

Junio 2009

### TÍTULO

**Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies**

**Parte 2: Suelo radiante: Métodos para la determinación de la emisión térmica de los suelos radiantes por cálculo y ensayo**

*Water based surface embedded heating and cooling systems. Part 2: Floor heating: Prove methods for the determination of the thermal output using calculation and test methods.*

*Systèmes de surfaces chauffantes et rafraîchissantes hydrauliques intégrées. Partie 2: Chauffage par le sol: Méthodes de démonstration pour la détermination de l'émission thermique utilisant des méthodes par le calcul et à l'aide de méthodes d'essai.*

### CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 1264-2:2008.

### OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 1264-2:1998.

### ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 124 *Generadores y emisores de calor* cuya Secretaría desempeña FEGECA.

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 26439:2009

© AENOR 2009  
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR**

Génova, 6  
28004 MADRID-España

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

info@aenor.es  
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201  
Fax: 913 104 032

45 Páginas

**Grupo 28**



Versión en español

**Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación  
de agua integrados en superficies**  
**Parte 2: Suelo radiante: Métodos para la determinación de la emisión  
térmica de los suelos radiantes por cálculo y ensayo**

Water based surface embedded heating  
and cooling systems. Part 2: Floor heating:  
Prove methods for the determination of  
the thermal output using calculation and  
test methods.

Systèmes de surfaces chauffantes et  
rafraîchissantes hydrauliques intégrées.  
Partie 2: Chauffage par le sol: Méthodes  
de démonstration pour la détermination de  
l'émission thermique utilisant des  
méthodes par le calcul et à l'aide de  
méthodes d'essai.

Raumflächenintegrierte Heiz- und  
Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung.  
Teil 2: Fußbodenheizung: Prüfverfahren  
für die Bestimmung der Wärmeleistung  
von Fußbodenheizsystemen unter  
Benutzung von Berechnungsmethoden und  
experimentellen Methoden.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2008-09-13.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

**CEN**  
**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN**  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
**CENTRO DE GESTIÓN: Avenue Marnix, 17-1000 Bruxelles**

© 2008 CEN. Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

## ÍNDICE

	Página
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2 NORMAS PARA CONSULTA.....</b>	<b>6</b>
<b>3 DEFINICIONES Y SÍMBOLOS.....</b>	<b>6</b>
<b>4 CONDICIONES TÉRMICAS LÍMITES.....</b>	<b>7</b>
<b>5 DOCUMENTOS PARA REALIZAR LOS ENSAYOS .....</b>	<b>7</b>
<b>6 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO (CURVAS CARACTERÍSTICAS Y CURVAS LÍMITES).....</b>	<b>8</b>
6.1 Generalidades (véanse las referencias [2] y [4]).....	8
6.2 Sistemas con los tubos dentro de la placa (tipo A y tipo C) .....	9
6.3 Sistemas con los tubos debajo de la placa o del suelo de madera (tipo B).....	11
6.4 Sistemas con elementos superficiales (sistemas de sección plana, tipo D) .....	12
6.5 Límites de la densidad de flujo térmico.....	12
6.6 Influencia del material, del espesor de la pared, y del revestimiento del tubo sobre la densidad de flujo térmico.....	14
6.7 Conductividad térmica de una placa con piezas intercaladas.....	15
<b>7 CONDUCTIVIDAD DE LOS MATERIALES.....</b>	<b>15</b>
<b>8 PÉRDIDAS TÉRMICAS DESCENDENTES.....</b>	<b>15</b>
<b>9 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA TÉRMICA DE LOS SISTEMAS QUE NO PUEDEN CALCULARSE DE ACUERDO CON EL CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>16</b>
<b>10 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA TÉRMICA EFECTIVA DE LAS ALFOMBRAS.....</b>	<b>19</b>
<b>11 INFORME DE ENSAYO .....</b>	<b>21</b>
<b>12 SISTEMA DE ENSAYO.....</b>	<b>21</b>
12.1 Generalidades .....	21
12.2 Muestras principales .....	22
12.3 Verificación de los equipos de ensayo .....	22
12.4 Determinación de los valores de $s_m$ y $\phi_{M,s}$ ( $q_{N,M,s}$ , $q_{G,M,s}$ ( $R_{\lambda; B} = 0,15$ ), $R_{\lambda; B,M,s}$ ) de las muestras maestras primarias.....	22
12.5 Verificación del software .....	23
<b>ANEXO A (Normativo) FIGURAS Y TABLAS.....</b>	<b>24</b>
<b>ANEXO B (Informativo) PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA SU APLICACIÓN SEGÚN EL ANEXO C DE LA NORMA EN 15377-1 .....</b>	<b>43</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>45</b>

## PRÓLOGO

Esta Norma EN 1264-2:2008 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 130 *Aparatos de calefacción sin fuentes de calor integradas*, cuya Secretaría desempeña UNI.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de abril de 2009, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de abril de 2009.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento estén sujetos a derechos de patente. CEN y/o CENELEC no es(son) responsable(s) de la identificación de dichos derechos de patente.

Esta norma anula y sustituye a la Norma EN 1264-2:1997.

Esta norma europea, *Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies*, se compone de las siguientes partes:

- Parte 1: Definiciones y símbolos
- Parte 2: Suelo radiante: Métodos para la determinación de la emisión térmica de los suelos radiantes por cálculo y ensayo.
- Parte 3: Dimensionamiento.
- Parte 4: Instalación.
- Parte 5: Suelos, techos y paredes radiantes. Determinación de la emisión térmica

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

## INTRODUCCIÓN

Esta norma europea se basa en la constatación de que en el ámbito comercial, la emisión térmica de los sistemas de calefacción y refrigeración, representan la base para su evaluación. Con objeto de que sea posible evaluar y comparar diferentes sistemas de calefacción y/o refrigeración, es, necesario hacer referencia a valores determinados usando un método único, definido sin ambigüedades. Las bases para hacerlo son los métodos de prueba para la determinación de la emisión térmica de los sistemas de suelo radiante descritos en la parte 2 de esta norma europea. Análogamente con la Norma Europea EN 442-2 (Radiadores y convectores – Parte 2: Métodos de ensayo y de evaluación), estos métodos de prueba suministran curvas características de carga parcial bajo condiciones con límites definidos, así como la emisión característica del sistema representado por la emisión térmica nominal junto con la diferencia de temperatura estándar asociada entre el medio de calefacción y la temperatura de la estancia.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma europea especifica las condiciones límite y los métodos de ensayo para la determinación de la potencia térmica de los sistemas de calefacción de suelo radiante por agua caliente como una función de la diferencia de temperatura entre el medio de calefacción y la temperatura de la estancia.

Esta norma se debe aplicar a los intercambios comerciales y prácticas de ingeniería si para ello se deben utilizar valores de la potencia térmica probados y certificados.

Esta norma europea se aplica a los sistemas de calefacción y refrigeración integrados dentro de la superficie que delimita la estancia que se calienta o se enfría. Esta parte de la norma europea se aplica a los sistemas de calefacción de suelo radiante por agua caliente. La aplicación de la parte 5 de esta norma europea requiere el uso previo de esta parte de la norma europea. La parte 5 de la norma europea se ocupa de la conversión de la potencia térmica de los sistemas de suelo radiante, determinada en la parte 2, encuadrada dentro en la potencia térmica de las superficies de calefacción integrados en paredes y techos, así como en la potencia térmica de las superficies de refrigeración integradas en suelos, paredes y techos.

La potencia térmica se demuestra mediante un método de cálculo (véase el capítulo 6) y un método de ensayo (véase el capítulo 9). El método de cálculo se aplica a sistemas que se corresponden con las definiciones de la Norma EN 1264-1 (tipo A, tipo B, tipo C, tipo D). Se debe usar el método de ensayo en los sistemas que no se corresponden con estas definiciones. El método de cálculo y el método de ensayo son compatibles unos con otros y proporcionan resultados de la prueba coherentes y adecuados.

Los resultados de la prueba, expresados en función de parámetros adicionales, son la potencia térmica específica nominal y la diferencia de temperatura estándar asociada entre el medio de calefacción y la temperatura de la estancia, así como los campos de curvas características que muestran la relación entre la potencia térmica específica y la diferencia de temperatura entre el medio de calefacción y la estancia.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

EN 1264-1:1997 *Calefacción por suelo radiante. Sistemas y componentes. Parte 1: Definiciones y Símbolos.*

prEN 1264-3:2007 *Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 3: Dimensionamiento.*

## 3 DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones incluidos en la Norma EN 1264-1:1997.

#### 4 CONDICIONES TÉRMICAS LÍMITES

Una superficie de suelo radiante que tenga una temperatura superficial media dada intercambia la misma potencia térmica con cualquier estancia que tenga la misma temperatura ambiente (temperatura estándar interior  $\vartheta_i$ ). Por lo tanto, es posible proporcionar una curva característica básica que relacione la potencia térmica específica y la temperatura media superficial, independiente del sistema de calefacción y aplicable a todas las superficies de calefacción por suelo radiante (incluidas aquellas zonas periféricas en las que las emisiones térmicas son superiores) (véase la figura A.1).

Por el contrario, para cada sistema de calefacción por suelo radiante existe una potencia térmica específica máxima admisible denominada densidad de flujo térmico límite  $q_G$ . Esta densidad se determina para una temperatura ambiente estándar de la estancia  $\vartheta_i = 20\text{ °C}$  bajo la condición secundaria de que la temperatura de superficie máxima  $\vartheta_{F,máx.} = 29\text{ °C}^{(1)}$  con una caída de la temperatura entre la alimentación y el retorno de  $\sigma = 0\text{ K}$ . La densidad de flujo térmico máxima para la zona periférica se alcanza a una temperatura de superficie máxima  $\vartheta_{F,máx.} = 35\text{ °C}^{(2)}$  y  $\sigma = 0\text{ K}$ .

Para el cálculo y el procedimiento de ensayo, el centro de la superficie de suelo radiante, independientemente del tipo de sistema, se utiliza como un punto de referencia para  $\vartheta_{F,máx.}$ .

La temperatura media de la superficie del suelo  $\vartheta_{F,m}$  que determina la densidad del flujo térmico (según la curva característica básica) está relacionada con la temperatura máxima de la superficie del suelo. Ha de cumplirse siempre  $\vartheta_{F,m} < \vartheta_{F,máx.}$ .

El valor alcanzable para  $\vartheta_{F,m}$  depende tanto del sistema de suelo radiante como de las condiciones de servicio (caída de la temperatura  $\sigma = \vartheta_V - \vartheta_R$ , flujo térmico descendente  $q_u$  y resistencia térmica del revestimiento del suelo  $R_{\lambda,B}$ ).

El cálculo de la densidad del flujo térmico se basa en las siguientes condiciones:

- La transmisión de calor de la superficie del suelo se produce de acuerdo con la curva característica básica.
- La caída de temperatura del medio de calentamiento es  $\sigma = 0$ ; la dependencia de la curva característica sobre la caída de temperatura se determina empleando la desviación media logarítmica de temperatura entre el medio de calentamiento y la estancia  $\Delta\vartheta_H$  [3] (véase la ecuación (1)).
- El flujo es turbulento:  $m_H/d_i > 4\,000\text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m})$ .
- No existe flujo térmico lateral.
- La capa conductora del calor del sistema de calefacción por suelo radiante está térmicamente desacoplada con respecto a la base estructural del edificio mediante un aislamiento térmico.

NOTA La última condición anteriormente mencionada no afecta al procedimiento de ensayo descrito en el capítulo 9.

#### 5 DOCUMENTOS PARA REALIZAR LOS ENSAYOS

La información proporcionada por el suministrador del sistema constituye la base para la determinación de potencia térmica. Deben proporcionarse los documentos siguientes:

- Plano (sección) de la instalación de suelo radiante, que contemple dos pasos de tubos, que incluya el área periférica y dé información de los materiales utilizados (si es necesario, se deben proporcionar los resultados de ensayos relacionados con los valores de la conductividad térmica de los materiales).
- La documentación técnica para el sistema.

1) Los reglamentos nacionales pueden limitar esta temperatura a un valor inferior.

2) Algunos materiales de revestimientos de suelo pueden requerir temperaturas más bajas.

Esta información debe contener todos los detalles necesarios para el cálculo de la instalación correspondiente en el emplazamiento y, de la misma forma; debe proporcionarse al instalador.

En presencia de un representante del organismo de ensayo, se debe construir una superficie de demostración de  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  aproximadamente con el fin de establecer que la construcción que se va a ensayar es representativa de la instalación real en el emplazamiento.

## 6 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO (CURVAS CARACTERÍSTICAS Y CURVAS LÍMITES)

### 6.1 Generalidades (véanse las referencias [2] y [4]).

La densidad de flujo térmico  $q$  en una superficie de suelo se determina por los parámetros siguientes:

- Paso del tubo  $T$ .
- Espesor  $s_u$  y conductividad térmica  $\lambda_E$  de la capa por encima del tubo.
- Resistencia térmica  $R_{\lambda,B}$  del revestimiento del suelo.
- Diámetro exterior del tubo  $D = d_a$ , incluido un revestimiento ocasional ( $D = d_M$ ), si es necesario, y la conductividad térmica del tubo  $\lambda_R$  o la del revestimiento  $\lambda_M$ . En el caso de tubos de sección transversal no circular, debe utilizarse para el cálculo el diámetro equivalente de un tubo circular que tenga la misma circunferencia (el espesor de la placa por encima del tubo debe permanecer invariable). En los cálculos no es necesario tener en cuenta el espesor y la conductividad térmica de las capas barrera de difusión montadas permanentemente con un espesor de hasta 0,3 mm. En este caso, se debe aplicar  $D = d_a$ .
- Dispositivos difusores de calor, que se caracterizan por el valor  $K_{WL}$  determinado de acuerdo con lo indicado en el apartado 6.3.
- Contacto entre los tubos y los dispositivos difusores de calor o la placa, caracterizado por el factor  $a_K$ .

