

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA TERMICA DE UNA PARED

La presente invención se refiere a un método y a un dispositivo para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared divisoria entre un primer entorno y un segundo entorno.

La invención puede aplicarse para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de cualquier tipo de pared divisoria entre dos entornos, especialmente una pared de un edificio, una pared de un vehículo, una pared de un horno, una pared de un tanque.

En particular, la invención puede aplicarse para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de un elemento de construcción perteneciente al envuelta de un ambiente o lugar de estar, tal como una pared, un piso, un techo, una ventana, una puerta, etc., en cuyo caso el elemento de construcción es una pared divisoria entre el interior y el exterior del ambiente.

En este contexto, el término "ambiente" tiene por finalidad referirse a cualquier espacio para vivir o de almacenamiento. En particular, puede tratarse de un espacio de vivienda o de almacenamiento fijos, tal como una casa o un edificio individuales, en particular para uso residencial o terciario, o de una parte de un edificio de este tipo, por ejemplo un apartamento en un edificio de

múltiples pisos, o también de otros objetivos, tal como una máquina, en particular en el sector electrodoméstico, un horno, una refrigeradora, etc. También puede tratarse de un espacio de vivienda o de almacenamiento transportable, tal como un vagón de tren, el habitáculo de un vehículo, la cabina de un camión o un espacio de almacenamiento en un camión, una cabina en un barco o el espacio de almacenamiento en un barco.

Dentro de los alcances de la invención, la expresión "cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared" designa cualquier cantidad que caracterice la capacidad de la pared de permitir el paso de un flujo de calor. En particular, dentro de los alcances del método y del dispositivo de acuerdo con la invención, es posible determinar como cantidades representativas de la resistencia térmica de la pared:

- la transmitancia térmica de la pared, designada U ;
- la resistencia térmica total de la pared, designada R_T ;
- la resistencia térmica de superficie a superficie de la pared, designada R .

La transmitancia térmica U de una pared se define como el cociente obtenido dividiendo el caudal de flujo calórico por área de superficie unitaria, en estado constante, por la diferencia de temperaturas entre los entornos situados a ambos lados de la pared. La

transmitancia térmica U está dada por la siguiente relación:

$$U = \frac{q}{(T_1 - T_2)},$$

donde q es la densidad del caudal de flujo calórico a través de la pared, T_1 es la temperatura en el entorno situado en un primer lado de la pared, T_2 es la temperatura en el entorno situado en un segundo lado de la pared.

La resistencia térmica total R_T de la pared es tal que $R_T = \frac{1}{U} = R_{s1} + R + R_{s2}$, donde $R = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{q}$ es la resistencia

térmica de superficie a superficie de la pared, siendo T_{s1} la temperatura de superficie del primer lado de la pared y T_{s2} la temperatura de superficie del segundo lado de la pared, R_{s1} es la resistencia térmica de superficie del primer lado de la pared, R_{s2} es la resistencia térmica de superficie del segundo lado de la pared.

La determinación de la transmitancia térmica U de los elementos constructivos constituyentes de la envuelta de un ambiente es útil, en particular, para llevar a cabo un diagnóstico de la aislación térmica del ambiente, tanto si se trata de un ambiente antiguo como de uno nuevo. En particular, cuando se considere el reacondicionamiento de un ambiente, permite especificar las mediciones que deben llevarse a cabo para mejorar la performance térmica.

Se conoce la determinación de la transmitancia térmica U de un elemento de construcción que forma parte de la

envuelta de un ambiente de acuerdo con un método quasi-estático definido por la norma ISO standard 9869:1994, denominado "Heat Flow Meter Method (Método de la Medición del Flujo Calórico)". Este método implica mediciones efectuadas *in situ*, por una parte, del caudal del flujo calórico a través de elementos constructivos con ayuda de por lo menos un medidor de flujo calórico montado sobre una superficie del elemento que es adyacente a la temperatura más estable y, por otra parte, de la temperatura reinante dentro del ambiente y de la temperatura reinante fuera del ambiente en la vecindad del medidor de flujo calórico. Las mediciones del caudal de flujo calórico y de la temperatura se llevan a cabo durante un intervalo de tiempo que puede variar entre tres días como mínimo y varias semanas; la duración de las mediciones depende, en particular, de la naturaleza del elemento constructivo, de las fluctuaciones de las temperaturas interior y exterior, y del método utilizado para el análisis de los datos. Un inconveniente importante de este método es la duración requerida para su implementación.

La invención tiene por finalidad más particular subsanar estos inconvenientes por el hecho de proponer un método y un dispositivo que posibiliten determinar rápidamente una cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared divisoria entre un primer entorno y un

segundo entorno, en particular a lo largo de un período igual a una sola noche o aún de unas pocas horas, cualquiera sea el tipo de pared, ello con un costo moderado y con una exactitud razonable, pudiendo la pared en
5 cuestión ser por ejemplo un elemento constructivo perteneciente al envuelta de un ambiente.

Para esta finalidad, uno de los objetos de la invención consiste en un método para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de una
10 pared divisoria entre un primer entorno y un segundo entorno, caracterizado porque comprende etapas en las que:

- a lo largo de por lo menos dos períodos de tiempo sucesivos D_k correspondientes a potencias calefactoras distintas P_k del primer entorno, se lleva a cabo una sesión
15 de mediciones del caudal de flujo calórico a través de la pared q_k y de la temperatura reinante en el primer entorno T_{1k} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, como también la determinación de la temperatura reinante en el segundo entorno T_{2k} a intervalos de tiempo
20 estrechamente separados entre sí;

- se determina el valor de una cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared haciendo converger: por una parte, un modelo térmico que expresa la variación temporal de la temperatura en un entorno separado con
25 respecto a otro entorno por medio de una pared, como una

función del caudal de flujo calórico a través de la pared, de la temperatura reinante en el otro entorno y de los parámetros físicos de la pared, sobre la base de lo cual es posible calcular la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared; y, por otra parte, la evolución medida $T_{lk}(t)$ de la temperatura reinante en el primer entorno como una función del tiempo.

Dentro de los alcances de la invención, el hecho de hacer converger el modelo térmico y la evolución medida $T_{lk}(t)$ significa que el valor de los parámetros físicos de la pared que se utilizan en el modelo térmico es ajustado de manera tal de minimizar la diferencia, por lo menos a lo largo de un intervalo de tiempo incluido en cada período de tiempo D_k , entre la evolución temporal de la temperatura reinante en el primer entorno calculada sobre la base del modelo térmico y la evolución temporal de la temperatura realmente medida en el primer entorno $T_{lk}(t)$. Por lo tanto, es posible efectuar el ajuste a lo largo de la totalidad de cada período de tiempo D_k , o a lo largo de uno o más intervalos de tiempo incluidos en cada período de tiempo D_k .

A título de ejemplo, en el caso en que el modelo térmico es un modelo R-C simple con un resistor y un capacitor y en donde, para cada período de tiempo D_k , existe un intervalo de tiempo Δt_k para el que la evolución

medida $T_{lk}(t)$ de la temperatura reinante en el primer entorno como una función del tiempo es sustancialmente lineal, el modelo R-C simple y la evolución medida $T_{lk}(t)$ se hacen converger a lo largo de los intervalos Δt_k de la siguiente manera: para cada período de tiempo D_k , la pendiente a_k de la tangente con respecto a la curva $T_{lk}(t)$ se determina a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k , y se determina el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared sobre la base de los valores de la pendiente a_k y de los valores del caudal mediano del flujo calórico a través de la pared q_{km} considerados a lo largo del período de tiempo D_k o, lo que es preferible, considerados a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k .

De acuerdo con otro ejemplo, en el caso en que el modelo térmico es un modelo R-C más complejo, tal como un denominado modelo "2R2C" con dos resistores y dos capacitores, o también en el caso de un denominado modelo "3R2C" con tres resistores y dos capacitores, el modelo R-C más complejo y la evolución medida $T_{lk}(t)$ se hacen converger ajustando el valor de los parámetros físicos de la pared utilizados en el modelo de manera de minimizar la diferencia, a lo largo de la totalidad de los períodos de tiempo D_k , entre la evolución temporal de la temperatura reinante en el primer entorno calculada sobre la base del

modelo R-C más complejo y la evolución temporal de la temperatura realmente medida en el primer entorno $T_{1k}(t)$.

En la práctica, los datos ingresados son introducidos en el modelo térmico, tales como las dimensiones de la pared, el caudal de flujo calórico a través de la pared q_k medido a lo largo de cada periodo de tiempo D_k , la temperatura reinante en el segundo entorno T_{2k} determinada a lo largo de cada período de tiempo D_k .

Los ejemplos de parámetros físicos de la pared que pueden potencialmente intervenir en el modelo térmico y que pueden ajustarse de manera de hacer converger el modelo térmico y la evolución medida $T_{1k}(t)$ comprenden, en particular, la conductividad térmica de la pared, la capacidad térmica de la pared, el espesor de la pared, el coeficiente de intercambio convectivo-radiativo h_i entre la pared y el primer entorno.

La invención permite determinar *in situ* la resistencia térmica de la pared. El principio subyacente de la invención consiste en utilizar las variaciones transitorias de la temperatura reinante en el primer entorno cuando el primer entorno es sometido a impulsos internos controlados y en alrededores exteriores medidos. El análisis cuantitativo de la variación de la temperatura reinante en el primer entorno permite determinar de manera cuantitativa la eficiencia energética de la pared a lo largo de un

período breve, que se extiende a lo largo de unas pocas horas, limitándose al mismo tiempo el número de parámetros capaces de influir sobre el comportamiento térmico de la pared y de los entornos primero y segundo. En particular, en el caso de la determinación de la resistencia térmica de un elemento constructivo perteneciente a la envuelta de un ambiente, la brevedad de las mediciones permite eludir la influencia de las condiciones de uso del ambiente y de las variaciones de las condiciones climáticas externas.

Es preferible que la variación de la temperatura reinante en el primer entorno sea analizada en la vecindad de la pared de la cual ha de determinarse una cantidad representativa de su resistencia térmica.

Dentro de los alcances de la invención, mediante la expresión "potencia calefactora del primer entorno" se designa cualquier condición operativa que genere una variación de la temperatura reinante en el primer entorno, para condiciones de temperatura dadas en el segundo entorno. Se da por entendido que la potencia calefactora puede ser positiva, cero o negativa. Una potencia calefactora positiva corresponde a un suministro de calor en el primer entorno, mientras que una potencia calefactora negativa corresponde a un suministro de frío en el primer entorno.

Los períodos de tiempo D_k pueden ser sea disjuntos, o

inmediatamente consecutivos entre sí. En este último caso, puede considerarse que el método se lleva a cabo en su totalidad a lo largo de un período de tiempo continuo, formado por la sucesión de los períodos de tiempo D_k .

5 Es preferible que el método sea implementado con dos períodos de tiempo D_1 y D_2 correspondientes a dos ajustes distintos de potencias calefactoras P_1 y P_2 del primer entorno.

10 De una manera ventajosa, con el objeto de limitar el tiempo de implementación del método y de reducir al mismo tiempo una contribución de la radiación solar, el método se lleva a cabo en su totalidad de manera continua a lo largo de un único período nocturno.

15 De acuerdo con un aspecto de la invención, las mediciones del flujo calórico a través de la pared q_k se llevan a cabo con la ayuda de por lo menos un sensor de flujo calórico posicionado sobre una cara de la pared. El sensor de flujo calórico puede ser un medidor de flujo calórico o un calorímetro.

20 De una manera ventajosa, el sensor de flujo calórico es un medidor de flujo calórico compatible con la norma ISO 9869:1994, en particular un medidor de flujo calórico de gradiente.

25 De acuerdo con uno de los aspectos de la invención, se toma en cuenta la resistencia al flujo debida al medidor de

flujo calórico y se aplica una corrección al caudal de flujo calórico medido, de manera de obtener un caudal de flujo calórico referido a solamente la pared cuya resistencia térmica ha de determinarse. Esto es especialmente importante con paredes de baja resistencia térmica, tales como superficies vidriadas simples.

De una manera ventajosa, las mediciones de la temperatura reinante en el primer entorno T_{lk} se llevan a cabo con ayuda de por lo menos un sensor de temperatura que está posicionado en el primer entorno en la vecindad del sensor de flujo calórico. Es preferible que el posicionamiento del o de los sensores de temperatura en el primer entorno se lleve a cabo de acuerdo con el párrafo 6.1.3 de la norma ISO standard 9869:1994.

De acuerdo con uno de los aspectos de la invención, las mediciones de la temperatura reinante en el primer entorno T_{lk} se llevan a cabo con ayuda de por lo menos un sensor de temperatura ambiente capaz de medir la temperatura del aire en el primer entorno. En tal caso es posible acceder directamente a la transmitancia térmica U de la pared o a la resistencia térmica total R_T de la pared. Los ejemplos de sensores de temperatura ambiente que pueden utilizarse dentro de los alcances de la invención comprenden, en particular, termocuplas, por ejemplo termocuplas de Tipo K o de Tipo T, termómetros de

resistencia, por ejemplo sensores Pt100. Tales sensores de temperatura ambiente se posicionan en el volumen de aire del primer entorno.

De acuerdo con uno de los aspectos de la invención,
5 las mediciones de la temperatura reinante en primer entorno T_{lk} se llevan a cabo con ayuda de por lo menos un sensor de temperatura de superficie capaz de medir la temperatura de superficie de la pared en el primer entorno. En tal caso es posible acceder directamente a la resistencia térmica de
10 superficie a superficie R de la pared. Los ejemplos de sensores de temperatura de superficie que pueden utilizarse dentro de los alcances de la invención comprenden en particular termocuplas delgadas o termómetros de resistencia planos, que se posicionan sobre la superficie
15 de la pared en el primer entorno; o cámaras infrarrojas, que se posicionan de manera de estar orientadas hacia la superficie de la pared en el primer entorno.

El modelo térmico utilizado para determinar el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de
20 la pared puede ser de cualquier tipo conocido de la persona experta en la especialidad. Puede tratarse en especial de un modelo R-C con un número adecuado de resistores y capacitores.

Es preferible que el modelo térmico utilizado para
25 determinar el valor de la cantidad representativa de la

resistencia de la pared sea un modelo R-C simple con un resistor y un capacitor.

De acuerdo con una variante, el modelo térmico utilizado para determinar el valor de la cantidad representativa de la resistencia de la pared puede ser un denominador modelo R-C "2R2C" con dos resistores y dos capacitores, o también un denominador modelo R-C "3R2C" con tres resistores y dos capacitores.

