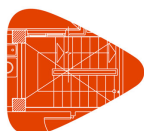


ÍNDICE

| | |
|--|--------|
| 1.- SISTEMAS DE PISO RADIANTE..... | 2 |
| 1.1.- Bases de cálculo..... | 2 |
| 1.1.1.- Cálculo da carga térmica dos compartimentos..... | 2 |
| 1.1.2.- Localização dos colectores..... | 3 |
| 1.1.3.- Definição de circuitos. Cálculo de comprimentos..... | 4 |
| 1.1.4.- Cálculo da temperatura de impulsão da água..... | 5 |
| 1.1.5.- Cálculo do caudal de água dos circuitos..... | 6 |
| 1.2.- Dimensionamento..... | 7 |
| 1.2.1.- Dimensionamento do circuito hidráulico..... | 7 |
| 1.3.- Medições..... | 8 |
| 1.3.1.- Subdivisão dos rolos em circuitos..... | 8 |
| ANEXO A: NORMA EN 1264..... | 10 |



SISTEMAS DE PISO RADIANTE

1.1.- Bases de cálculo

1.1.1.- Cálculo da carga térmica dos compartimentos

Para definir uma instalação de piso radiante é necessário calcular previamente as cargas térmicas dos compartimentos. No caso de dispor uma instalação de arrefecimento, considera-se a carga térmica sensível instantânea para a hora e o dia mais desfavorável.

Uma vez calculadas as cargas térmicas descreve-se a informação necessária para realizar a definição da instalação para cada compartimento:

| Compartimento | Planta | $Q_{N,f}$ Aquecimento (W) | S (m ²) | q Aquecimento (W/m ²) |
|-------------------|--------|---------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| P1.IS.01 | P1 | 900 | 13.4 | 67.00 |
| P1.IS.02 | P1 | 793 | 3.5 | 229.00 |
| P1.Quarto.01 | P1 | 1259 | 20.5 | 61.43 |
| P1.Quarto.02 | P1 | 1650 | 24.5 | 67.41 |
| P0.Quarto.01 | P0 | 1339 | 20.2 | 66.38 |
| P0.IS.01 | P0 | 753 | 11.7 | 64.45 |
| P0.Cozinha | P0 | 1551 | 27.2 | 57.02 |
| P0.Sala de Jantar | P0 | 2169 | 29.7 | 73.08 |
| P0.Sala de Estar | P0 | 4062 | 54.1 | 75.11 |
| P0.Escadas | P0 | 784 | 13.8 | 56.75 |
| P0.IS.02 | P0 | | 3.4 | |

| Abreviaturas utilizadas | | | |
|-------------------------|--|-----------------|---|
| $Q_{N,f}$ Aquecimento | Carga térmica de aquecimento para o cálculo de piso radiante | q Aquecimento | Densidade de fluxo térmico para aquecimento |
| $Q_{N,f}$ Arrefecimento | Carga térmica de arrefecimento para o cálculo de piso radiante | q Arrefecimento | Densidade de fluxo térmico para arrefecimento |
| | Superfície do compartimento | | |

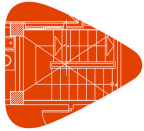
Para realizar o cálculo da instalação de piso radiante deve-se partir de uma temperatura máxima da superfície do pavimento segundo o tipo de instalação:

Piso radiante para aquecimento:

| Tipos de compartimentos | $\theta_{f,max}$ (°C) | θ_i (°C) | q_G (W/m ²) |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|
| Zona de permanência (ocupada) | 29.0 | 20.0 | 100.00 |
| Casas de banho e similares | 33.0 | 24.0 | 100.00 |
| Zona periférica | 35.0 | 20.0 | 175.00 |

| Abreviaturas utilizadas | | | |
|-------------------------|---|-------|-----------------------------------|
| $\theta_{f,max}$ | Temperatura máxima da superfície do pavimento | q_G | Densidade de fluxo térmico limite |
| θ_i | Temperatura do compartimento | | |

Piso radiante para arrefecimento:



Projecto: Moradia Unifamiliar
Local: Carvoeiro
Promotor: Fábio Manuel Martins Rodrigues

| Tipos de compartimentos | | $\theta_{f,min}$ (°C) | θ_i (°C) | q_G (W/m ²) |
|-------------------------------|---|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Zona de permanência (ocupada) | | 19.0 | 24.0 | 35.00 |
| Abreviaturas utilizadas | | | | |
| $\theta_{f,min}$ | Temperatura mínima da superfície do pavimento | q_G | Densidade de fluxo térmico limite | |
| θ_i | Temperatura do compartimento | | | |

A densidade de fluxo térmico limite segundo seja para aquecimento ou arrefecimento calcula-se através da seguinte expressão:

Aquecimento

$$q = 8.92(\theta_{f,max} - \theta_i)^{1,1} (W / m^2)$$

Arrefecimento

$$q = 7(|\theta_{f,min} - \theta_i|)(W / m^2)$$

A temperatura máxima na superfície limita que o piso radiante possa garantir o total das cargas térmicas. Para este caso é necessário dispor de emissores térmicos auxiliares para complementar o sistema de piso radiante. Para o caso dos compartimentos que superam a densidade máxima de fluxo térmico considera-se o limite descrito como valor de cálculo.

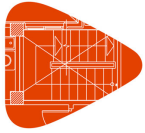
1.1.2.- Localização dos colectores

A instalação dispõe de colectores de impulsão e de retorno que comunicam o equipamento produtor com os circuitos de piso radiante.

Os colectores devem dispor-se num lugar centrado relativamente aos compartimentos que servem, normalmente em corredores e halls.

Descrevem-se seguidamente a localização dos armários introduzidos no projecto e o número de circuitos que abastecem.

| Armário de colectores | Circuito | Compartimento | Planta |
|-----------------------|------------------------|---------------|--------|
| CX.PR.03 | P1.IS.02, P1.Quarto.02 | P1.IS.02 | P1 |
| | | P1.Quarto.02 | P1 |
| | P1.IS.01 | P1.IS.01 | P1 |
| | Circuito.01 | P1.Quarto.01 | P1 |
| | Circuito.02 | P1.Quarto.01 | P1 |
| | Circuito.02 | P1.Quarto.02 | P1 |
| | Circuito.01 | P1.Quarto.02 | P1 |



| Armário de colectores | Circuito | Compartimento | Planta |
|-----------------------|-------------|-------------------|--------|
| CX.PR.01 | PO.Escadas | PO.Sala de Estar | PO |
| | | PO.Escadas | PO |
| | Circuito.02 | PO.Sala de Jantar | PO |
| | Circuito.01 | PO.Sala de Jantar | PO |
| | Circuito.02 | PO.Cozinha | PO |
| | Circuito.02 | PO.Quarto.01 | PO |
| | Circuito.01 | PO.Quarto.01 | PO |
| | Circuito.01 | PO.Cozinha | PO |
| CX.PR.02 | PO.IS.01 | PO.IS.01 | PO |
| | Circuito.04 | PO.Sala de Estar | PO |
| | Circuito.03 | PO.Sala de Estar | PO |
| | PO.IS.02 | PO.IS.02 | PO |
| | Circuito.02 | PO.Sala de Estar | PO |
| | Circuito.01 | PO.Sala de Estar | PO |

1.3.- Definição de circuitos. Cálculo de comprimentos

O comprimento da tubagem para cada circuito calcula-se através da seguinte expressão:

$$L = \frac{A}{e} + 2 \cdot l$$

Onde:

A = Área a climatizar coberta pelo circuito (m²)

e = Separação entre tubagens (m)

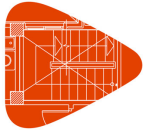
l = Distância entre o colector e a área a climatizar (m)