La densidad de flujo térmico es proporcional a  $(\Delta\vartheta_H)^n$  donde la desviación media logarítmica entre el medio caloportador y la estancia es:

$$\Delta\vartheta_H = \frac{\vartheta_V - \vartheta_R}{\ln \frac{\vartheta_V - \vartheta_1}{\vartheta_R - \vartheta_1}} \quad (1)$$

y donde el exponente  $n$ , según estudios teóricos y experimentales, está comprendido entre:

$$1,0 < n < 1,05 \quad (2)$$

Y dentro de los límites de precisión posibles, se utiliza

$$n = 1$$

La densidad de flujo térmico  $q$  se calcula utilizando la ecuación (3)

$$q = B \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot \Delta\vartheta_H \quad (3)$$



donde

$B$  es el coeficiente característico del sistema expresado en  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$\prod_i (a_i^{m_i})$  es el producto que relaciona entre sí los parámetros de la estructura del suelo (véanse 6.2, 6.3 y 6.4).

Debe hacerse una distinción entre los sistemas con los tubos dentro o debajo de la placa o suelos de madera, y los sistemas con elementos superficiales (sistemas de secciones planas). La ecuación (3) se aplica directamente para las construcciones habituales. Para los sistemas con dispositivos adicionales para la distribución de calor, para secciones huecas rellenas de aire u otros componentes que influyen sobre la distribución de calor, la potencia térmica se determina experimentalmente de acuerdo con el capítulo 9.

## 6.2 Sistemas con los tubos dentro de la placa (tipo A y tipo C)

Para estos sistemas (véase la figura A.2) las curvas características se calculan aplicando la ecuación (4a).

$$q = B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_u^{m_u} \cdot a_D^{m_D} \cdot \Delta \vartheta_H \quad (4a)$$

Al producto de potencias dado, que multiplica a la diferencia de temperaturas  $\Delta \vartheta_H$ , se le llama coeficiente de transmisión térmica equivalente  $K_H$ , el cual nos da la siguiente forma abreviada de la expresión:

$$q = K_H \cdot \Delta \vartheta_H \quad (4b)$$

donde

$B = B_0 = 6,7 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$  para una conductividad térmica del tubo  $\lambda_R = \lambda_{R,0} = 0,35 \text{ W}/(m \cdot K)$  y un espesor de tubo  $s_R = s_{R,0} = (d_a - d_i)/2 = 0,002 \text{ m}$ .

Para otros materiales, con conductividades térmicas o espesores de pared de tubo diferentes, o para tubos con revestimiento,  $B$  se debe calcular de acuerdo con lo indicado en apartado 6.6.

Para una placa con una humedad reducida, debe emplearse  $\lambda_E = 1,2 \text{ W}/(m \cdot K)$ . Este valor es aplicable también a las placas calientes o precalentadas. Si se emplea un valor diferente, debe verificarse su validez.

$a_B$  es el factor de revestimiento del suelo según la siguiente ecuación:

$$a_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}} \quad (5)$$

donde

$\alpha = 10,8 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$ ;

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

$s_{u,0} = 0,045 \text{ m}$ ;

$R_{\lambda,B}$  es la resistencia térmica del revestimiento del suelo en  $m^2 \cdot K/W$ ;

$\lambda_E$  es la conductividad térmica de la placa, en  $W/(m \cdot K)$ ;

$a_T$  es el factor de paso de acuerdo con la tabla A.1;  $a_T = f(R_{\lambda, B})$ ;

$a_u$  es el factor de recubrimiento de acuerdo con la tabla A.2;  $a_u = f(T, R_{\lambda, B})$ ;

$a_D$  es el factor del diámetro exterior del tubo de acuerdo con la tabla A.3;  $a_D = f(T, R_{\lambda, B})$ .

$$m_T = 1 - \frac{T}{0,075} \quad \text{se aplica cuando } 0,050 \text{ m} \leq T \leq 0,375 \text{ m} \quad (6)$$

$$m_u = 100 (0,045 - s_u) \quad \text{se aplica cuando } s_u \geq 0,010 \text{ m} \quad (7)$$

$$m_D = 250 (D - 0,020) \quad \text{se aplica cuando } 0,008 \text{ m} \leq D \leq 0,030 \text{ m} \quad (8)$$

En las ecuaciones (6) (7) y (8)

$T$  es el paso de tubo;

$D$  es el diámetro exterior del tubo, incluido el revestimiento cuando lo haya;

$s_u$  es el espesor de la capa por encima del tubo.

Cuando el paso del tubo  $T > 0,375$  m la densidad del flujo térmico se calcula aproximadamente aplicando:

$$q = q_{0,375} \frac{0,375}{T} \quad (9)$$

donde

$q_{0,375}$  es la densidad del flujo térmico calculada para un paso  $T = 0,375$  m.

Para espesores de la capa por encima del tubo  $s_u \leq 0,065$  m así como para espesores del capa por encima del tubo  $0,065 \text{ m} < s_u \leq s_u^*$  (véase abajo la definición de  $s_u^*$ ) se aplica la ecuación (4a) directamente. El valor de  $s_u^*$  depende de el paso de tubo como sigue:

Para un paso  $T \leq 0,200$  m, se aplica  $s_u^* = 0,100$  m.

Para un paso  $T > 0,200$  m, se aplica  $s_u^* = 0,5 T$ . En esta relación, se debe utilizar siempre el espacio real  $T$ , incluso en el caso de que el cálculo se haga de acuerdo con la ecuación (9).

Para espesores de la capa por encima del tubo  $s_u > s_u^*$ , debe utilizarse la ecuación (4b). En este caso, el coeficiente de transmisión térmica equivalente debe determinarse conforme a la siguiente ecuación:

$$K_H = \frac{1}{\frac{1}{K_{H, s_u = s_u^*}} + \frac{s_u - s_u^*}{\lambda_E}} \quad (10)$$

En la ecuación (10),  $K_{H, s_u = s_u^*}$  es el producto de potencias dado en la ecuación (4a), calculado para un espesor de capa por encima del tubo  $s_u^*$ .

Las curvas límite se calculan de acuerdo con el apartado 6.5.

### 6.3 Sistemas con los tubos debajo de la placa o del suelo de madera (tipo B)

Para estos sistemas (véase la figura A.3) el espesor variable de la placa que soporta el peso  $s_u$  y su conductividad térmica variable  $\lambda_E$  están representados por un factor  $a_u$ . El diámetro del tubo no influye. No obstante, el contacto entre el tubo y el dispositivo de difusión térmica o cualquier otro dispositivo de distribución de calor es un parámetro importante. La curva característica se calcula aplicando:

$$q = B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_u \cdot a_{WL} \cdot a_K \cdot \Delta \vartheta_H \quad (11)$$

donde

$B = B_0 = 6,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  en las condiciones dadas en las ecuaciones (4a) y (4b);

$a_T$  es el factor de paso según la tabla A.6;  $a_T = f(s_u/\lambda_E)$ ;

$m_T$  véase la ecuación (6);

$a_u$  es el factor de recubrimiento según la siguiente ecuación:

$$a_u = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_u}{\lambda_E}} \quad (12)$$

donde

$\alpha = 10,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

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

$s_{u,0} = 0,045 \text{ m}$ ;

$a_{WL}$  es el factor del dispositivo conductor de calor (véase la tabla A.8);  $a_{WL} = f(K_{WL}, T, D)$ .

Para calcular el valor característico  $K_{WL}$  la ecuación siguiente:

$$K_{WL} = \frac{s_{WL} \cdot \lambda_{WL} + b_u \cdot s_u \cdot \lambda_E}{0,125} \quad (13)$$

donde

$b_u = f(T)$  se debe tomar de la tabla A.7;

$s_{WL} \cdot \lambda_{WL}$  es el producto del espesor y de la conductividad térmica del material conductor (difusor) del calor;

$s_u \cdot \lambda_E$  es el producto del espesor y de la conductividad térmica de la placa o del recubrimiento de madera.

Si la anchura  $L$  del difusor es más pequeña que el paso de tubo  $T$ , el valor  $a_{WL, L=T}$  determinado de acuerdo con la tabla A.8 debe corregirse como sigue:

$$a_{WL} = a_{WL, L=T} - (a_{WL, L=T} - a_{WL, L=0}) \left[ 1 - 3,2(L/T) + 3,4(L/T)^2 - 1,2(L/T)^3 \right] \quad (14)$$

Los factores del dispositivo conductor de calor  $a_{WL,L=T}$  y  $a_{WL,L=0}$  deben tomarse de las tablas A.8a a A.8f. Para  $L = T$ , las tablas con  $K_{WL}$  son directamente aplicables de acuerdo con la ecuación (13); para  $L = 0$ , se aplican las tablas con  $K_{WL}$  determinado de acuerdo con la ecuación (13) y con  $s_{WL} = 0$ .

$a_K$  es el factor de corrección debido al contacto, de acuerdo con la tabla A.9;  $a_K = f(T)$

El factor de corrección para el contacto  $a_K$  incluye resistencias térmicas adicionales debidas a casos en los cuales entre el tubo y el dispositivo difusor de calor únicamente hay un contacto puntual o lineal. Estas resistencias dependen de las tolerancias de fabricación para los tubos y los dispositivos conductores de calor, pero también del cuidado puesto en la instalación y por lo tanto está sometido a fluctuaciones en casos particulares. Por esto, la tabla A.9 da un valor medio para  $a_K$ .

$a_B$  es el factor de revestimiento del suelo:

$$a_B = \frac{1}{1 + B \cdot a_u \cdot a_T^{m_T} \cdot a_{WL} \cdot a_K \cdot R_{\lambda,B} \cdot f(T)} \quad (15)$$

con  $f(T) = 1 + 0,44 \sqrt{T}$

Las curvas límites se calculan de acuerdo con el apartado 6.5.

#### 6.4 Sistemas con elementos superficiales (sistemas de sección plana, tipo D)

A los forjados cubiertos por elementos superficiales (véase la figura A.4) se les aplica la ecuación siguiente:

$$q = B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_u \cdot \Delta\vartheta_H \quad (16)$$

donde

$B = B_0 = 6,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

$a_T^{m_T} = 1,06$ ;

$a_u$  es el factor de recubrimiento de acuerdo con la ecuación (12);

$a_B$  es el factor de revestimiento del suelo:

$$a_B = \frac{1}{1 + B \cdot a_u \cdot a_T^{m_T} \cdot R_{\lambda,B}} \quad (17)$$

#### 6.5 Límites de la densidad de flujo térmico

El procedimiento para la determinación de los límites de la densidad de flujo térmico se muestra en la figura A.5.

La curva límite (véase la figura A.5) da la relación entre la densidad de flujo térmico y la diferencia de temperaturas entre el medio de calentamiento y la estancia para casos en donde se alcanza la diferencia máxima admisible entre la temperatura de la superficie y la temperatura interior de la estancia (9 K o 15 K respectivamente).

Las curvas límites se calculan aplicando la siguiente ecuación:

$$q_G = \varphi \cdot B_G \cdot \left[ \frac{\Delta\theta_H}{\varphi} \right]^{n_G} \quad (18)$$

donde

$B_G$  es el coeficiente, de acuerdo con la tabla A.4a (se aplica para  $s_u/\lambda_E \leq 0,079\ 2$ ) y la tabla A.4b (se aplica para  $s_u/\lambda_E > 0,079\ 2$ ) para los sistemas de tipo A y de tipo C o, de acuerdo con la tabla A.10, para los sistemas de tipo B, o  $B_G = 100\ \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  para los sistemas con elementos superficiales;

$n_G$  es el exponente de acuerdo con la tabla A.5a (se aplica para  $s_u/\lambda_E \leq 0,079\ 2$ ) y la tabla A.5b (se aplica para  $s_u/\lambda_E > 0,079\ 2$ ) para los sistemas de tipo A y de tipo C o, de acuerdo con la tabla A.11, para los sistemas de tipo B, o  $n_G = 0$  para los sistemas con elementos superficiales;

$\varphi$  es el factor de conversión para todos los valores de temperaturas  $\vartheta_{F, \text{máx.}}$  y  $\vartheta_i$ .

$$\varphi = \left[ \frac{\vartheta_{F, \text{máx.}} - \vartheta_i}{\Delta \vartheta_0} \right] \text{ con } \Delta \vartheta_0 = 9\ \text{K} \quad (19)$$

La diferencia de temperatura límite entre el medio de calentamiento y el de la estancia  $\Delta \vartheta_{H, G}$  se calcula como intersección de la curva característica con la curva límite (véase la figura A.5) a partir de:

$$\Delta \vartheta_{H, G} = \varphi \cdot \left[ \frac{B_G}{B \cdot \prod_i a_i^{m_i}} \right]^{\frac{1}{1-n_G}} \quad (20)$$

Para los sistemas de tipo A y C, las ecuaciones (18) y (20) anteriormente mencionadas se aplican directamente para pasos  $T \leq 0,375\ \text{m}$ . En el caso sistemas con pasos  $T > 0,375\ \text{m}$  se debe hacer la siguiente conversión:

$$q_G = q_{G; 0,375} \cdot \frac{0,375}{T} \cdot f_G \quad (21)$$

$$\Delta \vartheta_{H, G} = \Delta \vartheta_{H, G; 0,375} \cdot f_G \quad (22)$$

donde

$q_{G; 0,375}$  es la densidad de flujo térmico límite, calculada para un paso  $T = 0,375\ \text{m}$ ;

$\Delta \vartheta_{H, G; 0,375}$  es la diferencia de temperatura límite entre el medio caloportador y la estancia, calculada para un paso  $T = 0,375\ \text{m}$ .

El factor  $f_G$  debe determinarse como sigue dependiendo de la relación  $s_u/T$ :

Para  $s_u/T \leq 0,173$ , se aplica  $f_G = 1$ .