En una forma de realización ventajosa, el modelo térmico utilizado para determinar el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared es un modelo R-C simple con un resistor y un capacitor y, para cada período de tiempo D_k , existe un intervalo de tiempo Δ_k para el que la evolución medida $T_{lk}(t)$ de la temperatura reinante en el primer entorno como una función del tiempo es sustancialmente lineal. En tal caso se hacen converger el modelo R-C y la evolución medida $T_{lk}(t)$ de la siguiente manera: para cada período de tiempo D_k , se determina la pendiente a_k de la tangente a la curva $T_{lk}(t)$ a lo largo del intervalo de tiempo Δ_k , y seguidamente se determina el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared sobre la base de los valores de la pendiente a_k y de los valores del caudal mediano de flujo calórico a través de la pared q_{km} considerados a lo largo del período de tiempo D_k o, lo que es preferible,

considerados a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k .

Por supuesto, el método de acuerdo con la invención no requiere necesariamente implementar una representación gráfica de la evolución $T_{ik}(t)$.

En particular, a lo largo de cada intervalo de tiempo Δt_k , la pendiente a_k de la tangente a la curva $T_{ik}(t)$ es igual a la derivada de la evolución $T_{ik}(t)$ a lo largo del intervalo Δt_k . Por lo tanto, dentro de los alcances de la invención, la etapa de la determinación de la pendiente a_k de la tangente a la curva $T_{ik}(t)$ a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k puede llevarse a cabo calculando la derivada de la evolución $T_{ik}(t)$ a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k , sin recurrir a una representación gráfica de la evolución $T_{ik}(t)$.

Las etapas de cálculo del método, en particular para la determinación de las pendientes a_k , pueden llevarse a cabo con ayuda de cualquier medio de cálculo adecuado. Puede tratarse en especial de una unidad de cálculo electrónica que esté conectado a un sistema de adquisición para adquirir las mediciones requeridas por el método y que comprenden medios de cálculo para ejecutar la totalidad o parte de las etapas de cálculo del método sobre la base de las mediciones requeridas.

Dentro de los alcances de la invención, y de acuerdo con el principio explicado en la Solicitud de Patente WO

2012/028829 A1, se utiliza un modelo R-C simple para describir un ambiente, con dos nodos de temperatura homogéneos, uno dentro del ambiente y el otro fuera del ambiente, que están separados por un resistor que representa el coeficiente de pérdida global de calor K del ambiente y que describe la pérdida por transmisión e infiltración a través de la envuelta del ambiente. El nodo de temperatura dentro del ambiente está vinculado a un capacitor que representa la masa térmica o la capacidad térmica efectiva C del ambiente. La potencia introducida en el ambiente es compensada por la pérdida calórica a través de la envuelta y el calor almacenado en la estructura de la envuelta representándose esto mediante la siguiente ecuación:

$$P = K(T_1 - T_2) + C \frac{dT_1}{dt},$$

donde P es la potencia total introducida en los ambiente, T_1 y T_2 son respectivamente la temperatura dentro del ambiente y la temperatura externa, K es el coeficiente de pérdida global calórica del ambiente y C es la capacidad calórica efectiva del ambiente.

Se supone que la respuesta de temperatura del ambiente es una exponencial de decrecimiento simple y que su constante de tiempo es el producto del coeficiente global de pérdida calórica K y de la capacidad calórica efectiva C

del ambiente. En realidad, la respuesta térmica del ambiente es más compleja y es la superposición de un número grande de exponentes decrecientes, pero mediante la realización de un test a lo largo de un período
 5 suficientemente prolongado, solamente la constante de tiempo más grande desempeña un papel y el método anteriormente descrito es válido.

Mediante la aplicación de dos potencias calefactora P_1 y P_2 del ambiente, de diferentes valores, a lo largo de dos
 10 períodos de tiempo D_1 y D_2 , es seguidamente posible determinar el coeficiente global de pérdida calórica K del ambiente de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{a_1 P_2 - a_2 P_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}},$$

donde $(a_k)_{k=1 \text{ ó } 2}$ es la pendiente a lo largo del intervalo
 15 de tiempo Δt_k de la tangente a la curva de evolución de la temperatura dentro del ambiente $T_{ik}(t)$, y $(\Delta T_{km})_{k=1 \text{ ó } 2}$ es la diferencia entre la temperatura promedia dentro del ambiente y la temperatura promedio fuera del ambiente a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k .

De acuerdo con la presente invención, por analogía, es
 20 posible determinar la transmitancia térmica U de una pared divisoria entre un primer entorno y un segundo entorno de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$U = \frac{a_1 q_2 - a_2 q_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}},$$

donde $(a_k)_{k=1 \text{ ó } 2}$ es la pendiente a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k de la tangente a la curva de evolución de la temperatura reinante en el primer entorno $T_{1k}(t)$, $(\Delta T_{km})_{k=1 \text{ ó } 2}$ es la diferencia entre la temperatura promedio en el primer entorno y la temperatura promedio en el segundo entorno a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k , y $(q_k)_{k=1 \text{ ó } 2}$ es el caudal mediano de flujo calórico a través de la pared considerado a lo largo del período de tiempo D_k o, preferentemente y para una mayor exactitud, considerado a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k .

De acuerdo con una forma de realización, el método comprende etapas en las que:

- se llevan a cabo, a lo largo de dos periodos de tiempo sucesivos D_1 y D_2 :

i.a lo largo del primer periodo de tiempo, D_1 , la aplicación de una primera potencia calefactora P_1 del primer entorno, y una sesión de mediciones del caudal de flujo calórico a través de la pared q_1 y de la temperatura reinante en el primer entorno T_{11} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, como también la determinación de la temperatura reinante en el segundo entorno T_{21} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, siendo la primera potencia calefactora P_1 tal que el parámetro $\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ es igual o igual a 0,8, siendo

$\Delta T_1(0) = T_{11}(t=0) - T_{2m}$, donde $t=0$ es el punto inicial del primer periodo de tiempo D_1 , T_{2m} es la temperatura promedio

en el segundo entorno a lo largo de la totalidad de los periodos de tiempo D_1 y D_2 , y K_{ref} es un valor de referencia del coeficiente de pérdida calorica K del primer entorno, y seguidamente:

5 ii.a lo largo del segundo periodo de tiempo D_2 , la aplicación de una segunda potencia calefactora, sustancialmente cero, P_2 del primer entorno, y una sesión de mediciones del caudal de flujo calórico a través de la pared q_2 y de la temperatura reinante en el primer entorno
10 T_{12} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, como también la determinación de la temperatura reinante en el segundo entorno T_{22} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí;

 - se determina el valor de la cantidad representativa
15 de la resistencia térmica de la pared poniendo en convergencia; por una parte, un modelo térmico que expresa la variación temporal de la temperatura en un entorno separado de otro entorno por una pared, como una función del caudal de flujo calórico a través de la pared, de la
20 temperatura reinante en el otro entorno y de los parámetros físicos de la pared, sobre cuya base puede calcularse la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared; y por otra parte, la evolución medida $T_{1k}(t)$ de la temperatura reinante en el primer entorno como una función
25 del tiempo.

En esta forma de realización, se selecciona una carga térmica específica del primer entorno, lo que permite acceder al valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared con una buena exactitud y a lo largo de un tiempo reducido, siendo esta carga térmica específica la aplicación de una primera potencia calefactora estrictamente positiva o estrictamente negativa P_1 adecuada para generar una evolución forzada de la temperatura reinante en el primer entorno, seguida por la aplicación de una segunda potencia calefactora sustancialmente cero P_2 que permite la libre evolución de la temperatura reinante en el primer entorno.

Es preferible que la primera potencia calefactora P_1 sea tal que el parámetro $\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ sea mayor que o igual a 0,25, más preferentemente mayor que o igual a 0,3. De hecho, para entornos bien aislados, cuando el parámetro α es inferior a 0,25 o a 0,3, la sensibilidad de los sensores de medición convencionales no permite obtener datos satisfactorios relacionados con la evolución de la temperatura reinante en el primer entorno T_{11} a lo largo del primer período de tiempo D_1 , resultando un incremento en la incertidumbre del valor de los coeficientes U , R o K determinados de acuerdo con la invención.

La determinación del valor de la primera potencia calefactora P_1 que debe aplicarse a lo largo del primer período de tiempo D_1 a efectos de satisfacer los criterios

relacionados con el parámetro α hace que sea necesario conocer un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica K del primer entorno.

Un primer método para acceder a un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida térmica K del primer entorno es la utilización de una cantidad que surge de un análisis térmico del primer entorno. En particular, cuando el primer entorno es el interior de un ambiente, el valor de referencia K_{ref} del ambiente puede obtenerse sobre la base del coeficiente de transmisión o de la transferencia térmica de la envuelta del ambiente. Es preferible que el coeficiente de transferencia calórica H de la encuesta del ambiente se determine utilizando la norma ISO Standard 13789:2007, "Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation heat transfer coefficients - Calculation method (Performance térmica de edificios- Coeficientes de transmisión y de ventilación de transferencia térmica- Método de cálculo)", y seguidamente se determina el valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica mediante la siguiente relación:

$$K_{ref} = H_T + H_V,$$

donde H_T es el coeficiente de transmisión de transferencia calórica y H_V es el coeficiente de ventilación de transferencia calórica. Es preferible que el coeficiente de transferencia calórica de la envuelta del ambiente se

determine de acuerdo con la norma ISO Standard 13789:2007 en ausencia de ventilación en el ambiente. Como variante, la ventilación puede estar activa en el ambiente, caso éste en el que será necesario medir o estimar el caudal del flujo de ventilación.

La utilización de la norma ISO Standard 13789:2007 es un método preferido para acceder a un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica K . Sin embargo, también pueden considerarse otros métodos, en particular cuando no se dispone de la totalidad de la información necesaria para aplicar la norma ISO Standard 13789:2007.

Un segundo método para acceder a un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica K del primer entorno en el caso del interior de un ambiente consiste en someter el ambiente a un test quasi-estático, tal como un test de "cocalefacción".

La "cocalefacción" es un método quasi-estático cuyo objetivo consiste en medir la pérdida calórica total de un ambiente no ocupado. Un test de "cocalefacción" implica calefaccionar el ambiente durante varios días, por lo general durante de una a tres semanas, a una temperatura constante y homogénea, mediante radiadores eléctricos acoplados a ventiladores y conectados a un sistema de regulación. La temperatura ajustada debe ser lo

suficientemente elevada, del orden de 25°C, de manera de tener una diferencia de temperatura entre el interior del ambiente y el exterior, de por lo menos 10°C. Cuando se llegue a la saturación, es decir cuando se ha alcanzado un estado quasi-estático, se miden la potencia P necesaria para mantener el ambiente a una temperatura de 25°C, la temperatura interior T_{int} y la temperatura exterior T_{ext} . En particular, la temperatura interior T_{int} puede medirse con ayuda de termocuplas o termistores, pudiéndose medir la temperatura exterior T_{ext} en virtud de una estación meteorológica. El procesamiento de los datos hace que sea seguidamente posible obtener un valor K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica.

Dicho con más precisión, el procedimiento es como sigue:

Para empezar, tiene lugar un primer test de presurización, que permite medir las pérdidas debidas a ventilación y a infiltraciones.

Seguidamente se cierran las aberturas tales como las chimeneas o los venteos, de manera que las pérdidas relacionadas con la ventilación ya no sean más accesibles a la medición.

Seguidamente se calefacciona el ambiente eléctricamente y de una manera homogénea, hasta llegar a una temperatura ajustada del orden de los 25 °C.

A continuación se miden la potencia P , la temperatura interior T_{int} y la temperatura exterior T_{ext} . El procesamiento de estas mediciones permite acceder a las pérdidas por transmisión y por infiltración.

5 Finalmente se lleva a cabo un segundo test de presurización, de manera de determinar las pérdidas calóricas debidas a las infiltraciones solamente, manteniéndose cerradas las aberturas del ambiente.

10 Para el procesamiento de las mediciones, se determinan cada día, a lo largo de 24 horas, el promedio de la potencia necesaria para mantener el ambiente a la temperatura ajustada y el promedio de la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior. Estos datos promediados son seguidamente representados en un gráfico
15 que indica la potencia como una función de la diferencia de temperaturas. Debe efectuarse una corrección debido a la radiación solar que también interviene en la calefacción del ambiente. La pendiente de la línea recta que pasa por el origen se obtiene por regresión lineal; corresponde al
20 coeficiente de pérdida calórica K_{ref} .

Este método de la "cocalefacción" es de una implementación relativamente sencilla y provee directamente un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica K del ambiente. De acuerdo con una variante
25 ventajosa, para ambientes con muy baja inercia térmica, es

posible llevar a cabo los tests de "cocalefacción" de noche, en cuyo caso no es necesario efectuar correcciones debidas a las contribuciones solares.

Un tercer método para acceder a un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica K del primer entorno en el caso del interior de un ambiente consiste en la utilización de una cantidad que surge de un estudio del consumo energético del ambiente. En particular, el valor de referencia K_{ref} puede determinarse como la relación entre la energía consumida por el ambiente a lo largo de un periodo de tiempo dado y el producto de la duración del periodo de tiempo dado y de la diferencia promedio de temperaturas entre el interior y el exterior del ambiente a lo largo del período de tiempo dado.

Cuando el modelo térmico utilizado para determinar el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared es un modelo R-C para un resistor y un capacitor, para cada uno de los períodos de tiempo primero y segundo D_1 y D_2 , se selecciona un intervalo de tiempo Δt_1 o Δt_2 para el que la evolución $T_{i1}(t)$ o $T_{i2}(t)$ es sustancialmente lineal, en donde los intervalos de tiempo Δt_1 y Δt_2 son tales que el intervalo de tiempo Δt_1 se extiende hasta el final del primer periodo D_1 de aplicación de la primera potencia calefactora P_1 y de manera tal que, cuando los puntos de partida del primer

periodo D_1 y del segundo período D_2 están superpuestos, los intervalos de tiempo Δt_1 y Δt_2 tienen el mismo punto final; la pendiente a_1 o a_2 de la tangente a la curva $(T_{1k}(t))_{k=1 \text{ ó } 2}$ se determina a lo largo de cada intervalo de tiempo Δt_1 o Δt_2 ; y se deduce el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared sobre la base de los valores de la pendiente a_1 , a_2 y de los valores del caudal mediano de flujo calórico a través de la pared q_{1m} , q_{2m} . Cada valor del caudal mediano de flujo calórico a través de la pared q_{km} puede tomarse a lo largo del correspondiente período de tiempo D_k o, lo que es preferible para su exactitud, puede tomar sólo por sobre el correspondiente intervalo de tiempo Δt_k .

