



Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

REFRIGERAÇÃO

TM-182 REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO

Prof. Dr. Rudmar Serafim Matos



13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

As tubulações de refrigerante representam uma parte essencial no sistema de refrigeração, pois requer as mesmas considerações gerais de projeto que qualquer sistema de fluido em movimento, porém há fatores adicionais que tem um efeito significativo no projeto.

UM BOM PROJETO DAS TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE REQUER:

- **máxima capacidade**
- **mínimo custo**
- **retorno apropriado de óleo ao compressor**
- **mínimo consumo de energia**
- **carga mínima de gás**
- **baixo nível de ruído**
- **controle apropriado do líquido refrigerante, e**
- **perfeita flexibilidade de operação do sistema desde 0 a 100% de capacidade sem problemas de lubrificação.**

13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

CONSIDERAÇÕES DE PROJETO:

1. PERDA DE CARGA:

Na linha de sucção e descarga a perda de carga deve ser mínima para evitar penalização do compressor e o aumento da potência consumida por TR.

LINHA (R-22)	ΔT	ΔP	CAP. COMPR.
SUCÇÃO (5,5°C)	1°C	21 kPa	-4%
DESCARGA (40,5°C)	1°C	42 kPa	-4%

Na linha de líquido a perda de carga não é crítica porém deve ser limitada para preservar o sub-resfriamento e evitar a formação de flash-gas. Perdas adicionais ocorrem devido a acessórios (VS, FS, VL, etc.).

Um critério razoável de projeto é dimensionar as linhas frigoríficas baseada em uma perda de pressão equivalente a variação de temperatura de **1°C**.

13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

CONSIDERAÇÕES DE PROJETO:

2. RETORNO DE ÓLEO:

É preciso velocidade suficientes nas linhas, para o arraste do óleo tanto nos trechos horizontais como nos verticais ascendentes.

LINHAS	VEL. MÍN.	VEL. MÁX.
HORIZONTALS DE SUC./DESC.	2,5 m/s	20 m/s
VERTICAIS ASC. DE SUC./DESC.	5 m/s	20 m/s
HOR./VERT. DE LÍQUIDO	1,5 m/s	

Na linha de líquido óleo e líquido se misturam.

3. PROTEÇÃO DO COMPRESSOR:

É preciso também, controles adequados para minimizar a migração de refrigerante durante a parada do sistema (válvula solenóide na linha de líquido, aquecedor de cárter, recolhimento de refrigerante).

13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO DA TUBULAÇÃO

Os gráficos das (figs. 151 a 153) permitem selecionar adequadamente o diâmetro das tubulações de cobre para o R-22 utilizadas como condução de fluido refrigerante. Os gráficos se baseiam na fórmula de Darcy-Weisbach a seguir:

onde

h perda de carga, mca

f fator de atrito

L comprimento do tubo, m

D diâmetro do tubo, m

V velocidade do fluido, m/s

g aceleração da gravidade, 9,81 m/s²

$$h = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Após a instalação do sistema, e antes da tubulação ser isolada, todo o circuito deve passar por um teste de vazamento, vácuo no sistema, carga de refrigerante e carga de óleo.

