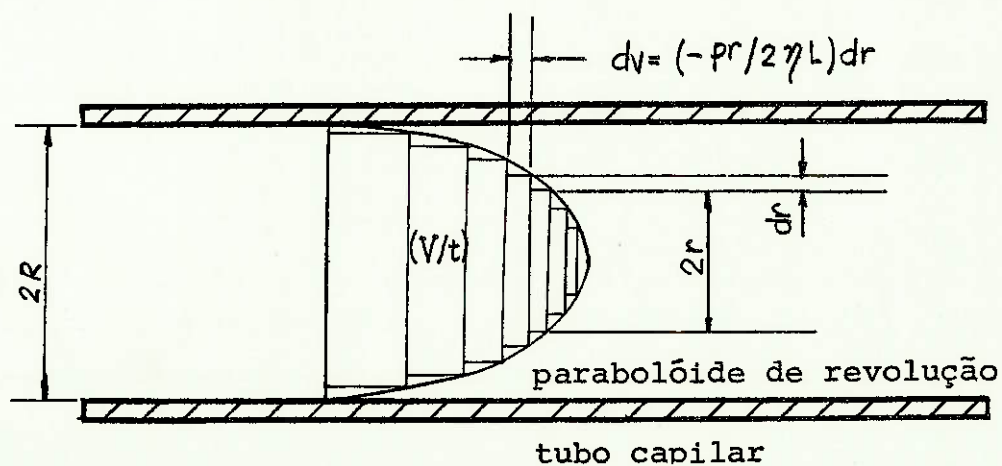


Figura 2. Volume de líquido que escoou em um tempo unitário.

Integrando essa expressão resulta em:

$$v = \frac{-pr^2}{4\mu L} + K \quad (3)$$

onde  $K$  é a constante de integração.

Desde que  $v = 0$  quando  $r = R$ , a constante de integração  $K$  é igual a:  $K = pR^2/4\mu L$

Então a velocidade de escoamento a uma distância radial  $r$  é dada pela equação:

$$v = \frac{p}{4\mu L} (R^2 - r^2) \quad (4)$$

Para se obter a vazão através do tubo, é necessário somar as contribuições de escoamento de todas as carcaças concêntricas do tubo variando desde  $r = 0$  até  $r = R$ .

É possível fazer isto notando que o volume de líquido que escoa através da seção transversal do tubo em um tempo unitário tem a forma de uma parabolóide de revolução, como mostra a figura 2.

Para propósito de integração, considerar uma parabolóide de revolução como soma de discos circulares finos tendo cada um espessura  $dv$  e área  $\pi r^2$ . O volume dessa parabolóide de revolução é dado pela equação (5):

$$\frac{V}{t} = \int_{r=0}^{r=R} \pi r^2 dv \quad (5)$$

Substituindo o valor de  $dv$  da equação (2) na equação (5), temos:

$$\frac{V}{t} = \pi \int_{r=0}^{r=R} \frac{r^2 pr}{2\mu L} dr = \frac{\pi p}{2\mu L} \int_{r=0}^{r=R} r^3 dr \quad (6)$$



Integrando a equação (6) aos limites dados temos a equação (7) que mostra a razão de volume de escoamento através do tubo capilar.

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi p R^4}{8 \mu L} \quad (7)$$

Resolvendo explicitamente para uma viscosidade genérica  $\mu$ , temos a equação (8):

$$\mu = \frac{\pi p R^4 t}{8 L V} \quad (8)$$

### 1.2 - Fator de correção de energia cinética

Na Lei de Poiseuille, a soma foi feita considerando que toda energia consumida foi totalmente convertida na resistência viscosa do líquido. Em muitos viscosímetros industriais, entretanto, uma parte apreciável da energia de entrada pode ser desviada para movimentar o fluido por capilaridade, isto é, transformada em energia cinética.

Então o fator de correção de energia cinética (EC) é, frequentemente, um complemento necessário de alguma equação usada para converter o tempo em segundos para poises. Essa correção é importante especialmente no caso de líquidos de baixa velocidade com alta vazão. O fator de correção EC pode ser computado por derivação de uma equação de energia cinética de um fluido que passa através da seção transversal do tubo capilar do viscosímetro em um tempo unitário.

Desde que  $EC = 1/2 m v^2$ , onde  $m$  é a massa do líquido, a equação de EC do líquido que escoar através do tubo capilar de um viscosímetro por unidade de tempo é dada pela equação (9):

$$EC = \int_{r=0}^{r=R} \underbrace{2\pi r \, dr \, v_p}_m \frac{v^2}{2} = \pi p \int_{r=0}^{r=R} r \, dr \, v^3 \quad (9)$$

Onde  $\underline{v}$  é a velocidade a uma distância radial  $r$  do eixo do tubo capilar a qual já foi determinada previamente como sendo:

$$v = (p/4\mu L) (R^2 - r^2) \quad (4)$$

Note que, na equação (4),  $p$  representa a fração da pressão de dicada exclusivamente para vencer a resistência de fricção do líquido.

Substituindo este valor de  $\underline{v}$  na equação de energia cinética (equação 9) temos:

$$\begin{aligned} EC &= \frac{\pi \rho p^3}{64\mu^3 L^3} \int_{r=0}^{r=R} (R^2 - r^2)^3 r dr \\ &= \frac{\pi \rho p^3}{64\mu^3 L^3} \int_{r=0}^{r=R} (R^6 r - 3R^4 r^3 + 3R^2 r^5 - r^7) dr \end{aligned} \quad (10)$$

Integrando a equação 10, temos:

$$EC = \frac{\pi \rho p^3}{64\mu^3 L^3} \left[ \frac{1}{2} R^6 r^2 - \frac{3}{4} R^4 r^4 + \frac{3}{6} R^2 r^6 - \frac{r^8}{8} \right]_{r=0}^{r=R} \quad (11)$$

Quando  $r=R$  a equação (11) se reduz a:

$$EC = \frac{\pi \rho p^3}{64\mu^3 L^3} \frac{R^8}{8} \quad (12)$$



Agora a velocidade média  $u$  do líquido escoando através do tubo capilar deve ser igual a vazão dividido pela seção transversal do tubo. Desde que a razão de volume de escoamento foi determinada na equação  $V/t = \pi p R^4 / 8 \mu L$  (equação 7), a velocidade média  $u$  pode ser expressa da seguinte forma:

$$U = \frac{V/t}{\pi R^2} = \frac{\pi p R^4}{8 \mu L \pi R^2} = \frac{p R^2}{8 \mu L} \quad (13)$$

Elevando-se ao cubo e arranjando-se de uma forma adequada, temos:

$$p^3 = \frac{8^3 \mu^3 L^3 u^3}{R^6} \quad (14)$$

Substituindo o valor de  $p^3$  na equação (12) temos a expressão simplificada da energia cinética de entrada, em termos de velocidade média  $u$ :

$$EC = \pi \rho R^2 u^3 \quad (15)$$

Essa energia cinética é originada pela ação da  $p_{EC}$ , ou seja a fração da pressão total agindo sobre o volume  $\pi R^2 u$  do líquido escoando através do tubo capilar. Desse ponto de vista a energia de entrada é igual a  $EC = p_{EC} \pi R^2 u$ . Todavia essa energia de entrada deve ser também igual a  $EC$  computada pela equação (15). Então, temos:

$$P_{EC} \pi R^2 u = EC = \pi \rho R^2 u^3 \quad (16)$$

$P_T$  é a pressão total requerida para manter o escoamento de líquido através do tubo capilar. Então a energia total de entrada é igual a  $p_T \pi R^2 u$ . A energia de entrada que vai superar a resistência de fricção é a diferença entre a total e  $EC$ .

$$p \pi R^2 u = \underbrace{p_T \pi R^2 u}_{\text{energia total}} - \underbrace{\pi \rho R^2 u^3}_{\text{energia cinética}} \quad (17)$$

$$p = p_T - \rho u^2$$

A equação (17) mostra que se o valor verdadeiro de viscosidade for determinado pela equação de Poiseuilles, a pressão total  $p_T$  imposta deve ser diminuída pelo fator de correção  $\rho u^2$  para compensar EC de entrada.

Introduzindo essa correção na equação (17) resulta na equação (18):

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi (p_T - \rho u^2) R^4}{8\mu L} \quad (18)$$

Resolvendo explicitamente para  $V$  e substituindo por seu equivalente  $V / \pi R^2 t$  temos a equação (19):

$$V = \frac{\pi p_T R^4 t}{8\mu L} - \frac{\rho V^2}{8\pi \mu L t} \quad (19)$$

Finalmente resolvendo para uma viscosidade  $\mu$  temos uma expressão para determinar a viscosidade do líquido incluindo o fator de correção:

$$\mu = \frac{\pi p_T R^4 t}{8VL} - \frac{\rho V}{8\pi Lt} \quad (20)$$

### 1.3 - Redução à prática

Na prática a queda de pressão  $p$  atuando ao longo do tubo capilar  $L$  pode ser obtida simplesmente pela ação da pressão hidrostática do líquido em teste, colocado acima da entrada do tubo capilar.

Dois arranjos para construção de viscosímetros capilares estão mostrados na figura 3.

Em cada caso a pressão efetiva  $p$  atuando ao longo do comprimento do capilar  $L$  é igual a  $h\rho g$  onde  $h$  é a altura vertical entre as duas superfícies livres do líquido em teste,  $\rho$  é a densidade do líquido e  $g$  é a constante de aceleração gravitacional que é  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

$$p = h\rho g \quad (21)$$

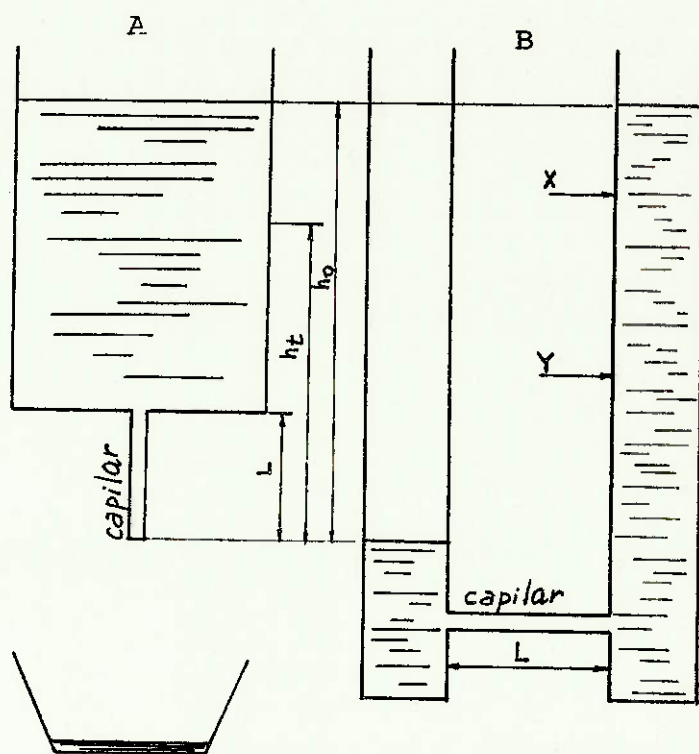


Figura 3. Esquema ilustrativo de viscosímetros hidrostáticos.

## 2 - DESCRIÇÃO E CONSTRUÇÃO

### 2.1 - Duas unidades principais

I) Um banho interior (720 mm de largura x 760 de altura x 450 mm de profundidade).

A estrutura é feita de cantoneiras (50mm x 50mm) e a base de uma chapa inox (2mm de espessura). Uma placa de vidro (10mm de espessura) claro é fixada em cada um dos quatro lados do banho com adesivos.

II) Uma outra unidade envidraçada, circundante ao banho interior e separada por um espaço de ar de 50mm, tem a finalidade de isolar termicamente o banho.

Essa unidade é feita de um perfil de alumínio que segura a placa de vidro claro (5mm de espessura) na frente e nos lados.

Uma placa de vidro translúcido é usada para painel de fundo. Com o propósito de limpeza, o painel de frente, o qual tem dobradiça, pode ser aberto ou removido inteiramente.

Ambas unidades I e II são colocadas sobre uma placa (32mm de espessura) rígida. Tal arranjo deve ser escolhido em razão do fato que, quando enchido e completado com acessórios, o peso do banho chega a 200 kg.

É colocado um tapete de borracha entre banho e placa para absorver as vibrações externas.

Na base de aço do banho é instalado um tubo (dreno) que permite retirada do fluido na ocasião da substituição de água.