Es preferible que los intervalos de tiempo Δt_1 y Δt_2 tengan la misma duración.

De una manera ventajosa, para cada período de tiempo D_k , la potencia calefactora P_k del primer entorno comprende una potencia calefactora P_{impk} impuesta mediante una fuente de potencia controlada.

La fuente de potencia controlada para la calefacción del primer entorno puede ser un ítem fijo de equipamiento del primer entorno, es decir un medio calefactor instalado en el primer entorno independientemente de la implementación del método, con la condición de que este medio calefactor tenga una baja inercia y pueda ser

ajustado de manera de asegurar una calefacción rápida del primer entorno. En particular, puede ser una bomba calórica cuyo coeficiente de performance (COP, coefficient of performance) sea conocida.

5 Como una variante, la fuente de potencia controlada para la calefacción del primer entorno puede ser una fuente introducida en el primer entorno especialmente para la implementación del método.

10 De acuerdo con otra variante, la calefacción del primer entorno en cada período de tiempo puede implementarse utilizando una combinación de por lo menos un elemento calefactor provisto de manera fija en el primer entorno, independientemente de la implementación del método, y por lo menos un elemento calefactor introducido
15 en el primer entorno especialmente para la implementación del método.

20 Los elementos calefactores del primer entorno pueden ser de tipo convectivo, conductivo o radiativo, o combinar varias de estas tecnologías. Es preferible que los elementos calefactores sean artefactos eléctricos, con lo cual es posible determinar su potencia calefactora de una marea directa y exacta. Los ejemplos de artefactos calefactores eléctricos comprenden en particular artefactos de tipo convectivo que implican el soplado de aire
25 calefaccionado mediante resistores eléctricos; esteras o

películas calefactoras, calefactores radiantes de tipo parasol. Como una variante, los elementos calefactores pueden ser artefactos operados por gas o fuel oil, con la condición de que las eficiencias de los quemadores y los caudales de flujo del combustible pueden estimarse de una manera suficientemente exacta para acceder a la potencia calefactora.

En una forma de realización ventajosa, los elementos calefactores del primer entorno son esteras calefactoras eléctricas que son distribuidas en el primer entorno mediante su posicionamiento vertical y enrollado, de manera tal que la totalidad de la potencia térmica es disipada en el aire en el primer entorno. Esta disposición permite una calefacción rápida y homogénea del primer entorno, con lo que se asegura que la temperatura ambiente sea suficientemente cercana a la temperatura de la superficie de la pared en el lado del primer entorno. De acuerdo con una variante, los elementos calefactores del primer entorno son convectores eléctricos pequeños distribuidos en el primer entorno .

Si se implementa el método de la invención con un primer entorno que comprende particiones internas que delimitan varios espacios o regiones del primer entorno, es posible medir la temperatura en varios espacios o áreas del primer entorno, y la temperatura reinante en el primer

entorno en cada instante t puede considerarse como el promedio de las mediciones de temperatura obtenidas en el instante t en los diferentes espacios o regiones del primer entorno, cada uno de ellos ponderado por el volumen del espacio o región.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se mide la potencia calefactora suministrada en el primer entorno utilizando por lo menos un sensor de potencia. El sensor de potencia, o cada sensor de potencia, puede ser un sensor de voltaje (voltímetro) y/o un sensor de corriente (amperímetro). Es preferible que el sensor de potencia, o cada sensor de potencia sea un potenciómetro, provisto tanto con un sensor de voltaje como con un sensor de corriente. Esto permite una medición exacta de la potencia en el primer entorno, evitándose al mismo tiempo fluctuaciones potenciales en el voltaje de la red o la determinación de la resistencia del elemento calefactor o de cada elemento calefactor.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se implementa el método de manera de determinar, sobre la base de una y la misma carga térmica del primer entorno, la transmitancia térmica U de varios elementos constructivos pertenecientes al envuelta de uno y el mismo ambiente, donde cada elemento de construcción es un muro divisorio entre un primer entorno que es el interior del ambiente y

un segundo entorno que es el exterior del ambiente. De una manera ventajosa, seguidamente se llevan a cabo las sesiones de mediciones del caudal de flujo calórico q_k a través de los diversos elementos constructivos y de la temperatura interior T_{ik} a lo largo de los mismos períodos de tiempo D_k para la totalidad de los elementos de construcción de la envuelta, correspondientes a las mismas potencias calefactoras distintas P_k del ambiente. Es por lo tanto posible acceder a las transmitancias térmicas U de los diversos elementos constitutivos constituyentes de la envuelta de un ambiente durante uno y el mismo test. La obtención de las transmitancias térmicas U de los diversos elementos constitutivos constituyentes de la envuelta de un ambiente es útil, en particular, para llevar a cabo un diagnóstico de la aislación térmica del ambiente.

De acuerdo con un aspecto ventajoso, también se determina el coeficiente global de pérdida calórica K del ambiente. Esto permite acceder a los aportes relativos entre los diversos elementos constructivos de la envuelta del ambiente a la pérdida calórica total del ambiente, y por lo tanto seleccionar las medidas que deberían emprenderse para mejorar la performance térmica.

En una forma de realización, se determina el coeficiente global de pérdida calórica K del ambiente de la siguiente manera:

- se lleva a cabo, sobre cada uno de dichos períodos de tiempo D_k , una sesión de mediciones de por lo menos una temperatura dentro del ambiente a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí y la determinación de la temperatura del aire exterior a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí;

- se determina el valor del coeficiente de pérdida calórica K del ambiente haciendo converger:

o un modelo térmico que expresa la variación temporal de la temperatura dentro de un ambiente como una función de la potencia calefactora aplicada en el ambiente, de la temperatura del aire exterior y de los parámetros físicos del ambiente, sobre la base de lo cual es posible calcular el coeficiente de pérdida calórica del ambiente, por una parte,

y

o la evolución medida de la temperatura dentro del ambiente como una función del tiempo, por otra parte.

De una manera ventajosa, las sesiones de mediciones del caudal de flujo calórico q_k a través de los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del ambiente y de la temperatura interior del ambiente T_{lk} se efectúan a lo largo de los mismos períodos de tiempo D_k , correspondientes a las mismas potencias calefactoras distintas P_k del ambiente. Es por lo tanto posible acceder

durante uno y el mismo test, es decir sobre la base de una y la misma carga térmica del primer entorno que es el interior del ambiente, al mismo tiempo a las transmitancias térmicas U de los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del ambiente y al coeficiente global de pérdida calórica K del ambiente.

Como se describió en lo que precede, la invención propone imponer potencias calefactoras distintas P_k del primer entorno durante por lo menos dos períodos de tiempo sucesivos D_k y medir para cada período de tiempo D_k la evolución temporal de la temperatura reinante en el primer entorno $T_{1k}(t)$.

Como una variante, también es posible imponer distintas temperaturas T_{1k} en el primer entorno durante por lo menos dos períodos de tiempo sucesivos D_k y medir para cada período de tiempo D_k la evolución temporal de la potencia en el primer entorno $P_k(t)$.

De acuerdo con esta variante, un objeto de la invención consiste en un método para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared divisoria entre un primer entorno y un segundo entorno, que comprende las siguientes etapas:

- durante por lo menos dos períodos de tiempo sucesivos D_k correspondientes a temperaturas distintas T_{1k} aplicadas en el primer entorno, se lleva a cabo una sesión

de mediciones del caudal de flujo calórico a través de la pared q_k y de la potencia en el primer entorno P_k a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, como también la determinación de la temperatura reinante en el
5 segundo entorno T_{2k} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí;

- se determina el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared haciendo converger: por una parte, un modelo térmico que expresa la variación
10 temporal de la potencia en un entorno separado de otro entorno por una pared, como una función del caudal de flujo calórico a través de la pared, de la temperatura reinante en el otro entorno y de los parámetros físicos de la pared, sobre cuya base es posible calcular la cantidad
15 representativa de la resistencia térmica de la pared; y, por otra parte, la evolución medida $P_k(t)$ de la potencia en el primer entorno como una función del tiempo.

Es preferible que el método sea implementado con dos períodos de tiempo sucesivos D_1 y D_2 correspondientes a
20 dos temperaturas ajustadas distintas T_{11} y T_{12} aplicadas en el primer entorno.

Otro aspecto de la invención, que puede considerarse independientemente de la determinación de una cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared
25 divisoria entre un primer entorno y un segundo entorno,

consiste en un método para determinar el coeficiente global de pérdida calórica K de un ambiente, que comprende las siguientes etapas:

- durante por lo menos dos períodos de tiempo sucesivos D_k correspondiente a temperaturas distintas T_{ik} aplicadas en el ambiente, se lleva a cabo una sesión de mediciones de la potencia en el ambiente P_k a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, como también la determinación de la temperatura del aire exterior a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí;

- se determina el coeficiente de pérdida calórica K del ambiente haciendo converger: por una parte, un modelo térmico que exprese la variación temporal de la potencia en un ambiente como una función de la temperatura aplicada en el ambiente, de la temperatura del aire exterior y de los parámetros físicos del ambiente, sobre la base de lo cual es posible calcular el coeficiente de pérdida calórica del ambiente; y, por otra parte, la evolución medida $P_k(t)$ de la potencia en el ambiente como una función del tiempo.

Es preferible que se implemente el método con dos períodos de tiempo sucesivos D_1 y D_2 correspondientes a dos temperaturas ajustadas distintas T_{i1} y T_{i2} aplicadas en el ambiente.

Otro objeto de la invención se refiere a un medio para registrar información, que comprende instrucciones para la

implementación de la totalidad o de parte de las etapas de cálculo de un método descrito en lo que precede, ejecutándose estas instrucciones en una unidad de cálculo electrónica.

5 Otro objeto de la invención se refiere a un dispositivo para la implementación de un método descrito en lo que precede, que comprende:

- por lo menos un elemento calefactor que comprende una fuente de potencia controlada;

10 - por lo menos un sensor de flujo calórico destinado a ser posicionado en una cara de la pared de manera de medir el caudal de flujo calórico a través de la pared;

- por lo menos un sensor de temperatura destinado a medir la temperatura reinante en el primer entorno T_{1k} en

15 la vecindad del sensor de flujo calórico;

- una unidad de cálculo electrónica;

- un medio para registrar información que comprende instrucciones destinadas a ser ejecutadas por la unidad de cálculo electrónica, para la implementación de la totalidad

20 o de parte de las etapas de cálculo del método.

De acuerdo con un aspecto ventajoso, el elemento calefactor, o cada elemento calefactor, calienta en el primer entorno. Esto permite el calentamiento rápido del primer entorno. En particular, éste es el caso con una

25 pluralidad de convectores eléctricos distribuidos en el

primer entorno, o con esteras calefactoras eléctricas descritas en lo que precede, que están dispuestos verticalmente en el primer entorno y enrolladas, de manera que la totalidad de la potencia térmica se disipe en el
5 aire.

De acuerdo con un aspecto de la invención, el o los sensores de temperatura comprenden por lo menos un sensor de la temperatura del ambiente destinado a ser posicionado en el volumen de aire en el primer entorno .

10 De acuerdo con un aspecto de la invención, el o los sensores de temperatura comprenden por lo menos un sensor de la temperatura de superficie destinado a ser posicionado en, u orientado hacia, la superficie de la pared en el primer entorno .

15 De una manera ventajosa, la unidad de cálculo electrónica comprende medios para el control de la fuente de potencia del elemento calefactor, o de cada elemento calefactor.

20 En una forma de realización, el dispositivo comprende por lo menos una caja, que comprende tanto un sensor de flujo calórico como un sensor de temperatura, y medios de conexión, preferiblemente inalámbricos, entre la caja y la unidad de cálculo electrónica.

25 Los aspectos y ventajas de la invención se han puesto de manifiesto en la siguiente descripción de una forma de

realización de un método y de un dispositivo de acuerdo con la invención, dada solamente a título de ejemplo y haciéndose referencia a las figuras adjuntas en las que:

- la Figura 1 es una vista esquemática de un chalet cuya envoltura comprende varios elementos constructivos, a saber un piso, un cielorraso, una pared con una puerta (de la que se considera que forma parte de la pared), un conjunto de dos superficies vidriadas, en el que se desea determinar la transmitancia térmica U de cada uno de estos elementos de acuerdo con la invención;

- Las Figuras 2 y 3 son gráficos que muestran, para una de las superficies vidriadas perteneciente a la envuelta del chalet de la Figura 1, respectivamente la evolución de la temperatura interior T_{ik} como una función del tiempo t , medida mediante un sensor de temperatura del aire situado en la vecindad de un medidor de flujo calórico fijado sobre la superficie vidriada y la evolución del caudal de flujo calórico por unidad de área a través de la superficie vidriada q_k como una función del tiempo, medido mediante el medidor de flujo calórico anteriormente mencionado fijado sobre la superficie vidriada en el desarrollo de la implementación del método de acuerdo con la invención que comprende un primer período de tiempo D_1 durante cuyo desarrollo se aplica la primera potencia calefactora P_1 al chalet, donde P_1 sea tal que el parámetro

$$\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$$

del chalet tiene un valor de entre 0,3 y 0,8, seguido por un segundo período de tiempo D_2 durante cuyo tiempo se aplica una segunda potencia calefactora

sustancialmente cero P_2 al chalet, de manera de permitir que el chalet se refrigere libremente, mostrándose en estas figuras también la evolución de la temperatura externa T_{2k} ;

- la Figura 4 es un gráfico que muestra la distribución de los aportes relativos de los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del chalet de la Figura 1 a la pérdida de calor total del chalet;

- la Figura 6 es un diagrama de un denominado modelo "2R2C" del chalet de la Figura 1, con dos resistores y dos capacitores;

- la Figura 6 es un gráfico que muestra del ajuste del modelo 2R2C mostrado en la Figura 5 con respecto a la evolución de la temperatura interior T_{1k} como una función del tiempo t mostrado en la Figura 2, obtenida haciendo converger el modelo 2R2C y la evolución medida $T_{1k}(t)$ a lo largo de ambos períodos de tiempo D_1 y D_2 .

El método de acuerdo con la invención se implementa para la determinación de la transmitancia térmica U de varios elementos constructivos constituyentes de la envuelta del chalet 1 representado en la Figura 1, a saber el piso, el cielorraso, la pared, y el conjunto de superficies vidriadas del chalet.

El chalet 1 presenta un área de piso de 13,5 m², un área de superficies vidriadas de 3,9 m², una altura

interior de 2,5 m, un volumen de 34,2 m³ y una envuelta con un área total de 68,5 m². La pares externa del chalet 1 consiste en paneles sándwich de material aislante que comprende una capa de poliuretano de un espesor de 35 mm insertado entre dos placas metálicas, una puerta (de la que se considera que forma parte de la pared) y dos superficies vidriadas que son superficies vidriadas triples.