13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

13.8 EXEMPLO ILUSTRATIVO

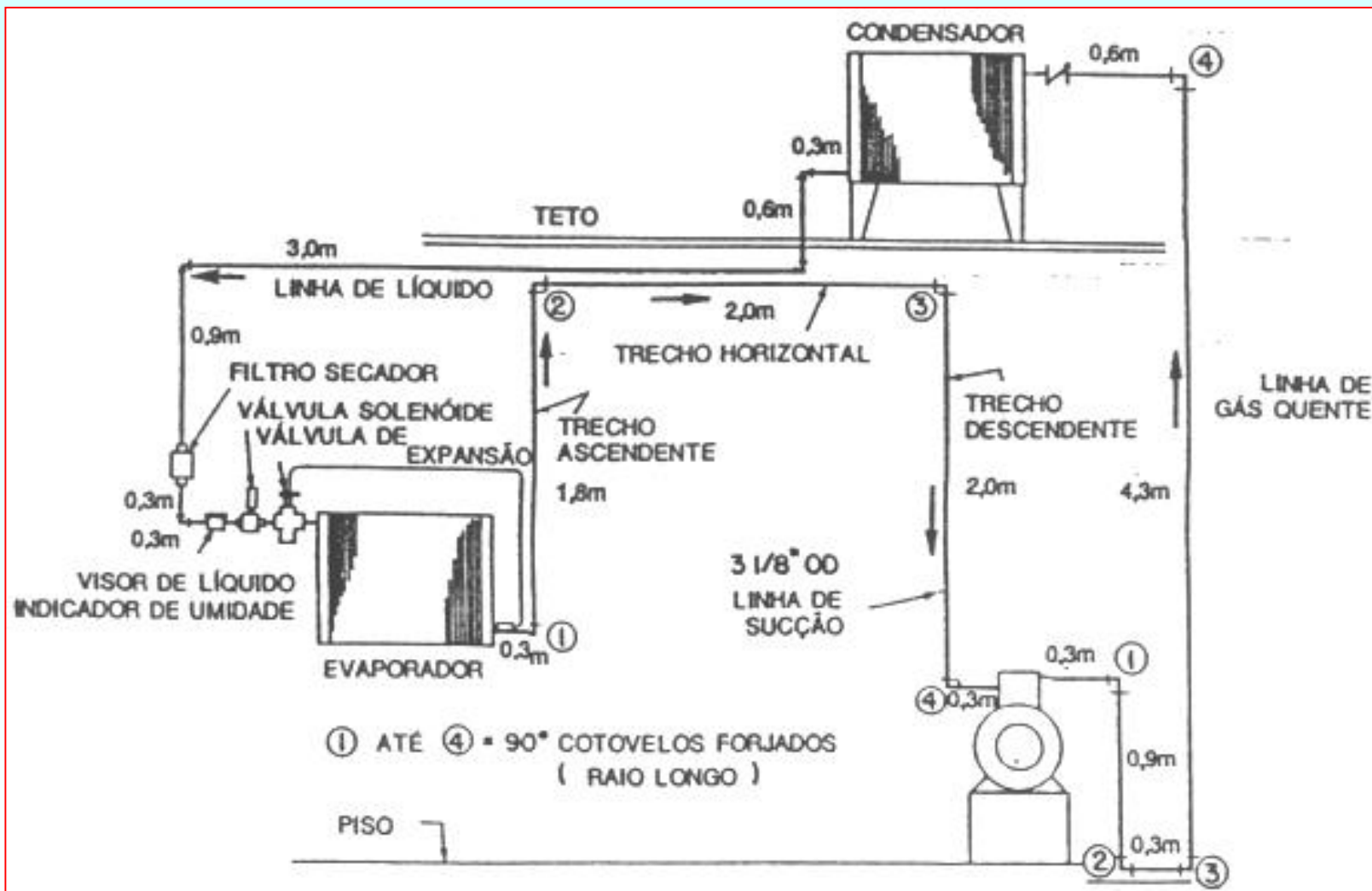
EXEMPLO 13.8.1: Dimensionar as tubulações frigoríficas para o layout da tubulação (fig. 154), conhecendo-se:

- carga de projeto = 60 TR (sucção saturada = 5°C, condensação saturada = 45°C);
- carga mínima = 12 TR (sucção saturada = 5°C, condensação saturada = 45°C);
- refrigerante R-22;
- tubo de cobre, tipo L, conexões de cobre forjado de raio longo;
- perda de carga no filtro secador, 14 kPa;
- perda de carga na válvula solenóide, 21 kPa.

13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

LAYOUT DA INSTALAÇÃO



13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

A) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE SUCÇÃO:

1) Comprimento de tubo reto em metros:

$$L = 0,3 + 1,8 + 2,0 + 2,0 + 0,3 = 6,4 \text{ m}$$

2) Comprimento equivalente estimado em metros (+ 50%):

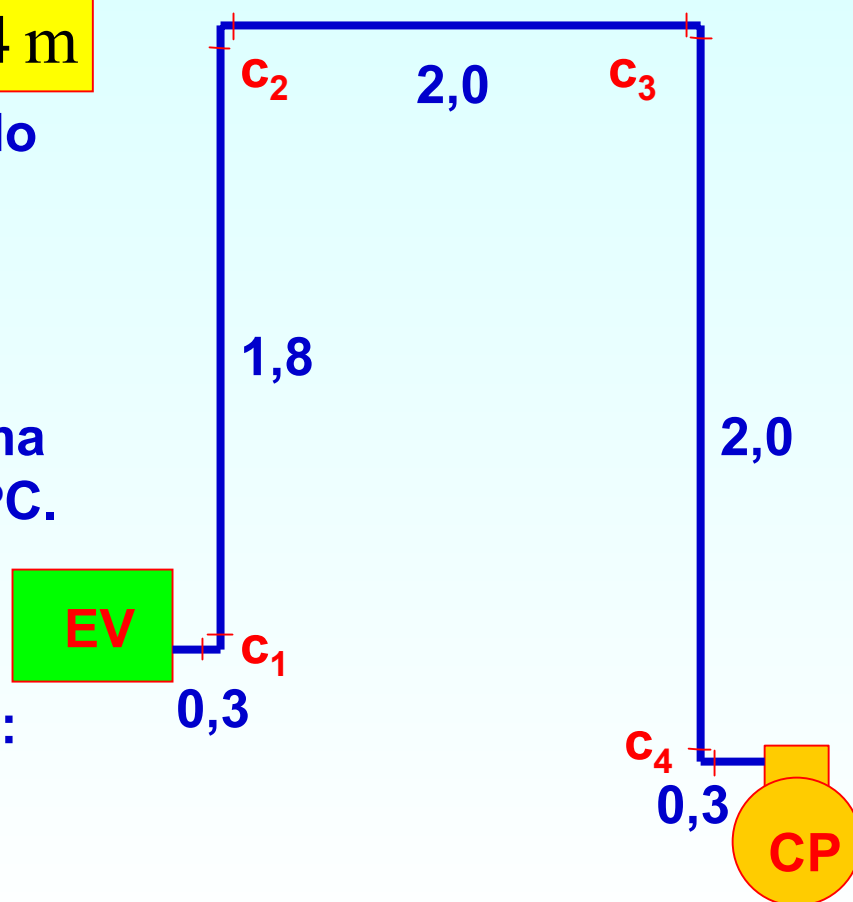
$$L_{\text{est}} = 1,5 \times 6,4 = 9,6 \text{ m}$$

3) Projetar a linha de sucção para uma perda de carga que não exceda 1°C.

