

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.....	3
1.1.4.- Cálculo da temperatura de impulsão da água.....	4
1.1.5.- Cálculo do caudal de água dos circuitos.....	5
1.2.- Dimensionamento.....	6
1.2.1.- Dimensionamento do circuito hidráulico.....	6
1.3.- Medições.....	6
1.3.1.- Subdivisão dos rolos em circuitos.....	6
 ANEXO A: NORMA EN 1264.....	 8

Piso radiante

1.- 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 (kW)	$Q_{N,f}$ Arrefecimento (kW)	S (m ²)	q Aquecimento (W/m ²)	q Arrefecimento (W/m ²)
P1 Office1	First Floor	4.59	2.34	23	196.18	100.04
P1 Office2	First Floor	4.59	2.34	23	196.18	100.04
P1 Office3	First Floor	4.59	2.34	23	196.18	100.04
P1 Videoconference	First Floor	4.59	2.34	23	196.18	100.04
PB Office1	Ground floor	4.59	2.34	23	196.18	100.04
PB Office2	Ground floor	4.58	2.34	23	195.77	100.04
PB Office3	Ground floor	4.60	2.34	23	196.48	100.04
PB Office4	Ground floor	4.59	2.34	23	196.18	100.04

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	$\theta_{r,max}$ (°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

$\theta_{r,max}$	Temperatura máxima da superfície do pavimento	q_G	Densidade de fluxo térmico limite
θ_i	Temperatura do compartimento		

Piso radiante para arrefecimento:

Tipos de compartimentos	$\theta_{r,min}$ (°C)	θ_i (°C)	q_G (W/m ²)
Zona de permanência (ocupada)	19.0	24.0	35.00

Abreviaturas utilizadas

$\theta_{r,min}$	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

Piso radiante

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.

1.2.- 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
	P1 Office1	P1 Office1	First Floor
	P1 Office2	P1 Office2	First Floor
	P1 Office3	P1 Office3	First Floor
	P1 Videoconference	P1 Videoconference	First Floor
	PB Office1	PB Office1	Ground floor
	PB Office2	PB Office2	Ground floor
	PB Office3	PB Office3	Ground floor
	PB Office4	PB Office4	Ground floor

1.1.3.- 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:

Piso radiante

Armário de colectores	Circuito	Traçado	Separação entre tubagens (m)	S (m ²)	q Aquecimento (W/m ²)	Comprimento real (m)
	P1 Office1	Espiral	0.20	23	100.01	122.38
	P1 Office2	Espiral	0.20	23	100.01	114.31
	P1 Office3	Espiral	0.20	23	100.01	124.68
	P1 Videoconference	Espiral	0.20	23	100.01	133.53
	PB Office1	Espiral	0.20	23	100.01	122.38
	PB Office2	Espiral	0.20	23	100.01	113.39
	PB Office3	Espiral	0.20	23	100.01	119.63
	PB Office4	Espiral	0.20	23	100.01	133.53
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:

- revestimento (espessura do revestimento e condutibilidade)
- sujeira (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:

Piso radiante

Armário de colectores	Circuito	θ _v Aquecimento (°C)	θ _R Aquecimento (°C)	P _{inst} Aquecimento (kW)	P _{req} Aquecimento (kW)
	P1 Office1	55.6	50.6	2.33	2.33
	P1 Office2	55.6	50.6	2.33	2.33
	P1 Office3	55.6	50.6	2.33	2.33
	P1 Videoconference	55.6	50.6	2.33	2.33
	PB Office1	55.6	50.6	2.33	2.33
	PB Office2	55.6	50.6	2.32	2.32
	PB Office3	55.6	50.6	2.34	2.34
	PB Office4	55.6	50.6	2.33	2.33
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	

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 = 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_i = Temperatura do compartimento inferior

θ_u = Temperatura do compartimento

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

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

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

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

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

Onde:

Piso radiante

$R_{\lambda,B}$ = 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

$R_{\lambda,1}$ = Resistência térmica do isolante

$R_{\lambda,2}$ = Resistência térmica da laje

$R_{\lambda,3}$ = Resistência térmica do tecto falso

$R_{\alpha,4}$ = Resistência térmica do tecto

1.2.- Dimensionamento

1.2.1.- Dimensionamento do circuito hidráulico

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

- Perda de carga máxima = 50000 Pa
- Perda de carga máxima por unidade de comprimento = 400.00 Pa/m

Descreve-se seguidamente a instalação calculada:

Armário de colectores	Circuito	\varnothing_N (mm)	Caudal Aquecimento (l/s)	ΔP Aquecimento (Pa)
	P1 Office1	15	0.15	277750
	P1 Office2	15	0.14	244129
	P1 Office3	15	0.15	288356
	P1 Videoconference	15	0.15	333279
	PB Office1	15	0.15	277765
	PB Office2	15	0.14	240589
	PB Office3	15	0.15	277984
	PB Office4	15	0.15	333279
Abreviaturas utilizadas				
Caudal Aquecimento	Diâmetro nominal Caudal do circuito Aquecimento	Caudal Arrefecimento	Caudal do circuito Arrefecimento	
ΔP Aquecimento	Perda de carga do circuito Aquecimento	ΔP Arrefecimento	Perda de carga do circuito Arrefecimento	

1.3.- Medições

1.3.1.- Subdivisão dos rolos em circuitos

ANEXO A: NORMA EN 1264

Piso radiante

ANEXO A: NORMA EN 1264

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

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

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

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 = Condutibilidade térmica do revestimento

a. Factor de passagem

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

a_U : Factor de recobrimento

$R_{\lambda,B}$ (m ² K/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
0.3	1.0395	1.031	1.024	1.021
0.375	1.03	1.022	1.018	1.015

Piso radiante

a_b: Factor adimensional em função do diâmetro exterior da tubagem

R _{a,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 m ≤ T ≤ 0.375 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 ≥ 0.015 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 m ≤ D ≤ 0.030 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

$$sR = sR_0 = (d_a - d_i) / 2 = 0.002m$$

Piso radiante

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

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

Onde:

θ_R = Temperatura de retorno

θ_V = Temperatura de impulsão

θ_i = Temperatura do compartimento