El método se implementa mientras el chalet 1 no está ocupado.

La transmitancia térmica U de la envuelta del chalet 1, determinada según la norma ISO Standard 13789:2007, conduce a un valor de referencia del coeficiente de pérdida calórica del chalet K_{ref} de 60 W/K $\pm$ 12 W/K. El chalet es de una construcción de tipo liviano, es decir, presenta una inercia térmica muy baja. Su constante de tiempo es de unas pocas horas.

La calefacción del chalet 1 se asegura mediante esteras calefactora eléctricas 2, en donde cada estera calefactora tiene una potencia nominal de 112,5 W. Las esteras de calefacción 2 están distribuidas en el chalet por el hecho de estar colocadas verticalmente enrolladas, como se muestra esquemáticamente en la Figura 1, con lo cual se permite una calefacción rápida y homogénea del chalet.

El método de acuerdo con la invención se implementa de

manera continua en su totalidad a lo largo de un único período de tiempo nocturno, de manera de eludir el aporte de la radiación solar a la calefacción del chalet 1.

Para empezar, en este caso se lleva a cabo una calefacción del chalet a lo largo de un primer período de tiempo D_1 de 00h15 a 01h10, lo que corresponde a la aplicación de una primera potencia calefactora estrictamente positiva P_1 , y seguidamente una refrigeración libre del chalet a lo largo de un segundo período de tiempo D_2 de 01h10 a 02h05, lo que corresponde a la aplicación de una segunda potencia calefactora sustancialmente cero P_2 . El segundo período de tiempo D_2 es inmediatamente subsiguiente al primer período de tiempo D_1 .

Para cada período de tiempo D_k , se aplica la potencia P_k de una manera sustancialmente igual a la potencia calefactora impuesta por las esteras de calefacción 2, salvo para las potencias residuales originadas en especial del hardware de división y cálculo presentes al chalet para la implementación del método. Unos sensores de potencia, en la forma de amperímetros de bucle, miden la potencia entregada al chalet durante la implementación del método.

En una primera etapa del método, que corresponde al primer período de tiempo D_1 , la calefacción del chalet 1 se lleva a cabo con la ayuda de las esteras de calefacción 2. La primera potencia calefactora P_1 aplicada a lo largo del primer período de tiempo D_1 se elige de una manera tal

que el parámetro $\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ tenga un valor entre 0,3 y 0,8. En este ejemplo, el valor de referencia K_{ref} es igual a $60 \text{ W/K} \pm 12 \text{ W/K}$, la temperatura inferior inicial dentro del chalet T_{1ld} independientemente es de 25.6°C , y la

5 temperatura inicial del aire exterior T_{2ld} es de 18.7°C , correspondiendo por lo tanto, para un valor del parámetro α sustancialmente igual a 0,4, a un valor de la primera potencia calefactora P_1 igual a aproximadamente 1370 W.

Seguidamente se mide la temperatura ambiente dentro

10 del chalet T_{1l} cada diez segundos, para una parte en la vecindad de cada elemento entre el piso, el cielorraso, la pared, las dos superficies vidriadas, y por otra parte en el medio del volumen de aire. Para esta finalidad, se instalan varios sensores de temperatura, que en este

15 ejemplo son termocuplas de tipo K, en el ambiente interior del chalet, a saber una termocupla en la vecindad de cada elemento constructivo de una termocupla en el medio del volumen de aire a una altura de 110 cm.

La curva representativa de la evolución de la

20 temperatura interior T_{1l} en la vecindad de una superficie vidriada del chalet como una función del tiempo durante el primer período de tiempo D_1 se muestra en la Figura 2. Como puede observarse en esta Figura, la elevación de la curva de temperatura en la vecindad de la superficie

25 vidriada presenta una parte sustancialmente lineal a lo

largo del intervalo de tiempo Δt_1 . El ajuste de una ecuación a esta parte lineal de la curva permite obtener una pendiente a_1 de 4,79 K/h. Los valores para la pendiente a_1 para los diversos elementos se indican en la siguiente

5 Tabla 1.

La Figura 2 también ilustra la evolución de la temperatura del aire exterior T_{21} durante el primer período de tiempo D_1 . La temperatura del aire exterior T_{21} a lo largo del intervalo de tiempo Δt_1 es suficientemente

10 estable para que sea posible considerarla sustancialmente constante e igual a la temperatura promedio a lo largo del intervalo de tiempo Δt_1 , a saber en este ejemplo $T_{21m} = 18.1^\circ\text{C}$.

El caudal de flujo calórico a través de cada elemento

15 constructivo también se mide cada 10 segundos, con la ayuda de un medidor de flujo calórico de gradiente de tipo HFP01 comercializado por la compañía Hukseflux y posicionado en la cara inferior del elemento constructivo. A título de ejemplo, la curva representativa de la evolución del caudal

20 de flujo calórico q_1 a través de una superficie vidriada como una función del tiempo durante el primer período de tiempo D_1 se muestra en la Figura 3. Los valores de los caudales de flujo medianos q_{1m} a lo largo del intervalo de tiempo Δt_1 para los diversos elementos se indican en la

25 siguiente Tabla 1.

En una segunda etapa del método, que corresponde al segundo período de tiempo D_2 , se aplica la segunda potencia calefactora, sustancialmente cero, P_2 al chalet 1, a partir de una temperatura inicial $T_{12d} = 34.7^\circ\text{C}$, es decir, que las esteras de calefacción 2 no operan durante este segundo período D_2 . Lo mismo que en la primera etapa, seguidamente se mide la temperatura ambiente dentro del chalet T_{12} cada 10 segundos, por una parte en la vecindad de cada elemento de construcción de entre el piso, el cielorraso, la pared, las dos superficies vidriadas, y por otra parte en el medio del volumen de aire, con la ayuda de termocuplas de tipo K instalados en el aire ambiente del chalet, a saber una termocupla en la vecindad de cada elemento constructivo y una termocupla en el medio del volumen de aire una altura de 110 cm.

La Figura 2 muestra la curva representativa de la evolución de la temperatura interior T_{12} en la vecindad de una superficie vidriada del chalet como una función del tiempo durante el segundo período de tiempo D_2 . Como puede observarse en esta figura, la caída de la curva de temperatura en la vecindad de la superficie vidriada presenta una parte sustancialmente lineal a lo largo del intervalo de tiempo Δt_2 . El ajuste de una ecuación a esta parte lineal de la curva permite obtener una pendiente a_2 de $-5,58$ K/h. Los valores de la pendiente a_2 para los

diversos elementos se indican en la siguiente Tabla 1.

La evolución de la temperatura del aire exterior T_{22} durante el mismo periodo de tiempo D_2 también se muestra en la Figura 2. Lo mismo que en la primera etapa, la temperatura del aire exterior T_{22} a lo largo del intervalo de tiempo Δt_2 es suficientemente estable para que sea posible considerarla sustancialmente constante e igual a la temperatura promedio a lo largo del intervalo de tiempo Δt_2 , a saber en este ejemplo $T_{22m} = 17.1^\circ\text{C}$.

El caudal de flujo calórico a través de cada elemento constructivo también se mide cada 10 segundos, con la ayuda de un medidor de flujo calórico de gradiente de tipo HFP01 posicionado en la cara inferior del elemento constructivo. A título de ejemplo, la curva representativa de la evolución del caudal de flujo calórico q_2 a través de una superficie vidriada del chalet como una función del tiempo durante el segundo período de tiempo D_2 se muestra en la Figura 3. Los valores de los caudales de flujo medianos q_{2m} a lo largo del intervalo de tiempo Δt_2 para los diversos elementos se indican en la siguiente Tabla 1.

Dado que $U = \frac{a_1 q_2 - a_2 q_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}}$, y tomando $\Delta T_{1m} = 15.9^\circ\text{C}$, $\Delta T_{2m} = 7.8^\circ\text{C}$, $q_{1m} = 18,70 \text{ W/m}^2$, $q_{2m} = -3,90 \text{ W/m}^2$, obtenemos el valor de la transmitancia térmica U de las superficies vidriadas del chalet 1:

$$U = 0,68 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Los valores de la transmitancia térmica U para los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del chalet 1 han sido indicados en la siguiente Tabla 1.

5

Elemento	a_1 (K/h)	a_2 (K/h)	q_{1m} (W/m ²)	q_{2m} (W/m ²)	ΔT_{1m} (°C)	ΔT_{2m} (°C)	U (W/m ² K)
Superficies vidriadas	4,79	-5,58	18,70	-3,90	15,9	7,8	0,68
Pared (incluye puerta)	4,46	-5,42	21,97	-4,47	16,7	8,1	0,78
Piso	4,13	-4,21	7,82	0,25	13,3	8,0	0,38
Cielorraso	4,42	-5,75	6,66	5,28	16,8	8,1	0,46

Tabla 1

Por comparación, el valor calculado de acuerdo con la norma ISO Standard 6946:2007 de la transmitancia térmica U de la pared es de 0,70 W/m²K $\pm$ 0,13 W/m²K, y el del
10 cielorraso es de 0,43 W/m²K $\pm$ 0.07 W/m²K. Además, el valor provisto por el fabricante, calculado de acuerdo con la norma ISO Standard 10077:2012, de la transmitancia térmica U de las superficies vidriadas es de 0,70 W/m²K. Para el
15 piso hay demasiada incertidumbre para acceder a un valor calculado de la transmitancia térmica U de acuerdo con la norma ISO Standard 13370:2007.

En virtud de las mediciones llevadas a cabo durante los períodos de tiempo D_1 y D_2 , es también posible determinar el valor del coeficiente de pérdida calórica K del chalet 1. Dado que $K = \frac{a_1 P_2 - a_2 P_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}}$, considerando $a_1 =$

5 4,62 K/h, $a_2 = -5,37$ K/h, $\Delta T_{1m} = 16.6^\circ\text{C}$, $\Delta T_{2m} = 8.0^\circ\text{C}$, $P_1 = 1.370$ W, $P_2 = 5$ W, obtenemos el valor del coeficiente de pérdida calórica K del chalet 1:

$$K = 58,70 \text{ W/K.}$$

Es seguidamente posible representar el gráfico que
 10 muestra los aportes relativos de los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del ambiente a la pérdida calórica total del ambiente. Este gráfico, obtenido ponderando la transmitancia térmica U de cada elemento constructivo por su área de superficie lustrosa A ,
 15 se muestra en la Figura 4. El detalle para cada elemento constructivo se da en la siguiente Tabla 2.

Elemento	U (W/m ² K)	A (m ²)	K (W/K)
Superficies vidriadas	0,68	3,9	2,65
Pared (muro incluido)	0,78	37,6	29,3
Piso	0,38	13,5	5,1
Cielorraso	0,46	13,	6,2
Otros (filtraciones, puentes térmicos, etc.)	-	-	15,4

Tabla 2

La obtención de la distribución de las pérdidas entre los diversos elementos constructivos es una herramienta útil para una prescripción, en particular en un contexto de una renovación.

El método para el procesamiento de los datos descritos en lo que precede corresponde al caso en el que el modelo térmico utilizado es un modelo R-C simple con un resistor y un capacitor.

Como una variante, las curvas de evolución de la temperatura interior como una función del tiempo para cada elemento constructivo de la envuelta del chalet 1, a saber el piso, el cielorraso, la pared, el conjunto de las dos superficies vidriadas, han sido procesadas con un modelo 2R2C del chalet con dos resistores y dos capacitores, del cual se muestra un diagrama en la Figura 5.

En este modelo 2R2C, se considera que la región externa se halla a una temperatura exterior expuesta constante T_E , dos nodos T_P y T_I representan esquemáticamente las masas térmicas de las paredes y del aire interior, y tienen, cada uno de ellos, un valor de inercia asociado C_1 , C_2 , y hay dos resistores R_1 , R_2 colocados entre los nodos. Uno de los resistores, R_2 , colocado entre la región exterior y el nodo de las paredes, representa la resistencia de la pared, mientras que el otro resistor R_1 ,

colocado entre el nudo de las paredes y el nudo de la región interior, representa la resistencia de convección interior. En este caso, el coeficiente de pérdida calórica K es la inversa de la resistencia total, la suma de las dos resistencias de la red.

A título de ejemplo, la Figura 6 muestra el ajuste del modelo 2R2C arriba descrito a la evolución de la temperatura interior T_{ik} en la vecindad de una superficie vidriada como una función del tiempo t , mostrada en la Figura 2. Los valores de la transmitancia térmica U obtenidos para los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del chalet 1 en el caso en que el modelo térmico utilizado es un modelo 2R2C han sido consignados en la siguiente Tabla 3.

Elemento	U (W/m ² K)
Superficies vidriadas	0,68
Pared (incluye puerta)	0,78
Piso	0,56
Cielorraso	0,45

Tabla 3

Cabe observar que los valores de la transmitancia térmica U obtenidos con el modelo 2R2C son globalmente compatibles con los obtenidos con el modelo R-C simple;

determinadas disparidades pueden atribuirse a una mayor inexactitud del enfoque por medio del modelo 2R2C.

En la práctica, en el ejemplo precedente con el modelo R-C simple, las etapas de la selección de los intervalos de tiempo Δt_k para el procesamiento de los datos, de linealización, y del cálculo de U y K sobre la base de las pendientes a_k , se llevan a cabo de manera ventajosa mediante una unidad de cálculo electrónica.

La invención no se limita a los ejemplos arriba descritos.

En particular, el método de acuerdo con la invención puede implementarse con medios calefactores con los que el primer entorno está equipado de manera fija y/o con medios calefactores que son introducidos en el primer entorno especialmente para la implementación del método, siempre y cuando que la potencia provista por estos medios calefactores para los impulsos requeridos por el método pueda ser determinada con exactitud.

Por otra parte, en los ejemplos precedentes, el método para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared y el método para determinar el coeficiente de pérdida calórica de un ambiente se implementan con períodos de tiempo D_k correspondientes a distintos ajustes de potencia calefactora P_k . Por supuesto, como una variante, la

potencia calefactora puede variar durante uno (o más) de los periodos de tiempo D_k , con la condición de que asegure a lo largo del periodo D_k una potencia calefactora promedia P_k distinta de las potencias calefactores aplicadas a lo largo de los periodos de tiempo que lo rodean. En este caso, la potencia calefactora P_k considerada es la potencia calefactora promedia a lo largo del periodo de tiempo D_k .

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA TERMICA DE UNA PARED

La presente invención se refiere a un método y a un dispositivo para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared divisoria entre un primer entorno y un segundo entorno.