### 2.2 - Aquecimento

Para o aquecimento é escolhido um sistema de resistência chamada "Aquecimento PYROTENAX"

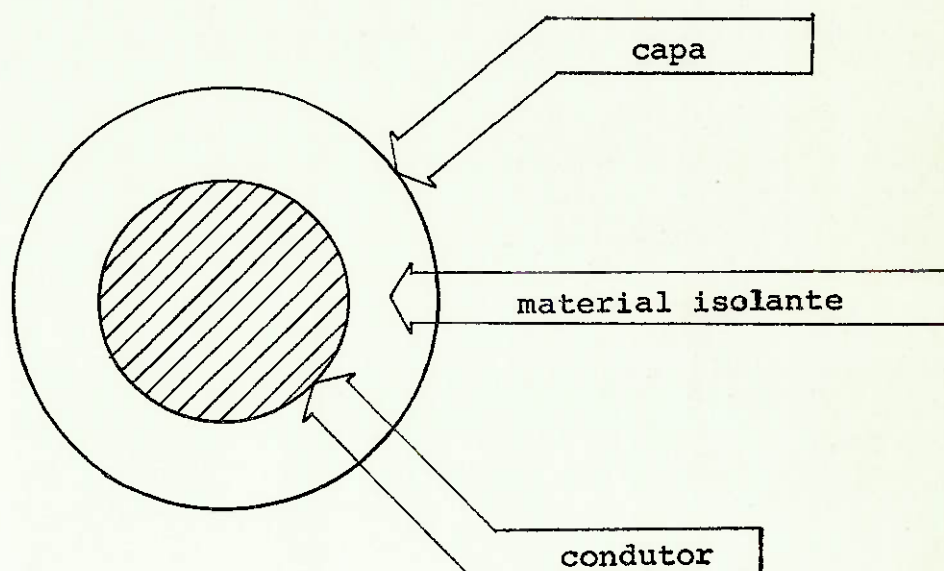
#### Cabo Pyrotenax - cabo de aquecimento

É constituído de um ou mais condutores de resistência rodeados por óxido de magnésio altamente comprimido e cobertos por uma

capa metálica.

O condutor tem as seguintes características:

- a) Uma condutividade térmica de  $3,5\text{W/m}^\circ\text{C}$ , o que resulta em uma excelente transmissão térmica.
- b) alta impermeabilidade
- c) uso em condição de imersão total
- d) estrutura homogênea



#### Cálculo da resistência

potência a ser instalada (P):  $P=1000\text{W}$

d.d.p. fornecida (U) :  $U = 220\text{V}$

$$\text{então: } P = RI^2 = UI \rightarrow R = \frac{U^2}{P} = \frac{(220)^2}{1000} = 48,4 \, \Omega$$

onde: I = é corrente (A)

R = resistência do condutor a temperatura indicada

$$R_m = \frac{R}{L} \quad \text{onde: } R_m = \text{resistência linear do condutor a temperatura indicada}$$

$L$  = comprimento do condutor

Adotando-se  $L = 40$  m, temos:

$$R_m = \frac{R}{L} = \frac{48,4}{40} = 1,21 \Omega / \text{m}$$

#### Resistência linear ( $R_m$ ) de condutores padronizados

O tipo de condutor é escolhido por comparação da resistência calculada com a resistência dos condutores padronizados.

Tendo a resistência calculada, escolhe-se o condutor através da tabela fornecida pelo fabricante:

#### Características do condutor escolhido

TIPO	$\varnothing$ CONDUTOR mm	CAPA mm	S capa $\text{cm}^2/\text{m}$
130	0,56	3,0	94,2

resistência linear  $R_m$  ( $\Omega/\text{m}$ ) : kumanal H  
25°C a 350°C,  $R_m = 1,66 \Omega/\text{m}$

$$\therefore L = \frac{48,4}{1,66} = 29,2 \text{ m} \approx 30 \text{ m}$$

#### Carga máxima

É necessário garantir que as características do condutor escolhido não conduza a temperaturas excessivas de operação.

A temperatura atingida pelo condutor pode ser achada por dois diferentes métodos:

- por analogia com o exposto até aqui e comparando a potência dissipada por metro do fio, temos:



$$C_1 = \frac{P}{L} \quad \begin{array}{l} C_1 = \text{carga específica (W/m)} \\ P = \text{potência (W)} \\ L = \text{comprimento do cabo (m)} \end{array}$$

$$\text{então: } C_1 = \frac{1000}{30} = 33,3 \text{ W/m}$$

b) no caso mais geral, por cálculo da potência emitida por  $\text{cm}^2$  de capa, temos:

$$C_2 = \frac{C_1}{S} = \frac{P}{10\pi DL} \quad \begin{array}{l} C_2 = \text{carga específica (W/cm}^2\text{)} \\ S = \text{superfície de capa para 1 m de comprimento (cm}^2\text{/m)} \\ D = \text{diâmetro externo do cabo (mm)} \end{array}$$

$$C_2 = \frac{1000}{10 \pi 3 \times 30} = 0,35 \text{ W/cm}^2$$

Deve-se notar que, no cálculo de  $C_2$ , a superfície emitida é considerada em relação a capa e não ao condutor. De fato, a condutividade do óxido de magnésio causa uma pequena diferença de temperatura entre o condutor e a capa.

Do gráfico fornecido pelo fabricante acha-se a temperatura do condutor igual a  $240^\circ\text{C}$ .

Portanto, como o limite de Kumanal é  $350^\circ\text{C}$  pode-se usar essa bitola.

### Temperatura

Se a temperatura calculada pelo método acima descrito for próxima da temperatura crítica, essa bitola não deve ser escolhida.

Deve-se então abaixar a temperatura pelo(a):

- . incremento do coeficiente de troca
- . redução da carga
- . escolha de um  $R_m$  menor
- . escolha de uma d.d.p. mais baixa

### Variação da resistividade ( $\rho$ );

A variação da resistividade do metal como função de temperatura pode ser expressa:

$$\rho_t = \rho_o [1 + \alpha(t - t_o)]$$

$\rho_t$  = resistividade a temperatura  $t$   
 $\rho_o$  = resistividade a temperatura da referência  $t_o$

Como a resistência do condutor está relacionada com sua resistividade pela fórmula  $R = \frac{\rho \ell}{S}$  pode-se escrever:

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20)]$$

$R_t$  = resistência a temperatura  $t$   
 $R_{20}$  = resistência a 20°C  
 $\alpha$  = coeficiente de temperatura

No caso de se usar kumanal ( $\alpha=0$ ), temos:

$R_t = R_{20}$

### Natureza de Capas Padronizadas

O largo campo de aplicações motivou o uso de diferentes tipos de capa. Nesse caso escolhemos uma capa de cobre.

### 2.3 - Agitação

O banho é agitado por duas hélices de 58mm de diâmetro, que penetram a uma profundidade de 380mm, sendo que uma movimenta a água para cima e outra para baixo. As hélices estão situadas a 215 mm dos lados e 120mm do vidro de fundo. Os motores utilizados (1/40 CV, 1630 rpm) para acioná-las estão fixados em uma chapa de alumínio localizada sobre a borda superior, no topo da unidade II que é ligeiramente mais alta que a unidade I.

Os seguintes fatores são considerados:

a) razão de profundidade com largura equivalente

O valor dessa razão é, normalmente entre 0,5 e 1,5, e o valor aproximado igual a 1 é recomendado para a aplicação usual.

b) aspereza de paredes

Uma parede áspera consome maior potência que uma parede lisa.

O diâmetro da hélice é determinado sabendo-se que se usa grande diâmetro para uma rotação mais baixa e se usa pequeno para uma rotação mais alta.

2.4 - Iluminação

O banho está iluminado por um jogo de 6 lâmpadas fluorescentes de 40 W montados horizontalmente, uma sobre a outra, sobre uma placa que está distanciada de 75 mm do vidro translúcido.

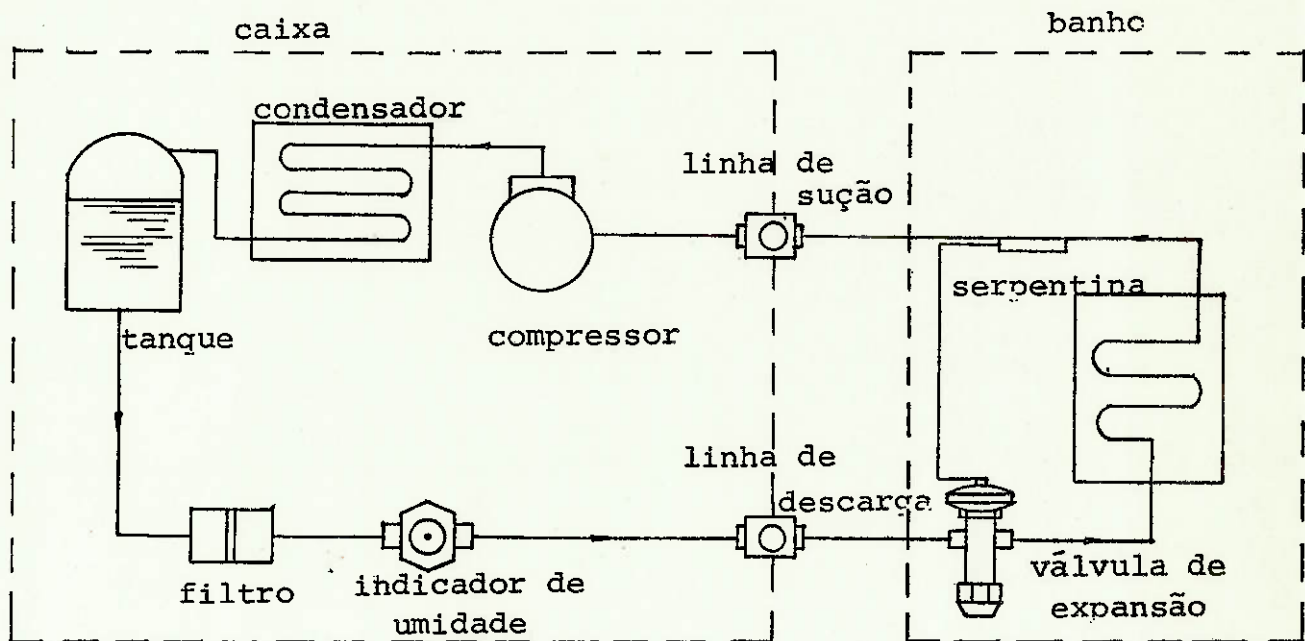
Cada duas lâmpadas são individualmente comutadas. O número de lâmpadas usadas é função do tipo de teste a ser realizado.

Raramente é necessário usar todas as 6 lâmpadas simultaneamente, mas uma vez feita a escolha deve ser mantido o número de lâmpadas acesas até se completar todos os testes.

Lâmpadas fluorescentes são preferidas porque o efeito de aquecimento é consideravelmente menor (ver a figura em anexo).

## 2.5 - Refrigeração

Usaremos um sistema de compressão a vapor. O sistema de refrigeração é mostrado abaixo:



Sistema simplificado

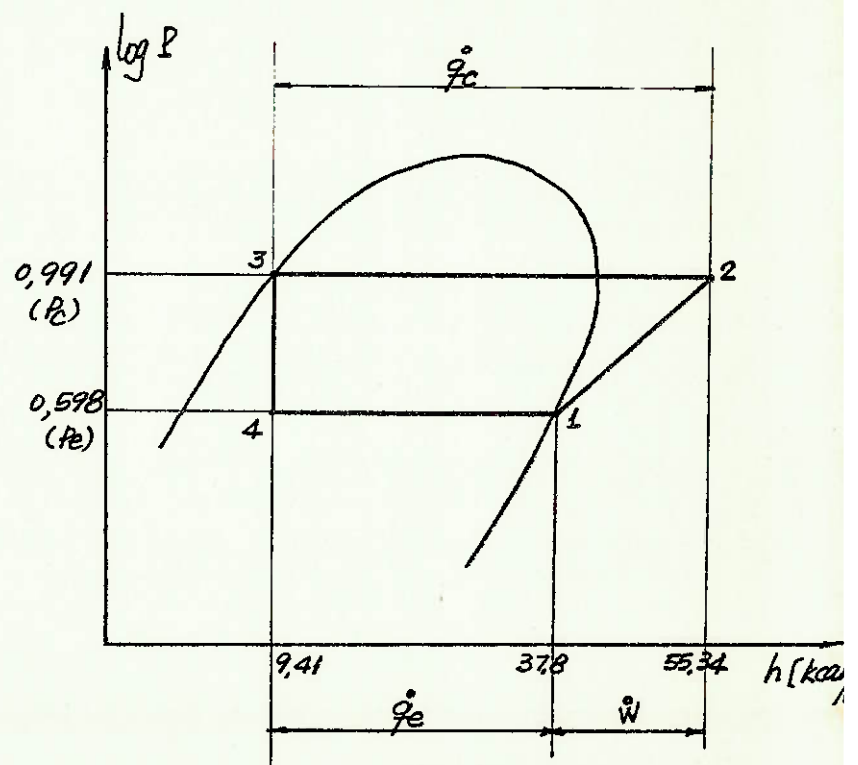
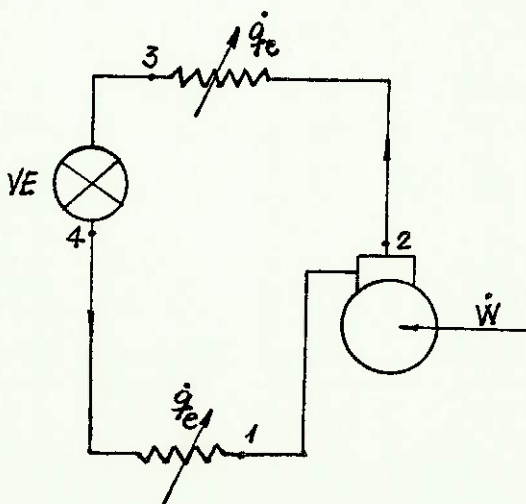


diagrama p-h

descarga do refrigerante ( $\dot{m}$ ):

$$\dot{m} = \frac{\dot{q}_e}{h_1 - h_4} \quad (1)$$

potência absorvida pela compressão ( $\dot{W}$ ):

$$\dot{W} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (2)$$

a temperatura de condensação ( $t_c$ ):  $t_c = 25 + 15 = 40^\circ\text{C}$   
(pág. 216, instalações frigoríficas, Remi)

Do catálogo de ELGIN obtem-se:

a potência consumida pelo compressor:  $\dot{W} = 530 \text{ W}$

Da expressão (2), tem-se:

$$h_2 - h_1 = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} \Rightarrow h_2 = h_1 + \frac{\dot{W}}{\dot{m}} \quad (3)$$

Da expressão (1), tem-se:

$$\dot{m} = \frac{\dot{q}_e}{h_1 - h_4} = \frac{2940 \times 0,251}{37,8 - 9,41} = 26 \text{ kg/h}$$

$$\dot{W} = 530 \text{ W} = 456 \text{ Kcal/h}$$

Substituindo os valores na equação (3), vem:

$$h_2 = 37,8 + \frac{456}{26} = 55,34 \text{ Kcal/kg}$$

Carga térmica no condensador ( $q_c$ ):

$$q_c = \dot{m} (h_2 - h_3) = 26 (55,34 - 9,41) = 1194 \text{ Kcal/h}$$

Então, é fácil verificar a seguinte expressão:

$$\dot{q}_c = \dot{q}_e + \dot{W}$$

### Resfriador de expansão direta (evaporador)

O material empregado para o resfriador é o tubo de cobre.

