



% RH

Be sure. **testo**

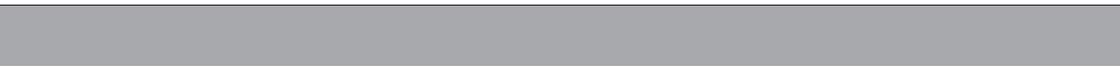
°C td

°C

MINUS

testo 650

Guía de bolsillo humedad en la edificación



INTRODUCCIÓN

En su calidad de fabricante de instrumentos de medición para todo tipo de aplicaciones industriales y comerciales, TESTO no solo pretende ofrecer a los usuarios un determinado instrumental, sino también ayudarles a satisfacer sus necesidades concretas, por ejemplo, a la hora de realizar las tareas de medición.

TESTO publica desde hace varios años unas “guías prácticas” que se han convertido en útiles fuentes de referencia para los usuarios de la tecnología de medición. Aunque ya se han publicado guías dedicadas al sector de los servicios de construcción (ingeniería de calefacción y sistemas de aire acondicionado), se echaban en falta guías sobre otros problemas relacionados con los edificios, como humedad y elementos de pérdida de confort. Aun antes de la fundación de la ACADEMIA DE TESTO, la demanda era tal que se optó por impartir seminarios (de pago e independientes del sector) para el sector de la construcción. Su objetivo fundamental era ayudar a los usuarios a identificar las tareas de medición y a realizarlas correctamente. En estos seminarios, que se ampliaron constantemente, en ocasiones se puso de manifiesto el deseo de que el material didáctico fuera suministrado y condensado en forma escrita, en un manual. Es para nosotros un placer dar respuesta a esta demanda con la publicación de esta guía.

Debido a la imposibilidad de realizar un intercambio de experiencias y de realizar ejercicios prácticos, esta guía no puede sustituir a ningún seminario. No obstante, confiamos en que este libro tenga una distribución suficiente para que las técnicas de medición se apliquen de forma eficaz y correcta, contribuyendo a una rápida localización de defectos y a la determinación clara de las causas de posibles daños.

Martin Giebeler, de Zwigenberg, nuestro ponente en los seminarios y jornadas técnicas sobre humedad en edificios, ha colaborado intensamente en el contenido de esta guía.

El manual está dirigido a directores de complejos de apartamentos, inspectores expertos, consultores, ingenieros y empresas que ofrezcan servicios de medición y secado de edificios. Animamos a utilizar la tecnología de medición siempre que resulte útil. Para ello hay que estar familiarizado con las opciones y límites de su uso correcto. Esta guía pretende contribuir a ese proceso.

También ofrece información que va más allá del alcance de las instrucciones operativas para analizadores.

¿Qué falta? ¿Qué no se ha tratado con la profundidad necesaria? Estaremos encantados de recibir sus ideas, correcciones y sugerencias para mejorar esta guía. Las estudiaremos para pasar a incluirlas en la próxima edición.

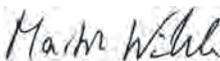
La Junta directiva



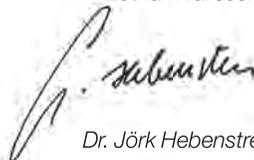
Burkart Knospe



Lothar Walleser



Martin Winkle



Dr. Jörk Hebenstreit

Descripción

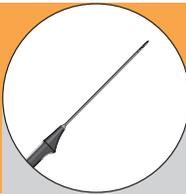
Parámetro

Humedad relativa ambiente

Diseño



Registro de las condiciones climáticas de la sala en la primera inspección



Medición en cavidades (capa de aislamiento, unión de guía de encofrado)



Registro a largo plazo de las propiedades de ventilación y condiciones climáticas de la sala



Humedad relativa de equilibrio sobre/en el componente estructural

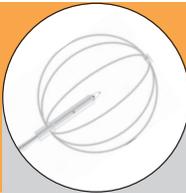
Parámetro

Temperatura del aire

Diseño



Registro de las condiciones climáticas de la sala en la primera inspección



Análisis de confort (condiciones climáticas en los puestos de trabajo)



Registro a largo plazo de las propiedades de ventilación y condiciones climáticas de la sala



Determinación del viento (meteorología)

Humedad de materiales (contenido de agua)



Mediciones comparativas locales o cronológicas (proceso de secado, localización de fugas)



Medición de superficies no intrusiva



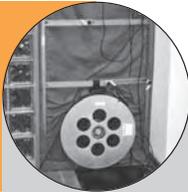
Sonda de penetración: visión general rápida; Sonda de cepillo: determinación del horizonte de humedad; perfil de humedad en una sección cruzada de la mampostería

Flujo de aire (velocidad)

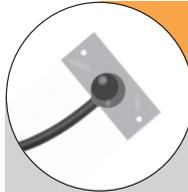
Temperatura del material



Determinación de tiro y confort en puntos de fuga; determinación del flujo de volumen en determinadas secciones cruzadas de canal de los sistemas de ventilación y aire acondicionado



Determinación de la hermeticidad del edificio en conjunto; creación de un vacío artificial para análisis de confort



Registro de tiempos de marcha de radiadores; evaluación de puentes térmicos; detección de la condensación



Medición de partes no accesibles de una sala; localización rápida de fugas de agua caliente o puentes térmicos



Determinación más precisa de la temperatura de los componentes estructurales en la primera inspección

Guía práctica sobre humedad en edificios: índice

1. Parámetros y métodos de medición	8
1.1 Temperatura del aire	8
1.1.1 El principio de medición	9
1.1.2 Aplicación correcta e incorrecta	9
1.1.2.1 Transporte/inercia del sensor	10
1.1.2.2 Cómo realizar la medición	12
1.1.2.3 Aplicaciones especiales	12
1.2 Humedad relativa ambiente	14
1.2.1 El principio de medición	16
1.2.2 Aplicación correcta e incorrecta	17
1.2.2.1 Transporte/inercia del sensor	18
1.2.2.2 Cómo realizar la medición	18
1.2.2.3 Aplicaciones especiales	18
1.3 Temperatura del material	19
1.3.1 El principio de la medición por contacto	19
1.3.1.1 Aplicación y resultados	20
1.3.1.2 Aplicaciones especiales	21
1.3.2. El principio de la medición sin contacto	22
1.3.2.1 Aplicación y resultados	23
1.4 Humedad de materiales (contenido de agua)	26
1.4.1 Los diferentes procesos de medición: posibilidades y límites	28
1.4.1.1 El método de campo de dispersión	28
1.4.1.2 Conductividad	31
1.4.1.3 Relación de humedad relativa en equilibrio	34
1.4.1.4 Otros métodos	39
2. Aspectos básicos de la medición	41
2.1 La ventaja de la autoridad	41
2.2 Fe ciega en la tecnología digital	41
2.3 Los cuatro elementos básicos de la medición	43

3. Aplicaciones habituales en la práctica de la edificación	47
3.1 Localización de fugas en tuberías	47
3.2 Localización de fugas de aire en ensayos Blower-door, evaluación de corrientes de aire	50
3.3 Evaluación de daños por humedad	57
3.3.1 El problema	57
3.3.2 El procedimiento	59
3.4 Evaluación de daños por moho	62
3.4.1 Procedimientos de una inspección	63
3.4.2 Medición a corto y largo plazo	65
3.4.3 Ubicación de la medición	65
3.4.4 Programación recomendada para los registradores de condiciones climáticas	67
3.4.5 Reducción de las causas	68
3.5 Evaluación de puentes térmicos	70
3.5.1 El problema y su importancia	70
3.5.2 Tipos de puente térmico	70
3.5.3 Registro de puentes térmicos	73
4. Referencia a otras guías prácticas	75
5. General	78

1. Parámetros y métodos de medición

(Consulte la página 4 para obtener un resumen).

1.1 Temperatura del aire

La medición de la temperatura del aire es una tarea de medición básica. Se realiza a fin de controlar la calefacción y la ventilación, así como para evaluar el nivel de confort y los daños por moho.

La medición de la temperatura del aire es sencilla en lo relativo a acciones y requisitos técnicos.