La invención puede aplicarse para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de cualquier tipo de pared divisoria entre dos entornos, especialmente una pared de un edificio, una pared de un vehículo, una pared de un horno, una pared de un tanque.

En particular, la invención puede aplicarse para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de un elemento de construcción perteneciente al envuelta de un ambiente o lugar de estar, tal como una pared, un piso, un techo, una ventana, una puerta, etc., en cuyo caso el elemento de construcción es una pared divisoria entre el interior y el exterior del ambiente.

En este contexto, el término "ambiente" tiene por finalidad referirse a cualquier espacio para vivir o de almacenamiento. En particular, puede tratarse de un espacio de vivienda o de almacenamiento fijos, tal como una casa o un edificio individuales, en particular para uso residencial o terciario, o de una parte de un edificio de este tipo, por ejemplo un apartamento en un edificio de

múltiples pisos, o también de otros objetivos, tal como una máquina, en particular en el sector electrodoméstico, un horno, una refrigeradora, etc. También puede tratarse de un espacio de vivienda o de almacenamiento transportable, tal como un vagón de tren, el habitáculo de un vehículo, la cabina de un camión o un espacio de almacenamiento en un camión, una cabina en un barco o el espacio de almacenamiento en un barco.

Dentro de los alcances de la invención, la expresión "cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared" designa cualquier cantidad que caracterice la capacidad de la pared de permitir el paso de un flujo de calor. En particular, dentro de los alcances del método y del dispositivo de acuerdo con la invención, es posible determinar como cantidades representativas de la resistencia térmica de la pared:

- la transmitancia térmica de la pared, designada U ;
- la resistencia térmica total de la pared, designada R_T ;
- la resistencia térmica de superficie a superficie de la pared, designada R .

La transmitancia térmica U de una pared se define como el cociente obtenido dividiendo el caudal de flujo calórico por área de superficie unitaria, en estado constante, por la diferencia de temperaturas entre los entornos situados a ambos lados de la pared. La

transmitancia térmica U está dada por la siguiente relación:

$$U = \frac{q}{(T_1 - T_2)},$$

donde q es la densidad del caudal de flujo calórico a través de la pared, T_1 es la temperatura en el entorno situado en un primer lado de la pared, T_2 es la temperatura en el entorno situado en un segundo lado de la pared.

La resistencia térmica total R_T de la pared es tal que $R_T = \frac{1}{U} = R_{s1} + R + R_{s2}$, donde $R = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{q}$ es la resistencia

térmica de superficie a superficie de la pared, siendo T_{s1} la temperatura de superficie del primer lado de la pared y T_{s2} la temperatura de superficie del segundo lado de la pared, R_{s1} es la resistencia térmica de superficie del primer lado de la pared, R_{s2} es la resistencia térmica de superficie del segundo lado de la pared.

La determinación de la transmitancia térmica U de los elementos constructivos constituyentes de la envuelta de un ambiente es útil, en particular, para llevar a cabo un diagnóstico de la aislación térmica del ambiente, tanto si se trata de un ambiente antiguo como de uno nuevo. En particular, cuando se considere el reacondicionamiento de un ambiente, permite especificar las mediciones que deben llevarse a cabo para mejorar la performance térmica.

Se conoce la determinación de la transmitancia térmica U de un elemento de construcción que forma parte de la

envuelta de un ambiente de acuerdo con un método quasi-estático definido por la norma ISO standard 9869:1994, denominado "Heat Flow Meter Method (Método de la Medición del Flujo Calórico)". Este método implica mediciones efectuadas *in situ*, por una parte, del caudal del flujo calórico a través de elementos constructivos con ayuda de por lo menos un medidor de flujo calórico montado sobre una superficie del elemento que es adyacente a la temperatura más estable y, por otra parte, de la temperatura reinante dentro del ambiente y de la temperatura reinante fuera del ambiente en la vecindad del medidor de flujo calórico. Las mediciones del caudal de flujo calórico y de la temperatura se llevan a cabo durante un intervalo de tiempo que puede variar entre tres días como mínimo y varias semanas; la duración de las mediciones depende, en particular, de la naturaleza del elemento constructivo, de las fluctuaciones de las temperaturas interior y exterior, y del método utilizado para el análisis de los datos. Un inconveniente importante de este método es la duración requerida para su implementación.

La invención tiene por finalidad más particular subsanar estos inconvenientes por el hecho de proponer un método y un dispositivo que posibiliten determinar rápidamente una cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared divisoria entre un primer entorno y un

segundo entorno, en particular a lo largo de un período igual a una sola noche o aún de unas pocas horas, cualquiera sea el tipo de pared, ello con un costo moderado y con una exactitud razonable, pudiendo la pared en
5 cuestión ser por ejemplo un elemento constructivo perteneciente al envuelta de un ambiente.

Para esta finalidad, uno de los objetos de la invención consiste en un método para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de una
10 pared divisoria entre un primer entorno y un segundo entorno, caracterizado porque comprende etapas en las que:

- a lo largo de por lo menos dos períodos de tiempo sucesivos D_k correspondientes a potencias calefactoras distintas P_k del primer entorno, se lleva a cabo una sesión
15 de mediciones del caudal de flujo calórico a través de la pared q_k y de la temperatura reinante en el primer entorno T_{1k} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, como también la determinación de la temperatura reinante en el segundo entorno T_{2k} a intervalos de tiempo
20 estrechamente separados entre sí;

- se determina el valor de una cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared haciendo converger: por una parte, un modelo térmico que expresa la variación temporal de la temperatura en un entorno separado con
25 respecto a otro entorno por medio de una pared, como una

función del caudal de flujo calórico a través de la pared, de la temperatura reinante en el otro entorno y de los parámetros físicos de la pared, sobre la base de lo cual es posible calcular la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared; y, por otra parte, la evolución medida $T_{lk}(t)$ de la temperatura reinante en el primer entorno como una función del tiempo.

Dentro de los alcances de la invención, el hecho de hacer converger el modelo térmico y la evolución medida $T_{lk}(t)$ significa que el valor de los parámetros físicos de la pared que se utilizan en el modelo térmico es ajustado de manera tal de minimizar la diferencia, por lo menos a lo largo de un intervalo de tiempo incluido en cada período de tiempo D_k , entre la evolución temporal de la temperatura reinante en el primer entorno calculada sobre la base del modelo térmico y la evolución temporal de la temperatura realmente medida en el primer entorno $T_{lk}(t)$. Por lo tanto, es posible efectuar el ajuste a lo largo de la totalidad de cada período de tiempo D_k , o a lo largo de uno o más intervalos de tiempo incluidos en cada período de tiempo D_k .

A título de ejemplo, en el caso en que el modelo térmico es un modelo R-C simple con un resistor y un capacitor y en donde, para cada período de tiempo D_k , existe un intervalo de tiempo Δt_k para el que la evolución

medida $T_{lk}(t)$ de la temperatura reinante en el primer entorno como una función del tiempo es sustancialmente lineal, el modelo R-C simple y la evolución medida $T_{lk}(t)$ se hacen converger a lo largo de los intervalos Δt_k de la siguiente manera: para cada período de tiempo D_k , la pendiente a_k de la tangente con respecto a la curva $T_{lk}(t)$ se determina a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k , y se determina el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared sobre la base de los valores de la pendiente a_k y de los valores del caudal mediano del flujo calórico a través de la pared q_{km} considerados a lo largo del período de tiempo D_k o, lo que es preferible, considerados a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k .

De acuerdo con otro ejemplo, en el caso en que el modelo térmico es un modelo R-C más complejo, tal como un denominado modelo "2R2C" con dos resistores y dos capacitores, o también en el caso de un denominado modelo "3R2C" con tres resistores y dos capacitores, el modelo R-C más complejo y la evolución medida $T_{lk}(t)$ se hacen converger ajustando el valor de los parámetros físicos de la pared utilizados en el modelo de manera de minimizar la diferencia, a lo largo de la totalidad de los períodos de tiempo D_k , entre la evolución temporal de la temperatura reinante en el primer entorno calculada sobre la base del

modelo R-C más complejo y la evolución temporal de la temperatura realmente medida en el primer entorno $T_{1k}(t)$.

En la práctica, los datos ingresados son introducidos en el modelo térmico, tales como las dimensiones de la pared, el caudal de flujo calórico a través de la pared q_k medido a lo largo de cada periodo de tiempo D_k , la temperatura reinante en el segundo entorno T_{2k} determinada a lo largo de cada período de tiempo D_k .

Los ejemplos de parámetros físicos de la pared que pueden potencialmente intervenir en el modelo térmico y que pueden ajustarse de manera de hacer converger el modelo térmico y la evolución medida $T_{1k}(t)$ comprenden, en particular, la conductividad térmica de la pared, la capacidad térmica de la pared, el espesor de la pared, el coeficiente de intercambio convectivo-radiativo h_i entre la pared y el primer entorno.

La invención permite determinar *in situ* la resistencia térmica de la pared. El principio subyacente de la invención consiste en utilizar las variaciones transitorias de la temperatura reinante en el primer entorno cuando el primer entorno es sometido a impulsos internos controlados y en alrededores exteriores medidos. El análisis cuantitativo de la variación de la temperatura reinante en el primer entorno permite determinar de manera cuantitativa la eficiencia energética de la pared a lo largo de un

período breve, que se extiende a lo largo de unas pocas horas, limitándose al mismo tiempo el número de parámetros capaces de influir sobre el comportamiento térmico de la pared y de los entornos primero y segundo. En particular,
 5 en el caso de la determinación de la resistencia térmica de un elemento constructivo perteneciente a la envuelta de un ambiente, la brevedad de las mediciones permite eludir la influencia de las condiciones de uso del ambiente y de las variaciones de las condiciones climáticas externas.

10 Es preferible que la variación de la temperatura reinante en el primer entorno sea analizada en la vecindad de la pared de la cual ha de determinarse una cantidad representativa de su resistencia térmica.

Dentro de los alcances de la invención, mediante la
 15 expresión "potencia calefactora del primer entorno" se designa cualquier condición operativa que genere una variación de la temperatura reinante en el primer entorno, para condiciones de temperatura dadas en el segundo entorno. Se da por entendido que la potencia calefactora
 20 puede ser positiva, cero o negativa. Una potencia calefactora positiva corresponde a un suministro de calor en el primer entorno, mientras que una potencia calefactora negativa corresponde a un suministro de frío en el primer entorno.

25 Los períodos de tiempo D_k pueden ser sea disjuntos, o

inmediatamente consecutivos entre sí. En este último caso, puede considerarse que el método se lleva a cabo en su totalidad a lo largo de un período de tiempo continuo, formado por la sucesión de los períodos de tiempo D_k .

5 Es preferible que el método sea implementado con dos períodos de tiempo D_1 y D_2 correspondientes a dos ajustes distintos de potencias calefactoras P_1 y P_2 del primer entorno.

10 De una manera ventajosa, con el objeto de limitar el tiempo de implementación del método y de reducir al mismo tiempo una contribución de la radiación solar, el método se lleva a cabo en su totalidad de manera continua a lo largo de un único período nocturno.

15 De acuerdo con un aspecto de la invención, las mediciones del flujo calórico a través de la pared q_k se llevan a cabo con la ayuda de por lo menos un sensor de flujo calórico posicionado sobre una cara de la pared. El sensor de flujo calórico puede ser un medidor de flujo calórico o un calorímetro.

20 De una manera ventajosa, el sensor de flujo calórico es un medidor de flujo calórico compatible con la norma ISO 9869:1994, en particular un medidor de flujo calórico de gradiente.

25 De acuerdo con uno de los aspectos de la invención, se toma en cuenta la resistencia al flujo debida al medidor de

flujo calórico y se aplica una corrección al caudal de flujo calórico medido, de manera de obtener un caudal de flujo calórico referido a solamente la pared cuya resistencia térmica ha de determinarse. Esto es especialmente importante con paredes de baja resistencia térmica, tales como superficies vidriadas simples.

De una manera ventajosa, las mediciones de la temperatura reinante en el primer entorno T_{lk} se llevan a cabo con ayuda de por lo menos un sensor de temperatura que está posicionado en el primer entorno en la vecindad del sensor de flujo calórico. Es preferible que el posicionamiento del o de los sensores de temperatura en el primer entorno se lleve a cabo de acuerdo con el párrafo 6.1.3 de la norma ISO standard 9869:1994.

De acuerdo con uno de los aspectos de la invención, las mediciones de la temperatura reinante en el primer entorno T_{lk} se llevan a cabo con ayuda de por lo menos un sensor de temperatura ambiente capaz de medir la temperatura del aire en el primer entorno. En tal caso es posible acceder directamente a la transmitancia térmica U de la pared o a la resistencia térmica total R_T de la pared. Los ejemplos de sensores de temperatura ambiente que pueden utilizarse dentro de los alcances de la invención comprenden, en particular, termocuplas, por ejemplo termocuplas de Tipo K o de Tipo T, termómetros de

resistencia, por ejemplo sensores Pt100. Tales sensores de temperatura ambiente se posicionan en el volumen de aire del primer entorno.

De acuerdo con uno de los aspectos de la invención,
5 las mediciones de la temperatura reinante en primer entorno T_{lk} se llevan a cabo con ayuda de por lo menos un sensor de temperatura de superficie capaz de medir la temperatura de superficie de la pared en el primer entorno. En tal caso es posible acceder directamente a la resistencia térmica de
10 superficie a superficie R de la pared. Los ejemplos de sensores de temperatura de superficie que pueden utilizarse dentro de los alcances de la invención comprenden en particular termocuplas delgadas o termómetros de resistencia planos, que se posicionan sobre la superficie
15 de la pared en el primer entorno; o cámaras infrarrojas, que se posicionan de manera de estar orientadas hacia la superficie de la pared en el primer entorno.

El modelo térmico utilizado para determinar el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de
20 la pared puede ser de cualquier tipo conocido de la persona experta en la especialidad. Puede tratarse en especial de un modelo R-C con un número adecuado de resistores y capacitores.

Es preferible que el modelo térmico utilizado para
25 determinar el valor de la cantidad representativa de la

resistencia de la pared sea un modelo R-C simple con un resistor y un capacitor.

De acuerdo con una variante, el modelo térmico utilizado para determinar el valor de la cantidad representativa de la resistencia de la pared puede ser un denominador modelo R-C "2R2C" con dos resistores y dos capacitores, o también un denominador modelo R-C "3R2C" con tres resistores y dos capacitores.