Para  $s_u/T > 0,173$  se aplica la siguiente ecuación para calcularlo:

$$f_G = \frac{q_{G, \text{máx.}} - \left( q_{G, \text{máx.}} - q_{G; 0,375} \cdot \frac{0,375}{T} \right) \cdot e^{-20 \cdot (s_u/T - 0,173)^2}}{q_{G; 0,375} \cdot \frac{0,375}{T}} \quad (23)$$

donde

$q_{G, \text{máx.}}$  es la densidad de flujo térmico máxima admisible de acuerdo con la tabla A.12, calculada para una distribución de temperaturas superficiales isoterma utilizando la curva característica básica (figura A.1), con  $(\vartheta_{F, m} - \vartheta_i) = (\vartheta_{F, \text{máx.}} - \vartheta_i)$ .

Para sistemas de tipo B, se aplican directamente las ecuaciones (18) y (20), cuando el paso  $T$  y la anchura del dispositivo de difusión de calor  $L$  son iguales. Para  $L < T$ , el valor de la densidad de flujo térmico  $q_{G, L=T}$ , calculado de acuerdo a la ecuación (18), debe corregirse utilizando la siguiente ecuación:

$$q_G = \frac{a_{WL}}{a_{WL, L=T}} \cdot q_{G, L=T} \quad (24)$$

donde

$a_{WL, L=T}$  es el factor de conductividad térmica de acuerdo con la tabla A.8;

$a_{WL}$  es el factor de conductividad térmica calculado según la ecuación (14)

La diferencia de temperatura límite entre el medio caloportador y la estancia  $\Delta\vartheta_{H, G}$  es igual a la obtenida en el caso  $L = T$ .

Cuando  $\Delta\vartheta_{F, \text{máx.}} - \Delta\vartheta_i = 9 \text{ K}$ ,  $\varphi = 1$  y  $R_{\lambda, B} = 0$  la densidad de flujo térmico límite  $q_G$  se denomina densidad de flujo térmico nominal  $q_N$  y la diferencia de temperatura límite entre el medio caloportador y la estancia  $\Delta\vartheta_{H, G}$  correspondiente se denomina diferencia de temperatura nominal entre el medio caloportador y la estancia  $\Delta\vartheta_N$  (véase la figura A.5). Estos valores sirven como valores característicos en el caso de comparación de sistemas.

El valor máximo posible de la densidad de flujo térmico  $q_{G, \text{máx}}$  para una distribución isotérmica de temperatura de superficie figura sobre la curva característica básica para el valor de abscisas  $\vartheta_{F, m} = \vartheta_{F, \text{máx.}}$  (véase la figura A.1).

La tabla A.12 de los valores para  $q_{G, \text{máx}}$  en función de la temperatura máxima de superficie de suelo  $\vartheta_{F, \text{máx.}}$  y de la temperatura ambiente nominal de la estancia  $\vartheta_i$ .

Si aplicando las ecuaciones (18), (21) y (24) se obtienen valores más altos de  $q_G$  que  $q_{G, \text{máx}}$  (debido a la precisión de cálculo, la interpolación y la linealización) debe emplearse el valor  $q_{G, \text{máx.}}$

## 6.6 Influencia del material, del espesor de la pared, y del revestimiento del tubo sobre la densidad de flujo térmico

Los factores  $B_0$  se determinan mediante ecuaciones (4a) y (11) para una conductividad térmica del tubo  $\lambda_{R, 0} = 0,35 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ , un espesor de pared  $s_{R, 0} = 0,002 \text{ m}$ . Para otros materiales (véase la tabla A.13) con una conductividad térmica del tubo  $\lambda_R$  o un espesor de pared  $s_R$ , el factor  $B$  se debe determinar aplicando la ecuación siguiente:

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1,1}{\pi} \cdot \prod_i \left( a_i^{m_i} \right) \cdot T \quad (25)$$

$$\left[ \frac{1}{2\lambda_R} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_R} - \frac{1}{2\lambda_{R, 0}} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_{R, 0}} \right]$$

Si el tubo posee un revestimiento adicional con un diámetro exterior  $d_M$  y un diámetro interior  $d_a$  y una conductividad térmica del revestimiento  $\lambda_M$ , la ecuación que se utiliza es:

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1,1}{\pi} \cdot \prod_i \left( a_i^{m_i} \right) \cdot T \quad (26)$$

$$\left[ \frac{1}{2\lambda_M} \ln \frac{d_M}{d_a} + \frac{1}{2\lambda_R} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_R} - \frac{1}{2\lambda_{R, 0}} \ln \frac{d_M}{d_M - 2s_{R, 0}} \right]$$

No es necesario tener en cuenta cualquier capa barrera de difusión del oxígeno cuyo espesor sea  $\leq 0,3$  mm. Para estos casos se debe utilizar la ecuación (25).

En los casos en los que existan cámaras de aire en el interior del revestimiento, se aplica la ecuación (26) si se dispone de un valor medio de  $\lambda_M$  que incluya dichas cámaras.

### 6.7 Conductividad térmica de una placa con piezas intercaladas

Cuando se utilizan sistemas de placas para sistemas de tipo A, la conductividad térmica de la placa se ve modificada por la presencia de piezas intercaladas tales como pernos de sujeción, bornes aislantes o componentes similares. Si su porcentaje, en volumen, en la placa cumple  $15\% \geq \psi \geq 5\%$ , se espera una conductividad térmica efectiva del componente  $\lambda'_E$ .

$$\lambda'_E = (1 - \psi) \cdot \lambda_E + \psi \cdot \lambda_W \quad (27)$$

donde

$\lambda_E$  es la conductividad térmica de la placa;

$\lambda_W$  es la conductividad térmica de pernos o bornes;

$\psi$  es la proporción en volumen de los pernos o bornes en la placa.

## 7 CONDUCTIVIDAD DE LOS MATERIALES

Las conductividades térmicas que se especifican en la tabla A.13 se aplican uniformemente como los valores para los materiales para los fines de los cálculos. Si se emplean los materiales que se citan en la tabla A.13, deben utilizarse los valores indicados. Para otros materiales o valores, las conductividades térmicas respectivas deben tomarse, si existen, de normas europeas válidas a tales efectos, o deben verificarse mediante un certificado de ensayo emitido por un organismo de ensayos autorizado.

## 8 PÉRDIDAS TÉRMICAS DESCENDENTES

Las pérdidas por flujo térmico descendente de los sistemas de suelo radiante a través de las estancias que se encuentran debajo del sistema se calculan de acuerdo con la siguiente ecuación (véase la figura A.5 del Proyecto de Norma prEN 1264-3:2007):

$$q_U = \frac{1}{R_U} \cdot (R_O \cdot q + \vartheta_i - \vartheta_U) \quad (28)$$

donde

$q_U$  pérdidas por flujo térmico descendente

$q$  densidad de flujo térmico del sistema de suelo radiante

$R_U$  resistencia a la transmisión térmica parcial descendente de la estructura del suelo

$R_O$  resistencia a la transmisión térmica parcial ascendente de la estructura del suelo

$\vartheta_i$  temperatura ambiente nominal de la estancia a calentar por suelo radiante

$\vartheta_U$  temperatura ambiente de la estancia bajo la que se calienta por suelo radiante

Se aplica lo siguiente con respecto a la figura 5 del Proyecto de Norma prEN 1264-3:

$$R_O = \frac{1}{\alpha} + R_{\lambda, B} + \frac{s_U}{\lambda_U} \quad (29)$$

donde

$$1/\alpha = 0,0926 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_U = R_{\lambda, \text{ins}} + R_{\lambda, \text{techo}} + R_{\lambda, \text{yeso}} + R_{\alpha, \text{techo}} \quad (30)$$

donde

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

En el caso especial en que  $\vartheta_i = \vartheta_U$  se aplica la siguiente ecuación simplificada:

$$q_U = q \cdot \frac{R_O}{R_U} \quad (31)$$

Véase la parte 3 de esta norma europea para un cálculo más detallado de las pérdidas térmicas descendentes

## 9 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA TÉRMICA DE LOS SISTEMAS QUE NO PUEDEN CALCULARSE DE ACUERDO CON EL CAPÍTULO 6

Para las construcciones especiales, que no corresponden a las construcciones básicas de tipo A, B, C o D, o en el caso de que las dimensiones o los datos de los materiales queden fuera del campo de aplicación del método de cálculo, la densidad de flujo térmico debe calcularse mediante ensayo (experimental) como sigue.

Una muestra de ensayo compuesta de al menos tres tubos, con un paso adecuado al tipo de construcción de suelo radiante de ensayo, se instalan en un equipo de ensayo de acuerdo a la figura A.6 [4]. El tamaño de la muestra de ensayo debe medir aproximadamente  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  según lo determine el laboratorio de ensayo debe cubrir preferiblemente el espacio de tres tubos. En la figura A.6 las placas de refrigeración simulan la estancia que se encuentra sobre el sistema de suelo radiante (véase la leyenda 1), es decir, la temperatura de la estancia a calentar  $\vartheta_i$  y de la estancia por debajo (véase la leyenda 4). Para las placas de refrigeración se recomienda que se construyan según la figura A.7, consistiendo la mismas en paneles de radiación con tubos planos, en los cuales, los puntos de desconexión permiten obtener el caudal de agua adecuado para la refrigeración. La resistencia a la transmisión térmica  $1/\alpha$  en la superficie se simula mediante una capa de transferencia térmica (véase la leyenda 2). Los dos tubos laterales de calentamiento sirven como un campo de protección para proporcionar el campo de temperaturas óptimo no turbulento alrededor del tubo central. La resistencia a la transmisión térmica  $1/\alpha$  en la superficie y de acuerdo con la curva característica básica se sustituye por una resistencia térmica  $s/\lambda$  de la capa de transferencia térmica (véase la leyenda 2) de igual magnitud (valor medio).

$$1/\alpha = s/\lambda = 0,0926 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (32)$$

La tolerancia sobre el valor  $s/\lambda$  es  $\pm 0,01 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

La caída de temperatura  $\vartheta_V - \vartheta_R$  (véase la figura A.8) de la muestra de ensayo no debe superar 0,5 K. La subida de temperatura del flujo de agua en las placas de refrigeración  $\vartheta_{C, \text{out}} - \vartheta_{C, \text{in}}$  (véase la figura A.7) no debe superar 0,3 K.

$\vartheta_V$  es la temperatura de alimentación de agua de calentamiento de la muestra de ensayo

$\vartheta_R$  es la temperatura de retorno de agua de calentamiento de la muestra de ensayo



$\vartheta_{c, out}$  es la temperatura de salida del agua de refrigeración de las placas de refrigeración

$\vartheta_{c, in}$  es la temperatura de entrada del agua de refrigeración de las placas de refrigeración

Las temperaturas se deben medir con una incertidumbre admisible de  $\pm 0,1$  K.

El campo de temperatura de la superficie del suelo se mide para determinar los valores de  $\vartheta_{F, m}$  y  $\vartheta_{F, \max.}$ . La medición se realiza en la zona alrededor del o de los tubos centrales sin perturbaciones y, al menos, sobre la anchura del espacio que ocupa un tubo. Se recomienda, si es posible, el espacio de dos tubos. La configuración de los puntos de medición cuando se utiliza el espacio de dos tubos debería realizarse, en principio, como muestra la figura A.8. Como ejemplo, para los valores medido de  $\vartheta_{F, i}$  (véase la figura A.8), el procedimiento de cálculo se hace como sigue:

$$\vartheta_{F, m} = \left( \sum_2^8 \vartheta_{F, i} + \sum_{11}^{17} \vartheta_{F, i} + \frac{\vartheta_{F, 1} + \vartheta_{F, 9} + \vartheta_{F, 10} + \vartheta_{F, 18}}{2} \right) / 16$$

$$\vartheta_{F, \max.} = \frac{\vartheta_{F, 5} + \vartheta_{F, 14}}{2}$$

donde

$\vartheta_{F, i}$  son las temperaturas superficiales del suelo radiante de la estancia (puntos de medida);

$\vartheta_{F, m}$  es la temperatura media de la superficie del suelo radiante;

$\vartheta_{F, \max.}$  es la temperatura máxima superficial del suelo radiante.

Se debe utilizar otra parte de la superficie en l caso de no disponer de valores fiables del campo de temperaturas medidas debido a la no homogeneidad de la capa.

NOTA 1 No se necesita ninguna variación dependiendo del sistema de capas (espiral o serpenteante) debido a que la caída de temperatura de la muestra  $\vartheta_v - \vartheta_k$  es muy pequeña y al hecho de que las medidas deben realizarse en un área sin perturbaciones alrededor del tubo central.

NOTA 2 Las explicaciones anteriormente indicadas se refieren al caso más usual en el que el sistema de suelo radiante se caracteriza por el paso constante de los tubos. La muestra de ensayo que se puede ver en la figura A.6, la cual es simétrica respecto al tubo central, se basa en este hecho. Se ha de ajustar el procedimiento de ensayo si otra dimensión caracteriza el sistema.

En una primera etapa, el ensayo se realiza para  $R_{\lambda, B} = 0$ .

La temperatura media superficial del suelo radiante  $\vartheta_{F, m}$  determina la densidad de flujo térmico, y la temperatura superficial máxima  $\vartheta_{F, \max.}$  limita la potencia térmica. La medición se realiza cuando se alcanzan condiciones estacionarias y se mantiene una temperatura de las placas de refrigeración de  $\vartheta_l = 20 \text{ °C} \pm 0,5 \text{ K}$ . Bajo estas condiciones la temperatura media del medio caloportador  $\vartheta_H$  se ajusta para alcanzar una temperatura superficial máxima de  $\vartheta_{F, \max.} = 29 \text{ °C}$  (es decir,  $\vartheta_{F, \max.} - \vartheta_l = 9 \text{ K}$ ), y en este caso se aplica la diferencia entre la temperatura media del medio caloportador y la temperatura de las placas de refrigeración  $\vartheta_H - \vartheta_l = \Delta \vartheta_H = \Delta \vartheta_N$  (Valor normal)

Si no es posible fijar el valor de la diferencia de temperaturas ( $\vartheta_{F, \max.} - \vartheta_l$ ) exactamente a 9 K, debe fijarse un valor ligeramente menor y ligeramente superior a 9 K y utilizar los resultados para formular un valor medio.