Frase útil

Por norma general:

siempre se mide la temperatura real del aire, esté estancado o agitado. El aire estancado (inactivo) o agitado (en circulación) se *percibe* de forma diferente.

El aire agitado tiene un efecto refrescante: una brisa, por ejemplo, hace más soportable el calor veraniego, aunque la temperatura sea la misma. De igual forma, el frío parece más penetrante cuando sopla viento (es la denominada “sensación térmica”).

La percepción subjetiva de “frío” y “corriente de aire” se indica con el valor de “temperatura percibida” que siempre es inferior a la temperatura real. Sin embargo, también influyen otros factores antropológicos empíricos (la sensibilidad de una determinada persona) que van más allá de la indicación meramente física de la temperatura. Dar con la definición adecuada es crucial al ofrecer información climática/meteorológica, para los eventos deportivos o expediciones o al examinar los niveles de confort.

Es igual de importante el que los elementos radiantes cambian tanto la temperatura percibida como la temperatura real.

Todo el mundo sabe cómo las ascuas de una fogata en una fría tarde de otoño pueden transmitir un calor muy agradable... aunque solo sea por un lado. De igual forma un radiador ordinario (como una estufa o un radiador halógeno de un apartamento) puede irradiar calor y aumentar la temperatura percibida.

Si se midiera este calor irradiado con un termómetro, este mostraría una temperatura superior a la temperatura real del aire ambiente. Habitualmente, el componente de irradiación no se mide.

En principio es necesario proteger de la radiación los termómetros de aire (las

Parámetros y métodos de medición

mediciones meteorológicas, por ejemplo, siempre se realizan a la sombra).

Si hay que registrar el componente de irradiación y sus efectos sobre el confort, se deben utilizar termómetros especiales (por ejemplo, termómetros de globo).

1.1.1 El principio de medición

Hay distintas formas de medir la temperatura del aire.

Lo más habitual son las mediciones con un reostato eléctrico dependiente de la temperatura (NTC de alta impedancia o PT100 de baja impedancia) y las mediciones con un termopar. El termopar genera una tensión eléctrica en función de la temperatura.

Al igual que en otras tareas de medición, hay aplicaciones preferentes para uno u otro principio en función del nivel de temperatura que se va a registrar (por ejemplo, ¿20 °C o 200 °C?) y de los requisitos relativos a la exactitud, diseño y velocidad.

La idoneidad y exactitud están indicados por el fabricante de cada aparato; a menudo, los sensores de temperatura se combinan con sensores de humedad del aire o con un sensor de velocidad del aire en una sonda.

La exactitud de los sensores estándar de TESTO (sonda de combinación) es de aprox. $\pm 0,4$ K y los tiempos de respuesta para los sensores de agitación es de aprox. 30 seg.¹

1.1.2 Aplicación correcta e incorrecta

Recuerde siempre lo siguiente:

El instrumento solo registra la temperatura del sensor, no la temperatura del medio.

Por este motivo, la temperatura del sensor debe acercarse lo más posible a la del medio que se desea medir.

Por ello habitualmente el sensor se desacopla del instrumento de mano y se instala en una sonda de mano.²

Las sondas de mano deben estar diseñadas específicamente para mediciones en aire (o, en términos más generales, en gases). Su diseño es diferente al de los sensores para las superficies de sólidos, mercancías a granel y líquidos.

¹ Para obtener más información sobre el tiempo de respuesta, consulte el capítulo 1.1.2.1

² Para consultar una definición de los términos "sensor" y "sonda", consulte la figura 1

Parámetros y métodos de medición

La temperatura solo se debe registrar en la parte del espacio en la que está localizado el sensor.

Dado que las capas de aire que hay en los hogares pueden crear una diferencia de 4 K entre el espacio cercano al suelo y el cercano al techo, surge la pregunta de cuál es la mejor altura a la que realizar la medición.

En caso de duda, lo mejor es medir a varias alturas y anotar todas las mediciones. Por otro lado, habitualmente es suficiente con medir a la altura del pecho. Esto se corresponde con una altura de unos 140 cm, que las directrices de confort definen como la altura de medición media.³ El centro de la sala se toma como representativo de la sala. Si hay que evaluar otras posiciones (por ejemplo, una puerta de balcón en la que se cree que pueda haber corrientes de aire), se deben medir por separado.



Fig. 1: Componentes de un instrumento de medición

1.1.2.1 Transporte/inercia del sensor

Como ya hemos explicado, la temperatura del sensor debería alcanzar la temperatura del medio lo más rápido y sin obstáculos posibles.

Después del transporte o almacenamiento a temperaturas notablemente diferentes, se debe dar al sensor un tiempo de estabilización suficiente para que pueda responder a las temperaturas existentes reales (por ejemplo, no guarde el instrumento en un coche durante la noche si el clima es muy frío y pretende realizar una medición en casa a la mañana siguiente).

³ confr. DIN 1946: Altura de cabeza para actividad en posición sentada: 110 cm; altura de cabezal para actividad en pie: 170 cm.

Parámetros y métodos de medición

Si la temperatura del instrumento de mano es diferente, no es tan crítico como que la temperatura de la sonda sea demasiado baja.

Sin embargo, si la sonda se ha enfriado (o calentado) al llevarla a la sala en la que se va a realizar la medición, serán necesarios unos 10 minutos para que se ajuste. En este caso, la “masa inerte” real es la carcasa del sensor, no el sensor en sí.

Si la medición se realiza con una sonda que se ha enfriado demasiado, el sensor se empañará. De ello resultarán valores más bajos. Si no ha esperado lo suficiente, podrá ver valores excesivamente altos o bajos, lo que indicará que la lectura “oscila”. Solo cuando la lectura se estabilice, la sonda habrá alcanzado el equilibrio y, con ello, la temperatura correcta.

En el diseño habitual (con el que el sensor está alojado en una caperuza protectora y bien expuesto a los flujos directos) se forma un microclima. Con el sensor en reposo se puede mantener en la caperuza una “almohada” de aire aislante (especialmente en las caperuzas sintetizadas y totalmente herméticas utilizadas en atmósferas con polvo). La estabilización de temperatura se puede acelerar moviendo la sonda por el aire ambiente: de esta forma se rompe el microclima.

Aunque los flujos sean buenos, el tiempo de respuesta del sensor depende de su diseño y, especialmente, de su masa. El tiempo de respuesta de los sensores de aire comerciales se reduce a segundos y, con ello, es prácticamente irrelevante. En términos técnicos, el tiempo de respuesta se expresa como un valor característico conocido como t_{99} . Es el tiempo necesario para que la temperatura mostrada se acerque al 99 % del valor final.

Parámetros y métodos de medición

1.1.2.2 Cómo realizar la medición

Al realizar una medición, debe asegurarse de que su calor corporal y, en especial, el aire que exhala no llegue a la sonda. Una opción para evitarlo es mover el sensor. No debe hacerlo enérgicamente, pero tampoco demasiado suavemente.

En resumen, las mediciones se deberían realizar de esta forma:

Aproximadamente en el centro de la sala.

A la altura del pecho.

Protegido de fuentes fuertes de radiación con su cuerpo.

Manteniendo alejado el brazo del cuerpo.

Utilice la muñeca para mover la sonda. Apunte durante unos 1,5 m/s; este valor se corresponde a unas 2 “sacudidas” por segundo.



Fig. 2: Manipulación correcta al medir la temperatura y la humedad del aire

1.1.2.3 Aplicaciones especiales

Las mediciones de confort se realizan con un termómetro de globo. No es un termómetro de agitación. Está fijo e inmóvil en una posición mediante un soporte y a una de las tres alturas definidas según la norma DIN 1946-2 y VDI 2080. El termómetro de globo consta de una esfera hueca pintada en negro mate. El sensor propiamente dicho está situado en la esfera.

La posible radiación térmica (por ejemplo, luz del sol) resulta en un

Parámetros y métodos de medición

calentamiento de la esfera, de forma similar a como la sentiría el cuerpo humano. La lectura se acerca estrechamente a la sensibilidad humana media si las lecturas se calibran sobre la base de ensayos empíricos con un gran número de personas.

No obstante, la lectura ofrecida por los termómetros de globo no puede indicar si la radiación era uniforme en toda la esfera o en uno solo de sus lados. Esto supone una enorme diferencia en términos de confort.