En una forma de realización ventajosa, el modelo térmico utilizado para determinar el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared es un modelo R-C simple con un resistor y un capacitor y, para cada período de tiempo D_k , existe un intervalo de tiempo Δ_k para el que la evolución medida $T_{lk}(t)$ de la temperatura reinante en el primer entorno como una función del tiempo es sustancialmente lineal. En tal caso se hacen converger el modelo R-C y la evolución medida $T_{lk}(t)$ de la siguiente manera: para cada período de tiempo D_k , se determina la pendiente a_k de la tangente a la curva $T_{lk}(t)$ a lo largo del intervalo de tiempo Δ_k , y seguidamente se determina el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared sobre la base de los valores de la pendiente a_k y de los valores del caudal mediano de flujo calórico a través de la pared q_{km} considerados a lo largo del período de tiempo D_k o, lo que es preferible,

considerados a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k .

Por supuesto, el método de acuerdo con la invención no requiere necesariamente implementar una representación gráfica de la evolución $T_{ik}(t)$.

5 En particular, a lo largo de cada intervalo de tiempo Δt_k , la pendiente a_k de la tangente a la curva $T_{ik}(t)$ es igual a la derivada de la evolución $T_{ik}(t)$ a lo largo del intervalo Δt_k . Por lo tanto, dentro de los alcances de la invención, la etapa de la determinación de la pendiente a_k
 10 de la tangente a la curva $T_{ik}(t)$ a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k puede llevarse a cabo calculando la derivada de la evolución $T_{ik}(t)$ a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k , sin recurrir a una representación gráfica de la evolución $T_{ik}(t)$.

15 Las etapas de cálculo del método, en particular para la determinación de las pendientes a_k , pueden llevarse a cabo con ayuda de cualquier medio de cálculo adecuado. Puede tratarse en especial de una unidad de cálculo electrónica que esté conectado a un sistema de adquisición
 20 para adquirir las mediciones requeridas por el método y que comprenden medios de cálculo para ejecutar la totalidad o parte de las etapas de cálculo del método sobre la base de las mediciones requeridas.

Dentro de los alcances de la invención, y de acuerdo
 25 con el principio explicado en la Solicitud de Patente WO

2012/028829 A1, se utiliza un modelo R-C simple para describir un ambiente, con dos nodos de temperatura homogéneos, uno dentro del ambiente y el otro fuera del ambiente, que están separados por un resistor que representa el coeficiente de pérdida global de calor K del ambiente y que describe la pérdida por transmisión e infiltración a través de la envuelta del ambiente. El nodo de temperatura dentro del ambiente está vinculado a un capacitor que representa la masa térmica o la capacidad térmica efectiva C del ambiente. La potencia introducida en el ambiente es compensada por la pérdida calórica a través de la envuelta y el calor almacenado en la estructura de la envuelta representándose esto mediante la siguiente ecuación:

$$P = K(T_1 - T_2) + C \frac{dT_1}{dt},$$

donde P es la potencia total introducida en los ambiente, T_1 y T_2 son respectivamente la temperatura dentro del ambiente y la temperatura externa, K es el coeficiente de pérdida global calórica del ambiente y C es la capacidad calórica efectiva del ambiente.

Se supone que la respuesta de temperatura del ambiente es una exponencial de decrecimiento simple y que su constante de tiempo es el producto del coeficiente global de pérdida calórica K y de la capacidad calórica efectiva C

del ambiente. En realidad, la respuesta térmica del ambiente es más compleja y es la superposición de un número grande de exponentes decrecientes, pero mediante la realización de un test a lo largo de un período
 5 suficientemente prolongado, solamente la constante de tiempo más grande desempeña un papel y el método anteriormente descrito es válido.

Mediante la aplicación de dos potencias calefactora P_1 y P_2 del ambiente, de diferentes valores, a lo largo de dos
 10 períodos de tiempo D_1 y D_2 , es seguidamente posible determinar el coeficiente global de pérdida calórica K del ambiente de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{a_1 P_2 - a_2 P_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}},$$

donde $(a_k)_{k=1 \text{ ó } 2}$ es la pendiente a lo largo del intervalo
 15 de tiempo Δt_k de la tangente a la curva de evolución de la temperatura dentro del ambiente $T_{ik}(t)$, y $(\Delta T_{km})_{k=1 \text{ ó } 2}$ es la diferencia entre la temperatura promedia dentro del ambiente y la temperatura promedio fuera del ambiente a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k .

De acuerdo con la presente invención, por analogía, es
 20 posible determinar la transmitancia térmica U de una pared divisoria entre un primer entorno y un segundo entorno de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$U = \frac{a_1 q_2 - a_2 q_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}},$$

donde $(a_k)_{k=1 \text{ ó } 2}$ es la pendiente a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k de la tangente a la curva de evolución de la temperatura reinante en el primer entorno $T_{1k}(t)$, $(\Delta T_{km})_{k=1 \text{ ó } 2}$ es la diferencia entre la temperatura promedio en el primer entorno y la temperatura promedio en el segundo entorno a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k , y $(q_k)_{k=1 \text{ ó } 2}$ es el caudal mediano de flujo calórico a través de la pared considerado a lo largo del período de tiempo D_k o, preferentemente y para una mayor exactitud, considerado a lo largo del intervalo de tiempo Δt_k .

De acuerdo con una forma de realización, el método comprende etapas en las que:

- se llevan a cabo, a lo largo de dos periodos de tiempo sucesivos D_1 y D_2 :

i.a lo largo del primer periodo de tiempo, D_1 , la aplicación de una primera potencia calefactora P_1 del primer entorno, y una sesión de mediciones del caudal de flujo calórico a través de la pared q_1 y de la temperatura reinante en el primer entorno T_{11} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, como también la determinación de la temperatura reinante en el segundo entorno T_{21} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, siendo la primera potencia calefactora P_1 tal que el parámetro $\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ es igual o igual a 0,8, siendo

$\Delta T_1(0) = T_{11}(t=0) - T_{2m}$, donde $t=0$ es el punto inicial del primer periodo de tiempo D_1 , T_{2m} es la temperatura promedio

en el segundo entorno a lo largo de la totalidad de los periodos de tiempo D_1 y D_2 , y K_{ref} es un valor de referencia del coeficiente de pérdida calorica K del primer entorno, y seguidamente:

5 ii.a lo largo del segundo periodo de tiempo D_2 , la aplicación de una segunda potencia calefactora, sustancialmente cero, P_2 del primer entorno, y una sesión de mediciones del caudal de flujo calórico a través de la pared q_2 y de la temperatura reinante en el primer entorno
10 T_{12} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, como también la determinación de la temperatura reinante en el segundo entorno T_{22} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí;

 - se determina el valor de la cantidad representativa
15 de la resistencia térmica de la pared poniendo en convergencia; por una parte, un modelo térmico que expresa la variación temporal de la temperatura en un entorno separado de otro entorno por una pared, como una función del caudal de flujo calórico a través de la pared, de la
20 temperatura reinante en el otro entorno y de los parámetros físicos de la pared, sobre cuya base puede calcularse la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared; y por otra parte, la evolución medida $T_{1k}(t)$ de la temperatura reinante en el primer entorno como una función
25 del tiempo.

En esta forma de realización, se selecciona una carga térmica específica del primer entorno, lo que permite acceder al valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared con una buena exactitud y a lo largo de un tiempo reducido, siendo esta carga térmica específica la aplicación de una primera potencia calefactora estrictamente positiva o estrictamente negativa P_1 adecuada para generar una evolución forzada de la temperatura reinante en el primer entorno, seguida por la aplicación de una segunda potencia calefactora sustancialmente cero P_2 que permite la libre evolución de la temperatura reinante en el primer entorno.

Es preferible que la primera potencia calefactora P_1 sea tal que el parámetro $\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ sea mayor que o igual a 0,25, más preferentemente mayor que o igual a 0,3. De hecho, para entornos bien aislados, cuando el parámetro α es inferior a 0,25 o a 0,3, la sensibilidad de los sensores de medición convencionales no permite obtener datos satisfactorios relacionados con la evolución de la temperatura reinante en el primer entorno T_{11} a lo largo del primer período de tiempo D_1 , resultando un incremento en la incertidumbre del valor de los coeficientes U , R o K determinados de acuerdo con la invención.

La determinación del valor de la primera potencia calefactora P_1 que debe aplicarse a lo largo del primer período de tiempo D_1 a efectos de satisfacer los criterios

relacionados con el parámetro α hace que sea necesario conocer un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica K del primer entorno.

Un primer método para acceder a un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida térmica K del primer entorno es la utilización de una cantidad que surge de un análisis térmico del primer entorno. En particular, cuando el primer entorno es el interior de un ambiente, el valor de referencia K_{ref} del ambiente puede obtenerse sobre la base del coeficiente de transmisión o de la transferencia térmica de la envuelta del ambiente. Es preferible que el coeficiente de transferencia calórica H de la encuesta del ambiente se determine utilizando la norma ISO Standard 13789:2007, "Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation heat transfer coefficients - Calculation method (Performance térmica de edificios- Coeficientes de transmisión y de ventilación de transferencia térmica- Método de cálculo)", y seguidamente se determina el valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica mediante la siguiente relación:

$$K_{ref} = H_T + H_V,$$

donde H_T es el coeficiente de transmisión de transferencia calórica y H_V es el coeficiente de ventilación de transferencia calórica. Es preferible que el coeficiente de transferencia calórica de la envuelta del ambiente se

determine de acuerdo con la norma ISO Standard 13789:2007 en ausencia de ventilación en el ambiente. Como variante, la ventilación puede estar activa en el ambiente, caso éste en el que será necesario medir o estimar el caudal del flujo de ventilación.

La utilización de la norma ISO Standard 13789:2007 es un método preferido para acceder a un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica K . Sin embargo, también pueden considerarse otros métodos, en particular cuando no se dispone de la totalidad de la información necesaria para aplicar la norma ISO Standard 13789:2007.

Un segundo método para acceder a un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica K del primer entorno en el caso del interior de un ambiente consiste en someter el ambiente a un test quasi-estático, tal como un test de "cocalefacción".

La "cocalefacción" es un método quasi-estático cuyo objetivo consiste en medir la pérdida calórica total de un ambiente no ocupado. Un test de "cocalefacción" implica calefaccionar el ambiente durante varios días, por lo general durante de una a tres semanas, a una temperatura constante y homogénea, mediante radiadores eléctricos acoplados a ventiladores y conectados a un sistema de regulación. La temperatura ajustada debe ser lo

suficientemente elevada, del orden de 25°C, de manera de tener una diferencia de temperatura entre el interior del ambiente y el exterior, de por lo menos 10°C. Cuando se llegue a la saturación, es decir cuando se ha alcanzado un estado quasi-estático, se miden la potencia P necesaria para mantener el ambiente a una temperatura de 25°C, la temperatura interior T_{int} y la temperatura exterior T_{ext} . En particular, la temperatura interior T_{int} puede medirse con ayuda de termocuplas o termistores, pudiéndose medir la temperatura exterior T_{ext} en virtud de una estación meteorológica. El procesamiento de los datos hace que sea seguidamente posible obtener un valor K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica.

Dicho con más precisión, el procedimiento es como sigue:

Para empezar, tiene lugar un primer test de presurización, que permite medir las pérdidas debidas a ventilación y a infiltraciones.

Seguidamente se cierran las aberturas tales como las chimeneas o los venteos, de manera que las pérdidas relacionadas con la ventilación ya no sean más accesibles a la medición.

Seguidamente se calefacciona el ambiente eléctricamente y de una manera homogénea, hasta llegar a una temperatura ajustada del orden de los 25 °C.

A continuación se miden la potencia P , la temperatura interior T_{int} y la temperatura exterior T_{ext} . El procesamiento de estas mediciones permite acceder a las pérdidas por transmisión y por infiltración.

5 Finalmente se lleva a cabo un segundo test de presurización, de manera de determinar las pérdidas calóricas debidas a las infiltraciones solamente, manteniéndose cerradas las aberturas del ambiente.

10 Para el procesamiento de las mediciones, se determinan cada día, a lo largo de 24 horas, el promedio de la potencia necesaria para mantener el ambiente a la temperatura ajustada y el promedio de la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior. Estos datos promediados son seguidamente representados en un gráfico
15 que indica la potencia como una función de la diferencia de temperaturas. Debe efectuarse una corrección debido a la radiación solar que también interviene en la calefacción del ambiente. La pendiente de la línea recta que pasa por el origen se obtiene por regresión lineal; corresponde al
20 coeficiente de pérdida calórica K_{ref} .

Este método de la "cocalefacción" es de una implementación relativamente sencilla y provee directamente un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica K del ambiente. De acuerdo con una variante
25 ventajosa, para ambientes con muy baja inercia térmica, es

posible llevar a cabo los tests de "cocalefacción" de noche, en cuyo caso no es necesario efectuar correcciones debidas a las contribuciones solares.

Un tercer método para acceder a un valor de referencia K_{ref} del coeficiente de pérdida calórica K del primer entorno en el caso del interior de un ambiente consiste en la utilización de una cantidad que surge de un estudio del consumo energético del ambiente. En particular, el valor de referencia K_{ref} puede determinarse como la relación entre la energía consumida por el ambiente a lo largo de un periodo de tiempo dado y el producto de la duración del periodo de tiempo dado y de la diferencia promedio de temperaturas entre el interior y el exterior del ambiente a lo largo del período de tiempo dado.

Cuando el modelo térmico utilizado para determinar el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared es un modelo R-C para un resistor y un capacitor, para cada uno de los períodos de tiempo primero y segundo D_1 y D_2 , se selecciona un intervalo de tiempo Δt_1 o Δt_2 para el que la evolución $T_{i1}(t)$ o $T_{i2}(t)$ es sustancialmente lineal, en donde los intervalos de tiempo Δt_1 y Δt_2 son tales que el intervalo de tiempo Δt_1 se extiende hasta el final del primer periodo D_1 de aplicación de la primera potencia calefactora P_1 y de manera tal que, cuando los puntos de partida del primer

periodo D_1 y del segundo período D_2 están superpuestos, los intervalos de tiempo Δt_1 y Δt_2 tienen el mismo punto final; la pendiente a_1 o a_2 de la tangente a la curva $(T_{1k}(t))_{k=1 \text{ ó } 2}$ se determina a lo largo de cada intervalo de tiempo Δt_1 o Δt_2 ; y se deduce el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared sobre la base de los valores de la pendiente a_1 , a_2 y de los valores del caudal mediano de flujo calórico a través de la pared q_{1m} , q_{2m} . Cada valor del caudal mediano de flujo calórico a través de la pared q_{km} puede tomarse a lo largo del correspondiente período de tiempo D_k o, lo que es preferible para su exactitud, puede tomar sólo por sobre el correspondiente intervalo de tiempo Δt_k .