O formato do resfriador de tubo é uma hélice cilíndrica.

#### Cálculo da superfície necessária (S):

O cálculo se procede como no caso de um trocador de calor.

O calor trocado  $\dot{q}_e$ , como se sabe pode ser escrito:

$$\dot{q}_e = U.S.\Delta t_m \quad (4)$$

onde:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

O valor de U depende da aplicação em questão:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_{di}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{R}{\alpha_{de}} + \frac{R}{\alpha_e}$$

(para tubo liso, pg. 246, Instalações frigoríficas, Remi).

onde:  $\alpha_i$  e  $\alpha_e$  = coeficientes de película interna e externa  
(Kcal/m<sup>2</sup>. h.°C)

$\alpha_{di}$  e  $\alpha_{de}$  = coeficientes de película equivalentes dos depósitos sobre os tubos (interno e externo) (Kcal/m<sup>2</sup>. h.°C).

$\delta$  = espessura do metal (m)

$\lambda$  = condutividade térmica do metal (Kcal m/m<sup>2</sup>.h.°C)

R = superfície externa/superfície interna

U = coeficiente global de transmissão de calor (Kcal/h.°C.m<sup>2</sup> superfície interna).

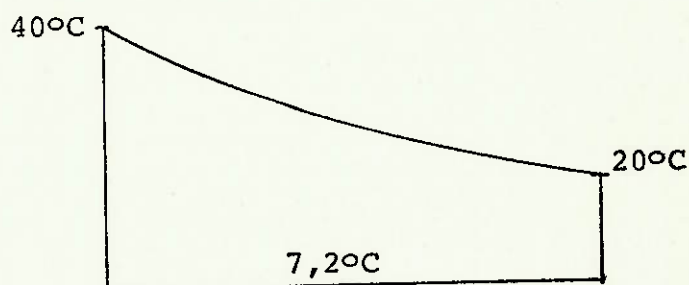
Todavia para um cálculo simplificado usaremos o valor de U = 80 Kcal/h.°C m<sup>2</sup> (valor fornecido pelo fabricante).



De um lado da superfície existe fluido vaporizando a uma temperatura constante ( $7,2^{\circ}\text{C}$ ), do outro o meio (banho) sendo resfriado a uma temperatura que varia de  $\theta_1$  a  $\theta_2$

Supondo:  $\theta_1 = 40^{\circ}\text{C}$

e  $\theta_2 = 20^{\circ}\text{C}$



$$\Delta t_m = \frac{32,8 - 12,8}{\ln \frac{32,8}{12,8}} = 21,25^{\circ}\text{C}$$

Da equação (4), podemos determinar a superfície necessária (S):

$$S = \frac{\dot{q}_e}{U \cdot \Delta t_m} = \frac{738}{80 \times 21,25} = 0,434 \text{ m}^2$$

## 2.6 - Controlador de Temperatura

### Informações Gerais

Este controlador de temperatura é um aparelho predominantemente estático, ou seja, em estado sólido, podendo ser submetido a vibrações e choques. É projetado para proporcionar alta confiabilidade, longa vida, especialmente indicado para trabalho contínuo sob rígidas condições. Montado em caixa metálica disponível comercialmente, compõem-se de seis cartões nos quais estão montados os circuitos eletrônicos que são plugados através de conectores receptáculos na caixa; sendo um dos cartões adaptados através de furos especiais no painel da caixa (cartão de sinalização). Na parte traseira do aparelho são feitas as conexões através de conector plástico AMP-de 9 pinos. O controlador foi projetado para absorver picos ou variações moderadas da tensão de linha contendo circuitos de supressão de transientes e levando em consideração tais parâmetros no

dimensionamento de seus componentes.

### Teoria de Controle

O controlador possui uma ação LD(liga/desliga):

desliga o sistema de aquecimento na temperatura pré-ajustada pelo potenciômetro de precisão do painel e volta a ligar num ponto abaixo do ponto de desligamento, sendo esta variação em torno do ponto de temperatura ajustada. E também o controlador possui uma ação PD (proporcional diferencial): a realimentação fornece uma resposta proporcional à diferença dos sinais medido e de referência. A banda proporcional é uma porcentagem fixa do ponto ajustado de temperatura. Assim, ao ligar o controle este atua com ação do tipo LD até atingir a banda proporcional onde ocorrerão os ligamentos e os desligamentos proporcionais às posições de temperatura na banda. No início da banda o tempo de ligamento será integral e o de desligamento nulo, no centro onde fica o ponto ajustado, a divisão do tempo será de 50% e no final da banda o tempo de desligamento será integral e o de ligamento nulo, invertendo a situação.

O sinal de entrada (fornecido pelo sensor) que varia em função da variação da temperatura do banho, é comparado com outro sinal de geração independente e repetitiva cuja forma é de uma rampa.

O período do sinal de comparação é de 2,5 segundos e dependendo da temperatura que corresponde a um ponto de comparação com a rampa haverá um sinal resultante proporcional ao nível da temperatura com relação a posição da rampa. Portanto os tempos variam em função das variações de temperatura. Nestes tempos chavearão os pulsos de controle que atuam o sistema de potência em regime proporcional e integral (ver figuras em anexo).

## 2.7 - Suporte e pegadores para a suspensão de viscosímetros

Um suporte H de liga de alumínio, pousado sobre superfícies horizontais da unidade I, permite a suspensão de 8 pegadores de viscosímetros na água. Os pegadores são projetados de modo que aquele viscosímetro selecionado pode ser suspenso em um ângulo reto (tolerância de  $0,1^\circ$ ) com a superfície nivelada do suporte. Três pés ajustáveis permitem que a superfície do rasgo do suporte seja horizontal por referência de dois níveis.

Este sistema garante que a requerida verticalidade possa ser alcançada. A divergência de  $1,0^\circ$  de verticalidade pode causar um erro de 0,2% nos resultados obtidos pelo viscosímetro capilar.

A verificação individual de cada pegador e de sua planicidade e retilinidade é um trabalho de metrologia. Junto ao bloco de alumínio, o suporte cobre a maior parte da superfície da água. Este arranjo ajuda minimizar a perda por evaporação e funciona como isolante térmico.

### 3 - MEDIDA DE TEMPERATURA

#### 3.1 - Escala Internacional Prática de temperatura de 1968

A escala internacional prática de temperatura de 1968 , chamada simplificada de IPTS-68, é baseada em um grupo de estados de equilíbrio (chamados pontos fixos) e instrumentos padrões de interpolação que são calibrados.

Nesses pontos fixos de referências as temperaturas desses pontos fixos são obtidas em estados de equilíbrio entre fases de substâncias puras. Os valores numéricos são determinados por termometria a gás nos laboratórios. Todos os outros medidores de temperatura usados na prática são calibrados direta ou indiretamente por comparação com a escala internacional. A tabela em anexo fornece a relação dos pontos fixos fundamentais, o valor de temperatura adotado e a incerteza nas medidas que a tecnologia atual permite controlar.

O instrumento padrão recomendado para medidas intermediárias entre os pontos fixos, na faixa de  $-259,34^{\circ}\text{C}$  a  $630,74^{\circ}\text{C}$  é o termômetro de resistência elétrica de platina. Entre  $630,74^{\circ}\text{C}$  e  $1064,43^{\circ}\text{C}$  é recomendado o termopar formado pela platina pura e a liga de platina com 10% de ródio. Acima de  $1064,43^{\circ}\text{C}$  não foi definido o instrumento de medida, mas definiu-se a escala de temperatura pela equação de Plank.

#### 3.2 - Termometria de resistência de Platina

##### Introdução

O uso de termômetros de resistência está se difundindo rapidamente devido a sua precisão e simplicidade de operação. Basicamente, um termômetro de resistência é um instrumento para medição de resistência elétrica, mas calibrado em graus de temperatura, ao invés de ohms.

O elemento primário, que converte temperatura em resistência, pode assumir duas formas:

- a) O bulbo de resistência, em que o elemento sensível é um resistor mecânico, cuja resistência elétrica, via de regra, aumenta com a temperatura.



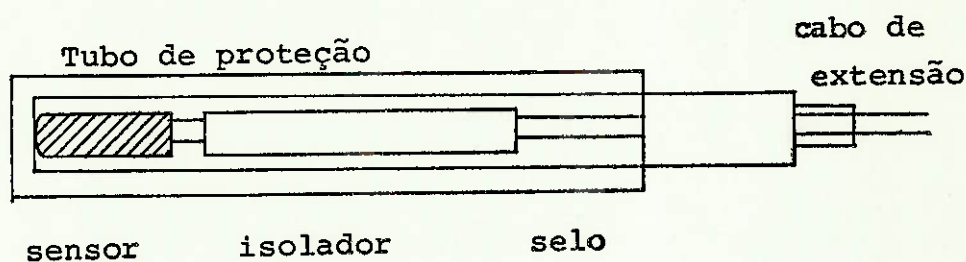
- b) O termistor, constituído de um material semi-condutor, cuja resistência elétrica diminui com o aumento de temperatura. Para nosso caso o bulbo de resistência é escolhido.

### Princípio de funcionamento e características gerais

Os termômetros de resistência são sensores de temperatura que operam baseado no princípio da variação da resistividade elétrica de um metal, em função da temperatura, sendo confeccionadas com fios altamente purificados de platina. Suas principais características são a alta estabilidade mecânica e térmica, resistência à corrosão, relação resistência-temperatura bastante linear, desvio com uso e envelhecimento desprezíveis, além de alto sinal elétrico de saída.

### Montagem

O elemento primário do termômetro de resistência é um sensor, feito de um fio de alta pureza encapsulado num tubo de vidro ou cerâmica. Os valores de resistência são padronizados a uma temperatura fixa, por exemplo 100 ohms a 0°C.



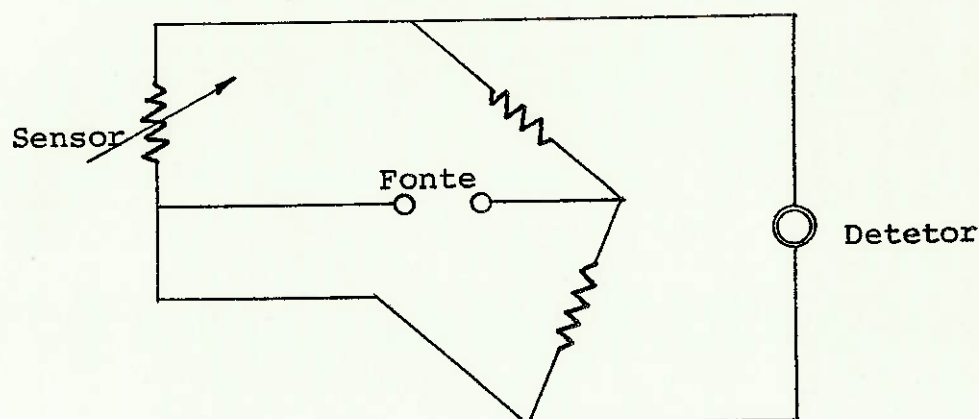
O sensor é montado num tubo de aço inox de forma a permitir uma boa transferência de temperatura e proteção contra sujeira e o ambiente de utilização. Estes tubos são frequentemente inseridos diretamente nos processos ou montados em poços termométricos muitas vezes com um sistema de mola ou equivalente para garantir um perfeito contato do sensor com o fundo do poço. O termômetro pode

ser ligado a um cabeçote ou diretamente a um fio de cobre isolado de comprimento variável, após ter-se selado a extremidade do tubo de proteção para evitar a penetração de sujeira e umidade.