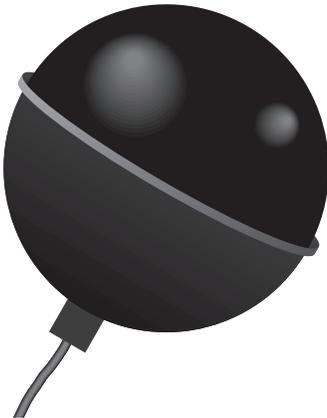


Fig. 3: Termómetro de globo

Se recomienda hacer un registro a largo plazo si es necesario registrar las fluctuaciones de temperatura. Para ello es necesario un dispositivo programable con memoria de datos, es lo que se denomina registrador de datos. Lo señalado en el punto 1.1.2.2 se aplica de igual forma al posicionamiento de una sonda en la sala. Dado que el sensor no se mueve, la inercia del termómetro de globo es teóricamente mayor. No obstante, esto es irrelevante desde el punto de vista práctico ya que la temperatura ambiente en las salas no varía tan rápido que el sensor no pueda hacer un seguimiento de ella.

Parámetros y métodos de medición

1.2 Humedad ambiente

El parámetro de humedad ambiente es muy importante para cualquier evaluación de los daños por moho. También es un indicador clave del secado técnico de los edificios a fin de verificar cuándo se puede finalizar un proceso de secado.

Hay un gran número de valores característicos que se puede utilizar para indicar la cantidad de vapor de agua que hay en el aire.

En cuanto a las aplicaciones cubiertas en esta guía de campo, solo

la humedad absoluta $\left[\frac{g_{\text{agua}}}{m^3_{\text{gas}}} \right]$ y

la humedad relativa $\left[\frac{g_{\text{agua real}}}{g_{\text{agua posible máx.}}} \right]$

son relevantes.⁴

La *humedad absoluta* describe la masa de agua (vapor) presente en un metro cúbico de aire ambiente (incluido el vapor). En sentido estricto, debería asegurarse de que se ha mantenido la presión estándar. Sin embargo esto es irrelevante en la práctica ya que la instrumentación y los resultados de la medición real llevan a imprecisiones mayores.

La *humedad relativa* describe la cantidad de la capacidad de absorción máxima posible del aire se ha tomado realmente. Esto depende de la temperatura.

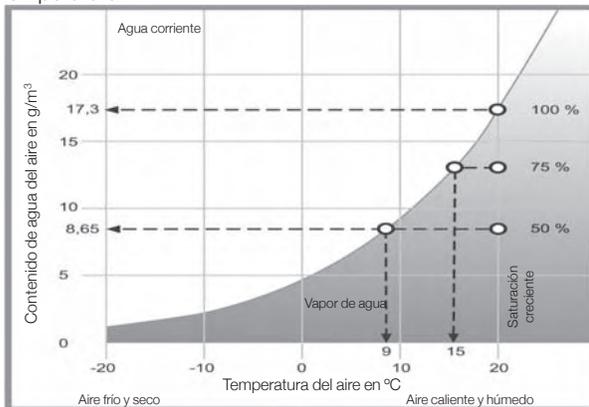


Fig. 4: Curva de saturación y curva de temperatura de punto de rocío

⁴ Los términos "presión del vapor", "entalpía" y "contenido de agua" son de uso preferente en algunos sectores (acondicionamiento, ingeniería de producción). Las unidades se pueden transferir con un diagrama h-x ("diagrama de Moller") si se conocen los parámetros secundarios.

Parámetros y métodos de medición

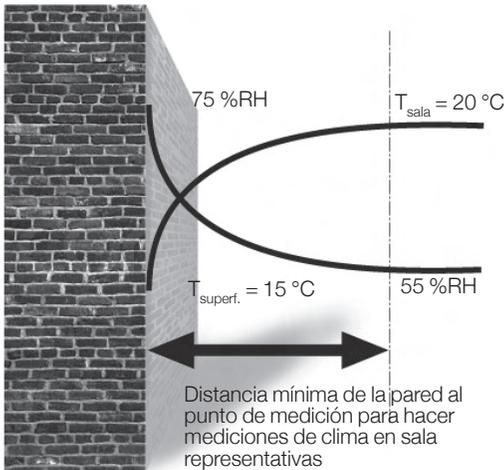


Fig. 5: Dependencia a la temperatura de la humedad relativa

Humedad absoluta y relativa en la práctica ⁵			
Aire de la sala a	con un contenido de agua supuesto de	...saturaría a...	y, en consecuencia, la humedad relativa sería de...
20 °C	9,5 g/m ³	17 g/m ³	55 %
Estas serían las condiciones climáticas habituales de un salón, por ejemplo. Si el aire penetra en un dormitorio refrigerado, en una esquina que esté a solo 10 °C en la superficie...			
...el aire se enfría a...	En principio, aún contiene...	...pero se satura ya a...	En otras palabras:
10 °C	9,5 g/m ³	9 g/m ³	Aprox. 0,5 g, correspondientes a 0,5 ml, "sobrantes" se condensan antes en la superficie fría => ¡Se forma moho! La condensación comienza al enfriar a 10,7 °C. El moho comienza a formarse antes de que se produzca la condensación.
Remedio: retire el mobiliario, aisle la parte superior del techo y caliente más el dormitorio. De esta forma la temperatura de la pared podría aumentar hasta 15 °C, por ejemplo:			
Así, el aire solo se enfría hasta	Sigue conteniendo...	...pero no se satura hasta...	Esto se corresponde con una humedad relativa en la pared de:
15 °C	9,5 g/m ³	13 g/m ³	73 %. Este valor es mucho más bajo que el valor crítico para la formación de moho (en concreto: 85 %). => ¡Problema resuelto!

⁵ Por razones de sencillez, en este escenario hemos partido de valores constantes. En la práctica, por supuesto, las condiciones climáticas de la sala variarían. Sin embargo, se pueden utilizar valores medios.

Parámetros y métodos de medición

Diferentes humedades relativas dentro de una habitación

La humedad relativa es el indicador más utilizado, probablemente por la meteorología y por consideraciones sobre niveles de confort. La humedad relativa no solo depende del contenido de agua, sino también de la temperatura ambiente. Como puede haber diferentes temperaturas del aire dentro de una sala (la temperatura a nivel de suelo y en zonas de techo junto a muros externos es menor que en el centro de la sala), una misma sala puede tener distintas humedades relativas.

La temperatura de rocío

Por este motivo, la humedad absoluta es más útil para analizar aspectos físicos de la construcción (a menudo: condensación y secado). Los instrumentos con buen diseño indican los valores característicos y ofrecen también información sobre la “temperatura de rocío” (a menudo denominada “temperatura de punto de rocío”). Es la temperatura a la que la condensación comenzaría si se enfriara el aire ambiente. Es un parámetro muy importante si quiere saber dónde se “condensan” las secciones frías de una pared en un determinado clima.

1.2.1 El principio de medición

El sensor propiamente dicho suele situarse en una sonda de mano junto con un sensor de temperatura. Consta de una lámina de aprox. 0,5 cm² con tres capas, dando forma a un condensador. La capa central es un plástico sensible a la humedad. En función de la humedad ambiente, brinda una constante dieléctrica diferente, de forma que cambia la capacidad.

El cambio en la respuesta del circuito resonante se analiza electrónicamente.

Hay disponibles sensores con distintas clases de tolerancia. Los depósitos de polvo se pueden eliminar, pero los daños mecánicos (arañazos) o el sudor de su mano pueden dañar el sensor.

Los sensores de la actualidad tienen estabilidad a largo plazo, pero el envejecimiento es inevitable. Para nuestras aplicaciones es necesario inspeccionarlos cada 2 años y calibrarlos de nuevo si es necesario. Esto es especialmente importante si la exactitud de los valores determinados tiene un efecto vinculante desde el punto de vista legal o si se utilizan al mismo tiempo varios instrumentos de medición cuyos valores no pueden diferir (por ejemplo, al diagnosticar puentes térmicos y moho, véase el capítulo 3.5.3).