Es preferible que los intervalos de tiempo Δt_1 y Δt_2 tengan la misma duración.

De una manera ventajosa, para cada período de tiempo D_k , la potencia calefactora P_k del primer entorno comprende una potencia calefactora P_{impk} impuesta mediante una fuente de potencia controlada.

La fuente de potencia controlada para la calefacción del primer entorno puede ser un ítem fijo de equipamiento del primer entorno, es decir un medio calefactor instalado en el primer entorno independientemente de la implementación del método, con la condición de que este medio calefactor tenga una baja inercia y pueda ser

ajustado de manera de asegurar una calefacción rápida del primer entorno. En particular, puede ser una bomba calórica cuyo coeficiente de performance (COP, coefficient of performance) sea conocida.

5 Como una variante, la fuente de potencia controlada para la calefacción del primer entorno puede ser una fuente introducida en el primer entorno especialmente para la implementación del método.

10 De acuerdo con otra variante, la calefacción del primer entorno en cada período de tiempo puede implementarse utilizando una combinación de por lo menos un elemento calefactor provisto de manera fija en el primer entorno, independientemente de la implementación del método, y por lo menos un elemento calefactor introducido
15 en el primer entorno especialmente para la implementación del método.

20 Los elementos calefactores del primer entorno pueden ser de tipo convectivo, conductivo o radiativo, o combinar varias de estas tecnologías. Es preferible que los elementos calefactores sean artefactos eléctricos, con lo cual es posible determinar su potencia calefactora de una marea directa y exacta. Los ejemplos de artefactos calefactores eléctricos comprenden en particular artefactos de tipo convectivo que implican el soplado de aire
25 calefaccionado mediante resistores eléctricos; esteras o

películas calefactoras, calefactores radiantes de tipo parasol. Como una variante, los elementos calefactores pueden ser artefactos operados por gas o fuel oil, con la condición de que las eficiencias de los quemadores y los caudales de flujo del combustible pueden estimarse de una manera suficientemente exacta para acceder a la potencia calefactora.

En una forma de realización ventajosa, los elementos calefactores del primer entorno son esteras calefactoras eléctricas que son distribuidas en el primer entorno mediante su posicionamiento vertical y enrollado, de manera tal que la totalidad de la potencia térmica es disipada en el aire en el primer entorno. Esta disposición permite una calefacción rápida y homogénea del primer entorno, con lo que se asegura que la temperatura ambiente sea suficientemente cercana a la temperatura de la superficie de la pared en el lado del primer entorno. De acuerdo con una variante, los elementos calefactores del primer entorno son convectores eléctricos pequeños distribuidos en el primer entorno .

Si se implementa el método de la invención con un primer entorno que comprende particiones internas que delimitan varios espacios o regiones del primer entorno, es posible medir la temperatura en varios espacios o áreas del primer entorno, y la temperatura reinante en el primer

entorno en cada instante t puede considerarse como el promedio de las mediciones de temperatura obtenidas en el instante t en los diferentes espacios o regiones del primer entorno, cada uno de ellos ponderado por el volumen del espacio o región.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se mide la potencia calefactora suministrada en el primer entorno utilizando por lo menos un sensor de potencia. El sensor de potencia, o cada sensor de potencia, puede ser un sensor de voltaje (voltímetro) y/o un sensor de corriente (amperímetro). Es preferible que el sensor de potencia, o cada sensor de potencia sea un potenciómetro, provisto tanto con un sensor de voltaje como con un sensor de corriente. Esto permite una medición exacta de la potencia en el primer entorno, evitándose al mismo tiempo fluctuaciones potenciales en el voltaje de la red o la determinación de la resistencia del elemento calefactor o de cada elemento calefactor.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se implementa el método de manera de determinar, sobre la base de una y la misma carga térmica del primer entorno, la transmitancia térmica U de varios elementos constructivos pertenecientes al envuelta de uno y el mismo ambiente, donde cada elemento de construcción es un muro divisorio entre un primer entorno que es el interior del ambiente y

un segundo entorno que es el exterior del ambiente. De una manera ventajosa, seguidamente se llevan a cabo las sesiones de mediciones del caudal de flujo calórico q_k a través de los diversos elementos constructivos y de la temperatura interior T_{ik} a lo largo de los mismos períodos de tiempo D_k para la totalidad de los elementos de construcción de la envuelta, correspondientes a las mismas potencias calefactoras distintas P_k del ambiente. Es por lo tanto posible acceder a las transmitancias térmicas U de los diversos elementos constitutivos constituyentes de la envuelta de un ambiente durante uno y el mismo test. La obtención de las transmitancias térmicas U de los diversos elementos constitutivos constituyentes de la envuelta de un ambiente es útil, en particular, para llevar a cabo un diagnóstico de la aislación térmica del ambiente.

De acuerdo con un aspecto ventajoso, también se determina el coeficiente global de pérdida calórica K del ambiente. Esto permite acceder a los aportes relativos entre los diversos elementos constructivos de la envuelta del ambiente a la pérdida calórica total del ambiente, y por lo tanto seleccionar las medidas que deberían emprenderse para mejorar la performance térmica.

En una forma de realización, se determina el coeficiente global de pérdida calórica K del ambiente de la siguiente manera:

- se lleva a cabo, sobre cada uno de dichos períodos de tiempo D_k , una sesión de mediciones de por lo menos una temperatura dentro del ambiente a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí y la determinación de la temperatura del aire exterior a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí;

- se determina el valor del coeficiente de pérdida calórica K del ambiente haciendo converger:

o un modelo térmico que expresa la variación temporal de la temperatura dentro de un ambiente como una función de la potencia calefactora aplicada en el ambiente, de la temperatura del aire exterior y de los parámetros físicos del ambiente, sobre la base de lo cual es posible calcular el coeficiente de pérdida calórica del ambiente, por una parte,

y

o la evolución medida de la temperatura dentro del ambiente como una función del tiempo, por otra parte.

De una manera ventajosa, las sesiones de mediciones del caudal de flujo calórico q_k a través de los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del ambiente y de la temperatura interior del ambiente T_{ik} se efectúan a lo largo de los mismos períodos de tiempo D_k , correspondientes a las mismas potencias calefactoras distintas P_k del ambiente. Es por lo tanto posible acceder

durante uno y el mismo test, es decir sobre la base de una y la misma carga térmica del primer entorno que es el interior del ambiente, al mismo tiempo a las transmitancias térmicas U de los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del ambiente y al coeficiente global de pérdida calórica K del ambiente.

Como se describió en lo que precede, la invención propone imponer potencias calefactoras distintas P_k del primer entorno durante por lo menos dos períodos de tiempo sucesivos D_k y medir para cada período de tiempo D_k la evolución temporal de la temperatura reinante en el primer entorno $T_{1k}(t)$.

Como una variante, también es posible imponer distintas temperaturas T_{1k} en el primer entorno durante por lo menos dos períodos de tiempo sucesivos D_k y medir para cada período de tiempo D_k la evolución temporal de la potencia en el primer entorno $P_k(t)$.

De acuerdo con esta variante, un objeto de la invención consiste en un método para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared divisoria entre un primer entorno y un segundo entorno, que comprende las siguientes etapas:

- durante por lo menos dos períodos de tiempo sucesivos D_k correspondientes a temperaturas distintas T_{1k} aplicadas en el primer entorno, se lleva a cabo una sesión

de mediciones del caudal de flujo calórico a través de la pared q_k y de la potencia en el primer entorno P_k a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, como también la determinación de la temperatura reinante en el
 5 segundo entorno T_{2k} a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí;

- se determina el valor de la cantidad representativa de la resistencia térmica de la pared haciendo converger: por una parte, un modelo térmico que expresa la variación
 10 temporal de la potencia en un entorno separado de otro entorno por una pared, como una función del caudal de flujo calórico a través de la pared, de la temperatura reinante en el otro entorno y de los parámetros físicos de la pared, sobre cuya base es posible calcular la cantidad
 15 representativa de la resistencia térmica de la pared; y, por otra parte, la evolución medida $P_k(t)$ de la potencia en el primer entorno como una función del tiempo.

Es preferible que el método sea implementado con dos períodos de tiempo sucesivos D_1 y D_2 correspondientes a
 20 dos temperaturas ajustadas distintas T_{11} y T_{12} aplicadas en el primer entorno.

Otro aspecto de la invención, que puede considerarse independientemente de la determinación de una cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared
 25 divisoria entre un primer entorno y un segundo entorno,

consiste en un método para determinar el coeficiente global de pérdida calórica K de un ambiente, que comprende las siguientes etapas:

- durante por lo menos dos períodos de tiempo sucesivos D_k correspondiente a temperaturas distintas T_{ik} aplicadas en el ambiente, se lleva a cabo una sesión de mediciones de la potencia en el ambiente P_k a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí, como también la determinación de la temperatura del aire exterior a intervalos de tiempo estrechamente separados entre sí;

- se determina el coeficiente de pérdida calórica K del ambiente haciendo converger: por una parte, un modelo térmico que exprese la variación temporal de la potencia en un ambiente como una función de la temperatura aplicada en el ambiente, de la temperatura del aire exterior y de los parámetros físicos del ambiente, sobre la base de lo cual es posible calcular el coeficiente de pérdida calórica del ambiente; y, por otra parte, la evolución medida $P_k(t)$ de la potencia en el ambiente como una función del tiempo.

Es preferible que se implemente el método con dos períodos de tiempo sucesivos D_1 y D_2 correspondientes a dos temperaturas ajustadas distintas T_{i1} y T_{i2} aplicadas en el ambiente.

Otro objeto de la invención se refiere a un medio para registrar información, que comprende instrucciones para la

implementación de la totalidad o de parte de las etapas de cálculo de un método descrito en lo que precede, ejecutándose estas instrucciones en una unidad de cálculo electrónica.

5 Otro objeto de la invención se refiere a un dispositivo para la implementación de un método descrito en lo que precede, que comprende:

- por lo menos un elemento calefactor que comprende una fuente de potencia controlada;

10 - por lo menos un sensor de flujo calórico destinado a ser posicionado en una cara de la pared de manera de medir el caudal de flujo calórico a través de la pared;

- por lo menos un sensor de temperatura destinado a medir la temperatura reinante en el primer entorno T_{1k} en

15 la vecindad del sensor de flujo calórico;

- una unidad de cálculo electrónica;

- un medio para registrar información que comprende instrucciones destinadas a ser ejecutadas por la unidad de cálculo electrónica, para la implementación de la totalidad

20 o de parte de las etapas de cálculo del método.

De acuerdo con un aspecto ventajoso, el elemento calefactor, o cada elemento calefactor, calienta en el primer entorno. Esto permite el calentamiento rápido del primer entorno. En particular, éste es el caso con una

25 pluralidad de convectores eléctricos distribuidos en el

primer entorno, o con esteras calefactoras eléctricas descritas en lo que precede, que están dispuestos verticalmente en el primer entorno y enrolladas, de manera que la totalidad de la potencia térmica se disipe en el
5 aire.

De acuerdo con un aspecto de la invención, el o los sensores de temperatura comprenden por lo menos un sensor de la temperatura del ambiente destinado a ser posicionado en el volumen de aire en el primer entorno .

10 De acuerdo con un aspecto de la invención, el o los sensores de temperatura comprenden por lo menos un sensor de la temperatura de superficie destinado a ser posicionado en, u orientado hacia, la superficie de la pared en el primer entorno .

15 De una manera ventajosa, la unidad de cálculo electrónica comprende medios para el control de la fuente de potencia del elemento calefactor, o de cada elemento calefactor.

20 En una forma de realización, el dispositivo comprende por lo menos una caja, que comprende tanto un sensor de flujo calórico como un sensor de temperatura, y medios de conexión, preferiblemente inalámbricos, entre la caja y la unidad de cálculo electrónica.

25 Los aspectos y ventajas de la invención se han puesto de manifiesto en la siguiente descripción de una forma de

realización de un método y de un dispositivo de acuerdo con la invención, dada solamente a título de ejemplo y haciéndose referencia a las figuras adjuntas en las que:

- la Figura 1 es una vista esquemática de un chalet cuya envoltura comprende varios elementos constructivos, a saber un piso, un cielorraso, una pared con una puerta (de la que se considera que forma parte de la pared), un conjunto de dos superficies vidriadas, en el que se desea determinar la transmitancia térmica U de cada uno de estos elementos de acuerdo con la invención;

- Las Figuras 2 y 3 son gráficos que muestran, para una de las superficies vidriadas perteneciente a la envuelta del chalet de la Figura 1, respectivamente la evolución de la temperatura interior T_{ik} como una función del tiempo t , medida mediante un sensor de temperatura del aire situado en la vecindad de un medidor de flujo calórico fijado sobre la superficie vidriada y la evolución del caudal de flujo calórico por unidad de área a través de la superficie vidriada q_k como una función del tiempo, medido mediante el medidor de flujo calórico anteriormente mencionado fijado sobre la superficie vidriada en el desarrollo de la implementación del método de acuerdo con la invención que comprende un primer período de tiempo D_1 durante cuyo desarrollo se aplica la primera potencia calefactora P_1 al chalet, donde P_1 sea tal que el parámetro

$\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ del chalet tiene un valor de entre 0,3 y

0,8, seguido por un segundo período de tiempo D_2 durante cuyo tiempo se aplica una segunda potencia calefactora

sustancialmente cero P_2 al chalet, de manera de permitir que el chalet se refrigere libremente, mostrándose en estas figuras también la evolución de la temperatura externa T_{2k} ;

- la Figura 4 es un gráfico que muestra la distribución de los aportes relativos de los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del chalet de la Figura 1 a la pérdida de calor total del chalet;

- la Figura 6 es un diagrama de un denominado modelo "2R2C" del chalet de la Figura 1, con dos resistores y dos capacitores;

- la Figura 6 es un gráfico que muestra del ajuste del modelo 2R2C mostrado en la Figura 5 con respecto a la evolución de la temperatura interior T_{1k} como una función del tiempo t mostrado en la Figura 2, obtenida haciendo converger el modelo 2R2C y la evolución medida $T_{1k}(t)$ a lo largo de ambos períodos de tiempo D_1 y D_2 .

El método de acuerdo con la invención se implementa para la determinación de la transmitancia térmica U de varios elementos constructivos constituyentes de la envuelta del chalet 1 representado en la Figura 1, a saber el piso, el cielorraso, la pared, y el conjunto de superficies vidriadas del chalet.

El chalet 1 presenta un área de piso de 13,5 m², un área de superficies vidriadas de 3,9 m², una altura

interior de 2,5 m, un volumen de 34,2 m³ y una envuelta con un área total de 68,5 m². La pares externa del chalet 1 consiste en paneles sándwich de material aislante que comprende una capa de poliuretano de un espesor de 35 mm insertado entre dos placas metálicas, una puerta (de la que se considera que forma parte de la pared) y dos superficies vidriadas que son superficies vidriadas triples.