4) Corrigir a capacidade para a temperatura de sucção de 5°C:

- Da tabela 4 com $t_e = 5^\circ\text{C}$ e $t_c = 45^\circ\text{C}$:

$$\dot{Q}_e = 1,05 \times 60 = 63 \text{ TR}$$



13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

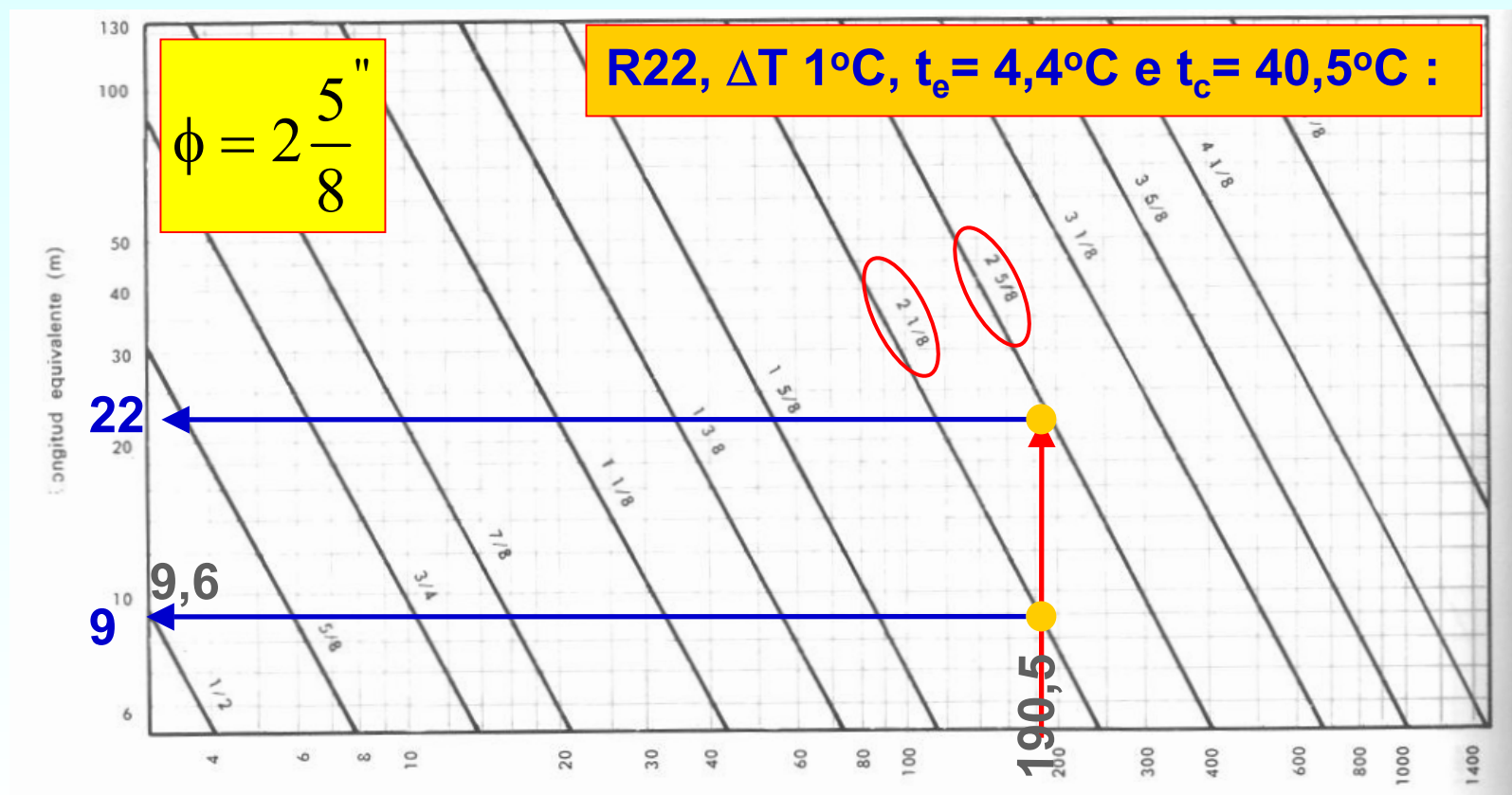
EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

A) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE SUCÇÃO:

5) Determinar o diâmetro da linha de sucção:

- Da figura 151 com $Q_e = 63 \text{ TR} = 190512 \text{ kcal/h}$ e $L_{\text{est}} = 9,6 \text{ m}$:



13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

A) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE SUCÇÃO:

6) Determinar o comprimento equivalente das curvas:

- Da tabela 8 com $\phi = 2 \frac{5}{8}$ " e curva de raio longo de 90°:

$$L_{\text{curva}} = 1,2 \text{ m}$$

7) Comprimento equivalente real total (tubo reto + curvas):

$$L_{\text{total}} = 6,4 + 4 \times 1,2 = 11,2 \text{ m}$$

- Uma vez que um tubo com $\phi = 2 \frac{5}{8}$ ", atende uma carga de 63 TR até $L_{\text{total}} = 22 \text{ m}$, concluímos que este diâmetro atende o comprimento real da linha de sucção.