Si la calibración se realiza en la fábrica se proporciona la documentación correspondiente (por ejemplo, un certificado de calibración). Esto ayuda a reducir la falta de confianza respecto a la exactitud de la medición.

La exactitud de los sensores estándar TESTO es $\pm 2\%$ de la humedad relativa (no un porcentaje del valor mostrado). El tiempo de respuesta (para sensores

Parámetros y métodos de medición

combinados de agitación) es de aprox. 30 s.



Fig. 6: Sensor combinado

1.2.2 Aplicación correcta e incorrecta

Antes de realizar cualquier medición es fundamental hacerse esta pregunta: ¿qué pretendo conseguir con esta medición?

Cuando se trata de medir la humedad para evaluar el moho, no suele estar muy claro dónde colocar la sonda:

- ¿Quiero determinar la humedad del aire en la esquina que está siendo atacada por el moho?
- ¿O quiero un valor de humedad representativo para un espacio habitacional a fin de evaluar los requisitos de ventilación?

En este caso el principio básico también es el siguiente: la medición solo se aplica al espacio en el que fue realizada.

Es recomendable realizar una medición en cada habitación, aproximadamente en el centro de la sala, como cuando se mide la temperatura. A continuación, también se puede medir la humedad en las esquinas, tras armarios o puntos similares. Estos valores se deberán anotar por separado en el informe.

El clima de la sala siempre está influenciado por la medición en sí, esto es por la presencia de la persona que realiza la medición. Por tanto debe entrar en la sala rápidamente, cerrar las puertas y realizar la medición enseguida. Algo tan sencillo como abrir la puerta, dejarla entreabierta o permanecer en la sala más tiempo del necesario, puede cambiar la humedad ambiente.

Habitualmente el informe debe mostrar la posición de medición, la hora, la meteorología y la temperatura ambiente, ya que son datos indispensables para interpretar los resultados.

Parámetros y métodos de medición

Mover el sensor reduce el periodo de estabilización

1.2.2.1 Transporte/inercia del sensor

Al igual que ocurre con los sensores de temperatura, los sensores de humedad tienen un determinado periodo de estabilización. Es así porque la humedad del aire debe penetrar en la capa plástica de la sonda. Aunque la capa plástica solo tiene una capa de metal microporosa y ultra delgada como polo secundario, el proceso puede llevar de unos segundos a varios minutos. En este caso también, la inercia depende fundamentalmente de la forma en la que es expuesto el sensor a los flujos, es decir, si el sensor se mueve por la atmósfera. Si la sonda se mueve enérgicamente, se debe contar con un periodo de estabilización de unos 10 minutos.

La estabilización será más rápida si el instrumento se agita a unos 1,5 m/s. Para evitar la condensación y reducir el tiempo de respuesta, no almacene previamente el instrumento en un lugar frío. La medición solo se puede realizar cuando la lectura se estabilice.

Postura durante la medición

1.2.2.2 Cómo realizar la medición

Todo lo que se aplica a la medición de temperatura se debe observar también al hacer una medición de la humedad: el sensor debe mantenerse alejado del cuerpo para que no se vea expuesto al aire exhalado por la respiración (¡que suele estar saturado de humedad!). Agite el sensor con la muñeca, manténgalo a la altura del pecho, etc.

1.2.2.3 Aplicaciones especiales

En la medición de humedad también hay **registros a largo plazo**. Estos registros son esenciales para evaluar el moho. Las sondas y los instrumentos se colocan de la misma forma que para las mediciones únicas.

En el caso de las **mediciones en cavidades** o capas aislantes de encofrado, se pueden utilizar sondas especialmente delgadas que penetren en orificios taladrados o en juntas. Las caperuzas protectoras de estos productos son muy finas y las protegen frente al polvo y las partículas, pero prolongan el tiempo de respuesta.

También hay disponibles caperuzas protectoras de metal sintetizadas permeables al gas pero impermeables a las partículas para atmósferas con polvo. Estas caperuzas también aumentan el tiempo de estabilización.



Fig. 7: Medición en uniones de encofrado

Con adaptadores especiales, los sensores de humedad ambiente también se pueden utilizar para **determinar la humedad de los materiales** (consulte el capítulo 1.4.1.3).

1.3 Temperatura del material

1.3.1 El principio de la medición por contacto

En este caso, la medición se realiza según un principio acreditado: el sensor tiene que registrar la temperatura del medio a medir. La exactitud de la medición depende de la corrección con que se haga esto.

Principio: cada uno de los instrumentos de medición mide únicamente la temperatura de su propio sensor.

Dado que en el caso de los cuerpos sólidos el sensor suele ubicarse sobre la superficie, es muy importante que el sensor esté totalmente en contacto (por ejemplo, se debe procurar que la zona de contacto sea lo bastante amplia). El área de contacto se debe adaptar lo más posible a los contornos de la superficie. La parte que se va a colocar sobre la superficie también debe tener una masa reducida, para que la estabilización sea rápida. La temperatura medida siempre es una temperatura mixta, ya que es inevitable medir también la temperatura del aire.

Parámetros y métodos de medición

Habitualmente las precisiones son aquí menores que al medir temperaturas ambiente. Para obtener información más detallada, consulte la siguiente sección.

1.3.1.1 Aplicación y resultados

Por supuesto, los sensores de aire o penetración no cumplen estos requisitos sobre cuerpos sólidos y, por tanto, no son aptos para medir temperaturas de muros. Es aquí donde entran en acción los sensores de disco o de bobina.

Los sensores de disco solo son aptos para superficies muy suaves. Se usan en combinación con medios de adhesión magnética para superficies metálicas lisas, pero no para papel de pared, yeso, piedra o cemento. Los sensores de bobina son más adecuados para estas últimas aplicaciones. Si la superficie es muy basta, se puede mejorar la transmisión de calor mediante una pasta conductora térmica.

El periodo de estabilización para los sensores de banda siempre es superior con malos conductores térmicos (por ejemplo, material aislante) y puede ser de hasta 10 segundos. Este tiempo es inferior con buenos conductores térmicos (por ejemplo, metal).

Las mediciones solo son exactas con estrecho contacto



Fig. 8: Sensor de banda

Si la exactitud es muy importante en una medición (por ejemplo, en el caso de los informes de expertos), el principio de medición, el diseño y la aplicación deben ser tenidos en cuenta en las mediciones.

Respecto a la exactitud, hay que recordar que los fabricantes solo indican las precisiones del sensor para determinadas condiciones de las superficies, esto es, cuando el sensor está colocado en ángulo recto sobre una placa de metal lisa. En otras superficies puede ser necesario tomar en consideración una calibración especial.

La exactitud estándar de los sensores de banda para temperaturas de sala habituales, por ejemplo, es ± 2.5 K. No obstante, se requieren mediciones más precisas para aplicaciones que exijan un alto nivel de exactitud.

Se puede realizar una calibración, y se recomienda hacerlo, si se desea tener una mayor exactitud en el intervalo de temperaturas de 10 °C (la temperatura de puente térmico habitual). En ocasiones, las sondas de penetración que se pueden colocar tras un papel de pared son más precisas, pero también más inertes. De esta forma, la transmisión térmica es más indefinida. El siguiente capítulo describe un tipo de sensor más preciso.

1.3.1.2 Aplicaciones especiales

Es necesario realizar un registro a largo plazo aun cuando la medición sea de la temperatura de superficie. Los asesores expertos requieren este tipo de mediciones muy especialmente al evaluar el moho o al investigar para determinar la respuesta calefactora. En este caso, el periodo de estabilización es prácticamente irrelevante. Es mucho más importante que el sensor se pueda anclar en posición. Para este fin hay disponibles sensores de láminas con un tamaño de $1,5 \times 4$ cm que se pueden fijar (con pasta conductora térmica) a la pared con dos pequeños clavos. La parte trasera debe protegerse de la radiación térmica y de los flujos de aire de la sala mediante una pequeña pieza de poliestireno.