### Princípios de medição

A medição do termômetro de resistência é normalmente feita por um circuito tipo ponte de resistências, na qual a resistência elétrica do fio de ligação entre o sensor e o instrumento pode influir no resultado da leitura. Assim, os termômetros de resistência são fornecidos em diferentes configurações de ligação.

Para nosso caso usaremos ligação de três fios.



Esta configuração fornece uma ligação numa extremidade do sensor e duas na outra. Conectado como indicado a uma ponte simétrica ou a um instrumento projetado para aceitar entrada de três fios, obtém-se a compensação da resistência do cabo e efeitos da variação de temperatura sobre ela. É a ponte de Wheatstone. Ver a tabela em anexo de resistências com a variação de temperatura.

### 3.3 - O efeito da luz sobre termômetros de resistência de platina.

Por causa dos níveis de iluminação necessários ao banho de viscosidade, atenção deve ser dada ao efeito da radiação resultante sobre os termômetros de resistência de platina:



Um exame da magnitude desse efeito é discutida abaixo. É evidente que alguma forma de proteção ao termômetro é necessária. Para satisfazê-la, a proteção é feita através de um tubo de aço inox (0,2mm de espessura).

Esse tubo permite proteção total contra a luz ambiente e a das lâmpadas do banho. Por causa da alta condutividade do tubo ele assume rapidamente a temperatura da água circundante.

O elemento de resistência do termômetro, sendo inteiramente coberto pelo tubo, pode ter uma razoável inércia térmica; no entanto, isso não justifica a necessidade de encher o espaço interferente com óleo ou água. Inevitavelmente, o tempo de resposta do termômetro é, prolongado por fixação do tubo, mas o efeito não parece excessivo para esta aplicação. Testes são feitos para comparar as leituras de um termômetro não protegido com aqueles protegidos em tubos enchidos com óleo de parafina ou vazios.

Os resultados confirmam a validade da decisão acima. Na ocasião quando é necessário verificar valores de resistência ao ponto triplo da água, os termômetros em tubo devem ser protegidos da iluminação ambiental. Sendo a temperatura do banho controlada e monitorada, pode-se avaliar os efeitos da luz do dia, da luz fluorescente e da luz a 100 W - lâmpada de filamento de tungstênio reluzente a termômetros.

Testes repetidos são feitos usando dois termômetros de resistência de platina, um sendo sempre protegido e outro sendo alternativamente protegido. Foi determinado que luz do dia ambiental sozinha produz uma subida na temperatura indicada pelo instrumento não protegido de 4,5 a 7 mK, enquanto que iluminação fluorescente (todas as 6 lâmpadas) contribui uma subida adicional de 2,3 mK.

Uma lâmpada de filamento de tungstênio (100 W) pendurada a 330 mm do banho produz um aumento adicional de 5 mK. Então fica evidente que, mesmo com a alta eficácia fotométrica de lâmpadas fluorescentes, uma radiação suficiente chega ao termômetro de resistência para causar erros significativos, a não ser que a proteção seja adotada.

A incerteza estimada em termos de Escala Prática Internacional de temperatura de 1968, é cotada em certificados de calibração

com  $\pm 1 \times 10^{-3}$  K entre 0°C e 100°C. O ponto tríplo da célula de água à 0,01°C permite que seus valores de resistência sejam estabelecidos a intervalos regulares. A célula é preparada 24 horas antes de ser usada.

A maioria dos termômetros de resistência de platina é extremamente vulnerável a quebra por descuido. A mudança subita na leitura do ponto tríplo é provavelmente uma indicação de quebra do termômetro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PATTON, Temple C.. Paint flow and pigment dispersion. New York, Interscience Pub., 1964.
2. E.E.U.A. HANDBOOK Nº 9. Agitador selection and design. Londo, Constable & Company Ltd., 1962. 88p.
3. HATSCHEK, Emil. The Viscosity of liquids. London, G. Bell and Sons, Ltd., 1928, 239p.
4. BAKER, H. Dean. Temperature measurement in engineering. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1953.
5. RUFFEL, Dorothy E..A temperature controlled water bath for viscosity measurement. NPL Report MOM 24, December 1977.
6. SILVA, Remi Benedito. Instalações frigoríficas. São Pualo, Grêmio Politécnico.
7. CASTRUCCI, Plinio Benedicto Lauro. & BATISTA, Léo. Controle Linear - método básico. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., 1980.
8. PYROTENAX HEATING. C.R.M. do Brasil.
9. Norma ABNT/IBP, P-EB-316

Viscosímetros modificados tipo Ostwald

A.1 — OBJETIVO

Os viscosímetros modificados tipo Ostwald para líquidos transparentes têm o desenho básico do viscosímetro Ostwald mas são modificados conforme a descrição para garantir volume constante de amostra no viscosímetro: à temperatura de enchimento para os viscosímetros Cannon-Fenske, Cannon-Manning Semi-Micro e Pinkevitch, e à temperatura do ensaio para os viscosímetros Zeitfuchs, SIL, PS/Tubo em U, e BS/U miniatura. Estes viscosímetros são utilizados na determinação da viscosidade cinemática de líquidos newtonianos transparentes até 20,00 cSt.

A.2 — APARELHAGEM

Os desenhos detalhados dos viscosímetros modificados tipo Ostwald são mostrados nas figuras de A.1 até A.7. As tabelas de A.1 até A.7 dão o tamanho, constantes aproximadas, as faixas de viscosidade cinemática, diâmetro do capilar e a capacidade dos bulbos, para cada viscosímetro.

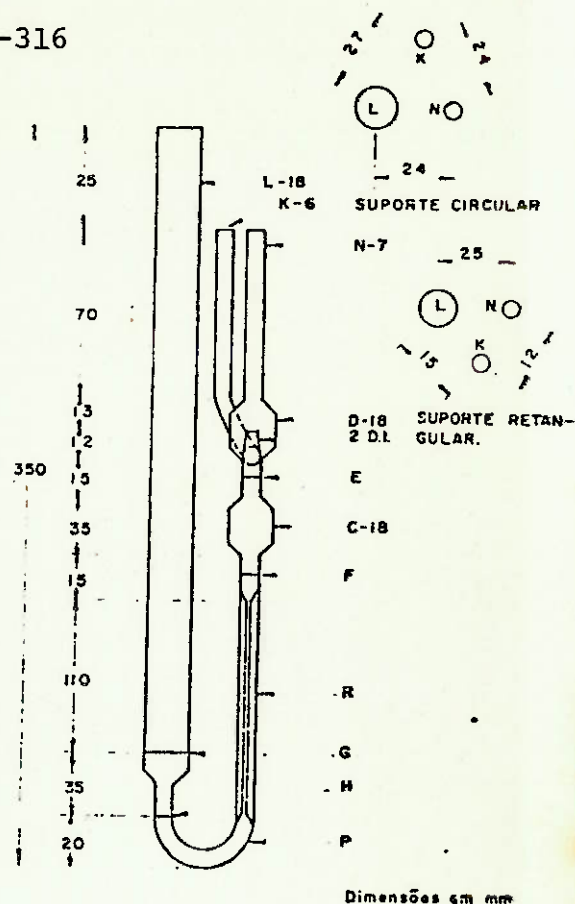


FIG. A2 - VISCOSÍMETRO PARA LÍQUIDOS TRANSPARENTES, TIPO ZEITFUCHS.

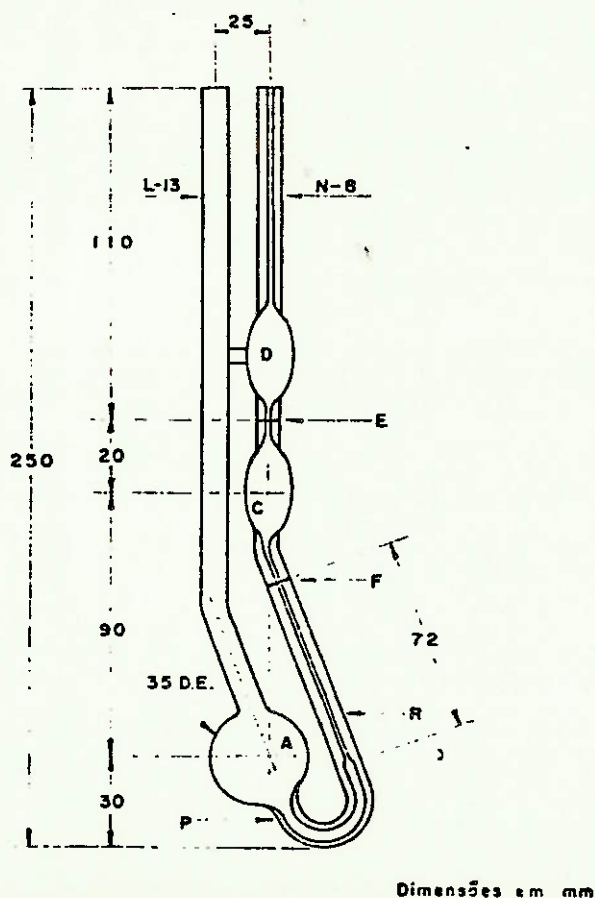


FIG. A1 - VISCOSÍMETRO PARA LÍQUIDOS TRANSPARENTES, TIPO CANNON - FENSKE.

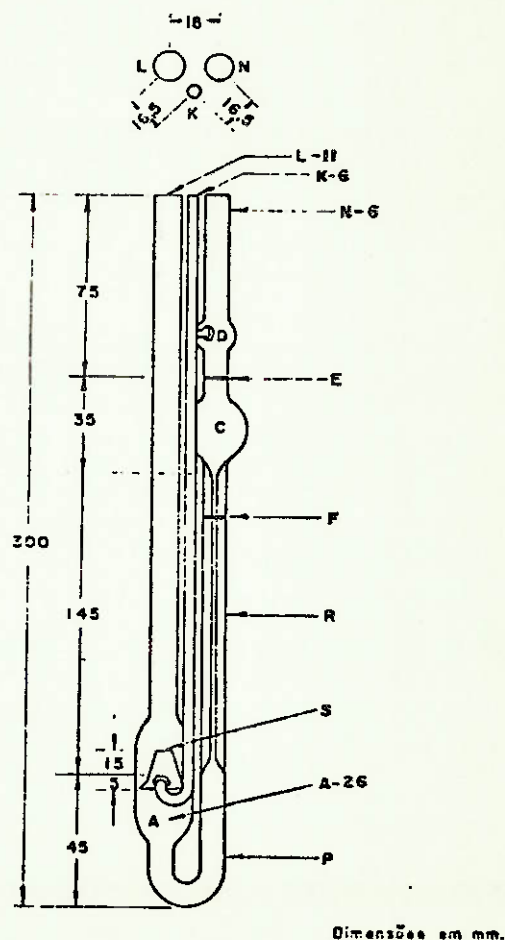
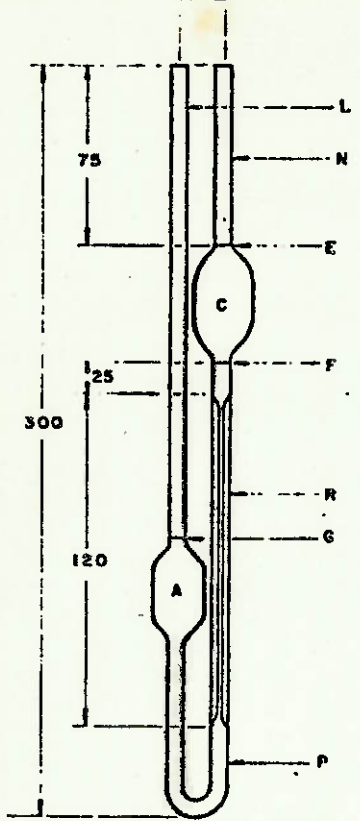


FIG. A3 - VISCOSÍMETRO PARA LÍQUIDOS TRANSPARENTES, TIPO SIL

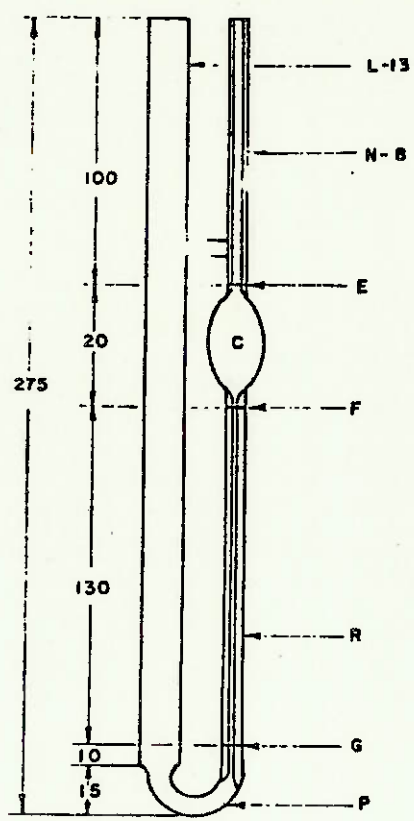
TAMANHOS A-F 20  
TAMANHOS G e H 25



Dimensões em mm.

- VISCOSÍMETRO PARA LÍQUIDOS TRANSPARENTES, TIPO BS/U.