Dado que ( $\vartheta_{F, \max.} - \vartheta_l$ ) = 9 K se mantiene y que se determinan la diferencia de temperatura media de la superficie del suelo radiante y de la estancia ( $\vartheta_{F, m} - \vartheta_l$ ), esta diferencia de temperaturas se utiliza en la curva básica de característica (véase la figura A.1) y da la densidad de flujo térmico nominal:

$$q_N = 8,92 \cdot (\vartheta_{F, m} - \vartheta_l)_N^{1,1} \quad (33)$$

La densidad de flujo térmico nominal  $q_N$  junto con el valor correspondiente de la diferencia de temperatura nominal  $\Delta\vartheta_N$  determinado anteriormente, nos proporciona la ecuación de la curva característica para el valor de  $R_{\lambda, B} = 0$ :

$$q_N = K_{H, N} \cdot \Delta\vartheta_N$$

con el siguiente gradiente de la curva característica (el coeficiente equivalente de transmisión de calor):

$$K_{H, N} = \frac{q_N}{\Delta\vartheta_N} \quad (34)$$

El gradiente asociado de la curva característica  $K_H(R_{\lambda, B})$  se puede determinar de acuerdo con la siguiente ecuación, si para un valor de la resistencia térmica del recubrimiento del suelo dado  $R'_{\lambda, B}$ , se aplica el gradiente de la curva característica  $K'_H$  (para determinar dicho valor de  $K'_H$  véase la ecuación (36)) para cualquier resistencia térmica del revestimiento del suelo  $R_{\lambda, B} > 0$ :

$$K_H = K_H(R_{\lambda, B}) = \frac{K_{H, N}}{1 + \frac{R_{\lambda, B}}{R'_{\lambda, B}} \left( \frac{K_{H, N}}{K_H} - 1 \right)} \quad (35)$$

Los gradientes de las curvas características  $K_H(R_{\lambda, B})$  se pueden calcular para las resistencias térmica  $R_{\lambda, B} = 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ,  $0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  y  $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  utilizando la ecuación (35).

Ha de realizarse otra medición como puede ser la descrita arriba para  $R_{\lambda, B} = 0$  para establecer el gradiente de la curva característica  $K'_H$  a utilizar en la ecuación (35), pero con una resistencia térmica del recubrimiento del suelo de  $R'_{\lambda, B} = 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \pm 0,01 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ . Haciendo esta medición, la densidad de flujo térmico límite  $q'_G$  y la diferencia de temperatura límite  $\Delta\vartheta'_{H, G}$  se determinan, lo cual nos proporciona el valor necesario de  $K'_H$ :

$$K'_H = K'_H(R'_{\lambda, B}) = \frac{q'_G}{\Delta\vartheta'_{H, G}} \quad (36)$$

De acuerdo con la ecuación (37) siguiente, la diferencia de temperatura límite  $\Delta\vartheta_{H, G}$  para las resistencias de conducción térmica  $R_{\lambda, B} > 0$  se proporciona por los puntos de contacto de las curvas características y la curva límite que se obtiene de los datos medidos y del gradiente  $K_H$  de la curva característica calculado de la ecuación (35):

$$\Delta\vartheta_{H, G} = \varphi \cdot \frac{q'_G \cdot \Delta\vartheta_N - q_N \Delta\vartheta'_{H, G}}{K_H \cdot (\Delta\vartheta_N - \Delta\vartheta'_{H, G}) - q_N + q'_G} \quad (37)$$

Para sistemas que tengan varios pasos, el paso máximo y mínimo tanto como un paso intermedio suficiente como para alcanzar una relación de paso menor o igual que 1:2 debe ensayarse de acuerdo con el método descrito. Los valores de los pasos no ensayados de este modo, deben determinarse por interpolación utilizando polinomios adecuados. Los resultados deben presentarse en un informe de ensayo como se indica en el capítulo 11.

## 10 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA TÉRMICA EFECTIVA DE LAS ALFOMBRAS

Si las alfombras se utilizan para cubrir el suelo nos encontramos un problema especial. Debido a la estructura superficial de las alfombras su resistencia térmica  $R_{\lambda, B}$  no se puede determinar por el método de las dos placas como se utiliza generalmente en otras ocasiones para otros materiales. Esta circunstancia se debe, primeramente, debido a la presión que se ejerce en la muestra de alfombra si utilizamos este método. Además tiene que considerarse un posible cambio del coeficiente de transmisión térmica debido a la estructura superficial. Por estas razones la resistencia térmica efectiva  $R_{\lambda, B}$  (véase más adelante) de las alfombras debe determinarse por un método de placa como se describe en este capítulo.

El equipo de ensayo se muestra en las figuras A.9, A.10 y A.11. Las medidas deberían ser de al menos  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ . El equipo se sitúa en el centro del suelo de una cabina de ensayo de acuerdo con la Norma EN 14037-2 (véase la figura A.9), es decir, en una estancia con temperaturas ambientes controladas constantes. Se recomienda el uso de aislamiento entre el equipo de ensayo y el suelo de la cabina (véase la leyenda 3). Las partes esenciales del equipo son una placa de calentamiento (leyenda 2) de acuerdo con la placa de refrigeración que se muestra en la figura A.7, una placa de medición de flujo térmico (véase la leyenda 1) con una resistencia térmica de conducción conocida  $R_{\text{HFM}}$ , sensores de medición de la temperatura en las superficies y un termómetro de globo GI conforme con la Norma EN 14037-2.

NOTA Entre la placa de medición de flujo de calor (véase la leyenda 1) y la placa de calentamiento (véase la leyenda 2) se debe interponer una capa elástica, por ejemplo consistente en una espuma de PE de alrededor de 2 mm de espesor.

El significado de los símbolos utilizados es el siguiente:

$q$	densidad de flujo térmico
$\vartheta_{\text{GI}}$	temperatura ambiente de referencia medida con un termómetro de globo
$\vartheta_{\text{H}}$	temperatura media del medio caloportador
$\vartheta_{\text{HFM}, a}$	temperatura superficial de la parte superior de la placa de medida del flujo térmico
$\vartheta_{\text{HFM}, b}$	temperatura superficial de la parte inferior de la placa de medida del flujo térmico
$R_{\alpha}$	resistencia a la transmisión térmica en la superficie de radiación
$R_{\text{HFM}}$	resistencia a la conducción térmica de la placa de medida del flujo térmico
$R_{\lambda, B}$	resistencia térmica efectiva de la cubierta de tipo alfombra
Subíndices	1: significa ensayo 1 (por ejemplo: $\vartheta_{\text{GI}, 1}$ es el valor válido de $\vartheta_{\text{GI}}$ para el ensayo 1) 2: significa ensayo 2 (por ejemplo: $\vartheta_{\text{GI}, 2}$ es el valor válido de $\vartheta_{\text{GI}}$ para el ensayo 2)

La siguiente especificación es válida para la resistencia a la conducción térmica de la placa de medida del flujo térmico:

El material de la placa es plexiglás con un espesor de 10 mm. Su resistencia a la conducción térmica depende de la temperatura  $t$  como sigue:

$$R_{\text{HFM}} = -0,000188 \cdot t + 0,0578 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad \text{con } t = (\vartheta_{\text{HFM}, a} + \vartheta_{\text{HFM}, b}) / 2$$

La temperatura debe medirse con una incertidumbre admisible de  $\pm 0,1 \text{ K}$ . Las diferencias de temperatura deben medirse con una incertidumbre admisible de  $\pm 0,05 \text{ K}$ .

Si es posible, la caída de temperatura del medio caloportador debe ser igual o inferior a  $0,5 \text{ K}$ .

Son necesarios dos procedimientos de ensayo. En ambos casos el termómetro de globo se sitúa 0,75 m por encima del centro de la superficie de radiante, es decir, en el ensayo 2 a una altura más alta equivalente al espesor de la alfombra.

### Ensayo 1

El ensayo 1 pretende determinar la resistencia a la transmisión térmica  $R_\alpha$ . En este ensayo la superficie de radiación es la superficie superior de la placa para la medida del flujo térmico y sin que exista la alfombra, véase la figura A.10.

Comentario: El valor de  $R_\alpha$  que obtenemos de la curva característica básica (0,0926 (m<sup>2</sup> K/W)) no se utiliza porque la medición de la temperatura  $\vartheta_{GI}$  en este ensayo no aplica exactamente al procedimiento respectivo utilizado para la curva característica básica [1].

Con las temperaturas medidas  $\vartheta_{HFM,a,1}$ ,  $\vartheta_{HFM,b,1}$  la densidad de flujo térmico se obtiene de la placa de medida de flujo térmico aplicando la siguiente ecuación:

$$q = \frac{(\vartheta_{HGM,b,1} - \vartheta_{HFM,a,1})}{R_{HFM}} \quad (38)$$

Durante el ensayo se mantiene la temperatura ambiente de referencia en  $\vartheta_{GI,1} = 20 \text{ °C} \pm 0,5 \text{ K}$  mediante una refrigeración apropiada de cabina de ensayo y la temperatura media del medio caloportador  $\vartheta_{H,1}$  se fija de manera que se alcance un valor de  $q = 80 \pm 2,0 \text{ W/m}^2$  utilizando la ecuación (38).

Con este resultado y las mediciones de las temperaturas correspondientes  $\vartheta_{HFM,a,1}$ ,  $\vartheta_{GI,1}$  se puede calcular la resistencia  $R_\alpha$  a la transmisión térmica de acuerdo con:

$$R_\alpha = \frac{(\vartheta_{HFM,a,1} - \vartheta_{GI,1})}{q} \quad (39)$$

### Ensayo 2

El ensayo 2 pretende determinar la resistencia térmica efectiva de la cubierta de tipo alfombra  $R_{\lambda,B}$  utilizando el resultado de  $R_\alpha$  obtenido en el ensayo 1. En este ensayo la cubierta de tipo alfombra reposa sobre la superficie superior de la placa para la medida del flujo térmico, véase la figura A.11.

Correspondiendo con el ensayo 1  $\vartheta_{GI,2}$  se mantiene a  $20 \text{ °C} \pm 0,5 \text{ K}$ . Con las mediciones de las temperaturas  $\vartheta_{HFM,a,2}$ ,  $\vartheta_{HFM,b,2}$  la densidad de flujo térmico se obtiene de la siguiente ecuación:

$$q = \frac{(\vartheta_{HFM,b,2} - \vartheta_{HFM,a,2})}{R_{HFM}} \quad (40)$$

La temperatura media del medio caloportador  $\vartheta_{H,2}$  se fija de manera que se alcance un valor de  $q = 80 \pm 2,0 \text{ W/m}^2$  utilizando la ecuación (40). Con este valor, las temperaturas medidas  $\vartheta_{HFM,a,2}$ ,  $\vartheta_{GI,2}$  y el valor de  $R_\alpha$  obtenido en el ensayo 1, se puede calcular la resistencia térmica efectiva de la cubierta de tipo alfombra como sigue:

$$R_{\lambda,B} = \frac{(\vartheta_{HFM,a,2} - \vartheta_{GI,2})}{q} - R_\alpha \quad (41)$$

Continuando con el procedimiento descrito, es decir, la determinación de  $R_\alpha$  sin alfombra, el valor de  $R_{\lambda,B}$  obtenido de la ecuación (41) no solo la resistencia térmica a la conducción sino también (si se presenta la ocasión) el efecto mencionado anteriormente del cambio del coeficiente de transmisión térmica. Este atributo es necesario para la utilización de este valor en la determinación de la potencia térmica de acuerdo con el método de cálculo (véase el capítulo 6) y el procedimiento de ensayo (véase el capítulo 9). Por esta razón utilizamos el complemento “efectivo”.

Solo son válidos los valores de  $R_{\lambda, B}$ , determinados mediante el método de ensayo descrito anteriormente para alfombras utilizadas en la práctica como recubrimiento del suelo en sistemas de suelos radiantes, para calcular la potencia térmica de acuerdo con la presente norma. Esto significa que la resistencia térmica efectiva  $R_{\lambda, B}$  de cada alfombra debe estar disponible.

## 11 INFORME DE ENSAYO

Para una construcción dada los resultados deben documentarse función del paso de tubo  $T$ , del espesor su por encima del tubo. El organismo que realiza el ensayo presenta estos resultados validos en un informe de ensayo. Los resultados se documentan en un campo o conjunto de curvas características con sus coordenadas lineales de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$q = f(\Delta\vartheta_H, R_{\lambda, B}) \quad (42)$$

El conjunto de las curvas características se trazan para los valores de la resistencia térmica para  $R_{\lambda, B} = 0$ ,  $R_{\lambda, B} = 0,05$ ,  $R_{\lambda, B} = 0,10$  y  $R_{\lambda, B} = 0,15 \cdot \text{m}^2 \text{ K/W}$ . Los valores de  $R_{\lambda, B} > 0,15 \cdot \text{m}^2 \text{ K/W}$  no están de acuerdo con esta norma.

Dentro de este campo de curvas características, se introducen también las curvas límite de acuerdo con la ecuación (18). Estas curvas características dan para  $R_{\lambda, B} = 0$  la densidad de flujo térmico nominal  $q_N$  y la diferencia de temperatura nominal asociada  $\Delta\vartheta_N$  de acuerdo con el apartado 6.5. Asimismo se debe documentar los valores de la densidad de flujo térmico límite  $q_G$  y la diferencia de temperatura límite asociada  $\Delta\vartheta_{H,G}$  en función de los restantes valores de  $R_{\lambda, B}$  mencionados anteriormente de acuerdo con el apartado 6.5.

El sistema ensayado debe identificarse mediante una descripción técnica de acuerdo con el capítulo 5. Estos documentos deben contener todas las dimensiones y los materiales que puedan influir en las propiedades térmicas. Los resultados son validos para el sistema descrito de esa manera. Si se hiciese cualquier cambio por parte del suministrador del sistema que pueda afectar los principios del ensayo térmico, debe llevarse acabo otro ensayo.