Fig. 9: Sensor de lámina

La exactitud que se puede obtener aquí es mucho mayor que la que se obtiene al colocar un sensor sobre una superficie. Su valor es de aprox. $\pm 0,5$ K para la lámina en sí (equipada con un sensor PT100), suficiente para evaluar el rocío. Es esencial el contacto directo con la superficie. Por ello se debe evitar la formación de bolsas de aire y se debe utilizar pasta conductora térmica. La ubicación de la medición o de montaje depende de la tarea a realizar. A menudo resulta útil medir en dos posiciones diferentes al mismo tiempo.

Para obtener más información sobre el procedimiento a seguir en caso de daños por moho, consulte el capítulo 3.4. En el capítulo 3.5.3

Parámetros y métodos de medición

encontrará aspectos a tener en cuenta al evaluar puentes térmicos.

1.3.2. El principio de la medición sin contacto

Todos los cuerpos cuya temperatura esté por encima del cero absoluto (-273 °C = 0 Kelvin) irradian calor (lo que se conoce también como radiación infrarroja).

La radiación infrarroja tiene una longitud de onda larga (> 770 nm) y, así, se encuentra en un intervalo de espectros que no puede ver el ojo humano. Cuanto más alta sea la frecuencia (es decir, cuanto más corta sea la longitud de onda) más energía tendrá la radiación. Esta energía puede ser recogida por los sensores. La intensidad (salida) de la radiación de calor es una medición de la temperatura del cuerpo irradiador.

La mayoría de las sustancias tienen un comportamiento de irradiación "limpio" que utilizan los instrumentos de medición estándar en el intervalo de 8 a 14 nm.^{6,7}

Lo esencial es si el cuerpo solo emite su propia energía en la superficie o si refleja una parte considerable de la irradiación térmica ambiente (como hace una superficie pulida con la luz visible).

La parte compuesta por la irradiación reflejada se describe como el coeficiente de emisividad ϵ .

Hay que recordar que las propiedades reflectantes o transparentes de un cuerpo pueden tener distintos comportamientos en respuesta al calor irradiado que frente a la luz visible.

Lo que es transparente al ojo, por ejemplo, puede ser opaco para un instrumento de medición. No obstante, como regla general, las superficies que parecen reflectantes también son críticas para la medición de infrarrojos.

El color que percibimos en un objeto (blanco, negro, azul, etc.) no es relevante para la medición.

Por norma general:

solo se mide la temperatura de la superficie del sólido. La temperatura interna y la temperatura ambiente no se muestran.⁸

⁶ Algunas cámaras infrarrojas también funcionan en intervalos de 3 a 5 mm

⁷ Hay materiales (como óxidos metálicos y plásticos) que emiten radiación en varios intervalos del espectro y cambian su longitud de onda erráticamente cuando cambia la temperatura. Son lo que se denomina "emisores de color". Su medición resulta técnicamente más compleja. No obstante, no es relevante para las aplicaciones habituales en edificios.

⁸ Por supuesto, la temperatura que se origina en la superficie también depende de las temperaturas interna y del aire. El aire frío que fluye en el muro y a lo largo de él, por ejemplo, crea zonas de refrigeración en la superficie similares a "manchas". El aire frío en sí no se "reconoce", pero puede ser visto por el efecto que crea en la superficie.

1.3.2.1 Aplicación y resultados

Para que la medición sea precisa, es esencial que el coeficiente de emisividad sea correcto. Para la mayoría de los edificios de construcción mates es de 0,93 ... 0,95. Los dispositivos económicos tienen un valor fijo. En el caso de los dispositivos más variables, el coeficiente de emisividad se puede ajustar a las necesidades. La medición de superficies reflectantes (por ejemplo, rieles de acero inoxidable pulido, superficies anodizadas) puede ser muy imprecisa porque hay muy poca radiación característica.

El cristal no siempre es tan reflectante o transparente como parece. El que las superficies de cristal actúen o no como superficies "mate" de los materiales de construcción depende del intervalo de longitud de onda en el que está operando el instrumental.

La reflexión

Los paneles de las ventanas pueden ser opacos para muchas cámaras termográficas y, sin embargo, actuar como un espejo para la radiación cósmica. De esta forma, aparecen inusualmente fríos en las lecturas. Si no hay recomendaciones del fabricante ni experiencias previas, puede cubrir la superficie en cuestión con una cinta adhesiva de efecto mate (hay disponible para ello cinta adhesiva resistente al calor para altas temperaturas). Por supuesto, no se pueden utilizar cintas adhesivas con color de aluminio. Sin embargo, sí se puede utilizar la cinta "Gaffa" utilizada por los ingenieros de sonido e incluso cinta de carroceros. Estos tipos de cintas permiten medir con mayor fiabilidad baldosines brillantes, paneles, espejos, radiadores, rieles metálicos, superficies galvanizadas, etc.

Hay que tomar en consideración el tamaño del punto de medición. Con cámaras termográficas, el área sometida a la medición se identifica porque el área es escaneada permanentemente.

El punto de medición

Sin embargo, los dispositivos de mano solo hacen mediciones de un punto, normalmente en un punto circular y no en un punto único. Esto es debido a la disposición del objetivo (confr. el principio de una cámara fotográfica). Se obtiene un valor medio de temperatura para la superficie a medir.

Para dejarle saber dónde se está realizando la medición, los instrumentos tienen un haz láser que resalta la *posición* del punto de medición. Es importante también el *tamaño* del punto de medición, por ejemplo, en esquinas, en zonas cercanas a tuberías de agua o sobre las cintas adhesivas mencionadas anteriormente. Por ello, los instrumentos mejor diseñados tienen haces láser adicionales que resaltan los contornos del punto de medición. Si no es así, el tamaño del punto de medición se debe deducir de la distancia hasta el objeto, tal y como se detalla en las instrucciones de uso.

Parámetros y métodos de medición

La superficie a medir debería ser “vista” lo más lejos posible y en ángulo recto. Las desviaciones de hasta 30° respecto a la vertical son irrelevantes. El instrumento de medición se debe mantener alejado del lado del cuerpo, para que la irradiación reflejada del calor corporal no lo alcance. Unos ángulos de observación muy planos no solo impiden unos resultados precisos, sino también distorsionan el punto de medición dándole una forma ovalada.

La medición sin contacto no es necesariamente más precisa que la medición por contacto. Una comparación directa entre ambos métodos en una misma posición puede mostrar las diferencias.

La exactitud no solo está determinada por la resolución de la pantalla digital, sino también por la exactitud del factor de emisión, por la capacidad de compensación del sistema electrónico respecto a la temperatura del aire ambiente y por la exactitud del objetivo.

Una comparación de ambos métodos en el sitio de construcción es muy útil para evaluar la exactitud.⁹

⁹ Aunque coincidan los resultados, eso no significa que la medición fuera precisa. La desviación puede darse en la misma dirección para ambas mediciones. Aun así, es fundamental emplear siempre varios métodos para las aplicaciones de gran importancia.

Parámetros y métodos de medición

Medición por infrarrojos		Medición por contacto	
Criterio	Posible solución	Criterio	Posible solución
¿Se ha estimado correctamente el factor de emisividad?	Encuentre el valor correcto en el manual y haga los ajustes necesarios	¿Superficie irregular? ¿El sensor tiene suficiente superficie de contacto?	Seleccione el sensor adecuado
¿La superficie es "fiable"?	Aplique cinta adhesiva mate sobre metales, superficies anodizadas y reflectantes	¿Superficie basta? ¿Capa de aire cerrada?	Utilice pasta conductora térmica
¿La radiación de fondo es fuerte (bombilla incandescente, horno ardiendo, cielo invernal despejado)?	Proteja con su cuerpo, con una cartulina o una sombrilla	¿El tipo de sensor es, por lo general, impreciso?	Seleccione un principio diferente para registrar las mediciones; seleccione una clase de exactitud diferente; calibración individual
¿El objetivo está empañado? ¿El aparato está a la temperatura de la sala?	Espere	¿El sensor y el dispositivo de mano están a la temperatura de la sala?	Espere
¿El punto de medición es mayor que el objeto? ¿Se conoce el tamaño del punto de medición?	Determine el tamaño con la información de las instrucciones de uso o utilice un dispositivo con pantalla láser	¿La sonda se ha calentado en un lugar erróneo?	Sostenga la sonda por el mango, ni por el conector ni por el eje; "aisle" el sensor en un lado de la sala
¿Hay polvo u otra capa no homogénea sobre el objeto de medición? ¿Se está midiendo un objeto que está empañado?	Limpie	¿La lectura es estable?	Espere a que se alcance la temperatura de la sala; busque una superficie de contacto más fiable; evite inclinar el aparato al colocarlo; compruebe el dispositivo
¿No se puede reproducir? ¿Hay desviaciones pronunciadas entre posiciones de medición cercanas entre sí?	¡Propiedad de superficie no homogénea! Aplique cinta adhesiva	¿No se puede reproducir? ¿Hay desviaciones pronunciadas entre posiciones de medición cercanas entre sí?	¡Propiedad de superficie o superficie de contacto no homogénea! Utilice pasta conductora

Tabla 1: Criterios importantes para la exactitud de la medición en mediciones por contacto e infrarrojos

La exactitud de la medición también depende, en gran medida, de contar con un instrumento de medición a temperatura ambiente, especialmente al medir objetos con un factor de emisión bajo.