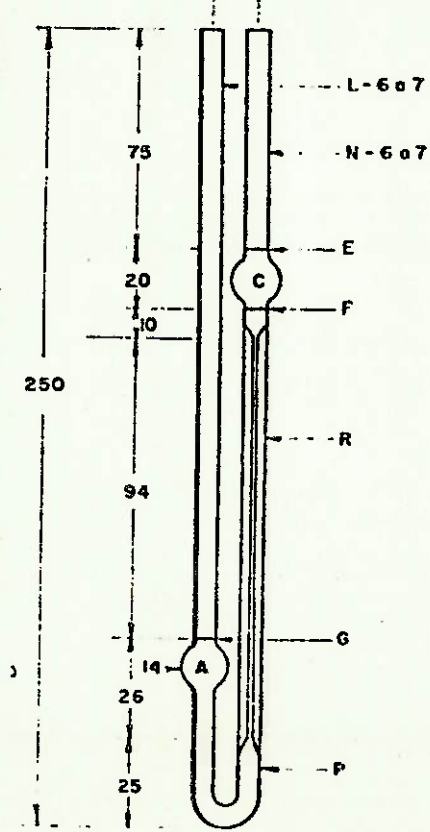
25



Dimensões em mm.

FIG. A6 - VISCOSÍMETRO SEMI MICRO PARA LÍQUIDOS TRANSPARENTES TIPO CANNON-MANNING.

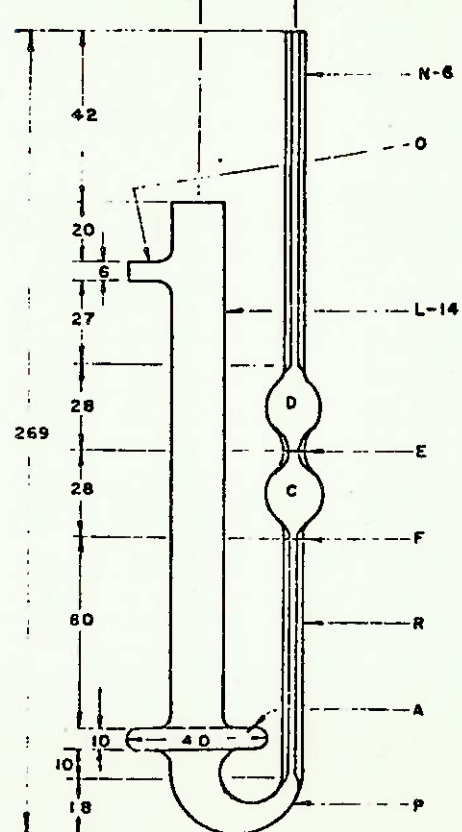
12



Dimensões em mm.

- VISCOSÍMETRO MINIATURA PARA LÍQUIDOS TRANSPARENTES, TIPO BS/U/M.

28



Dimensões em mm.

FIG A7 - VISCOSÍMETRO PARA LÍQUIDOS TRANSPARENTES, TIPO PINKEVITCH.



## — INSTRUÇÕES PARA OPERAÇÃO

O método IBP/ABNT-11E-516 descreve o procedimento padrão aplicável a todos os viscosímetros cinemáticos capilares. Instruções para operar os viscosímetros modificados tipo Ostwald são descritos nos itens A.3.1 a A.3.7 enfatizando os procedimentos que são específicos para esses tipos de viscosímetros.

**A.3.1 —** Selecione um viscosímetro adequado, limpo e seco que dê um tempo de escoamento superior a 200 segundos ou o tempo indicado na tabela do dimensionamento.

**A.3.2 —** Coloque a amostra no viscosímetro da maneira indicada nas instruções do aparelho. Filtre a amostra se houver partículas sólidas presentes.

**A.3.2.1 —** Para encher os viscosímetros non-Fenske, Cannon-Manning Semi-Micro e Pinkevitch, inverta os viscosímetros e que sucção no tubo L (o viscosímetro Pinkevitch tem um braço lateral O ao qual aplica o vácuo, com o dedo no tubo L, para controlar o escoamento do líquido) e o tubo N imerso na amostra líquida. Deixe a amostra escorrer até a marca para enchimento F para os viscosímetros Cannon-Manning e Pinkevitch e até a linha de enchimento G no viscosímetro Cannon-Manning Semi-Micro. Monte o viscosímetro na posição normal no banho de temperatura constante mantendo o tubo L na posição vertical.

**A.3.2.2 —** Monte o viscosímetro Zeifman no banho de temperatura constante mantendo o tubo L verticalmente. Coloque a amostra através do tubo L até a linha de enchimento G. Espere 15 minutos para que a amostra atinja a temperatura do banho e que livre de bolhas de ar. Ligue o vácuo ao tubo K por uma torneira e trapa. Introduza vagarosamente a amostra no bulbo de medição C abrindo parcialmente a torneira da linha do vácuo e fechando parcialmente o tubo N com o dedo. Deixe o excesso de líquido escoar no bulbo D e atravesando o tubo K na trapa da linha de vácuo. Quando o líquido no tubo L atingir um nível de 2 a 5 mm acima da linha H, mantenha-o neste ponto por abertura e fechamento alternados do tubo N para a atmosfera com o dedo pelo tempo indicado abaixo para permitir que a amostra escoe das paredes do tubo L.

Viscosidade cinemática em cSt	Tempo de drenagem em s.
Abaixo de 10	10 a 30
10 a 100	40 a 60
100 a 1000	100 a 120
Acima de 1000	180 a 200

Acerte o volume para o ensaio, levando o menisco inferior até a marca H, certificando-se que a amostra encha completamente o viscosímetro entre as marcas H e o bico de transbordamento no bulbo D; depois deste ajuste final do volume para o ensaio, remova o dedo e feche ou remova a conexão da fonte de vácuo. O ajuste final pode ser obtido mais convenientemente desligando o vácuo e aplicando pressão ao tubo L, utilizando-se uma pera de borracha.

**A.3.2.3 —** Carregue o viscosímetro SIL, inclinando-o de 30 graus com a vertical, com o bulbo A abaixo do capilar R. Introduza no tubo L amostra suficiente para que o tubo A fique completamente cheio e transborde na galeria. Recoloque o viscosímetro na posição vertical e monte-o no banho de temperatura constante de modo a manter o tubo L em posição vertical. A quantidade de amostra deve ser tal que o nível no reservatório esteja de 3 a 14 mm acima da abertura S. A amostra deve alcançar no capilar uma altura superior à abertura S. Após ser atingido o equilíbrio de temperatura, remova o excesso da amostra da galeria, aplicando sucção ao tubo K.

**A.3.2.4 —** Monte os viscosímetros BS/tubo em U, BS/U/M miniatura no banho de temperatura constante mantendo o tubo L em posição vertical. Usando uma pipeta longa, para evitar que o tubo L fique molhado com a amostra acima da marca de enchimento G, encha o bulbo A com um ligeiro excesso de amostra. Depois que a amostra atingir a temperatura do banho, acerte seu volume para que o nível do líquido ultrapasse a marca de enchimento apenas de 0,2 mm, retirando o excesso com uma pipeta.

**A.3.3 —** Deixe o viscosímetro permanecer no banho de temperatura constante por tempo suficiente para garantir que a amostra atinja a temperatura de equilíbrio (para líquidos não viscosos, cerca de 10 minutos a 37,8°C, 15 minutos a 98,9 e 20 minutos a 135°C).

**A.3.4 —** Use vácuo (ou pressão se a amostra contiver constituintes voláteis) para introduzir a amostra através do bulbo C até aproximadamente 5 mm acima da marca para medição E. Desligue o vácuo e deixe a amostra escorrer por gravidade.

**A.3.5 —** Meça com aproximação de 0,1 s, o tempo necessário para que o bordo principal do menisco passe da linha E à linha F. Se o tempo de escoamento for inferior a 200 segundos, selecione um viscosímetro de capilar menor e repita desde A.3.2 até A.3.5.

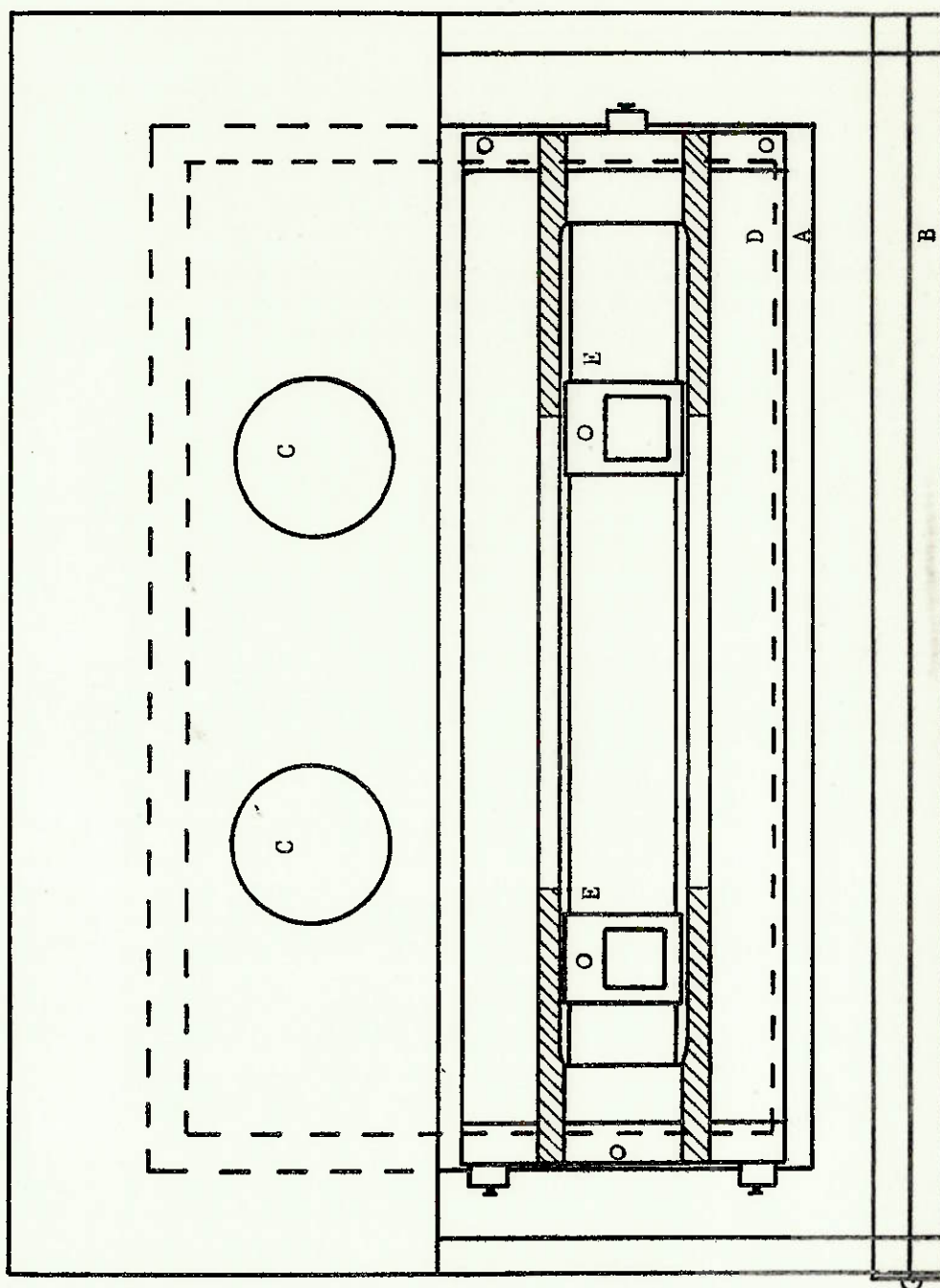
**A.3.6 —** Repita os itens A.3.4 e A.3.5 fazendo uma determinação em duplicata.