8) Cálculo da perda de carga real na linha de sucção:

$$\frac{\text{Comprimento equivalente real (m)} \times 1^\circ \text{C}}{\text{Comprimento admissível para a perda de } 1^\circ \text{C (m)}} = \frac{11,2 \times 1}{22} = 0,51^\circ \text{C}$$

13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

A) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE SUCÇÃO:

9) Carga mínima para retorno de óleo:

- A tabela 9 fornece a carga mínima para o arraste de óleo em trechos verticais ascendentes da linha de sucção entrando com a $t_e = 5^\circ\text{C}$ e o $\phi = 2 \frac{5}{8}"$:

$$\dot{Q}_{e_mín} = 48100 \text{ kcal/h} = 16 \text{ TR}$$

NÃO ATENDE!

- Constata-se que neste caso o óleo não irá retornar para o compressor nos momentos em que a carga térmica for inferior a 16 TR, o que é possível pois o compressor pode operar com até 20% da sua capacidade, ou seja 12 TR.
- Em circunstância como esta o projetista deve primeiramente considerar a possibilidade de reduzir o diâmetro do trecho ascendente.

13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

A) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE SUCÇÃO:

9.1) Comprimento equivalente da linha ascendente:

(2 curvas + trecho reto de $\phi = 2 \frac{1}{8}$ ")

$$L_{asc} = 1,8 + 2,0 \times 1 = 3,8 \text{ m}$$

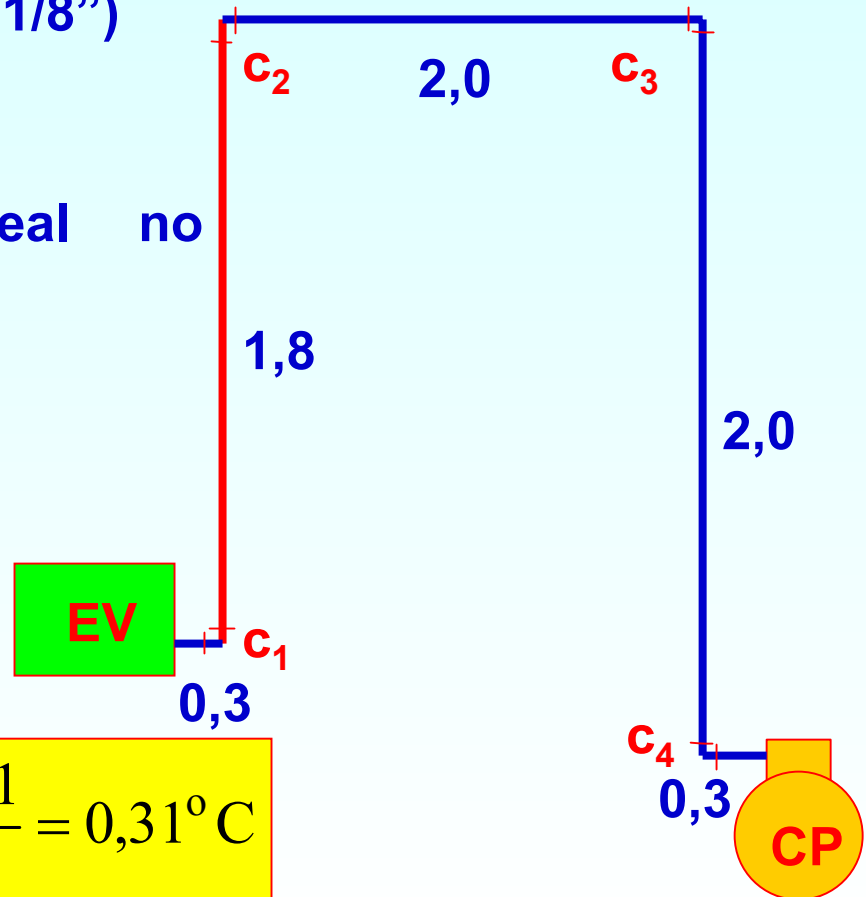
9.2) Cálculo da perda de carga real no trecho ascendente da linha:

$$\frac{3,8 \times 1}{8} = 0,47^\circ \text{C}$$

9.3) Cálculo da perda de carga real no trecho remanescente da linha:

$$L_{rem} = 4,6 + 2 \times 1,2 = 7 \text{ m}$$

$$\frac{7 \times 1}{22} = 0,31^\circ \text{C}$$



13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

A) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE SUCÇÃO:

9.4) Perda de carga total desde o evaporador até a entrada do compressor:

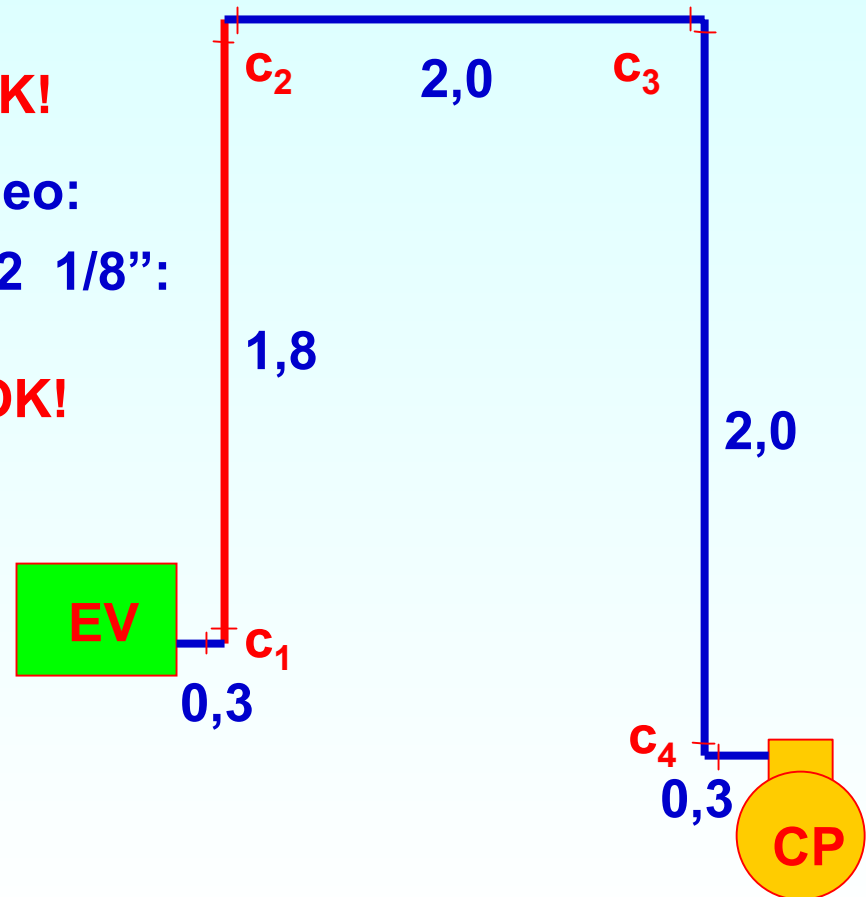
$$0,47^{\circ}\text{C} + 0,31^{\circ}\text{C} = 0,78^{\circ}\text{C} < 1^{\circ}\text{C} \quad \text{OK!}$$

9.5) Carga mínima para retorno de óleo:

- Da tabela 9 com a $t_e = 5^{\circ}\text{C}$ e o $\phi = 2 \frac{1}{8}''$:

$$\dot{Q}_{e_mín} = 27500 \text{ kcal/h} = 9 \text{ TR} \quad \text{OK!}$$

- Reduzindo o diâmetro do trecho ascendente a linha de sucção permaneceu simples e fácil de instalar e ao mesmo tempo é assegurado o retorno de óleo para a capacidade mínima do compressor.



13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

B) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE DESCARGA:

1) Comprimento de tubo reto em metros:

$$L = 0,3 + 0,9 + 0,3 + 4,3 + 0,6 = 6,4 \text{ m}$$

2) Comprimento equivalente estimado em metros (+ 50%):

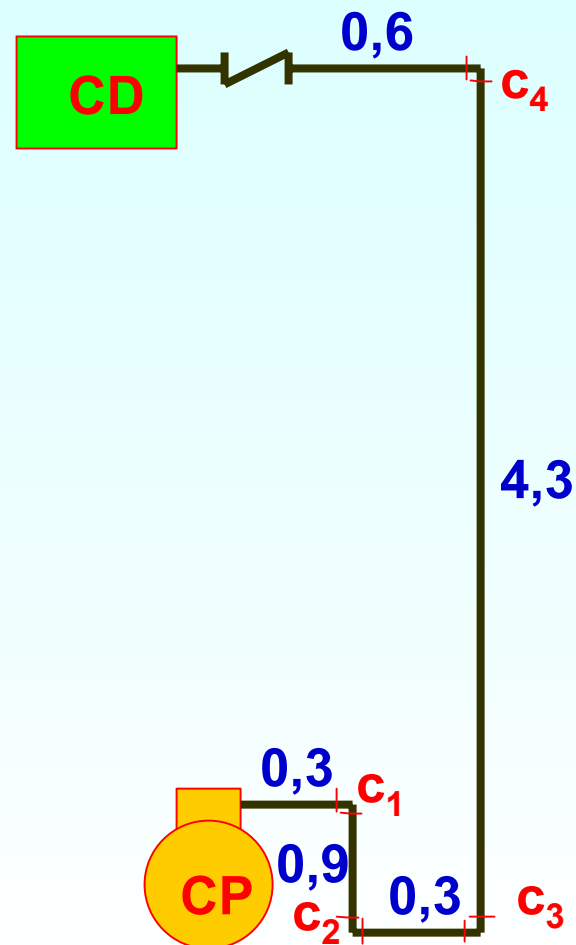
$$L_{\text{est}} = 1,5 \times 6,4 = 9,6 \text{ m}$$

3) Projetar a linha de descarga para uma perda de carga que não exceda 1°C.