La gran ventaja de los instrumentos de medición por infrarrojos es su facilidad de uso. Los componentes constructivos que no se pueden alcanzar con la mano (por ejemplo, los techos de un pabellón deportivo, recovecos por

Parámetros y métodos de medición

encima de un armario y las esquinas) se pueden medir rápidamente y con una exactitud suficiente. Las *diferencias de temperatura* también se pueden medir con una exactitud mucho mayor que la temperatura absoluta, siempre que la superficie sea idéntica. Las juntas de una pared de ladrillos, los conductos, los dinteles de cemento etc. se “identifican” por su temperatura. Si se conoce la temperatura de rocío actual de la sala, es fácil localizar las zonas en las que se está produciendo condensación.

Resulta incluso aun más cómodo si la temperatura de rocío se puede introducir en el instrumento como un valor de umbral mínimo, de forma que se emite una señal óptica y acústica en caso de alcanzar dicho valor mínimo.

Las mediciones por infrarrojos miden superficies irregulares así como superficies de difícil acceso, algo fundamental para uso en construcciones.

1.4 Humedad de materiales

Hay más de una docena de formas diferentes de determinar el contenido de agua en los materiales de construcción minerales. Algunos de estos métodos son destructivos, requieren un trabajo de calibración muy costoso en términos de tiempo y mucha electricidad o sustancias radioactivas. No todos los métodos se pueden transportar ni son viables económicamente para pequeñas empresas.

Todos los procedimientos se deben basar en un procedimiento de referencia el método Darr-Wäge (del peso en seco).

En este método se toma una muestra (cincelada) recogida en un contenedor estanco que se envía a un laboratorio. La muestra se pesa con exactitud antes de retirar todo el agua en un horno de secado (la temperatura de secado para materiales de construcción de cemento es de 105 °C). Cuando se alcanza un peso constante, se pesa de nuevo la muestra. La diferencia en peso se corresponde con la cantidad de agua que contenía la muestra.

A continuación, la masa del agua se compara con la masa en seco de la muestra:

$$C = \left[\frac{m_{\text{húmedo}} - m_{\text{seco}}}{m_{\text{seco}}} \right]$$

Suele indicarse en porcentaje.

El valor C del contenido de agua que se obtiene de esta forma, sin embargo, no ofrece información sobre la saturación real de la sustancia, es decir, si estaba o no saturada.

Parámetros y métodos de medición

Para sacar conclusiones a este respecto hay que dar un paso adicional: la muestra totalmente seca se sumerge en un baño de agua. Se deja sumergida hasta que no se pueden determinar más aumentos de peso (saturación completa = absorción máxima de agua posible).

La cantidad de agua contenida se compara a continuación con la cantidad máxima posible (aquí hay paralelos con la definición de humedad de aire relativa):

$$\text{Penetración de la humedad} = \left[\frac{m_{\text{contenido de agua}}}{m_{\text{agua que se puede absorber como máx.}}} \right]$$

Tenga en cuenta que:

- Hay personas que comparan el volumen de agua con la muestra *húmeda* (en algunos sectores y en el mundo angloparlante).
- Hay un indicador de densidad de volumen (vol. %) que no se debe confundir con las cifras de densidad de masa (m %).

Todo el agua es expulsada de la muestra seca y, así, alcanza un nivel de secado que nunca se daría en circunstancias normales. El nivel de secado que se supone en nuestro clima ambiente o doméstico se denomina "equilibrio del contenido de humedad"¹⁰. Depende de la humedad del aire ambiente.

El método Darr-Wäge requiere varios días (por los procesos de saturación y secado), requiere el uso de hornos de secado con acondicionamiento de aire y balanzas de exactitud y ofrece unos valores especialmente interesantes para fines de investigación (ciencia de materiales, investigación fundamental, valores de calibración para otros procesos, etc.).

A continuación veremos otros métodos para determinar la humedad de los materiales y adecuados fundamentalmente para el uso cotidiano en términos económicos y prácticos. Sin embargo, estos métodos no pueden ofrecer el contenido de humedad C ni la penetración de la humedad para materiales desconocidos sin calibración mediante el método Darr-Wäge.

¹⁰ Los términos "equilibrio de contenido de humedad" y "relación de humedad en equilibrio" no se diferencian adecuadamente en las publicaciones sobre este tema y suelen utilizarse como sinónimos. En el capítulo 1.4.1.3 podrá encontrar la definición utilizada en esta guía.

Parámetros y métodos de medición

1.4.1 Los diferentes procesos de medición: posibilidades y límites

1.4.1.1 El método de campo de dispersión

Se coloca un electrodo con bobina en un componente constructivo. Se aplica alternadamente una tensión baja que genera un campo eléctrico que, en función del diseño, penetra en el componente en distintas profundidades. Las formas estándar son de cabezal esférico o bucle. La profundidad de la penetración es de entre 2 y 5 cm. Depende de la geometría del componente y de la estructura de las capas. El agua contenida en el material de construcción tiene un efecto notable en el campo eléctrico. Por tanto, los cambios en el campo son una medición del contenido de agua.

El tipo de material de construcción influye considerablemente en las lecturas. Los metales del sustrato (por ejemplo, hierro de refuerzo o tuberías de agua) producen cambios pronunciados (confr. el principio operativo de los dispositivos de búsqueda de cable). La presencia de diferentes densidades puede variar las lecturas, aunque el material de construcción sea del mismo tipo (por ejemplo, ladrillos).

Además, la falta de homogeneidad (cavidades, mortero, distintos tipos de ladrillos) genera fluctuaciones y “mezclas de valores”. Así resulta comprensible que los instrumentos de medición no indican el contenido de agua directamente, sino que solo miden una tensión de salida. Este valor se convierte en “unidades” o “dígitos” sin dimensión o indica que las condiciones son “secas”, “húmedas” o “mojadas” mediante indicadores LED.

Los dispositivos de alta calidad permiten al usuario definir una escala individual. Aunque es posible determinar el contenido de humedad C a partir del valor indicado, esto supone un trabajo de calibración previa en laboratorio para el material utilizado (con su propia densidad específica) según el método Darr-Wäge.

En la práctica, estos instrumentos se suelen utilizar para localizar fugas ya que no pueden penetrar en fisuras, por ejemplo. El agua de los sustratos se puede restringir a una determinada zona, incluso bajo encofrado (fino), cubiertas de goma o suelos laminados. La segunda ventaja (el carácter no destructivo) resulta muy útil en el caso de superficies muy duras, densas o valiosas (mosaicos, frescos, losas de pavimento).

Estos instrumentos también permiten extraer conclusiones sobre la evolución de los daños (por ejemplo, si los componentes constructivos tienden a secarse, continúan húmedos o cada vez están más húmedos). Para ello se

Parámetros y métodos de medición

deben realizar dos o tres mediciones con varias semanas de separación. La posición de los puntos de medición y de las lecturas se debe registrar con gran exactitud.

Se dibuja una cuadrícula en el componente constructivo para realizar las sucesivas mediciones en las mismas posiciones exactamente.

Atención: en función de la forma, la posición de la sonda (recta o inclinada, oprimida o ligeramente apoyada) también influye en las lecturas.