## 12 SISTEMA DE ENSAYO

### 12.1 Generalidades

El sistema de ensayo se compone de lo siguiente:

- Laboratorio de ensayo acreditado conforme a la Norma ISO/IEC 17025. El laboratorio toma parte en todos los ensayos de inter-comparación entre los laboratorios aprobados. El laboratorio debe satisfacer los requisitos de esta norma.
- El sistema de computación incluido el software de cálculo de la densidad de flujo térmico (campo de curvas características y curvas límite) de acuerdo con el capítulo 6 de esta norma.
- El equipo necesario para el procedimiento de ensayo según el capítulo 9 de esta norma.
- El equipo necesario para el procedimiento de ensayo según el capítulo 10 de esta norma.
- La muestra principal, primaria y secundaria.
- Conformidad del material de ensayo: el laboratorio participante debe declarar la conformidad con esta norma europea de sus equipos de ensayo.
- Conformidad del material de ensayo: el laboratorio participante debe declarar la conformidad con esta norma europea de su software.

## 12.2 Muestras principales

La construcción y los materiales de las muestras principales utilizadas para el equipo de ensayo según el capítulo 9 se muestran en la figura A.12. La muestra primaria y secundaria tienen la misma construcción y los mismos materiales. El laboratorio debe equiparse con la muestra maestra 2. La muestra maestra 1 se circulará entre los laboratorios participantes en el sistema de ensayos. El proceso de fabricación tiene que asegurar que todos los materiales de las muestras son del mismo lote y las dimensiones corresponden correctamente. Acerca de este asunto, se solicita una verificación recogida en un informe completo y que queda disponible para cualquier verificación posterior.

Se debe elegir un tapete con superficies lisas consistentes en una goma de espuma (“Moosgummi”) en coordinación con los laboratorios de ensayo participantes para los propósitos relativos al equipo de ensayo descrito en el capítulo 10 y utilizarse como muestra maestra 1 como se describió anteriormente. La resistencia térmica debe fijarse dentro del rango de valores de  $R_{\lambda,B} = 0,1$  a  $R_{\lambda,B} = 0,15 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ . Acerca de este asunto, se solicita una verificación recogida en un informe completo y que queda disponible para cualquier verificación posterior. No es necesaria una muestra de ensayo 2 para el equipo de ensayo descrito en el capítulo 10, véase más abajo.

El propósito de las muestras maestras es el siguiente:

- para verificar si la reproducibilidad de los valores de ensayo entre los laboratorios de ensayo se encuentra dentro de los límites fijados por esta norma europea;
- establecer una base común para todos los equipos de ensayo para verificar que la repetibilidad de los valores de ensayo en cada equipo de ensayo se encuentra dentro de los límites fijados por esta norma europea.

## 12.3 Verificación de los equipos de ensayo

Todos los equipos de ensayo se deben verificar para:

Precisión en la reproducibilidad de los métodos de ensayo:

La reproducibilidad debe probarse por el laboratorio de ensayo utilizando su muestra maestra primaria. Los resultados de los ensayos llevados a cabo con el equipo de ensayo de acuerdo con el capítulo 9 deben encontrarse dentro de una tolerancia de  $s_m = \pm a_1\%$  (para el cálculo de  $a_1$  véase 12.4) de los valores  $q_{N,M,s}$  y  $q_{G,M,s}$  ( $R_{\lambda,B} = 0,15$ ). Los resultados de los ensayos realizados con el equipo de ensayo de acuerdo con el capítulo 10 deben encontrarse dentro de una tolerancia de  $s_m = \pm a_2\%$  (para el cálculo de  $a_2$  véase 12.4) del valor  $R_{\lambda,B,M,s}$ . Los laboratorios de ensayo deben demostrar la reproducibilidad en los ensayos periódicos.

Precisión en la repetibilidad de los métodos de ensayo

La repetibilidad debe probarse por el laboratorio de ensayo utilizando su muestra maestra secundaria. Los ensayos deben realizarse periódicamente cada 12 meses. Los resultados de los ensayos llevados a cabo con el equipo de ensayo de acuerdo con el capítulo 9 y aquellos de acuerdo con el capítulo 10 deben encontrarse dentro de una tolerancia de  $s_0 = 2\%$ . Para el equipo descrito en el capítulo 10, solo es necesario el ensayo 1 de ese capítulo (esto significa que no es necesaria una muestra maestra 2). Al poner en marcha los equipos de ensayo se deben realizar tres mediciones consecutivas para probar que se satisfacen los requisitos anteriores.

## 12.4 Determinación de los valores de $s_m$ y $\phi_{M,s}$ ( $q_{N,M,s}$ , $q_{G,M,s}$ ( $R_{\lambda,B} = 0,15$ ), $R_{\lambda,B,M,s}$ ) de las muestras maestras primarias

Los valores  $\phi_{M,s}$  de las muestras maestras primarias se determinarán mediante un procedimiento de mediciones inter laboratorios de todos aquellos participantes en el sistema de ensayo. El procedimiento debe realizarse por un colectivo compuesto de miembros de los laboratorios participantes con la colaboración de del grupo de trabajo responsable del CEN/TC 130. Cada laboratorio determina los valores  $\phi_{O,s}$  como media de las tres mediciones consecutivas. Todos los resultados de los ensayos deben encontrarse dentro de una tolerancia de  $s_0 = 2\%$ . El colectivo de los laboratorios participantes calcula de acuerdo con el grupo de trabajo del CEN/TC 130 los valores de  $\pm a_1\%$  y  $\pm a_2\%$  para  $s_m$ . Los valores  $\phi_{M,s}$  se formarán por el colectivo como media de los valores  $\phi_{O,s}$  de los laboratorios, por lo que ningún valor  $\phi_{O,s}$  debe utilizarse, que difieran respectivamente más que  $\pm a_1\%$  o  $\pm a_2\%$  del valor medio respectivo de todos los laboratorios.

## 12.5 Verificación del software

Para cada resultado de cálculo debe documentarse las condiciones límites válidas.

El software debe verificar la reproducibilidad y repetibilidad. Para alcanzar este propósito deben calcularse los siguientes sistemas y los resultados documentarse de acuerdo con esta norma europea:

- 1 El sistema de suelo radiante con tubos en el interior de la placa (tipo A), sistema fijado con grapas

Tubo	PE-X 16 × 2 mm
Paso T	50/100/300/450 mm
Placa de cemento $s_U$	50 mm

- 2 El sistema de suelo radiante con tubos en el interior de la placa (tipo A)

Tubo	con recubrimiento de PVC de 2 mm con aire incluido Cu 12 × 0,7 mm
Paso T	100/200/300 mm
Placa de cemento $s_U$	45 mm

- 3 El sistema de suelo radiante con tubos debajo de la placa (tipo B)

Tubo	PE-X 14 × 2 mm
Paso T	100/200/300 mm
Placa de $\Omega$ -aluminio con dispositivos de difusión de calor de 0,6 mm, $L = 98$ mm	
Placa de anidrita $s_U$	30 mm

- 4 El sistema de suelo radiante con tubos en el interior de la placa (tipo A)

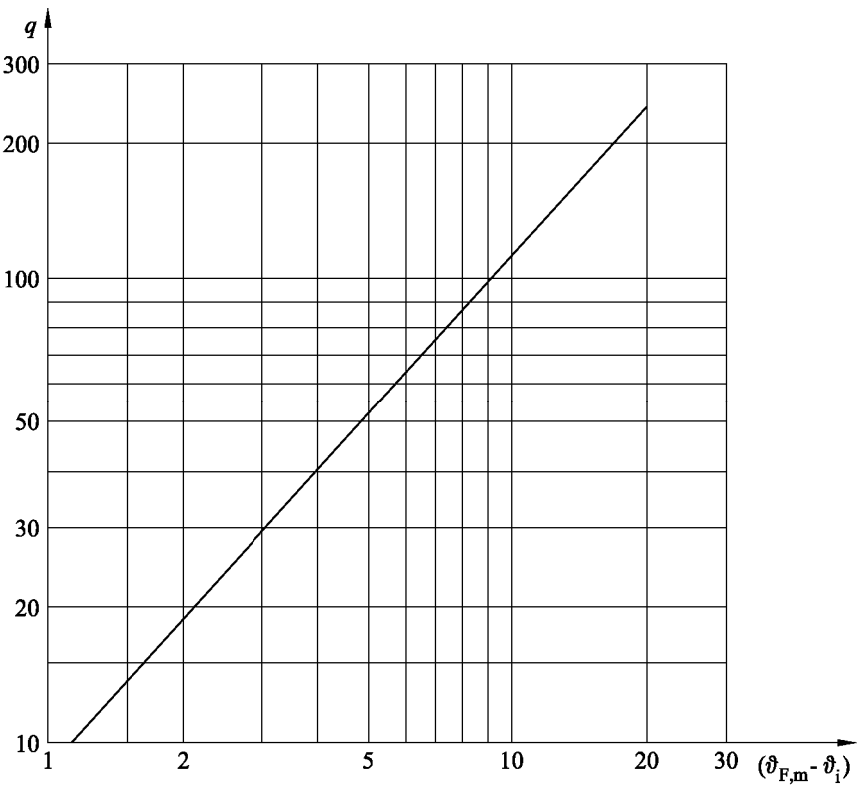
Tubo	PE-X 25 × 2,5 mm
Paso T	150/300/450 mm
Hormigón $s_U$	100 mm

La reproducibilidad de los resultados de los cálculos (realizados según el capítulo 6) debe encontrarse dentro de la tolerancia  $s_m = \pm 0,5\%$  de los valores  $q_{N,M,s}$  y  $q_{G,M,s}$  ( $R_{\lambda,B} = 0,15$ )

Los valores  $q_{N,M,s}$  y  $q_{G,M,s}$  ( $R_{\lambda,B} = 0,15$ ) se determinan mediante un procedimiento según el apartado 12.4.

La repetibilidad debe probarse periódicamente. No se permiten desviaciones.

ANEXO A (Normativo)  
FIGURAS Y TABLAS



Texto en la figura

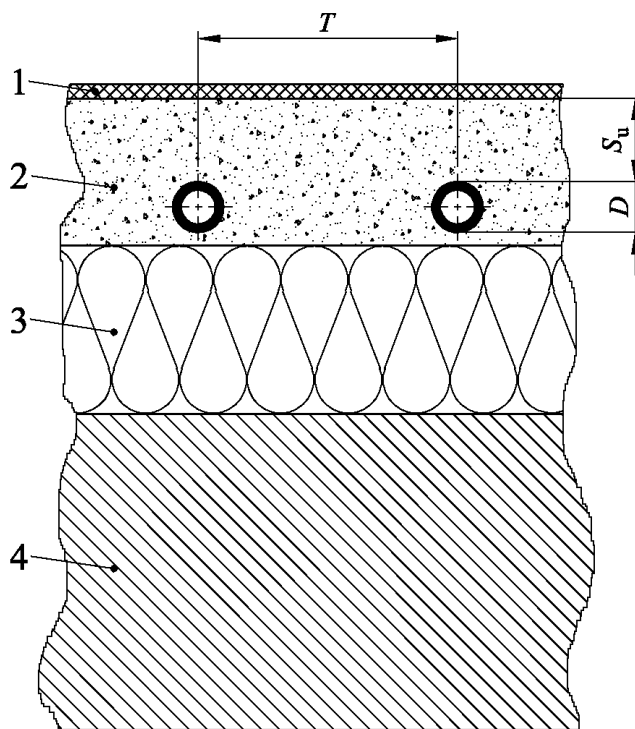
- 1 densidad de flujo térmico  $q$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- 2 diferencia media de temperatura entre la temperatura de la superficie y la ambiente ( $\theta_{F,m} - \theta_i$ ) en K

Leyenda

- $\theta_i$  temperatura ambiente nominal en  $^{\circ}\text{C}$ ;
- $\theta_{F,m}$  temperatura media de superficie del suelo en  $^{\circ}\text{C}$ ;
- $q$  densidad de flujo térmico en  $\text{W}/\text{m}^2$ ,  $q = 8,92 (\theta_{F,m} - \theta_i)^{1,1}$

Figura A.1 – Curva característica básica

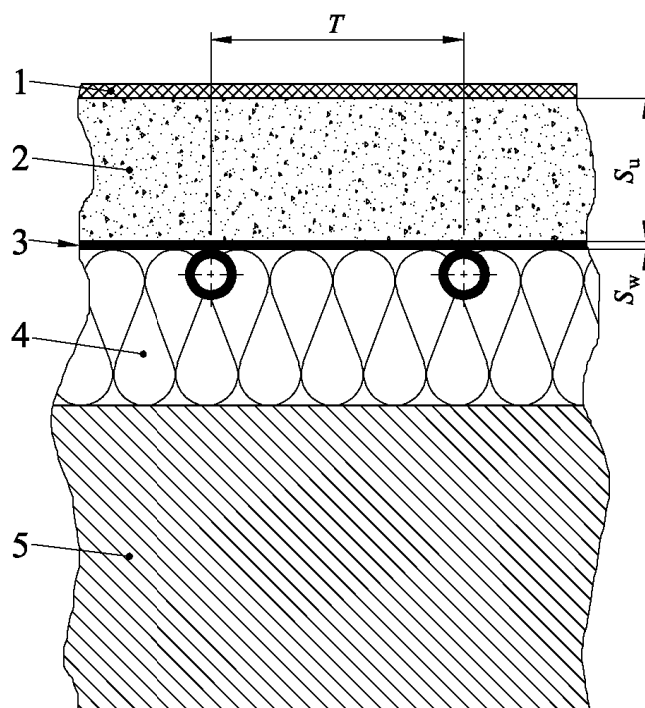




## Leyenda

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| 1 | Revestimiento del suelo $R_{\lambda,B}$ | 2 | Capa de soporte de la carga y de difusión térmica $\lambda_E$ (revestimiento de cemento, anhidrita, asfalto). El espesor entre los tubos y la capa aislante se encuentra en un intervalo de 0 mm a 10 mm |
| 3 | Capa de aislamiento                     | 4 | Base estructural   |