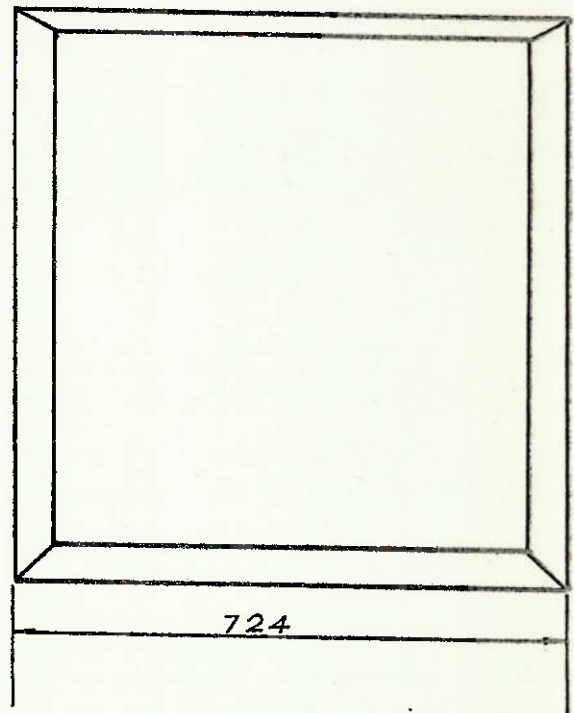
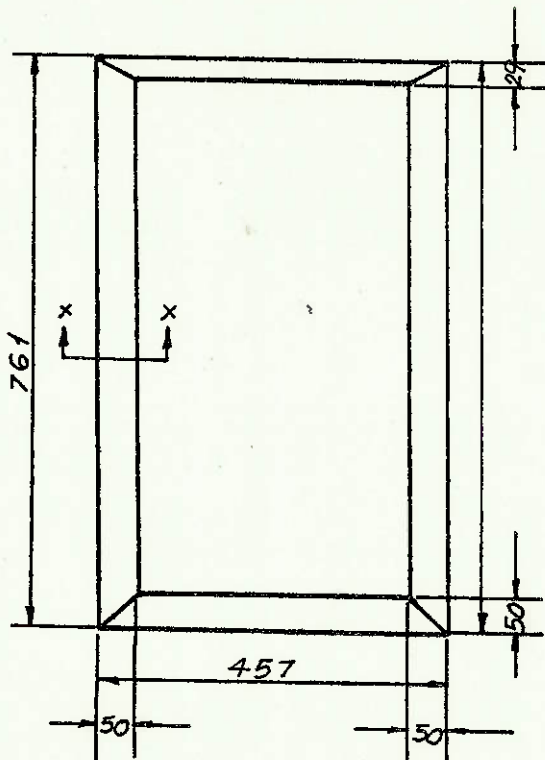
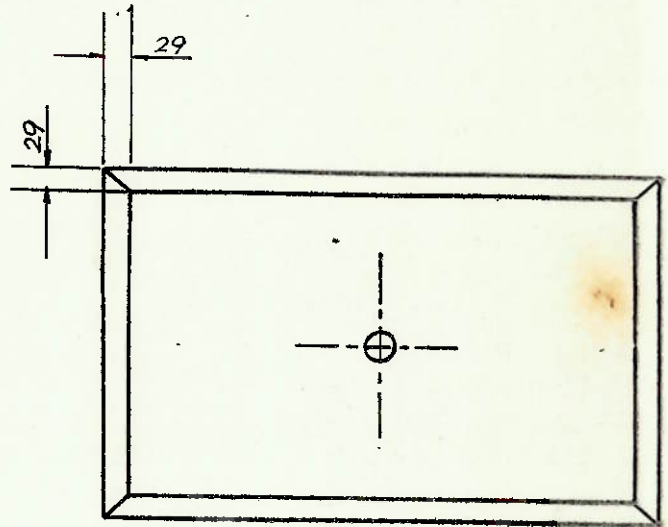
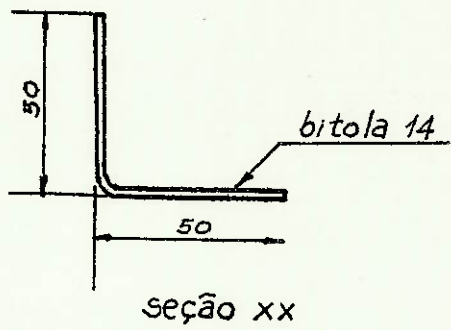
medindo o tempo de escoamento. Se as duas determinações não diferirem por mais de 0,2%, use a média para calcular a viscosidade cinemática.

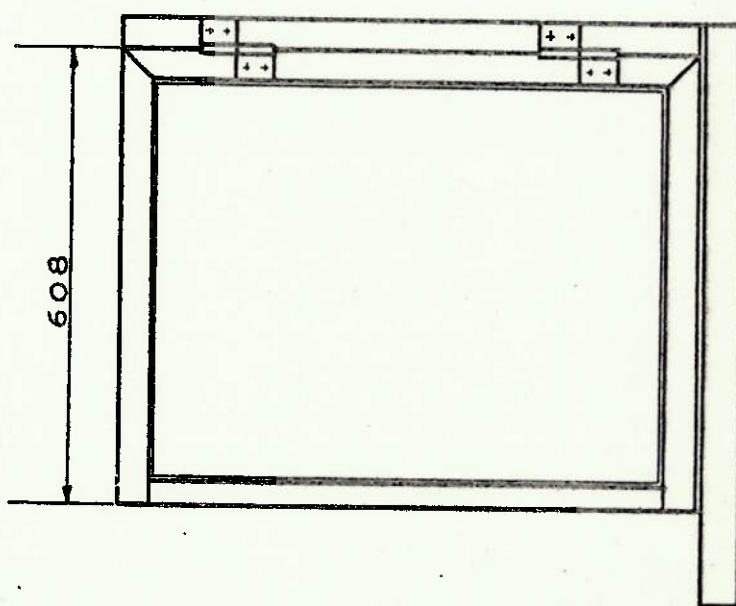
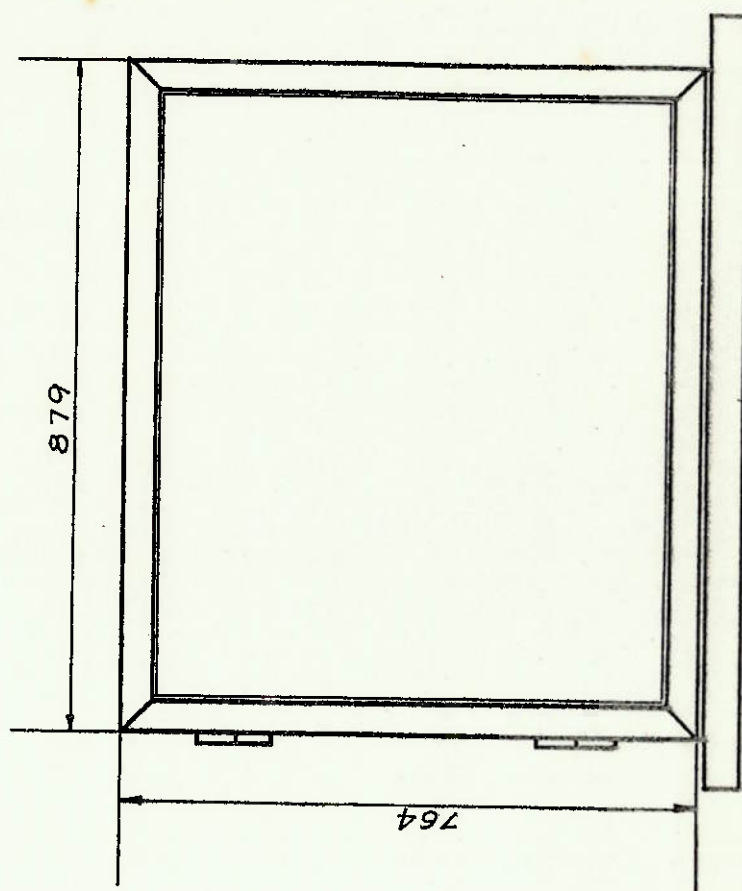
A.3.7 — Limpe o viscosímetro lavando-o diversas vezes com solvente completamente

miscível com a amostra e, a seguir com um solvente completamente volátil. Seque o viscosímetro passando vagarosamente uma corrente de ar filtrado e seco através dele, por 2 minutos ou até remover os últimos traços do solvente.



- A. Unidade I
- B. Unidade II
- C. Motor Elétrico
- D. Suporte
- E. Pegador



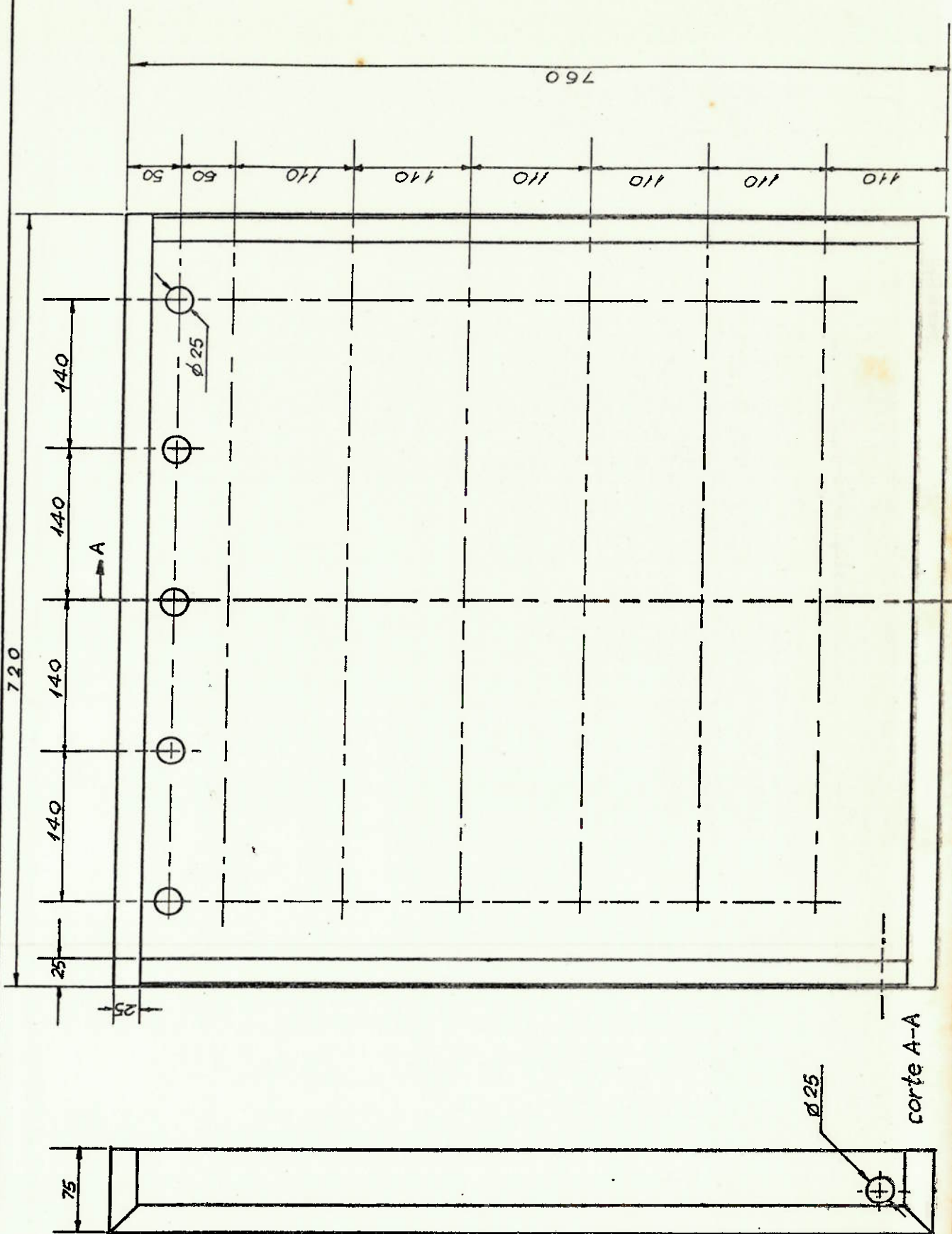


Unidade II

Myung Bo Park

T.F.

1981



Caixa de iluminação

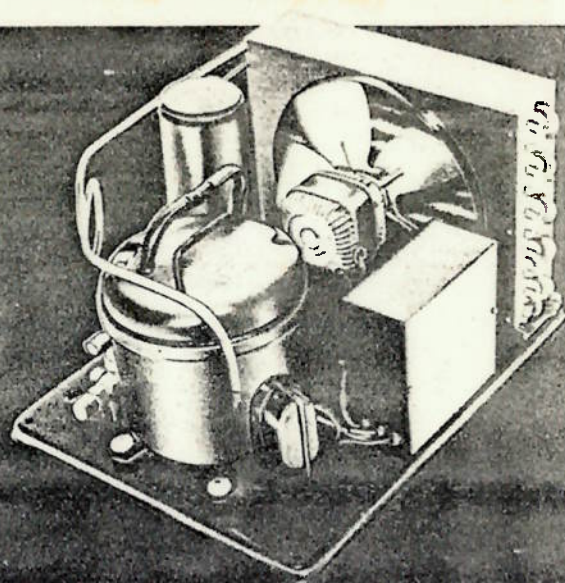
Myung Bo Park

T.F.