Coloque la sonda en una posición varias veces para comprobar si la medición ha sido correcta. En teoría deberán obtenerse unos mismos valores. La reproductibilidad se puede mejorar con una posición estrictamente definida para la sonda. La sonda se puede colocar plana sobre la superficie, por ejemplo, para evitar tener diferentes ángulos al colocar la sonda.



Fig. 10: Cómo sostener una sonda con cabezal de bucle

Parámetros y métodos de medición



Fig. 11: Las marcas facilitan las mediciones sucesivas

Dado que, como ya se ha señalado, los movimientos más suaves (o cambios de ángulo) de la sonda pueden influir notablemente en la lectura, es muy difícil medir con exactitud las esquinas, recovecos o superficies ásperas/irregulares. Debido a la concentración de masas, las esquinas tienden a generar unas lecturas superiores que, habitualmente, solo simulan un aumento en el contenido de agua.

Cualquier consideración sobre la exactitud es superflua con este método de medición, ya que las diferencias en el manejo perfiladas arriba y la falta de homogeneidad de los sustratos generan fluctuaciones mucho mayores que el equipo en sí. Es por esto por lo que muchos fabricantes no indican la exactitud.

1.4.1.2 Conductividad

El agua conduce electricidad y, a pesar de su resistencia, influye en la conductividad eléctrica de un material de construcción que contenga agua. Este hecho se puede utilizar al medir el contenido de agua.

Hay que introducir dos electrodos en el componente constructivo o, al menos, sobre él. Se puede hacer mediante

- inserción de sondas de cepillo en orificios perforados previamente (en cemento y ladrillo)
- inserción de sondas de penetración con un martillo (fundamentalmente para análisis en madera)
- inserción de puntos de agua (yesos y encofrados).



Fig. 12: Tipos de sondas para medir la conductividad

La lectura se ve afectada ligeramente por la temperatura, pero se puede compensar por medios técnicos. La profundidad de penetración de las agujas o de las sondas de cepillo y su separación también influye en la lectura, y hay que compensar ese efecto. Si en el diseño no se prescribe la separación de los orificios, habrá que consultar ese valor en las instrucciones de funcionamiento. En el caso de los orificios perforados, el calor del proceso de perforación genera un secado que hay que compensar con un tiempo de espera suficiente. Durante ese tiempo hay que mantener cerrado el orificio. Puede

Parámetros y métodos de medición

hacerlo con una cinta adhesiva plástica.

La mayor desconocida de toda la medición es la composición química del componente constructivo. Esto significa que la conductividad (con un contenido de agua idéntico) varía entre materiales: el cemento, los bloques silicocalcáreos, el mortero, etc. tienen diferentes comportamientos en función de su densidad.

Si los instrumentos se van a utilizar para diagnosticar daños, hay que recordar también que la humedad presente en el componente durante un tiempo puede haber liberado y reposicionado sales. Las sales conducen la electricidad, es decir, el aumento en la carga de sal aumenta la conductividad respecto al contenido de sal estándar del material de construcción (en algunos casos lo multiplica varias veces). Las sales se transportan con el flujo de agua hacia la superficie de evaporación. Habitualmente la medición se realiza en la superficie de evaporación (capa interior). Esto puede hacer que se muestre un contenido de agua superior al valor real.¹¹

Los instrumentos con indicadores por contacto ofrecen unos diagnósticos rápidos. Aquí la aplicación principal es evaluar si las manchas de la pared indican un caso previo pero ya rectificado o daños agudos.

Si el instrumento indica estado "seco", la pared (al menos en la superficie) está seca. Si el instrumento indica "humedad" puede haber agua y/o sales: mucha agua con pocas sales o poca agua con muchas sales.

Se podrán extraer conclusiones muy fiables mediante la observación (por ejemplo, ¿el yeso está descolorido o fragmentado?) y mediante otro método de medición independiente. Si el instrumento señala "mojado", se debe suponer que es así.

Al medir yeso muy húmedo, la fuerza necesaria para introducir el instrumento suele ofrecer mucha información sobre el daño: el yeso húmedo totalmente penetrado por la humedad durante un periodo de tiempo prolongado está fragmentado y no ofrece resistencia a los indicadores.

Si siempre obtiene una lectura con un valor extremo en diferentes posiciones, compruebe si se ha utilizado un papel de pared con reverso de aluminio.

En cualquier caso, para la medición hay que retirar los papeles húmedos, ya que su sensibilidad a la humedad ambiente (higroscopicidad) supone que retienen bien el agua y pueden mostrar unas lecturas elevadas.

¹¹ Es cierto que las sales tienen distintos efectos sobre la lectura, especialmente en el método de medición de conductividad. Sin embargo, en todos los métodos se aplica una segunda relación: si la concentración de sal aumenta, se absorbe humedad del aire (higroscopicidad de las sales). De esta forma, estos materiales de construcción tienen un "equilibrio de contenido de humedad" más alto y nunca estarán tan secos como los materiales "no contaminados" en un determinado clima ambiente. Consulte también el capítulo 1.4.1.3.

Parámetros y métodos de medición

La respuesta de conductividad también se puede utilizar para determinar perfiles de humedad (junto con las sondas de cepillo de unos 30 cm de longitud), en los siguientes casos, por ejemplo:

- a distintas alturas (con una profundidad constante) o
- a distintas profundidades en el ladrillo (en un solo par de orificios de perforación).

Inconsistencias terminológicas

Esto permite extraer conclusiones, por ejemplo, sobre si la humedad procede del exterior o es interna. En condiciones ideales, se pueden producir unas curvas matemáticamente “limpias”. Sin embargo, en la práctica la falta de homogeneidad (con diferentes tipos de ladrillos presentes en una pared, presencia de juntas, cavidades, etc.) genera curvas muy diferentes que solo permiten derivar tendencias. La falta de homogeneidad se puede identificar de antemano por la resistencia detectada al perforar y por el color del polvo producido en la perforación.

El procedimiento también se puede utilizar para evaluar la capacidad de aplicación de una cubierta de suelo, sujeto a tres condiciones:

1. Debe ser posible definir la composición del material de construcción a evaluar (por ejemplo, encofrado ZE 20)
2. Los valores definidos o límite deben elaborarse para esa composición (es decir, se requiere una calibración puntual en laboratorio mediante el método Darr-Wäge).
3. La ruta de inmersión de las sondas de cepillo se debe definir con un tope o similar.

Si no se cumplen los requisitos de calibración señalados arriba, el método de conductividad no ofrecerá cifras de humedad directas, tan solo indicadores para la clasificación. Esta valoración de tipo “seco-húmedo-mojado” se aplica a materiales de construcción minerales e industriales.

En el caso de la madera la situación es diferente: es así porque aunque hay diferentes tipos de madera, la desviación entre maderas de un mismo tipo es mínima, de forma que hay disponibles buenos valores de referencia que se pueden utilizar para determinar de forma más precisa el contenido de humedad.

Ejemplo: el abeto tiene una conductividad diferente al haya. Sin embargo, el abeto procedente de Escandinavia no presenta ninguna diferencia significativa respecto al procedente de la Selva Negra.¹²

¹² No se pretende aquí entrar más en profundidad en lo relativo a la medición de la humedad de la madera, ya que este método se puede consultar en las instrucciones de los fabricantes.

Parámetros y métodos de medición

1.4.1.3 Relación de humedad en equilibrio

Este método es algo especial porque, en lugar de medirse directamente, la humedad del material se mide indirectamente a través de la humedad del aire.

La humedad del aire es la que se produce en contacto con el componente constructivo examinado. El motivo es claro a partir de la explicación previa de los demás métodos: hablando en sentido técnico, la medición de la humedad del aire es muy fiable y poco costosa.

Términos y definiciones...

Aunque el término “equilibrio” se usa al hablar de RELACIÓN DE HUMEDAD EN EQUILIBRIO y EQUILIBRIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD, para los propósitos de esta guía debe hacerse una distinción:

La relación de humedad en equilibrio es la humedad del aire que se corresponde con cualquier contenido determinado de agua del material de construcción, esto es, forma un equilibrio estable con él (ver abajo). La humedad aquí es % HR o g/m³.