Descrevem-se, seguidamente, os parâmetros necessários para o dimensionamento de cada um dos circuitos da instalação:

| Armário de colectores | Circuito | Traçado | Separação entre tubagens (m) | S (m ²) | q Aquecimento (W/m ²) | Comprimento real (m) |
|-----------------------|------------------------|---------|------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|
| CX.PR.03 | P1.IS.02, P1.Quarto.02 | Espiral | 0.10 | 9.7 | 80.18 | 61.59 |
| | P1.IS.01 | Espiral | 0.10 | 11.2 | 80.18 | 68.51 |
| | Circuito.01 | Espiral | 0.15 | 9.1 | 64.16 | 59.79 |
| | Circuito.02 | Espiral | 0.15 | 9.8 | 64.16 | 65.86 |
| | Circuito.02 | Espiral | 0.15 | 8.1 | 52.40 | 60.23 |
| | Circuito.01 | Espiral | 0.15 | 8.0 | 52.40 | 58.08 |
| CX.PR.01 | PO.Escadas | Espiral | 0.15 | 10.8 | 72.66 | 85.10 |
| | Circuito.02 | Espiral | 0.15 | 14.7 | 68.61 | 104.81 |
| | Circuito.01 | Espiral | 0.15 | 15.0 | 68.61 | 95.77 |
| | Circuito.02 | Espiral | 0.15 | 12.1 | 65.98 | 78.08 |
| | Circuito.02 | Espiral | 0.15 | 8.3 | 72.66 | 55.10 |
| | Circuito.01 | Espiral | 0.15 | 8.5 | 72.66 | 54.25 |
| | Circuito.01 | Espiral | 0.15 | 11.4 | 65.98 | 70.22 |
| | PO.IS.01 | Espiral | 0.10 | 9.4 | 80.18 | 93.76 |

Abreviaturas utilizadas

| | | | |
|---------------|---|-----------------|---|
| S | Superfície do compartimento | q Arrefecimento | Densidade de fluxo térmico para arrefecimento |
| q Aquecimento | Densidade de fluxo térmico para aquecimento | | |



Projecto: Moradia Unifamiliar
Local: Carvoeiro
Promotor: Fábio Manuel Martins Rodrigues

| Armário de colectores | Circuito | Traçado | Separação entre tubagens (m) | S (m ²) | q Aquecimento (W/m ²) | Comprimento real (m) |
|-----------------------|-------------|---------|------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|
| CX.PR.02 | Circuito.04 | Espiral | 0.15 | 11.8 | 67.81 | 76.22 |
| | Circuito.03 | Espiral | 0.15 | 14.3 | 67.81 | 91.92 |
| | P0.IS.02 | Espiral | 0.10 | 3.4 | 80.18 | 21.18 |
| | Circuito.02 | Espiral | 0.15 | 10.8 | 67.81 | 69.84 |
| | Circuito.01 | Espiral | 0.15 | 10.7 | 67.81 | 72.53 |

| Abreviaturas utilizadas | | | |
|-------------------------|---|-----------------|---|
| S | Superfície do compartimento | q Arrefecimento | Densidade de fluxo térmico para arrefecimento |
| q Aquecimento | Densidade de fluxo térmico para aquecimento | | |

1.1.4.- Cálculo da temperatura de impulsão da água

Para calcular a temperatura de impulsão de cada um dos circuitos considera-se a densidade de fluxo térmico de cada um deles, com a excepção das casas de banho.

$$q = K_H \cdot \Delta\theta_H$$

Onde:

q = Densidade de fluxo térmico

K_H = Constante que depende das seguintes variáveis:

- Pavimento (espessura do revestimento e condutibilidade)
- Tapa (espessura e condutibilidade)
- Tubagem (diâmetro exterior, incluindo o revestimento, espessura e condutibilidade)

Δθ_H = Desvio médio da temperatura ar-água, que depende das seguintes variáveis:

- Temperatura de impulsão
- Temperatura de retorno
- Temperatura do compartimento

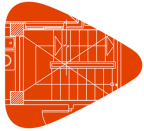
Para calcular a temperatura de impulsão a partir da máxima densidade de fluxo térmico, serão considerados os seguintes dados:

- Aquecimento: considera-se um salto térmico da água de 5°C.
- Arrefecimento: considera-se um salto térmico da água de 2°C. No caso de arrefecimento sempre existe a limitação do ponto de orvalho, sendo a temperatura de impulsão, incrementada num grau pelas perdas, não inferior à de orvalho.

No Anexo Norma EN 1264 descreve-se detalhadamente a formulação utilizada neste cálculo.

Para os restantes compartimentos deve-se utilizar a mesma formulação, sendo a temperatura de retorno de cada um dos circuitos o valor calculado.