4) Corrigir a capacidade para a temperatura de sucção de 45°C:

• Da tabela 4 com $t_e = 5^\circ\text{C}$ e $t_c = 45^\circ\text{C}$:

$$\dot{Q}_e = 0,91 \times 60 = 55 \text{ TR}$$



13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

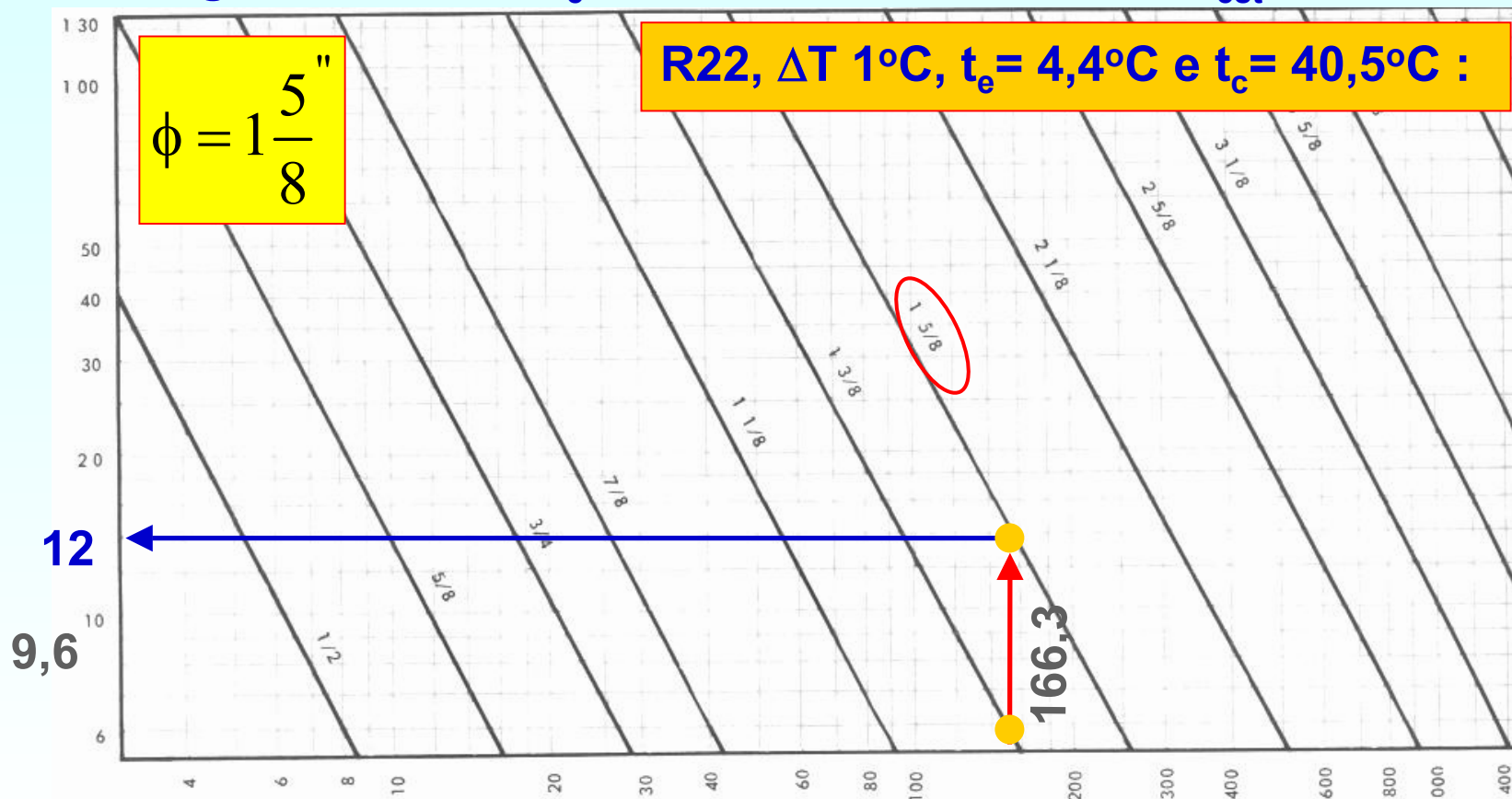
SOLUÇÃO

B) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE DESCARGA:

5) Determinar o diâmetro da linha de descarga:

- Da figura 152 com $Q_e = 55 \text{ TR} = 166320 \text{ kcal/h}$ e $L_{\text{est}} = 9,6 \text{ m}$:

R22, $\Delta T \text{ } 1^\circ\text{C}$, $t_e = 4,4^\circ\text{C}$ e $t_c = 40,5^\circ\text{C}$:



13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

B) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE DESCARGA:

6) Determinar o comprimento equivalente das curvas:

- Da tabela 8 com $\phi = 1 \frac{5}{8}$ " e curva de raio longo de 90°:

$$L_{\text{curva}} = 0,8 \text{ m}$$

7) Comprimento equivalente real total (tubo reto + curvas):

$$L_{\text{total}} = 6,4 + 4 \times 0,8 = 9,6 \text{ m}$$

- Uma vez que um tubo com $\phi = 2 \frac{5}{8}$ ", atende uma carga de 55 TR até $L_{\text{total}} = 12 \text{ m}$, concluímos que este diâmetro atende o comprimento real da linha de descarga.