1981



# UNIDADES CONDENSADORAS ELGIN



## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

			CAPACIDADE FRIGORÍFICA EM BTU/H A 60 Hz										CONSUMO DO VENTILADOR				
			TEMPERATURAS DE EXPANSÃO														
			10°C 50°F	15°C 59°F	20°C 68°F	25°C 77°F	30°C 86°F	35°C 95°F	40°C 104°F	45°C 113°F	50°C 122°F	55°C 131°F					
Modelo	HP	R	10°C 50°F	15°C 59°F	20°C 68°F	25°C 77°F	30°C 86°F	35°C 95°F	40°C 104°F	45°C 113°F	50°C 122°F	55°C 131°F	60°C 140°F	65°C 149°F			
UR 1 - 022 D	1/5	R410A							2300	400	115	4.8	3500	60	0.35		
UR 1 - 022 E										2200	250	115				2.5	
UR 1 - 028 D	1/5	R410A							2940	500	115	5.6	4000	60	0.35		
UR 1 - 028 E										2200	280	115				2.8	
UR 1 - 042 D	1/2	R410A									115	7.6	4500	60	0.70		
UR 1 - 042 E					2300	2840	3500	4100	4300	700	220	3.8					
UR 1 - 060 D	3/4	R410A									115	9.4	5000	60	0.70		
UR 1 - 060 E											5800	900				220	5.3
UR 1 - 080 D	1	R410A										115	11.5	5500	60	0.70	
UR 1 - 080 E												7800	1000				220
UR 1 - 100 D	1 1/4	R410A											115	13.5	6000	60	0.70
UR 1 - 100 E													9000	1200			
UR 2 - 055 D	1 1/2	R410A											115	15.5	6500	60	0.70
UR 2 - 055 E													10000	1350			

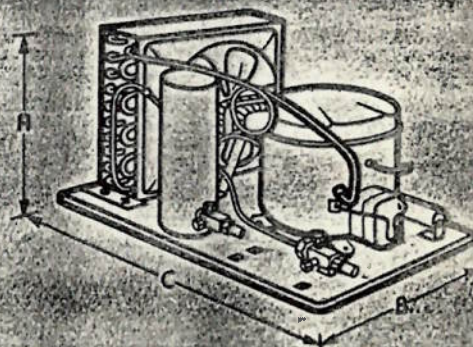
BAIXA  
PRESSÃO  
DE  
RETORNO

BAIXA  
PRESSÃO  
DE  
RETORNO

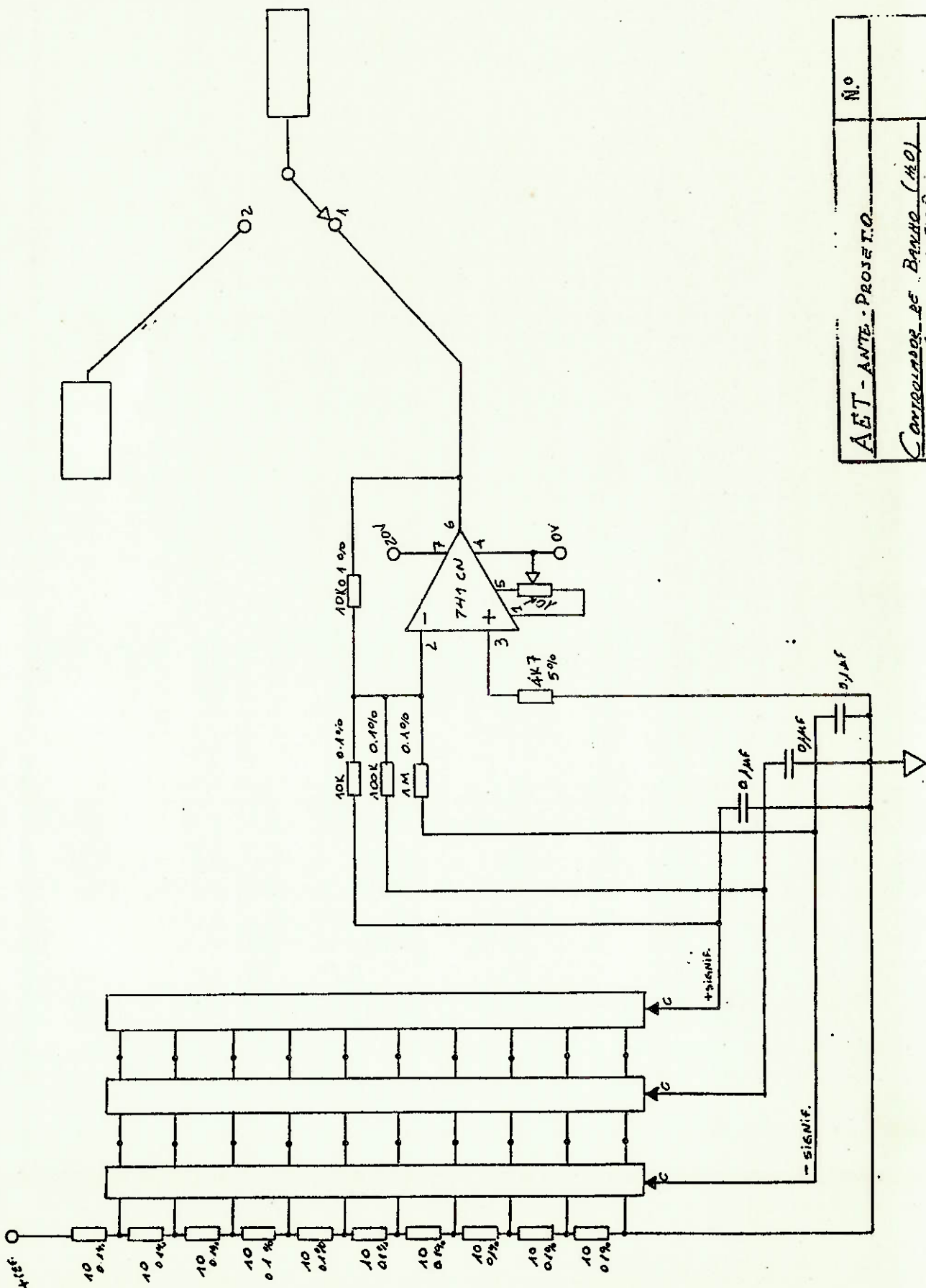
				CAPACIDADE FRIGORÍFICA EM BTU/H A 60 Hz										CONSUMO DO VENTILADOR W
				TEMPERATURAS DE EXPANSÃO										
	HP	W		30°C 86°F	35°C 95°F	-23.3°C -10°F	NOMINAL	20°C 68°F	15°C 59°F	10°C 50°F				
TUB TUB	008 D 008 E	1/5 1/5	12 12	370 370	500 500	630 630	220 220	115 115	3.0 1.5	370 370	1000 1000	1350 1350	0.27 0.27	
TUB TUB	008 D 008 E	1/5 1/5	12 12	450 450	550 550	820 820	280 220	115 115	3.8 1.9	510 370	1300 1300	1800 1800	0.31 0.31	
TUB TUB	012 D 012 E	1/5 1/5	12 12	750 750	775 775	1240 1240	310 220	115 220	4.2 2.1	1500 1500	1885 1885	2500 2500	0.31 0.31	
TUB TUB	016 D 016 E	1/2 1/2	12 12	1975 1975	2000 2000	1700 1700	480 220	115 220	5.8 2.9	1830 1830	2500 2500		0.70 0.70	
TUB TUB	016 D 016 E	1/2 1/2	12 12	1070 1070	1350 1350	2000 2000	510 220	220 220	3.0 4.6	2700 2700	3000 3000	2400 2400	0.7 0.7	
TUB TUB	020 D 020 E	3/4 3/4	30 30	1550 1550	2100 2100	2750 2750	770 220	220 220	4.6 5.2	2400 2400	2000 2000	5400 5400	0.7 0.7	
TUB TUB	024 D 024 E	1 1	30 30	1900 1900	2700 2700	3200 3200	850 220	220 220	5.2	3100 3100	2700 2700	6400 6400	0.7 0.7	

## DIMENSÕES

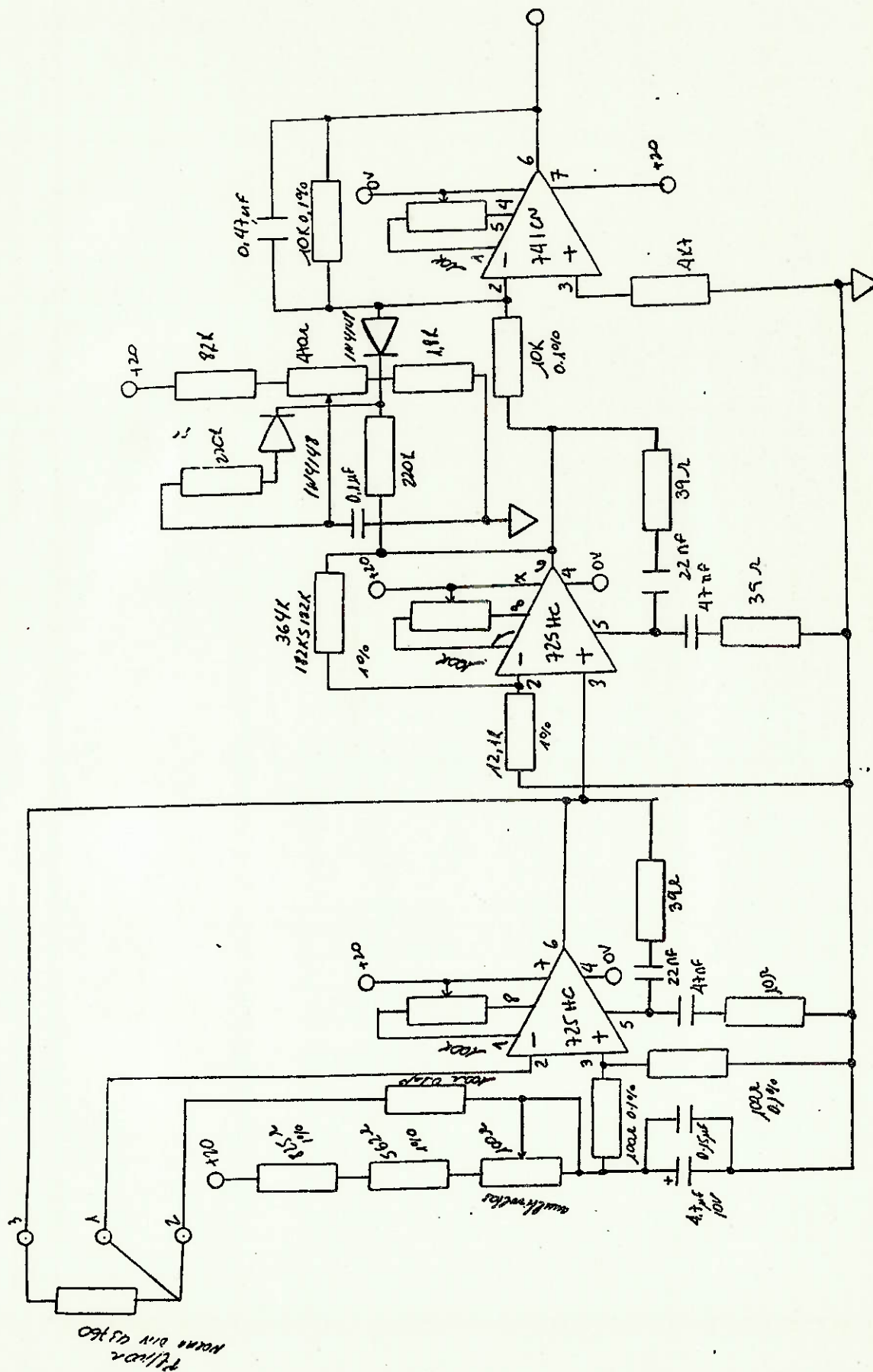
	PESO Kg.	DIMENSÕES			CAPACI- DADE TANQUE litro	VALVULAS	
		A ALTURA mm.	B LARG. mm.	C COMP. mm.		SUC. O"	DESC. O"
UR 1-022 D-E	18.8	230	380	485	1	3/8"	1/4"
UR 1-028 D-E	19.1						
UR 1-006 D-E	18.8						
UR 1-008 D-E	18.8						
UR 1-012 D-E	19.1	385	380	485	1.5	1/2"	1/4"
UR 1-042 D-E	19.7						
UR 1-060 D-E	22.2						
UR 1-016 D-E	19.7						
UR 1-018 D-E	22.0						