Apresenta-se seguidamente um resumo dos resultados obtidos:



| Armário de colectores | Circuito | θ_v Aquecimento (°C) | θ_r Aquecimento (°C) | P_{inst} Aquecimento (W) | P_{req} Aquecimento (W) |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| CX.PR.03 | P1.IS.02, P1.Quarto.02 | 45.0 | 40.0 | 775 | 749 |
| | P1.IS.01 | 45.0 | 40.0 | 900 | 858 |
| | Circuito.01 | 45.0 | 35.6 | 586 | 565 |
| | Circuito.02 | 45.0 | 35.6 | 626 | 604 |
| | Circuito.02 | 45.0 | 30.2 | 423 | 477 |
| | Circuito.01 | 45.0 | 30.2 | 421 | 475 |
| CX.PR.01 | P0.Escadas | 45.0 | 40.0 | 784 | 1532 |
| | Circuito.02 | 45.0 | 37.8 | 1011 | 1236 |
| | Circuito.01 | 45.0 | 37.8 | 1027 | 1256 |
| | Circuito.02 | 45.0 | 36.5 | 797 | 818 |
| | Circuito.02 | 45.0 | 40.0 | 601 | 610 |
| | Circuito.01 | 45.0 | 40.0 | 616 | 625 |
| | Circuito.01 | 45.0 | 36.5 | 752 | 772 |
| | P0.IS.01 | 45.0 | 40.0 | 753 | 980 |
| CX.PR.02 | Circuito.04 | 45.0 | 37.4 | 799 | 1006 |
| | Circuito.03 | 45.0 | 37.4 | 971 | 1224 |
| | P0.IS.02 | 45.0 | 40.0 | 273 | 377 |
| | Circuito.02 | 45.0 | 37.4 | 730 | 919 |
| | Circuito.01 | 45.0 | 37.4 | 728 | 917 |
| Abreviaturas utilizadas | | | | | |
| θ_v Aquecimento | Temperatura de impulsão Aquecimento | | θ_v Arrefecimento | Temperatura de impulsão Arrefecimento | |
| θ_r Aquecimento | Temperatura de retorno Aquecimento | | θ_r Arrefecimento | Temperatura de retorno Arrefecimento | |
| P_{inst} Aquecimento | Potência instalada de aquecimento | | P_{inst} Arrefecimento | Potência instalada de arrefecimento | |
| P_{req} Aquecimento | Potência requerida de aquecimento | | P_{req} Arrefecimento | Potência requerida de arrefecimento | |

Produzido por uma VEP - Associação de Engenharia de Produção

1.5.- Cálculo do caudal de água dos circuitos

O caudal do circuito calcula-se com a seguinte expressão:

$$m_H = \frac{A_F \cdot q}{\sigma \cdot c_w} \left(1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{\theta_i - \theta_u}{q \cdot R_u} \right)$$

Onde:

A_F = Superfície coberta pelo circuito de piso radiante

q = Densidade de fluxo térmico

σ = Salto de temperatura

c_w = Calor específico da água

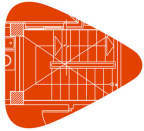
R_o = Resistência térmica parcial ascendente do pavimento

R_u = Resistência térmica parcial descendente do pavimento

θ_u = Temperatura do compartimento inferior

θ_i = Temperatura do compartimento

Os valores das resistências térmicas, tanto ascendente como descendente, são calculadas através das seguintes expressões:



$$R_0 = \frac{1}{\alpha} + R_{\lambda, B} + \frac{s_u}{\lambda_u}$$

$$\frac{1}{\alpha} = 0,093 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$R_u = R_{\lambda, 1} + R_{\lambda, 2} + R_{\lambda, 3} + R_{\alpha, 4}$$

$$R_{\alpha, 4} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

Onde:

R_0 = Resistência térmica do revestimento do pavimento

s_u = Espessura, por cima do tubo, da camada de suporte da carga e da difusão térmica