8) Cálculo da perda de carga real na linha de descarga:

$$\frac{\text{Comprimento equivalente real (m)} \times 1^\circ \text{C}}{\text{Comprimento admissível para a perda de } 1^\circ \text{C (m)}} = \frac{9,6 \times 1}{12} = 0,80^\circ \text{C}$$

13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

B) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE DESCARGA:

9) Carga mínima para retorno de óleo:

- A tabela 10 fornece a carga mínima para o arraste de óleo em trechos verticais ascendentes da linha de descarga entrando com a $t_c = 45^\circ\text{C}$ e o $\phi = 1 \frac{5}{8}"$:

$$\dot{Q}_{e_mín} = 21200 \text{ kcal/h} = 7 \text{ TR}$$

- Constata-se neste caso que o arraste de óleo é assegurado para a capacidade mínima do compressor, pois 7 TR está bem abaixo dos 12 TR requeridos.

13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

C) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE LÍQUIDO:

1) Comprimento de tubo reto em metros:

$$L = 0,3 + 0,6 + 3,0 + 0,9 + 0,3 + 0,3 = 5,4 \text{ m}$$

2) Comprimento equivalente estimado em metros (+ 50%):

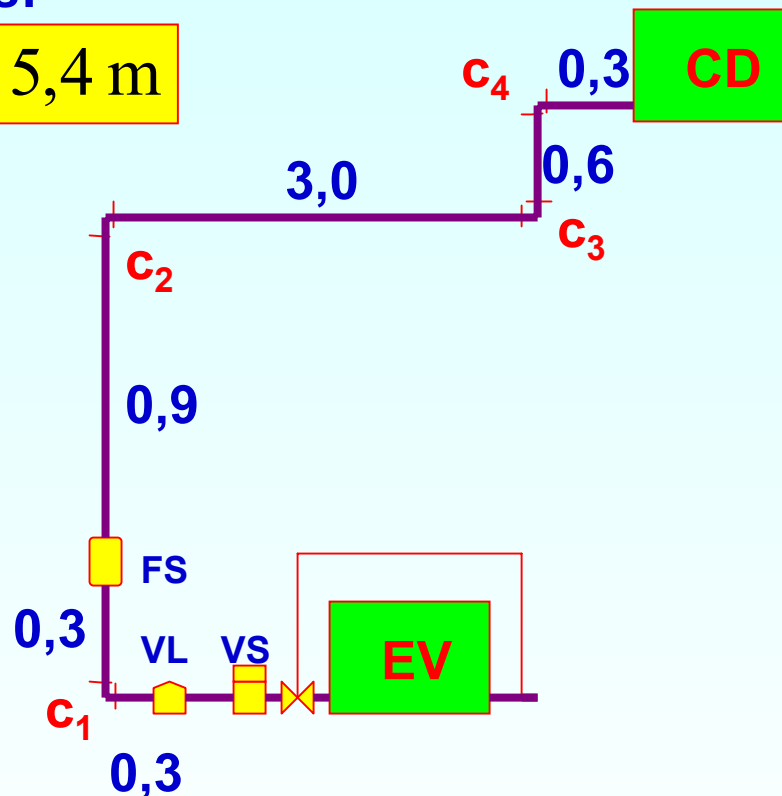
$$L_{\text{est}} = 1,5 \times 5,4 = 8,1 \text{ m}$$

3) Projetar a linha de líquido para uma perda de carga que não exceda 1°C.

4) Corrigir o comprimento para a perda de carga de 1°C:

- Da tabela 5 com a perda de 1°C:

$$L_{\text{est}} = 0,5 \times 8,1 = 4,05 \text{ m}$$



13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

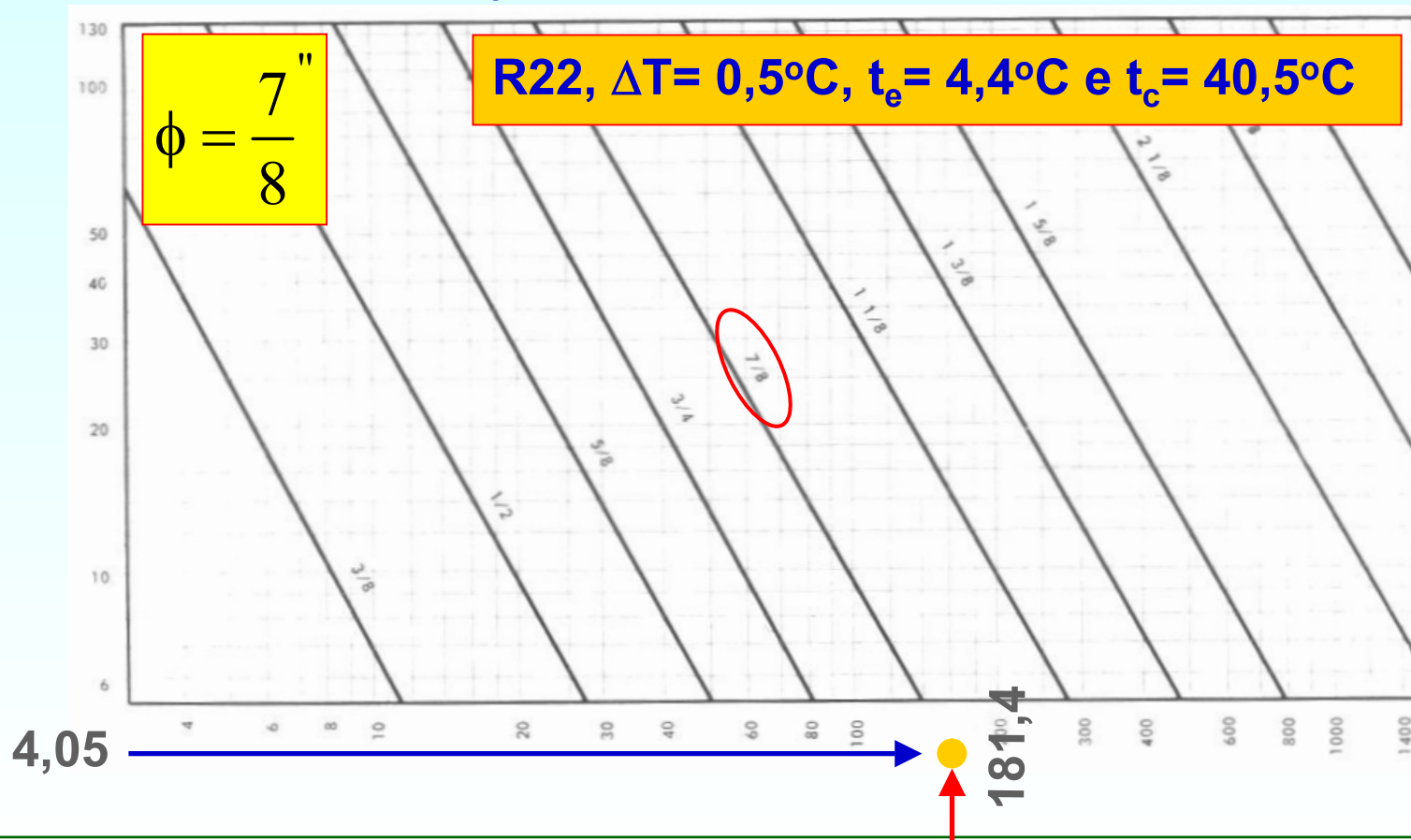
EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

C) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE LÍQUIDO:

5) Determinar o diâmetro da linha de líquido:

- Da figura 153 com $Q_e = 60 \text{ TR} = 181440 \text{ kcal/h}$ e $L = 4,05\text{m}$:



13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

C) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE LÍQUIDO:

6) Determinar o comprimento equivalente das curvas:

- Da tabela 8 com $\phi = 7/8''$ e curva de raio longo de 90° :

$$L_{\text{curva}} = 0,42 \text{ m}$$

7) Comprimento equivalente real total (tubo reto + curvas):

$$L_{\text{total}} = 5,4 + 4 \times 0,42 = 7,1 \text{ m}$$

- Uma vez que um tubo com $\phi = 7/8''$, atende uma carga de 60 TR até $L_{\text{total}} = 4,05 \text{ m}$, concluímos que este diâmetro atende o comprimento real da linha de líquido.

8) Cálculo da perda de carga real na linha de líquido:

$$\frac{\text{Comprimento equivalente real (m)} \times 0,5^\circ \text{C}}{\text{Comprimento admissível para a perda de } 0,5^\circ \text{C (m)}} = \frac{7,1 \times 0,5}{4,05} = 0,87^\circ \text{C}$$

13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

C) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE LÍQUIDO:

9) Perda de carga total na linha de líquido:

Perda de carga na linha de líquido $\Delta t = 0,87^\circ\text{C}$:

- Da tabela de propriedades do R22:
- Para $t_c = 45^\circ\text{C}$, temos $p_c = 1729,7 \text{ kPa}$
- Para $t_c = 44^\circ\text{C}$, temos $p_c = 1689,2 \text{ kPa}$
- Assim para $\Delta t = 1^\circ\text{C}$, temos $\Delta p = 40,5 \text{ kPa}$
- e para a linha $\Delta t = 0,87^\circ\text{C}$, temos $\Delta p = 35,235 \text{ kPa}$

Perda de carga nos acessórios:

- filtro secador, 14 kPa;
- válvula solenóide, 21 kPa;
- visor de líquido, desprezível.

Ganho na coluna de líquido descendente:

- Para 1 m de coluna de líquido de R22, ascendente, $\Delta p = 12 \text{ kPa}$
- Assim para 1,8 m, descendente, temos $\Delta p = - 21,6 \text{ kPa}$

13. TUBULAÇÕES DE REFRIGERANTE

EXEMPLO 13.8.1:

SOLUÇÃO

C) DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE LÍQUIDO:

9) Perda de carga total na linha de líquido:

$$\Delta p_{\text{total}} = 35 + 35,235 - 21,6 = 48,625 \text{ kPa}$$

10) Subresfriamento necessário para evitar a vaporização do refrigerante na linha de líquido:

- Assim para $\Delta p = 40,5 \text{ kPa}$, temos $\Delta t = 1^\circ\text{C}$
- e para $\Delta p = 48,625 \text{ kPa}$, temos $\Delta t = \text{SR} = 1,2^\circ\text{C}$.