El método se implementa mientras el chalet 1 no está ocupado.

La transmitancia térmica U de la envuelta del chalet 1, determinada según la norma ISO Standard 13789:2007, conduce a un valor de referencia del coeficiente de pérdida calórica del chalet K_{ref} de 60 W/K $\pm$ 12 W/K. El chalet es de una construcción de tipo liviano, es decir, presenta una inercia térmica muy baja. Su constante de tiempo es de unas pocas horas.

La calefacción del chalet 1 se asegura mediante esteras calefactora eléctricas 2, en donde cada estera calefactora tiene una potencia nominal de 112,5 W. Las esteras de calefacción 2 están distribuidas en el chalet por el hecho de estar colocadas verticalmente enrolladas, como se muestra esquemáticamente en la Figura 1, con lo cual se permite una calefacción rápida y homogénea del chalet.

El método de acuerdo con la invención se implementa de

manera continua en su totalidad a lo largo de un único período de tiempo nocturno, de manera de eludir el aporte de la radiación solar a la calefacción del chalet 1.

Para empezar, en este caso se lleva a cabo una calefacción del chalet a lo largo de un primer período de tiempo D_1 de 00h15 a 01h10, lo que corresponde a la aplicación de una primera potencia calefactora estrictamente positiva P_1 , y seguidamente una refrigeración libre del chalet a lo largo de un segundo período de tiempo D_2 de 01h10 a 02h05, lo que corresponde a la aplicación de una segunda potencia calefactora sustancialmente cero P_2 . El segundo período de tiempo D_2 es inmediatamente subsiguiente al primer período de tiempo D_1 .

Para cada período de tiempo D_k , se aplica la potencia P_k de una manera sustancialmente igual a la potencia calefactora impuesta por las esteras de calefacción 2, salvo para las potencias residuales originadas en especial del hardware de división y cálculo presentes al chalet para la implementación del método. Unos sensores de potencia, en la forma de amperímetros de bucle, miden la potencia entregada al chalet durante la implementación del método.

En una primera etapa del método, que corresponde al primer período de tiempo D_1 , la calefacción del chalet 1 se lleva a cabo con la ayuda de las esteras de calefacción 2. La primera potencia calefactora P_1 aplicada a lo largo del primer período de tiempo D_1 se elige de una manera tal

que el parámetro $\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ tenga un valor entre 0,3 y 0,8. En este ejemplo, el valor de referencia K_{ref} es igual a $60 \text{ W/K} \pm 12 \text{ W/K}$, la temperatura inferior inicial dentro del chalet T_{1ld} independientemente es de 25.6°C , y la

5 temperatura inicial del aire exterior T_{2ld} es de 18.7°C , correspondiendo por lo tanto, para un valor del parámetro α sustancialmente igual a 0,4, a un valor de la primera potencia calefactora P_1 igual a aproximadamente 1370 W.

Seguidamente se mide la temperatura ambiente dentro

10 del chalet T_{1l} cada diez segundos, para una parte en la vecindad de cada elemento entre el piso, el cielorraso, la pared, las dos superficies vidriadas, y por otra parte en el medio del volumen de aire. Para esta finalidad, se instalan varios sensores de temperatura, que en este

15 ejemplo son termocuplas de tipo K, en el ambiente interior del chalet, a saber una termocupla en la vecindad de cada elemento constructivo de una termocupla en el medio del volumen de aire a una altura de 110 cm.

La curva representativa de la evolución de la

20 temperatura interior T_{1l} en la vecindad de una superficie vidriada del chalet como una función del tiempo durante el primer período de tiempo D_1 se muestra en la Figura 2. Como puede observarse en esta Figura, la elevación de la curva de temperatura en la vecindad de la superficie

25 vidriada presenta una parte sustancialmente lineal a lo

largo del intervalo de tiempo Δt_1 . El ajuste de una ecuación a esta parte lineal de la curva permite obtener una pendiente a_1 de 4,79 K/h. Los valores para la pendiente a_1 para los diversos elementos se indican en la siguiente

5 Tabla 1.

La Figura 2 también ilustra la evolución de la temperatura del aire exterior T_{21} durante el primer período de tiempo D_1 . La temperatura del aire exterior T_{21} a lo largo del intervalo de tiempo Δt_1 es suficientemente

10 estable para que sea posible considerarla sustancialmente constante e igual a la temperatura promedio a lo largo del intervalo de tiempo Δt_1 , a saber en este ejemplo $T_{21m} = 18.1^\circ\text{C}$.

El caudal de flujo calórico a través de cada elemento

15 constructivo también se mide cada 10 segundos, con la ayuda de un medidor de flujo calórico de gradiente de tipo HFP01 comercializado por la compañía Hukseflux y posicionado en la cara inferior del elemento constructivo. A título de ejemplo, la curva representativa de la evolución del caudal

20 de flujo calórico q_1 a través de una superficie vidriada como una función del tiempo durante el primer período de tiempo D_1 se muestra en la Figura 3. Los valores de los caudales de flujo medianos q_{1m} a lo largo del intervalo de tiempo Δt_1 para los diversos elementos se indican en la

25 siguiente Tabla 1.

En una segunda etapa del método, que corresponde al segundo período de tiempo D_2 , se aplica la segunda potencia calefactora, sustancialmente cero, P_2 al chalet 1, a partir de una temperatura inicial $T_{12d} = 34.7^\circ\text{C}$, es decir, que las esteras de calefacción 2 no operan durante este segundo período D_2 . Lo mismo que en la primera etapa, seguidamente se mide la temperatura ambiente dentro del chalet T_{12} cada 10 segundos, por una parte en la vecindad de cada elemento de construcción de entre el piso, el cielorraso, la pared, las dos superficies vidriadas, y por otra parte en el medio del volumen de aire, con la ayuda de termocuplas de tipo K instalados en el aire ambiente del chalet, a saber una termocupla en la vecindad de cada elemento constructivo y una termocupla en el medio del volumen de aire una altura de 110 cm.

La Figura 2 muestra la curva representativa de la evolución de la temperatura interior T_{12} en la vecindad de una superficie vidriada del chalet como una función del tiempo durante el segundo período de tiempo D_2 . Como puede observarse en esta figura, la caída de la curva de temperatura en la vecindad de la superficie vidriada presenta una parte sustancialmente lineal a lo largo del intervalo de tiempo Δt_2 . El ajuste de una ecuación a esta parte lineal de la curva permite obtener una pendiente a_2 de $-5,58$ K/h. Los valores de la pendiente a_2 para los

diversos elementos se indican en la siguiente Tabla 1.

La evolución de la temperatura del aire exterior T_{22} durante el mismo periodo de tiempo D_2 también se muestra en la Figura 2. Lo mismo que en la primera etapa, la temperatura del aire exterior T_{22} a lo largo del intervalo de tiempo Δt_2 es suficientemente estable para que sea posible considerarla sustancialmente constante e igual a la temperatura promedio a lo largo del intervalo de tiempo Δt_2 , a saber en este ejemplo $T_{22m} = 17.1^\circ\text{C}$.

El caudal de flujo calórico a través de cada elemento constructivo también se mide cada 10 segundos, con la ayuda de un medidor de flujo calórico de gradiente de tipo HFP01 posicionado en la cara inferior del elemento constructivo. A título de ejemplo, la curva representativa de la evolución del caudal de flujo calórico q_2 a través de una superficie vidriada del chalet como una función del tiempo durante el segundo período de tiempo D_2 se muestra en la Figura 3. Los valores de los caudales de flujo medianos q_{2m} a lo largo del intervalo de tiempo Δt_2 para los diversos elementos se indican en la siguiente Tabla 1.

Dado que $U = \frac{a_1 q_2 - a_2 q_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}}$, y tomando $\Delta T_{1m} = 15.9^\circ\text{C}$, $\Delta T_{2m} = 7.8^\circ\text{C}$, $q_{1m} = 18,70 \text{ W/m}^2$, $q_{2m} = -3,90 \text{ W/m}^2$, obtenemos el valor de la transmitancia térmica U de las superficies vidriadas del chalet 1:

$$U = 0,68 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Los valores de la transmitancia térmica U para los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del chalet 1 han sido indicados en la siguiente Tabla 1.

5

Elemento	a_1 (K/h)	a_2 (K/h)	q_{1m} (W/m ²)	q_{2m} (W/m ²)	ΔT_{1m} (°C)	ΔT_{2m} (°C)	U (W/m ² K)
Superficies vidriadas	4,79	-5,58	18,70	-3,90	15,9	7,8	0,68
Pared (incluye puerta)	4,46	-5,42	21,97	-4,47	16,7	8,1	0,78
Piso	4,13	-4,21	7,82	0,25	13,3	8,0	0,38
Cielorraso	4,42	-5,75	6,66	5,28	16,8	8,1	0,46

Tabla 1

Por comparación, el valor calculado de acuerdo con la norma ISO Standard 6946:2007 de la transmitancia térmica U de la pared es de 0,70 W/m²K $\pm$ 0,13 W/m²K, y el del
10 cielorraso es de 0,43 W/m²K $\pm$ 0.07 W/m²K. Además, el valor provisto por el fabricante, calculado de acuerdo con la norma ISO Standard 10077:2012, de la transmitancia térmica U de las superficies vidriadas es de 0,70 W/m²K. Para el
15 piso hay demasiada incertidumbre para acceder a un valor calculado de la transmitancia térmica U de acuerdo con la norma ISO Standard 13370:2007.

En virtud de las mediciones llevadas a cabo durante los períodos de tiempo D_1 y D_2 , es también posible determinar el valor del coeficiente de pérdida calórica K del chalet 1. Dado que $K = \frac{a_1 P_2 - a_2 P_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}}$, considerando $a_1 =$

5 4,62 K/h, $a_2 = -5,37$ K/h, $\Delta T_{1m} = 16.6^\circ\text{C}$, $\Delta T_{2m} = 8.0^\circ\text{C}$, $P_1 = 1.370$ W, $P_2 = 5$ W, obtenemos el valor del coeficiente de pérdida calórica K del chalet 1:

$$K = 58,70 \text{ W/K.}$$

Es seguidamente posible representar el gráfico que
 10 muestra los aportes relativos de los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del ambiente a la pérdida calórica total del ambiente. Este gráfico, obtenido ponderando la transmitancia térmica U de cada elemento constructivo por su área de superficie lustrosa A ,
 15 se muestra en la Figura 4. El detalle para cada elemento constructivo se da en la siguiente Tabla 2.

Elemento	U (W/m ² K)	A (m ²)	K (W/K)
Superficies vidriadas	0,68	3,9	2,65
Pared (muro incluido)	0,78	37,6	29,3
Piso	0,38	13,5	5,1
Cielorraso	0,46	13,	6,2
Otros (filtraciones, puentes térmicos, etc.)	-	-	15,4

Tabla 2

La obtención de la distribución de las pérdidas entre los diversos elementos constructivos es una herramienta útil para una prescripción, en particular en un contexto de una renovación.

El método para el procesamiento de los datos descritos en lo que precede corresponde al caso en el que el modelo térmico utilizado es un modelo R-C simple con un resistor y un capacitor.

Como una variante, las curvas de evolución de la temperatura interior como una función del tiempo para cada elemento constructivo de la envuelta del chalet 1, a saber el piso, el cielorraso, la pared, el conjunto de las dos superficies vidriadas, han sido procesadas con un modelo 2R2C del chalet con dos resistores y dos capacitores, del cual se muestra un diagrama en la Figura 5.

En este modelo 2R2C, se considera que la región externa se halla a una temperatura exterior expuesta constante T_E , dos nodos T_P y T_I representan esquemáticamente las masas térmicas de las paredes y del aire interior, y tienen, cada uno de ellos, un valor de inercia asociado C_1 , C_2 , y hay dos resistores R_1 , R_2 colocados entre los nodos. Uno de los resistores, R_2 , colocado entre la región exterior y el nodo de las paredes, representa la resistencia de la pared, mientras que el otro resistor R_1 ,

colocado entre el nudo de las paredes y el nudo de la región interior, representa la resistencia de convección interior. En este caso, el coeficiente de pérdida calórica K es la inversa de la resistencia total, la suma de las dos resistencias de la red.

A título de ejemplo, la Figura 6 muestra el ajuste del modelo 2R2C arriba descrito a la evolución de la temperatura interior T_{ik} en la vecindad de una superficie vidriada como una función del tiempo t , mostrada en la Figura 2. Los valores de la transmitancia térmica U obtenidos para los diversos elementos constructivos constituyentes de la envuelta del chalet 1 en el caso en que el modelo térmico utilizado es un modelo 2R2C han sido consignados en la siguiente Tabla 3.

Elemento	U (W/m ² K)
Superficies vidriadas	0,68
Pared (incluye puerta)	0,78
Piso	0,56
Cielorraso	0,45

Tabla 3

Cabe observar que los valores de la transmitancia térmica U obtenidos con el modelo 2R2C son globalmente compatibles con los obtenidos con el modelo R-C simple;

determinadas disparidades pueden atribuirse a una mayor inexactitud del enfoque por medio del modelo 2R2C.

En la práctica, en el ejemplo precedente con el modelo R-C simple, las etapas de la selección de los intervalos de tiempo Δt_k para el procesamiento de los datos, de linealización, y del cálculo de U y K sobre la base de las pendientes a_k , se llevan a cabo de manera ventajosa mediante una unidad de cálculo electrónica.

La invención no se limita a los ejemplos arriba descritos.

En particular, el método de acuerdo con la invención puede implementarse con medios calefactores con los que el primer entorno está equipado de manera fija y/o con medios calefactores que son introducidos en el primer entorno especialmente para la implementación del método, siempre y cuando que la potencia provista por estos medios calefactores para los impulsos requeridos por el método pueda ser determinada con exactitud.

Por otra parte, en los ejemplos precedentes, el método para determinar una cantidad representativa de la resistencia térmica de una pared y el método para determinar el coeficiente de pérdida calórica de un ambiente se implementan con períodos de tiempo D_k correspondientes a distintos ajustes de potencia calefactora P_k . Por supuesto, como una variante, la

potencia calefactora puede variar durante uno (o más) de los períodos de tiempo D_k , con la condición de que asegure a lo largo del período D_k una potencia calefactora promedia P_k distinta de las potencias calefactores aplicadas a lo largo de los periodos de tiempo que lo rodean. En este caso, la potencia calefactora P_k considerada es la potencia calefactora promedia a lo largo del periodo de tiempo D_k .