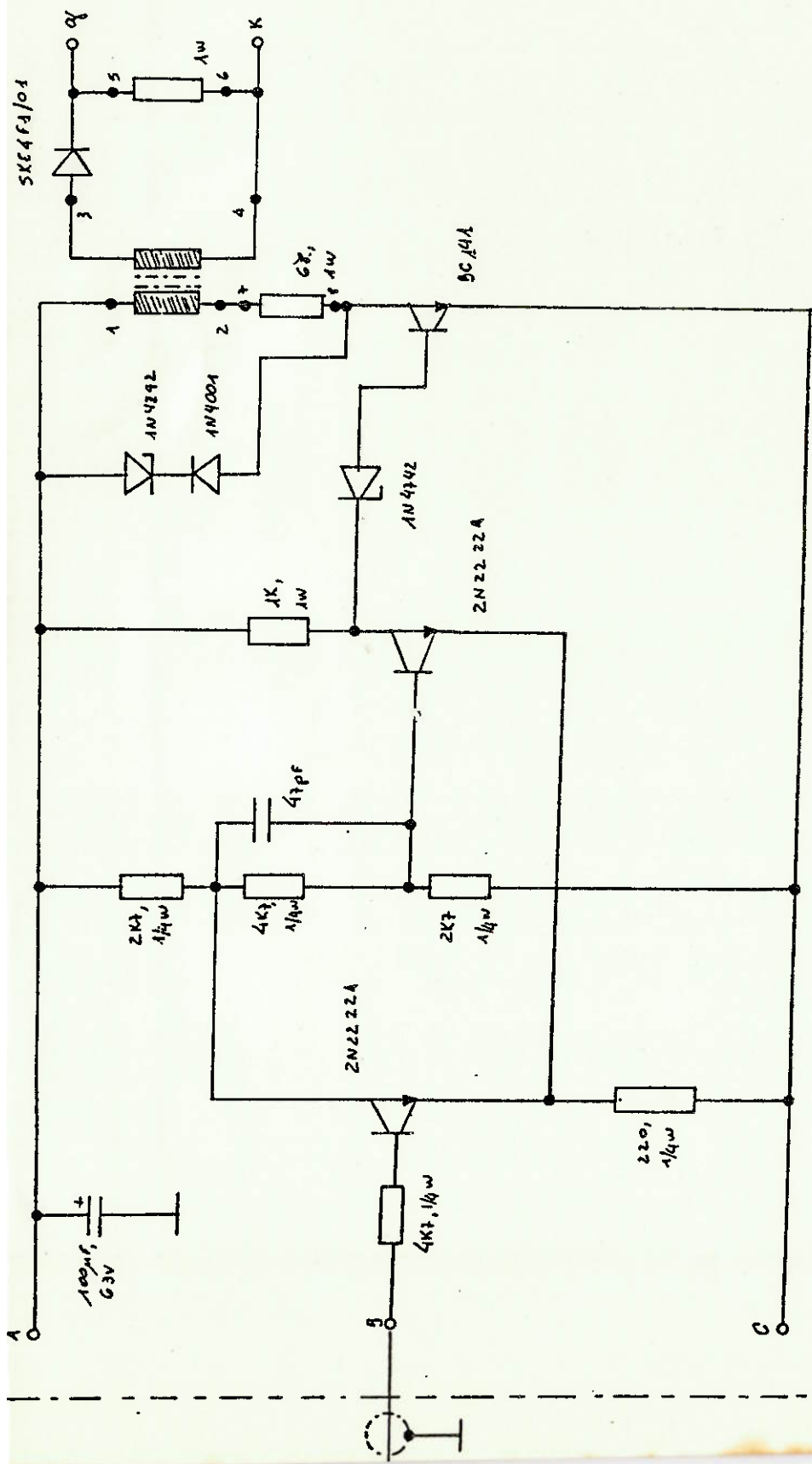




AET - ANTE-PROJETO	Nº
CONTROLOADOR DE BOMBA (MOL)	F:
DETALHE: FONTE DE ALIMENTAÇÃO AJUSTÁVEL	
TÍTULO: PROJETO DE CIRCUITOS DISCRETOS	

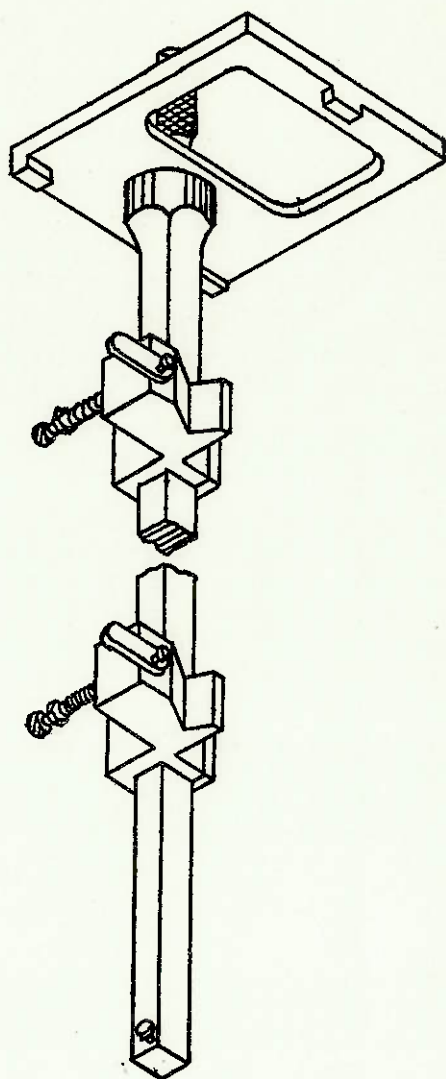


AET - ANTE-PROJETO			
PROJETO	CONTROLE BANDA (401)		
DETALHE	CONVERSOR TEMA / TEMA - ENTÃO DESEJO DE ENTÃO 401/100		
ENG.	Eduardo Krieger / 16/11/16		



AET - ANTE-PROJETO

Controlador de Banco (40)



Pegador

Myung Bo Park

T.F.

1981

## Pontos fixos adotados na IPTS-68

ESTADO DE EQUILÍBRIO	Temperatura °C	Incerteza °C
Equilíbrio entre as fases sólidas, líquida e vapor (ponto triplo) do hidrogênio equilibrado na composição orto-para	-259,34	0,01
Equilíbrio entre fases líquida e vapor do hidrogênio equilibrado na composição orto-para e na pressão de 33330,6 N/m <sup>2</sup>	-256,108	0,01
Equilíbrio entre fases líquida e vapor (ponto de ebulição) do hidrogênio em equilíbrio orto-para	-252,87	0,01
Ponto de ebulição do neônio	-246,048	0,01
Equilíbrio entre fases sólida, líquida e vapor do oxigênio (ponto triplo)	-218,789	0,01
Ponto de ebulição do oxigênio	-182,962	0,01
Equilíbrio entre fases sólida, líquida e vapor de água (ponto triplo)	0,01	exata por definição
Ponto de ebulição da água	100,000	0,005
Ponto de solidificação do zinco	419,58	0,03
Ponto de solidificação da prata	961,93	0,2
Ponto de solidificação do ouro	1064,43	0,2

OBS.: Com exceção dos pontos triplos e o ponto do Hidrogênio a -256,108°C todos os pontos fixos são definidos na pressão da atmosfera padrão 101325 N/m<sup>2</sup>

Em lugar do ponto de ebulição da água pode-se utilizar como ponto fixo primário o ponto de solidificação do estanho = 231,9681°C, com incerteza de 0,015°C



100-OHM PLATINUM THERMOH  
Degree Celsius

1PTS - 68

Deg. C	Ohms	Deg. C	Ohms	Deg. C	Ohms	Deg. C	Ohms
-183.0	25.730	-139.0	44.257	-95.0	62.255	-50.0	80.291
-182.0	26.157	-137.0	44.671	-94.0	62.659	-49.0	80.688
-181.0	26.584	-136.0	45.085	-92.0	63.467	-47.0	81.483
-180.0	27.010	-135.0	45.499	-91.0	63.871	-46.0	81.880
-179.0	27.437	-134.0	45.912	-90.0	64.275	-45.0	82.276
-178.0	27.863	-133.0	46.325	-89.0	64.678	-44.0	82.673
-177.0	28.289	-132.0	46.738	-88.0	65.082	-43.0	83.070
-176.0	28.715	-131.0	47.151	-87.0	65.485	-42.0	83.466
-175.0	29.140	-130.0	47.563	-86.0	65.888	-41.0	83.862
-174.0	29.565	-129.0	47.975	-85.0	66.290	-40.0	84.259
-173.0	29.990	-128.0	48.387	-84.0	66.693	-39.0	84.655
-172.0	30.415	-127.0	48.798	-83.0	67.096	-38.0	85.050
-171.0	30.839	-126.0	49.210	-82.0	67.498	-37.0	85.446
-170.0	31.264	-125.0	49.621	-81.0	67.900	-36.0	85.842
-169.0	31.687	-124.0	50.032	-80.0	68.302	-35.0	86.237
-168.0	32.111	-123.0	50.442	-79.0	68.704	-34.0	86.633
-167.0	32.534	-122.0	50.853	-78.0	69.106	-33.0	87.028
-166.0	32.957	-121.0	51.263	-77.0	69.507	-32.0	87.423
-165.0	33.380	-120.0	51.673	-76.0	69.908	-31.0	87.818
-164.0	33.802	-119.0	52.082	-75.0	70.310	-30.0	88.213
-163.0	34.224	-118.0	52.492	-74.0	70.711	-29.0	88.608
-162.0	34.646	-117.0	52.901	-73.0	71.112	-28.0	89.002
-161.0	35.067	-116.0	53.310	-72.0	71.512	-27.0	89.397
-160.0	35.488	-115.0	53.719	-71.0	71.913	-26.0	89.791
-159.0	35.909	-114.0	54.127	-70.0	72.313	-25.0	90.185
-158.0	36.329	-113.0	54.535	-69.0	72.714	-24.0	90.579
-157.0	36.749	-112.0	54.943	-68.0	73.114	-23.0	90.973
-156.0	37.169	-111.0	55.351	-67.0	73.514	-22.0	91.367
-155.0	37.589	-110.0	55.759	-66.0	73.914	-21.0	91.761
-154.0	38.008	-109.0	56.166	-65.0	74.313	-20.0	92.154
-153.0	38.426	-108.0	56.574	-64.0	74.713	-19.0	92.548
-152.0	38.845	-107.0	56.981	-63.0	75.112	-18.0	92.941
-151.0	39.263	-106.0	57.388	-62.0	75.511	-17.0	93.334
-150.0	39.681	-105.0	57.794	-61.0	75.910	-16.0	93.727
-149.0	40.098	-104.0	58.201	-60.0	76.309	-15.0	94.120
-148.0	40.516	-103.0	58.607	-59.0	76.708	-14.0	94.513
-147.0	40.932	-102.0	59.013	-58.0	77.107	-13.0	94.906
-146.0	41.349	-101.0	59.419	-57.0	77.505	-12.0	95.298
-145.0	41.765	-100.0	59.824	-56.0	77.904	-11.0	95.691
-144.0	42.181	-99.0	60.230	-55.0	78.302	-10.0	96.083
-143.0	42.597	-98.0	60.635	-54.0	78.700	-9.0	96.476
-142.0	43.012	-97.0	61.040	-53.0	79.098	-8.0	96.868
-141.0	43.427	-96.0	61.445	-52.0	79.496	-7.0	97.260
			61.850	-51.0	79.893	-6.0	97.651

100-OHM PLATINUM THERMOH  
Degree Celsius

1PTS - 68

Deg. C	Ohms	Deg. C	Ohms	Deg. C	Ohms	Deg. C	Ohms
-5.0	98.043	40.0	115.543	85.0	132.801	130.0	149.820
-4.0	98.435	41.0	115.929	86.0	133.181	131.0	150.195
-3.0	98.826	42.0	116.315	87.0	133.562	132.0	150.571
-2.0	99.218	43.0	116.701	88.0	133.943	133.0	150.946
-1.0	99.609	44.0	117.087	89.0	134.323	134.0	151.321
0.0	100.000	45.0	117.472	90.0	134.703	135.0	151.696
1.0	100.391	46.0	117.858	91.0	135.083	136.0	152.071
2.0	100.782	47.0	118.243	92.0	135.464	137.0	152.446
3.0	101.172	48.0	118.628	93.0	135.844	138.0	152.821
4.0	101.563	49.0	119.014	94.0	136.223	139.0	153.195
5.0	101.953	50.0	119.399	95.0	136.603	140.0	153.570
6.0	102.344	51.0	119.784	96.0	136.983	141.0	153.944
7.0	102.734	52.0	120.168	97.0	137.362	142.0	154.319
8.0	103.124	53.0	120.553	98.0	137.742	143.0	154.693
9.0	103.514	54.0	120.938	99.0	138.121	144.0	155.067
10.0	103.904	55.0	121.322	100.0	138.500	145.0	155.441
11.0	104.293	56.0	121.706	101.0	138.879	146.0	155.814
12.0	104.683	57.0	122.091	102.0	139.258	147.0	156.188
13.0	105.073	58.0	122.475	103.0	139.637	148.0	156.562
14.0	105.462	59.0	122.859	104.0	140.015	149.0	156.935
15.0	105.851	60.0	123.243	105.0	140.394	150.0	157.308
16.0	106.240	61.0	123.626	106.0	140.772	151.0	157.682
17.0	106.629	62.0	124.010	107.0	141.151	152.0	158.055
18.0	107.018	63.0	124.393	108.0	141.529	153.0	158.428
19.0	107.407	64.0	124.777	109.0	141.907	154.0	158.800
20.0	107.795	65.0	125.160	110.0	142.285	155.0	159.173
21.0	108.184	66.0	125.543	111.0	142.663	156.0	159.546
22.0	108.572	67.0	125.926	112.0	143.041	157.0	159.918
23.0	108.961	68.0	126.309	113.0	143.418	158.0	160.291
24.0	109.349	69.0	126.692	114.0	143.796	159.0	160.663
25.0	109.737	70.0	127.075	115.0	144.173	160.0	161.035
26.0	110.125	71.0	127.457	116.0	144.550	161.0	161.407
27.0	110.513	72.0	127.840	117.0	144.928	162.0	161.779
28.0	110.900	73.0	128.222	118.0	145.305	163.0	162.151
29.0	111.288	74.0	128.604	119.0	145.681	164.0	162.523
30.0	111.675	75.0	128.986	120.0	146.058	165.0	162.894
31.0	112.062	76.0	129.368	121.0	146.435	166.0	163.266
32.0	112.450	77.0	129.750	122.0	146.812	167.0	163.637
33.0	112.837	78.0	130.132	123.0	147.188	168.0	164.008
34.0	113.224	79.0	130.513	124.0	147.564	169.0	164.379
35.0	113.611	80.0	130.895	125.0	147.941	170.0	164.750
36.0	113.997	81.0	131.276	126.0	148.317	171.0	165.121
37.0	114.384	82.0	131.657	127.0	148.693	172.0	165.493
38.0	114.770	83.0	132.039	128.0	149.069	173.0	165.863
39.0	115.157	84.0	132.420	129.0	149.444	174.0	166.233