λ_u = Condutividade térmica da camada de suporte da carga e da difusão térmica

R_1 = Resistência térmica do isolante

R_2 = Resistência térmica da laje

R_3 = Resistência térmica do tecto falso

R_4 = Resistência térmica do tecto

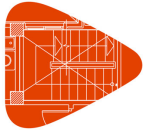
1 2.- Dimensionamento

1 2.1.- Dimensionamento do circuito hidráulico

O dimensionamento das tubagens realiza-se considerando os seguintes parâmetros:

- Caudal máximo = 0.21 m³/h
- Perda de carga máxima = 35000 Pa
- Perda de carga máxima por unidade de comprimento = 350.00 Pa/m

Descreve-se seguidamente a instalação calculada:



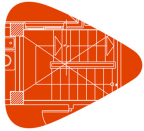
Projecto: Moradia Unifamiliar
 Local: Carvoeiro
 Promotor: Fábio Manuel Martins Rodrigues

| Armário de colectores | Circuito | \varnothing_N (mm) | Caudal Aquecimento (m ³ /h) | ΔP Aquecimento (Pa) |
|-------------------------|--|--------------------------|---|--------------------------------|
| CX.PR.03 | P1.IS.02, P1.Quarto.02 | 17.0 | 0.15 | 8773 |
| | P1.IS.01 | 17.0 | 0.18 | 13179 |
| | Circuito.01 | 17.0 | 0.06 | 1822 |
| | Circuito.02 | 17.0 | 0.07 | 2312 |
| | Circuito.02 | 17.0 | 0.03 | 552 |
| | Circuito.01 | 17.0 | 0.03 | 520 |
| CX.PR.01 | P0.Escadas | 17.0 | 0.17 | 14300 |
| | Circuito.02 | 17.0 | 0.15 | 13675 |
| | Circuito.01 | 17.0 | 0.15 | 12365 |
| | Circuito.02 | 17.0 | 0.09 | 4679 |
| | Circuito.02 | 17.0 | 0.12 | 5149 |
| | Circuito.01 | 17.0 | 0.12 | 5285 |
| | Circuito.01 | 17.0 | 0.09 | 3807 |
| | P0.IS.01 | 17.0 | 0.16 | 13673 |
| CX.PR.02 | Circuito.04 | 17.0 | 0.11 | 5637 |
| | Circuito.03 | 17.0 | 0.13 | 9436 |
| | P0.IS.02 | 17.0 | 0.05 | 512 |
| | Circuito.02 | 17.0 | 0.10 | 4548 |
| | Circuito.01 | 17.0 | 0.10 | 4849 |
| Abreviaturas utilizadas | | | | |
| Caudal Aquecimento | Diâmetro nominal | Caudal Arrefecimento | Caudal do circuito Arrefecimento | |
| ΔP Aquecimento | Caudal do circuito Aquecimento | ΔP Arrefecimento | Perda de carga do circuito Arrefecimento | |
| | Perda de carga do circuito Aquecimento | | | |

1.3.- Medições

1.3.1.- Subdivisão dos rolos em circuitos

ANEXO A: NORMA EN 1264



ANEXO A: NORMA EN 1264

O fluxo de calor procedente das tubagens calcula-se através da seguinte expressão:

$$q = B \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot \Delta\theta_H$$

$$q = B \cdot a_B^{m_B} \cdot a_T^{m_T} \cdot a_U^{m_U} \cdot a_D^{m_D} \cdot \Delta\theta_H$$

A expressão anterior é válida para uma separação máxima entre tubagens que cumpra $T < 0.375$ m.

A seguinte expressão é válida para uma separação mínima entre tubagens que cumpra $T > 0.375$ m.

$$q = q_{0.375} \frac{0.375}{T}$$

a) Factor de revestimento do pavimento

$$a_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}}$$

$\alpha = 10.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$\lambda_{u,0} = 1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