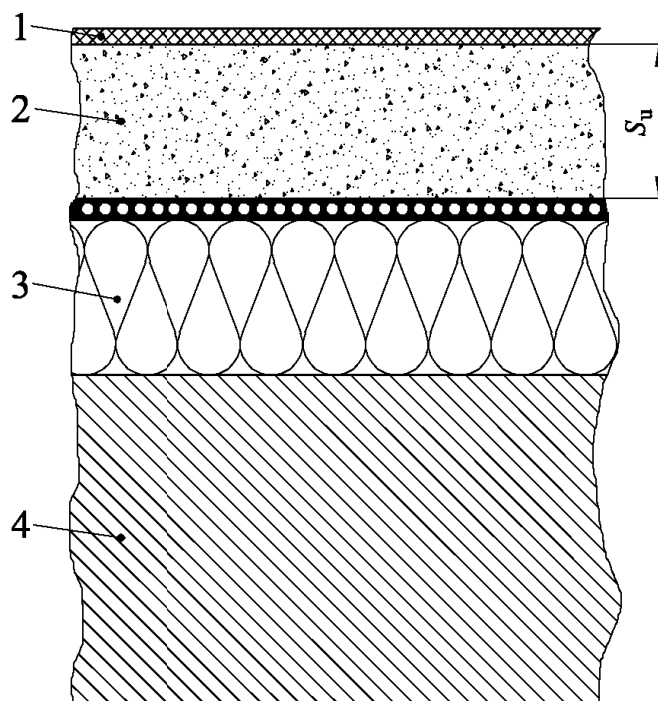
**Figura A.2 – Sistema con tubos dentro de la placa (tipo A y tipo C)**



## Leyenda

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1 | Revestimiento del suelo $R_{\lambda,B}$ | 2 | Capa de soporte de la carga $\lambda_E$ (revestimiento de cemento, anhidrita, asfalto, mandera) |
| 3 | Dispositivo de difusión térmica         | 4 | Capa de aislamiento   |
| 5 | Base estructural                        |   |   |

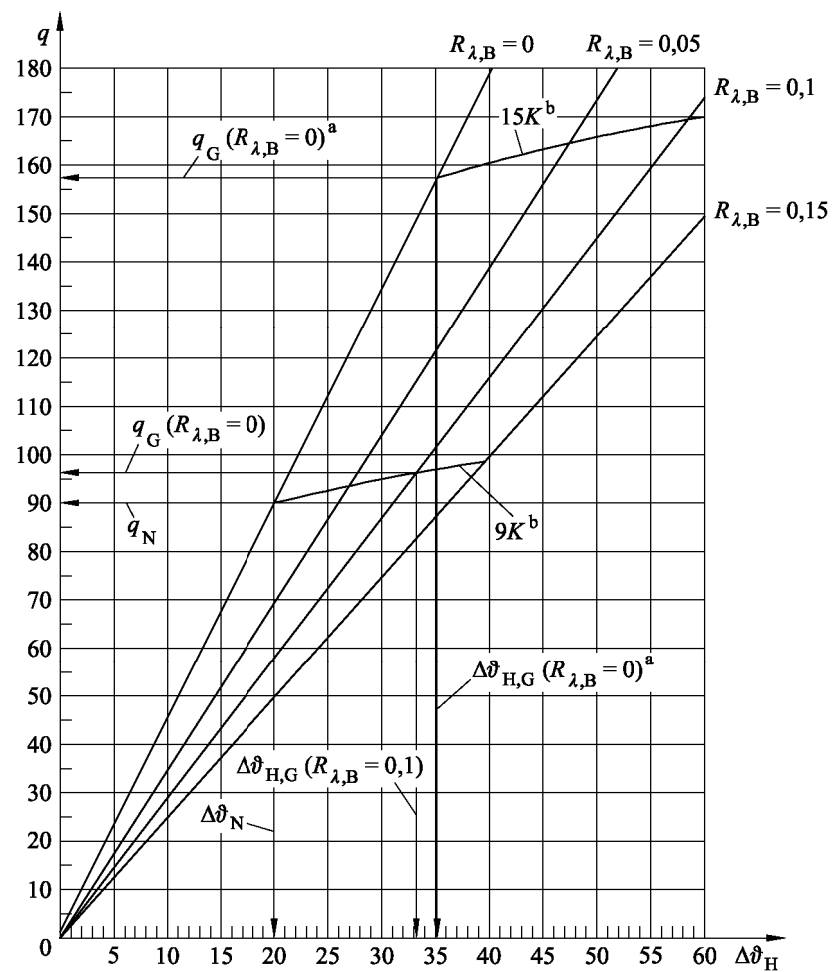
**Figura A.3 – Sistema con tubos debajo de la placa (tipo B)**



## Leyenda

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| 1 | Revestimiento del suelo $R_{\lambda,B}$ | 2 | Capa de soporte de la carga y de difusión térmica $\lambda_E$ (revestimiento de cemento, anhidrita, asfalto, mandera). |
| 3 | Capa de aislamiento                     | 4 | Base estructural   |

**Figura A.4 – Sistemas con elementos superficiales (sistemas de sección plana de tipo D)**



## Leyenda

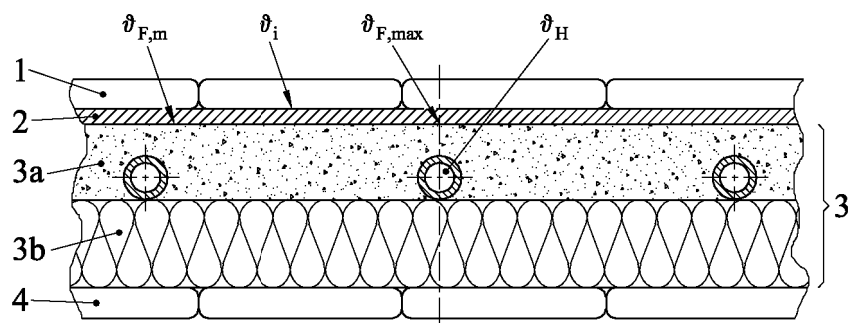
$q$  = densidad de flujo térmico W/m²

$\Delta\theta_H$  = diferencia de temperatura entre el medio caloportador y la estancia K

a = zona periférica

b = curvas límite

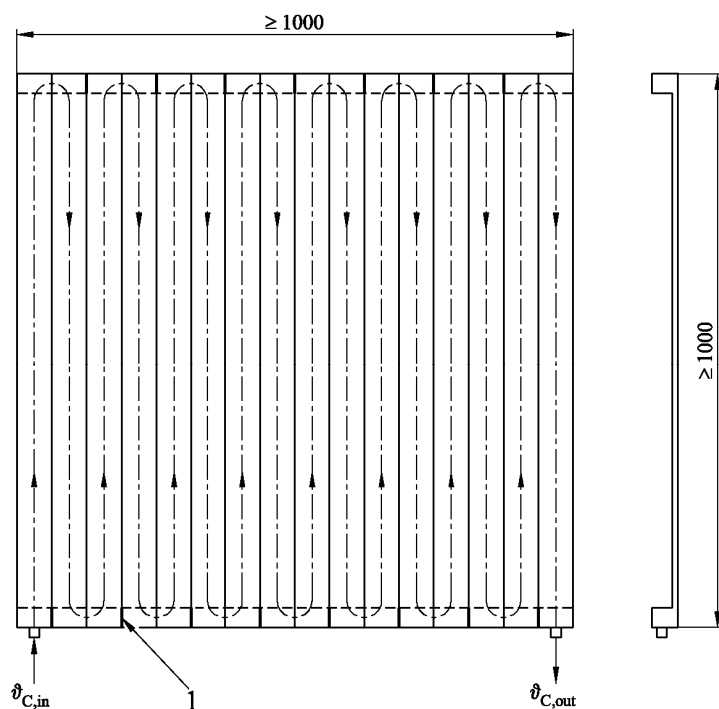
**Figura A.5 – Procedimiento de principio para la determinación de los límites para la densidad de flujo térmico**



## Leyenda

- 1 placa de refrigeración superior (véase la figura A.7)
- 2 capa de transmisión de calor
- 3 sistema de suelo radiante (muestra de ensayo)
  - 3a capa con los tubos en su interior (parte de la muestra de ensayo)
  - 3b aislamiento térmico (parte de la muestra de ensayo)
- 4 placa de refrigeración inferior (véase la figura A.7)

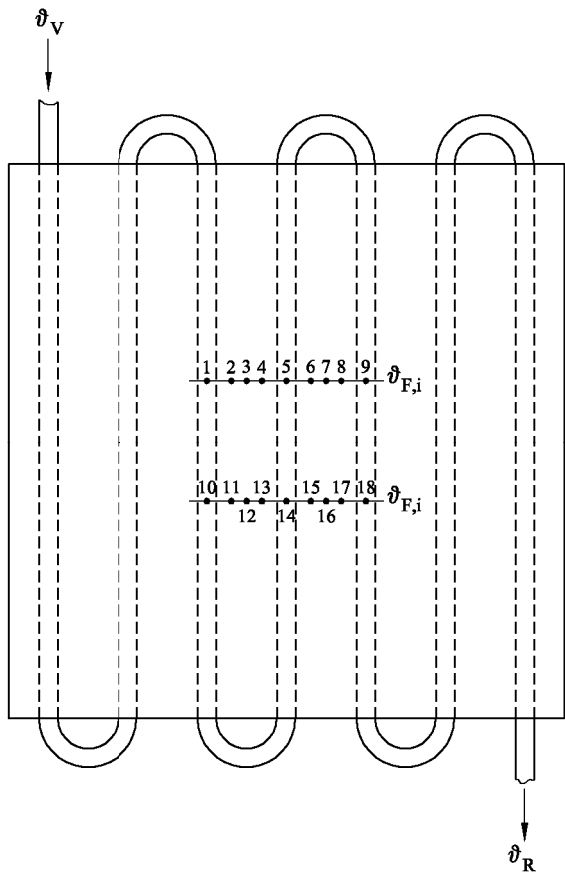
Figura A.6 – Equipo de ensayo según el capítulo 9



## Leyenda

- 1 puntos de desconexión
- $\vartheta_{C,out}$  temperatura de entrada del agua de refrigeración
- $\vartheta_{C,in}$  temperatura de salida del agua de refrigeración

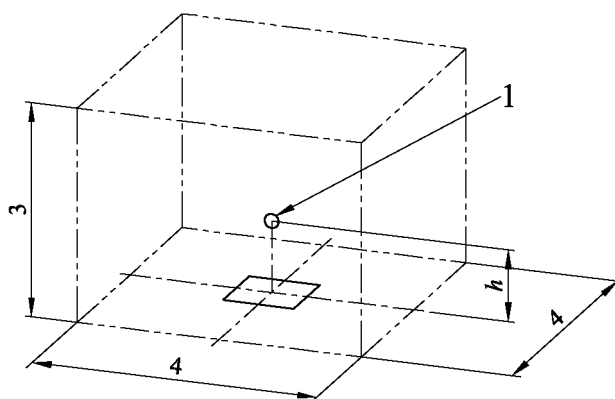
Figura A.7 – Placa de refrigeración (véanse las leyendas 1 y 4 de la figura A.6)



Leyenda

- $\vartheta_V$  temperatura del agua de calentamiento de suministro
- $\vartheta_R$  temperatura del agua de calentamiento de retorno
- $\vartheta_{F,i}$  temperaturas superficiales del suelo de la estancia

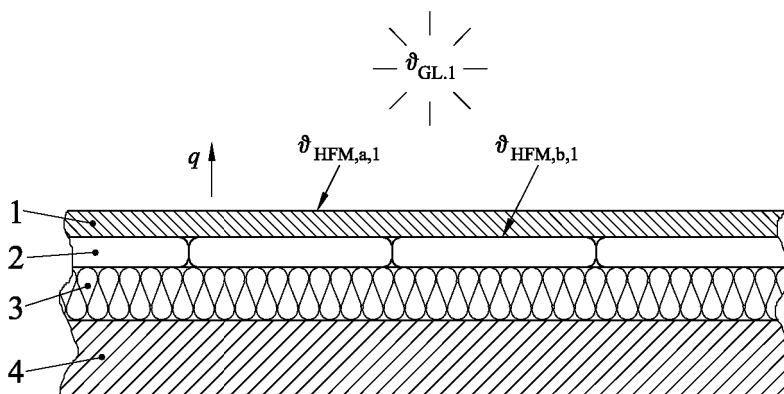
Figura A.8 – Configuración de los puntos de medición  $\vartheta_{F,i}$  en la superficie de la muestra de ensayo



## Leyenda

- 1 termómetro de globo GI según la Norma EN 14037-2  
 h distancia entre la superficie del equipo de ensayo y el centro del termómetro de globo

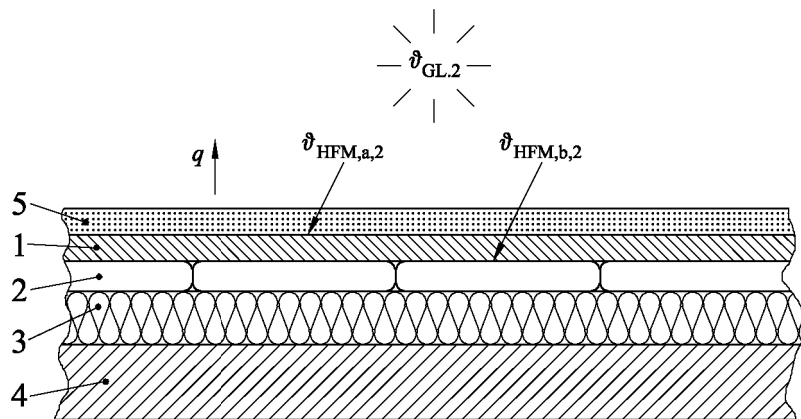
**Figura A.9 – Posicionamiento del equipo de ensayo del capítulo 10 en la cabina de ensayo según la Norma EN 14037-2**



## Leyenda

- 1 placa de medida del flujo térmico  
 2 placa de calentamiento  
 3 aislamiento  
 4 estructura del suelo de de la cabina de ensayo  
 q densidad de flujo térmico  
 $\vartheta_{GL,1}$  temperatura ambiente de referencia medida con el termómetro de globo  
 $\vartheta_{HFM,a,1}$  temperatura de la superficie en la parte superior de la placa de medida del flujo térmico  
 $\vartheta_{HFM,b,1}$  temperatura de la superficie en la parte inferior de la placa de medida del flujo térmico

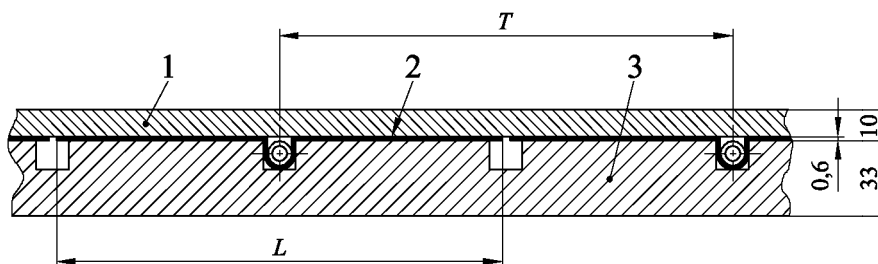
**Figura A.10 – Equipo de ensayo para el ensayo 1 del capítulo 10**



## Leyenda

- 1 placa de medida del flujo térmico
- 2 placa de calentamiento
- 3 aislamiento
- 4 estructura del suelo de de la cabina de ensayo
- 5 muestra de recubrimiento de tipo alfombra
- $q$  densidad de flujo térmico
- $\vartheta_{GL,2}$  temperatura ambiente de referencia medida con el termómetro de globo
- $\vartheta_{HFM,a,2}$  temperatura de la superficie en la parte superior de la placa de medida del flujo térmico
- $\vartheta_{HFM,b,2}$  temperatura de la superficie en la parte inferior de la placa de medida del flujo térmico

Figura A.11 – Equipo de ensayo para el ensayo 2 del capítulo 10



## Leyenda

- 1 placa de plexiglás
- 2  $\Omega$  – dispositivo de difusión térmica consistente en acero de 0,6 mm
- 3 sistema de placa compuesto de PS 30
- Tubos: 5 tubos paralelos, compuesto de un recubrimiento de composite PE-HD/AL/PE-HD 14,5  $\times$  2,4 mm, conductividad térmica  $\lambda = 0,379$  W/(m K)
- $T$  paso de tubo
- $L$  anchura del dispositivo de difusión térmica
- Medidas de la muestra: 1  $\times$  1 m

Figura A.12 – Muestra maestra para el equipo de ensayo del capítulo 9



**En todas las tablas:** Los valores intermedios deben interpolarse con la ayuda de una función “spline” cúbica natural

**Tabla A.1 – Factor de paso  $a_T$  para los sistemas de tipo A y tipo C**

$R_{\lambda, B}$ $m^2 \cdot K/W$	0	0,05	0,10	0,15
$a_T$	1,23	1,188	1,156	1,134

**Tabla A.2 – Factor de revestimiento de suelo  $a_u$  en función del paso de tubo  $T$  y de la resistencia térmica  $R_{\lambda, B}$  del revestimiento de suelo para los sistemas de tipo A y tipo C**

$R_{\lambda, B}$ $m^2 \cdot K/W$	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	1,033 5
0,15	1,057	1,046	1,035	1,030 5
0,2	1,051	1,041	1,031 5	1,027 5
0,225	1,048	1,038	1,029 5	1,026
0,3	1,039 5	1,031	1,024	1,021
0,375	1,03	1,022 1	1,018 1	1,015

**Tabla A.3 – Factor del día metro exterior del tubo dependiendo de las resistencia a la conducción térmica  $R_{\lambda, B}$  del recubrimiento del suelo y del paso  $T$  para sistemas de tipo A y C**

$R_{\lambda, B}$ $m^2 \cdot K/W$	0	0,05	0,10	0,15
$T$ (m)	$a_D$			
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

**Tabla A.4a – Coeficiente  $B_G$  dependiendo del de la relación  $\frac{s_u}{\lambda_E}$  para  $\frac{s_u}{\lambda_E} \leq 0,0792$  y del paso  $T$  para sistemas con tubos instalados dentro de la placa (tipo A y tipo C)**

$s_u/\lambda_E$ $m^2 \cdot K/W$	0,01	0,020 8	0,029 2	0,037 5	0,045 8	0,054 2	0,062 5	0,070 8	0,079 2
$T$ m									
0,05	85,0	91,5	96,8	100	100	100	100	100	100
0,075	75,3	83,5	89,9	96,3	99,5	100	100	100	100
0,1	66,0	75,4	82,9	89,3	95,5	98,8	100	100	100
0,15	51,0	61,1	69,2	76,3	82,7	87,5	91,8	95,1	97,8
0,2	38,5	48,2	56,2	63,1	69,1	74,5	81,3	86,4	90,0
0,225	33,0	42,5	49,5	56,5	62	67,5	75,3	81,6	86,1
0,3	20,5	26,8	31,6	36,4	41,5	47,5	57,5	65,3	72,4
0,375	11,5	13,7	15,5	18,2	21,5	27,5	40,0	49,1	58,3

**Tabla A.4b – Coeficiente  $B_G$  dependiendo del de la relación  $\frac{s_u}{T}$  para  $\frac{s_u}{\lambda_E} > 0,0792$   
para sistemas con tubos instalados dentro de la placa (tipo A y tipo C)**

$s_u/T$	$B_G$
0,173	27,5
0,20	40,0
0,25	57,5
0,30	69,5
0,35	78,2
0,40	84,4
0,45	88,3
0,50	91,6
0,55	94,0
0,60	96,3
0,65	98,6
0,70	99,8
> 0,75	100

**Tabla A.5a – Exponente  $n_G$  dependiendo del de la relación  $\frac{s_u}{\lambda_E}$  para  $\frac{s_u}{\lambda_E} \leq 0,0792$  y del paso  $T$   
para sistemas con tubos instalados dentro de la placa (tipo A y tipo C)**

$\frac{s_u}{\lambda_E}$ $m^2 \cdot K/W$	0,01	0,020 8	0,029 2	0,037 5	0,045 8	0,054 2	0,062 5	0,070 8	0,079 2
$T$ m									
0,05	0,008	0,005	0,002	0	0	0	0	0	0
0,075	0,024	0,021	0,018	0,011	0,002	0	0	0	0
0,1	0,046	0,043	0,041	0,033	0,014	0,005	0	0	0
0,15	0,088	0,085	0,082	0,076	0,055	0,038	0,024	0,014	0,006
0,2	0,131	0,13	0,129	0,123	0,105	0,083	0,057	0,040	0,028
0,225	0,155	0,154	0,153	0,146	0,13	0,11	0,077	0,056	0,041
0,262 5	0,197	0,196	0,196	0,19	0,173	0,15	0,110	0,083	0,062
0,3	0,254	0,253	0,253	0,245	0,228	0,195	0,145	0,114	0,086
0,337 5	0,322	0,321	0,321	0,31	0,293	0,260	0,187	0,148	0,115
0,375	0,422	0,421	0,421	0,405	0,385	0,325	0,230	0,183	0,142

**Tabla A.5b – Exponente  $n_G$  dependiendo del de la relación  $\frac{s_u}{T}$  para  $\frac{s_u}{\lambda_E} > 0,0792$   
para sistemas con tubos instalados dentro de la placa (tipo A y tipo C)**

$s_u/T$	$n_G$
0,173	0,320
0,20	0,230
0,25	0,145
0,30	0,097
0,35	0,067
0,40	0,048
0,45	0,033
0,50	0,023
0,55	0,015
0,60	0,009
0,65	0,005
0,70	0,002
> 0,75	0

**Tabla A.6 – Factor de paso  $a_T$  para los sistemas de tipo B**

$s_u/\lambda_E$ $m^2 \cdot K/W$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,15	0,18
$a_T$	1,103	1,100	1,097	1,093	1,091	1,088	1,082	1,075	1,064	1,059

**Tabla A.7 – Factor  $b_u$  dependiendo del paso de tubo  $T$  para los sistemas de tipo B**

$T$ (m)	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,225	0,3	0,375	0,45
$b_u$	1	1	1	0,7	0,5	0,43	0,25	0,1	0

**Tabla A.8a – Factor de de conducción térmica  $a_{WL}$  dependiendo del paso  $T$ , del diámetro externo  $D$  y del valor característico  $K_{WL}$  para las sistemas de tipo B ( $K_{WL} = 0$ )**

<b><math>D</math></b> (m)	<b>0,022</b>	<b>0,020</b>	<b>0,018</b>	<b>0,016</b>	<b>0,014</b>
<b><math>T</math></b> (m)	<b><math>a_{WL}</math></b>				
0,05	0,96	0,93	0,9	0,86	0,82
0,075	0,8	0,754	0,7	0,644	0,59
0,1	0,658	0,617	0,576	0,533	0,488
0,15	0,505	0,47	0,444	0,415	0,387
0,2	0,422	0,4	0,379	0,357	0,337
0,225	0,396	0,376	0,357	0,34	0,32
0,3	0,344	0,33	0,315	0,3	0,288
0,375	0,312	0,3	0,29	0,278	0,266
0,45	0,3	0,29	0,28	0,264	0,25

**Tabla A.8b – Factor de de conducción térmica  $a_{WL}$  dependiendo del paso  $T$ , del diámetro externo  $D$  y del valor característico  $K_{WL}$  para las sistemas de tipo B ( $K_{WL} = 0,1$ )**

<b><math>D</math></b> (m)	<b>0,022</b>	<b>0,020</b>	<b>0,018</b>	<b>0,016</b>	<b>0,014</b>
<b><math>T</math></b> (m)	<b><math>a_{WL}</math></b>				
0,05	0,975	0,955	0,930	0,905	0,88
0,075	0,859	0,836	0,812	0,776	0,74
0,1	0,77	0,76	0,726	0,693	0,66
0,15	0,642	0,621	0,6	0,58	0,561
0,2	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49
0,225	0,54	0,522	0,504	0,485	0,467
0,3	0,472	0,462	0,453	0,444	0,435
0,375	0,46	0,446	0,434	0,421	0,411
0,45	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41

**Tabla A.8c – Factor de de conducción térmica  $a_{WL}$  dependiendo del paso  $T$ , del diámetro externo  $D$  y del valor característico  $K_{WL}$  para las sistemas de tipo B ( $K_{WL} = 0,2$ )**

<b><math>D</math></b> (m)	<b>0,022</b>	<b>0,020</b>	<b>0,018</b>	<b>0,016</b>	<b>0,014</b>
<b><math>T</math></b> (m)	<b><math>a_{WL}</math></b>				
0,05	0,985	0,97	0,955	0,937	0,92
0,075	0,902	0,893	0,885	0,865	0,845
0,1	0,855	0,843	0,832	0,821	0,81
0,15	0,775	0,765	0,755	0,745	0,735
0,2	0,71	0,703	0,695	0,688	0,68
0,225	0,685	0,678	0,67	0,663	0,655
0,3	0,615	0,608	0,6	0,592	0,585
0,375	0,58	0,573	0,565	0,558	0,55
0,45	0,57	0,565	0,56	0,555	0,55

**Tabla A.8d – Factor de de conducción térmica  $a_{WL}$  dependiendo del paso  $T$ , del diámetro externo  $D$  y del valor característico  $K_{WL}$  para las sistemas de tipo B ( $K_{WL} = 0,3$ )**

<b><math>D</math></b> (m)	<b>0,022</b>	<b>0,020</b>	<b>0,018</b>	<b>0,016</b>	<b>0,014</b>
<b><math>T</math></b> (m)	<b><math>a_{WL}</math></b>				
0,05	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95
0,075	0,94	0,935	0,93	0,925	0,92
0,1	0,92	0,915	0,91	0,905	0,9
0,15	0,855	0,855	0,855	0,855	0,855
0,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0,225	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
0,3	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
0,375	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
0,45	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68

**Tabla A.8e – Factor de de conducción térmica  $a_{WL}$  dependiendo del paso  $T$ , del diámetro externo  $D$  y del valor característico  $K_{WL}$  para las sistemas de tipo B ( $K_{WL} = 0,4$ )**

$D$ (m)	0,022	0,020	0,018	0,016	0,014
$T$ (m)	$a_{WL}$				
0,05	0,995	0,99	0,985	0,978	0,97
0,075	0,96	0,962	0,963	0,964	0,965
0,1	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
0,15	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
0,2	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
0,225	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
0,3	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
0,375	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
0,45	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

**Tabla A.8f – Factor de de conducción térmica  $a_{WL}$  dependiendo del paso  $T$ , y del valor característico  $K_{WL}$  para los sistemas de tipo B ( $K_{WL} \geq 0,5$ , [ $a_{WL}$  no depende más de  $D$ ])**

$K_{WL}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	$\infty$
$T$ (m)	$a_{WL}$						
0,05	0,995	0,998	1	1	1	1	1
0,075	0,979	0,984	0,99	0,995	0,998	1	1,01
0,1	0,963	0,972	0,98	0,988	0,995	1	1,02
0,15	0,924	0,945	0,96	0,974	0,99	1	1,04
0,2	0,894	0,921	0,943	0,961	0,98	1	1,06
0,225	0,88	0,908	0,934	0,955	0,975	1	1,07
0,3	0,83	0,87	0,91	0,94	0,97	1	1,09
0,375	0,815	0,86	0,90	0,93	0,97	1	1,1
0,45	0,81	0,86	0,90	0,93	0,97	1	1,1

$K_{WL} > 1$ :

$$a_{WL} = [a_{WL}]_{K_{WL} = \infty} - ([a_{WL}]_{K_{WL} = \infty} - [a_{WL}]_{K_{WL} = 0}) \cdot \left[ \frac{[a_{WL}]_{K_{WL} = \infty} - 1}{[a_{WL}]_{K_{WL} = \infty} - [a_{WL}]_{K_{WL} = 0}} \right]^{K_{WL}}$$