$S_{u,0} = 0.045 \text{ m}$

$R_{\lambda,B}$ = Resistência térmica do revestimento

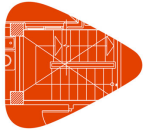
λ_E = Condutibilidade térmica do revestimento

a_T : Factor de passagem

| $R_{\lambda,B}$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) | 0 | 0.05 | 0.10 | 0.15 |
|---|------|-------|-------|-------|
| a_T | 1.23 | 1.188 | 1.156 | 1.134 |

a_U : Factor de recobrimento

| $R_{\lambda,B}$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) | 0 | 0.05 | 0.10 | 0.15 |
|---|-------|-------|--------|--------|
| T(m) | a_U | | | |
| 0.05 | 1.069 | 1.056 | 1.043 | 1.037 |
| 0.075 | 1.066 | 1.053 | 1.041 | 1.035 |
| 0.1 | 1.063 | 1.05 | 1.039 | 1.0335 |
| 0.15 | 1.057 | 1.046 | 1.035 | 1.0305 |
| 0.2 | 1.051 | 1.041 | 1.0315 | 1.0275 |
| 0.225 | 1.048 | 1.038 | 1.0295 | 1.026 |



| $R_{\lambda,B}$ (m ² K/W) | 0 | 0.05 | 0.10 | 0.15 |
|--------------------------------------|--------|-------|-------|-------|
| 0.3 | 1.0395 | 1.031 | 1.024 | 1.021 |
| 0.375 | 1.03 | 1.022 | 1.018 | 1.015 |

a_b : Factor adimensional em função do diâmetro exterior da tubagem

| $R_{\lambda,B}$ (m ² K/W) | 0 | 0.05 | 0.10 | 0.15 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| T(m) | a_b | | | |
| 0.05 | 1.013 | 1.013 | 1.012 | 1.011 |
| 0.075 | 1.021 | 1.019 | 1.016 | 1.014 |
| 0.1 | 1.029 | 1.025 | 1.022 | 1.018 |
| 0.15 | 1.04 | 1.034 | 1.029 | 1.024 |
| 0.2 | 1.046 | 1.04 | 1.035 | 1.03 |
| 0.225 | 1.049 | 1.043 | 1.038 | 1.033 |
| 0.3 | 1.053 | 1.049 | 1.044 | 1.039 |
| 0.375 | 1.056 | 1.051 | 1.046 | 1.042 |

$$m_T = 1 - \frac{T}{0.075}$$

A expressão anterior é válida se se verifica a condição $0.050 \text{ m} \leq T \leq 0.375 \text{ m}$, onde T é a separação entre tubagens.

$$m_u = 100(0.045 - S_u)$$

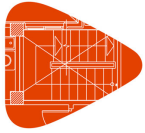
A expressão anterior é válida se se verifica a condição $S_u \geq 0.015 \text{ m}$, onde S_u é a espessura da camada por cima da tubagem.

$$m_D = 250(D - 0.020)$$

A expressão anterior é válida se se cumpre a condição $0.010 \text{ m} \leq D \leq 0.030 \text{ m}$, onde D é o diâmetro exterior da tubagem, incluindo o revestimento, se for o caso.

$$B = B_0$$

| Tipo de superfície | B_0 (W/(m ² ·K)) |
|----------------------------------|----------------------------------|
| Piso radiante para aquecimento | 6.7 |
| Piso radiante para arrefecimento | 5.2 |



Quando a tubagem tem as seguintes propriedades:

Condutibilidade térmica

$$\lambda_R = \lambda_{R,0} = 0.35 \quad (W/mK)$$

Espessura da camada

$$s_R = s_{R,0} = (d_a - d_i) / 2 = 0.002m$$

Se as tubagens não verificam as condições anteriores, deve utilizar-se a seguinte expressão:

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1.1}{\pi} \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot T \cdot \left[\frac{1}{2\lambda_R} \ln \frac{d_a}{d_a - 2S_R} - \frac{1}{2\lambda_{R,0}} \ln \frac{d_a}{d_a - 2S_{R,0}} \right]$$

Onde:

λ_R = Condutibilidade do revestimento da tubagem

$\lambda_{R,0} = 0.35$ W/(m·K)

s_R = Espessura da parede da tubagem

$s_{R,0} = (d_a - d_i) / 2 = 0.002$ m

$$\theta_H = \frac{\theta_V - \theta_R}{\ln \frac{\theta_V - \theta_i}{\theta_R - \theta_i}}$$

Onde:

θ_R = Temperatura de retorno

θ_V = Temperatura de impulsão

θ_i = Temperatura do compartimento