Tabla A.9 – Factor de corrección de  $a_k$  para el contacto para los sistemas de tipo B

$T$ (m)	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,225	0,3	0,375	0,45
$a_k$	1	0,99	0,98	0,95	0,92	0,9	0,82	0,72	0,60

Tabla A.10 – Coeficiente  $B_G$  dependiendo de  $K_{WL}$  y del paso de tubo  $T$  para los sistemas de tipo B

$T$ (m)	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,225	0,3	0,375	0,45
$K_{WL}$	$B_G$								
0,1	92	86,7	79,4	64,8	50,8	45,8	27,5	9,9	0
0,2	93,1	88	81,3	67,5	54,2	49	31,8	15,8	2,4
0,3	94,2	89,5	83,3	70,2	57,6	52,5	36	21,3	7,0
0,4	95,4	90,7	85,2	72,9	60,8	56	40,2	25,7	11,9
0,5	96,6	92,1	87,2	75,6	64,1	59,3	44,4	30	16,6
0,6	97,8	93,7	89,2	78,3	67,3	62,6	48,6	34,1	21,1
0,7	98,7	95	91	81	70,6	66,3	52,8	38,5	25,5
0,8	99,3	96,3	93	83,7	74	69,7	57	42,8	29,6
0,9	99,8	97,7	95	86,3	77,2	73	61,2	47	33,6
1,0	100	98,5	96,5	89	80,7	76,6	65,4	51,4	37,3
1,1	100	99,3	97,8	91,5	84	80	69,4	55,6	40,9
1,2	100	99,6	98,5	93,8	87,2	83,3	73,2	59,8	44,3
1,3	100	99,8	99,3	95,8	90	86,3	76,6	63,8	47,5
1,4	100	100	99,8	97,5	92,5	89	80	67,3	50,5
1,5	100	100	100	98,6	94,8	91,7	83	71	53,4



Tabla A.11 – Exponente  $n_G$  dependiendo de  $K_{WL}$  y del paso de tubo  $T$  para los sistemas de tipo B

$T$ (m)	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,225	0,3	0,375	0,45
$K_{WL}$	$n_G$								
0,1	0,0029	0,017	0,032	0,067	0,122	0,151	0,235	0,333	1
0,2	0,0024	0,015	0,027	0,055	0,097	0,120	0,184	0,288	0,725
0,3	0,0021	0,013	0,024	0,048	0,086	0,104	0,169	0,256	0,482
0,4	0,0018	0,012	0,022	0,044	0,08	0,095	0,156	0,228	0,38
0,5	0,0015	0,011	0,02	0,04	0,074	0,088	0,143	0,204	0,31
0,6	0,0012	0,0099	0,018	0,037	0,067	0,082	0,131	0,183	0,25
0,7	0,0009	0,0087	0,016	0,033	0,061	0,074	0,118	0,162	0,21
0,8	0,006	0,0074	0,014	0,03	0,055	0,067	0,106	0,144	0,187
0,9	0,0003	0,0062	0,012	0,027	0,049	0,06	0,095	0,126	0,165
1,0	0	0,005	0,01	0,024	0,044	0,053	0,083	0,11	0,143
1,1	0	0,0038	0,008	0,021	0,038	0,046	0,072	0,096	0,121
1,2	0	0,0025	0,006	0,018	0,032	0,038	0,063	0,084	0,107
1,3	0	0,0012	0,004	0,015	0,027	0,034	0,054	0,073	0,093
1,4	0	0	0,002	0,012	0,022	0,029	0,047	0,063	0,080
1,5	0	0	0	0,009	0,02	0,025	0,04	0,055	0,070

Tabla A.12 – Valor de  $q_{G,m\acute{a}x.}$  dependiendo de  $\vartheta_{F,m\acute{a}x.}$  y  $\vartheta_i$ 

$\vartheta_{F, m\acute{a}x.}$ (°C)	$\vartheta_i$ (°C)	$q_{G, m\acute{a}x.}$ (W/m <sup>2</sup> )	
29	20	100	área ocupada
33	24	100	baño o similar
35	20	175	zona periférica

**Tabla A.13 – Conductividad térmica de los materiales para las instalaciones de calefacción por suelo radiante mediante agua caliente**

<b>Material</b>	<b>Conductividad térmica <math>\lambda</math> en W/(m · K)</b>
Tubo PB	0,22
Tubo PP	0,22
Tubo PE – X (HDX, MDX)	0,35
Tubo PE-RT	0,35
Tubo de acero	52
Tubo de cobre	390
Revestimiento de PVC con aire incluido	0,15
Revestimiento de PVC sin aire incluido	0,2
Dispositivo de difusión térmica, de aluminio	200
Dispositivo de difusión térmica, de acero	52
Placa o losa de cemento	1,2
Placa de anhidrita	1,2
Hormigón ( $\rho \approx 2\,400\text{ kg/m}^3$ )	1,9
Paneles de yeso	0,25
Yeso revocado	0,7
Superficies de paso en suelos industriales	0,7
Placa de masilla asfáltica	0,9
Madera de piedra	0,4
Madera (paneles de aglomerado de madera)	0,15

**ANEXO B (Informativo)****PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA SU APLICACIÓN SEGÚN EL ANEXO C DE LA NORMA EN 15377-1:2008****Introducción**

En esta norma de ensayo europea, solo un método de cálculo y un correspondiente método de ensayo se utilizan y se cualifican a fin de obtener valores probados y certificados de la potencia térmica de sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies.

Asimismo en la Norma EN 15377-1 se describen métodos de cálculo adicionales

En el anexo C de la Norma EN 15377-1:2008 se presenta un método de cálculo para sistemas con tubos integrados en construcciones de madera. Se trabaja en el mismo sobre la base del principio del método de resistencia térmica. Dichas resistencias térmicas deben obtenerse mediante ensayo para sistemas sin dispositivos de difusión térmica y en el caso que se deba alcanzar una mayor precisión. Debido a que la Norma EN 15377 no incluye métodos de ensayo, este requisito debería tomarse de la presente norma europea.

Véanse los apartados C.3.1 y C.3.2 de la Norma EN 15377-1:2008 para los parámetros relacionados y las ecuaciones respectivas. Utilizando los símbolos de las formulas de esta norma europea y los de la Norma EN 15377, se proporcionan valores simultáneos del estado estacionario de los siguientes parámetros que representan al sistema:

$\vartheta_H = \vartheta_{HC}$  temperatura media del medio caloportador;

$\vartheta_l$  temperatura ambiente o de la estancia;

$\vartheta_e = \vartheta_U$  temperatura ambiente o de la estancia que se encuentra bajo la estancia calentada mediante suelo radiante;

$\vartheta_m$  temperatura media de la capa de calentamiento, es decir del dispositivo de difusión de calor si existe;

$q = q_i$  densidad de flujo térmico del sistema de suelo radiante;

$q_U = q_e$  pérdidas térmicas por debajo del suelo;

$q_{HC}$  densidad de flujo térmico total, donde.

$$q_{HC} = q + q_U$$

**Procedimiento y equipo de ensayo**

Véase la figura B.1 en relación con el equipo de ensayo. Es en esencia idéntico al equipo de ensayo que se describe en la figura A.6 del capítulo 9 pero ampliado por una placa de medida de flujo térmico (véase la leyenda 4 de la figura A.6) de acuerdo con el capítulo 10 de esta norma europea. Adicionalmente pueden instalarse sensores de medida (en los casos donde es posible dependiendo del material y de la estructura de la capa que soporta el peso<sup>3)</sup>) para obtener la temperatura media de la capa de calentamiento  $\vartheta_m$ .

NOTA 1 Entre la placa de medida del flujo térmico (véase la leyenda 4) y la placa de refrigeración (véase la leyenda 6) debe interponerse una capa elástica, por ejemplo una espuma de PE de un espesor de alrededor de 2 mm.

El procedimiento de ensayo es como sigue:

Las condiciones de estado estacionario se deben ajustar como se describen en el capítulo 9 de esta norma europea. Se satisfacen las condiciones de operación y los requisitos de precisión de los capítulos 9 y 10 de esta norma europea. La temperatura simulada  $\vartheta_U$  ( $\vartheta_e$ ) se mantiene en el mismo valor de  $\vartheta_l$  o en un valor inferior dependiendo de circunstancias especiales.

---

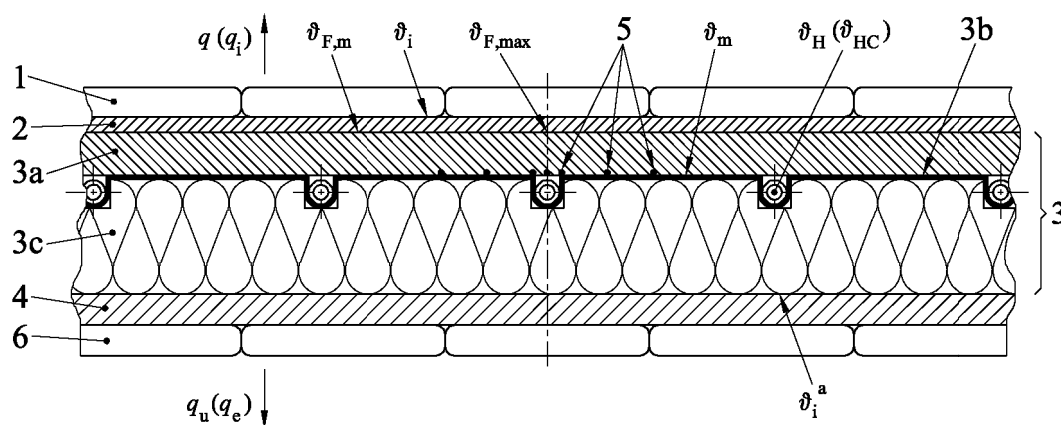
3) Los sensores de temperatura también pueden instalarse en la superficie bajo el dispositivo de difusión térmica.

La densidad de flujo térmico se determina  $q$  ( $q_i$ ) se determina como se describe en capítulo 9 de esta norma europea. Esto significa, que se incluye la resistencia a la transmisión térmica en la superficie del suelo radiante  $1/\alpha$  ( $R_{Si}$ , véase la Norma EN 15377), es decir no es necesaria ninguna corrección adicional para la última resistencia térmica  $R_i$  calculada con la Norma EN 15377-1.

La pérdida térmica por debajo del suelo  $q_U$  ( $q_e$ ) se determina mediante la palca de medida del flujo térmico. En el caso de que se presente la ocasión, puede ser necesario, para la última resistencia térmica  $R_e$  calculada según la Norma EN 15377-2, hacer una corrección de la resistencia a la transmisión térmica de la parte trasera.

Los valores medidos designados y las densidades de flujo térmico permiten la evaluación de las ecuaciones de los apartados C.3.1 y C.3.2 del anexo C de la Norma EN 15377-1:2008. En el caso del apartado C.3.2, se necesitan los valores de las dos condiciones de régimen estacionario.

NOTA 2 Se debe subrayar que los resultados calculados de este modo, no son resultados probados en términos de esta norma europea.



#### Leyenda

- |                      |   |
|----------------------|---|
| 1                    | placa de refrigeración superior   |
| 2                    | capa de transmisión térmica $s/\lambda = 0,0926 \text{ m}^2 \cdot \text{W/K}$       |
| 3                    | sistema de suelo radiante (muestra de ensayo)                                       |
| 3a                   | capa que soporta el peso  |
| 3b                   | tubos y dispositivo de difusión térmica   |
| 3c                   | aislamiento térmico   |
| 4                    | placa de medida de flujo térmico (medidor de flujo térmico)                         |
| 5                    | sensores de medición de temperaturas  |
| 6                    | placa de refrigeración en la parte inferior de la placa de medida del flujo térmico |
| $q$                  | densidad de flujo térmico   |
| $q_U$                | pérdidas térmicas por debajo del suelo  |
| $\vartheta_i$        | temperatura ambiente o de la estancia   |
| $\vartheta_i^a$      | temperatura mantenida en $\vartheta_i \leq \vartheta_i^a$                           |
| $\vartheta_U$        | temperatura ambiente o de la estancia bajo el suelo radiante                        |
| $\vartheta_{F,m}$    | temperatura media de la superficie de calentamiento                                 |
| $\vartheta_{F,máx.}$ | temperatura máxima de la superficie de calentamiento                                |
| $\vartheta_H$        | temperatura media del medio caloportador  |
| $\vartheta_m$        | temperatura media de la capa de calentamiento                                       |

Entre paréntesis: denominaciones del Proyecto de Norma prEN 15377

**Figura B.1 – Equipo de ensayo para el ensayo del anexo B**

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Konzelmann, M. and Zöllner, G.: Wärmetechnische Prüfung von Fußbodenheizungen. Published in HLH 33 (1982), No. 4, pp. 136–142.
- [2] Kast, W., Klan, H. and Bohle, J.: Wärmeleistung von Fußbodenheizungen. Published in HLH 33 (1986), No. 4, pp. 175–182.
- [3] Konzelmann, M. and Zöllner, G.: Auslegung und wärmetechnische Prüfung von Warmwasser Fußbodenheizungen. Published in SHT 4 (1984), pp. 255–259.
- [4] Kast, W., Klan, H. and Bohle, J.: Wärmeleistung von Fußbodenheizungen, Part 2. Published in HLH 33 (1986), No. 10, pp. 497–502.
- [5] EN 442-2, *Radiators and convectors. Part 2: Test methods and rating.*
- [6] prEN 1264-4, *Water based surface embedded heating and cooling systems. Part 4: Installation.*
- [7] EN 15377-1:2008, *Heating systems in buildings. Design of embedded water based surface heating and cooling systems. Part 1: Determination of the design heating and cooling capacity.*
- [8] EN 15377-2:2008, *Heating systems in buildings. Design of embedded water based surface heating and cooling systems. Part 2: Design, dimensioning and installation.*

---

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Génova, 6  
28004 MADRID-España

[info@aenor.es](mailto:info@aenor.es)  
[www.aenor.es](http://www.aenor.es)

Tel.: 902 102 201  
Fax: 913 104 032