El equilibrio del contenido de humedad es la humedad del material que se da en contacto con un clima de interior o de sala media “normal”. La unidad suele ser M%.

Hay que recordar que estos términos se utilizan de formas diferentes en otras referencias.

Otros términos habituales relacionados con estos fenómenos físicos son: método de estabilización de la humedad, método de hidrómetro, actividad del agua y humedad higroscópica.

Si hay que determinar esta humedad del aire (conocida como la relación de humedad en equilibrio) hay que crear un sistema cerrado en miniatura.

Puede ser un volumen sellado en la superficie del componente constructivo. Por ejemplo, se puede crear una cámara de ensayo con una película adherida en el contorno o con un embudo.

O bien, se puede crear una cámara en el componente en sí perforando un orificio y sellándolo.

Hay útiles para ambos métodos.

Parámetros y métodos de medición

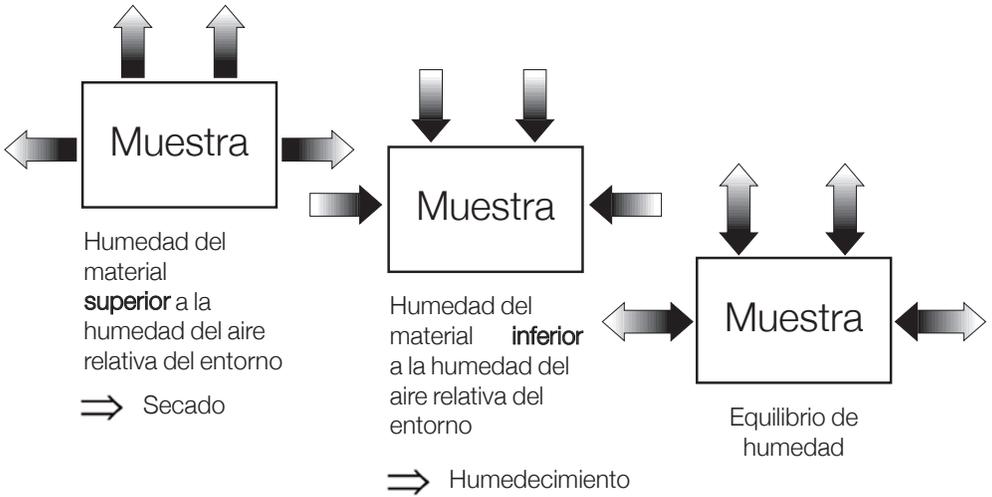
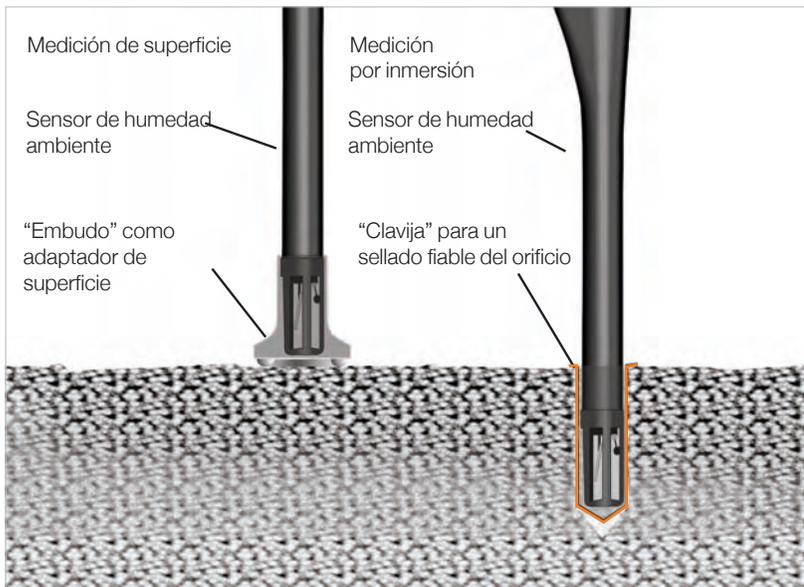


Fig. 13: Humedecimiento, secado, estabilización



Parámetros y métodos de medición

Fig. 14: Diagrama esquemático de un volumen sellado

Si se trata de un volumen sellado, se da una relación física:

A cada humedad del material se le puede asignar una humedad del aire que se dé en el material constructivo.

O a la inversa: al almacenar el material constructivo con unas determinadas condiciones climáticas se produce una determinada humedad del material.

Esta relación se puede trazar con curvas conocidas como "isotermas de sorción". Cada isoterma de sorción se aplica únicamente al material de construcción para el que fue determinada, ya que cada material tiene un valor característico de sorción diferente. Las isotermas de sorción se pueden obtener en referencias bibliográficas o, en algunos casos, se puede obtener la información del fabricante de los materiales constructivos o del equipamiento.

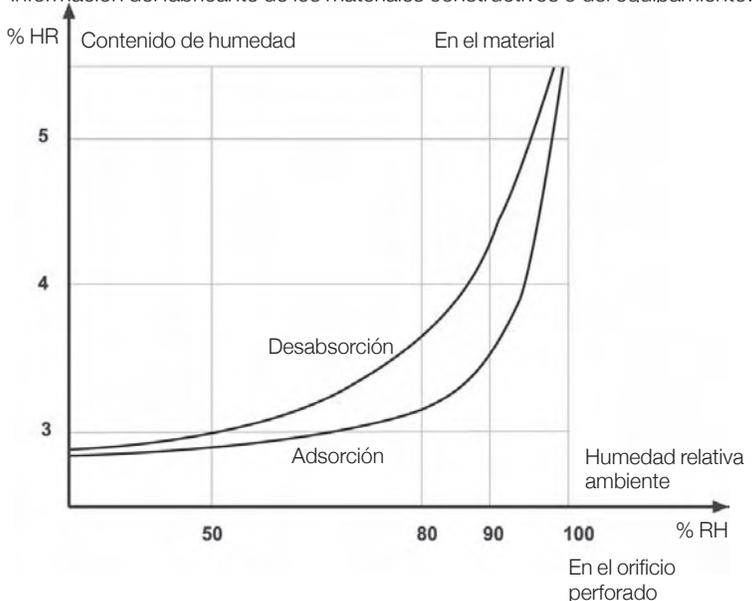


Fig. 15: Ejemplo de una isoterma de sorción

Parámetros y métodos de medición

La salinización producirá un aumento en el equilibrio del contenido de humedad.

En el diagrama, la línea de una isoterma de sorción bajo los efectos de la sal sube más alto que una isoterma similar de un material no salinizado.

Esto significa también, a la inversa, que se necesita un aire ambiente mucho más seco en teoría para secar los componentes salinizados. Las paredes de ladrillo con sales causan problemas para la pintura y para el enyesado convencional. En muy poco tiempo se hacen patentes manchas.

Las sales se pueden determinar de forma cualitativa y semi-cualitativa in situ, y en el laboratorio de forma completamente cualitativa. Esto solo es importante para casos complejos, por ejemplo, para la restauración de materiales de construcción históricos con yesos especiales.

La medición de la relación de humedad en equilibrio es sencilla en términos de equipamiento, y no depende del fabricante. La desventaja, sin embargo, es que se necesita un periodo de estabilización relativamente largo, de aproximadamente 1 minuto, con pequeños embudos en la superficie. El espacio de aire tiene que enriquecerse previamente con la humedad difundida. Cuanto mayor sea ese espacio de aire, más largo será el proceso. En el caso de los grandes espacios de aire (por ejemplo, bajo películas o en orificios perforados, que deben enfriarse previamente), el tiempo de espera adicional es de al menos 30 minutos.

Debido a este tiempo de respuesta y al tiempo de espera que puede ser necesario, este método no resulta práctico para todas las ubicaciones. El tiempo requerido para analizar un gran número de puntos hace que la solución no resulte rentable. Por otro lado, el método es muy adecuado para:

Diagnóstico de moho, ante la pregunta: ¿el aire está humedeciendo la pared o es ésta la que humedece el aire?

Comprobar un método diferente (en el que se mida primero la resistencia, por ejemplo, y si el resultado no es claro se mide el equilibrio del contenido de humedad).

Comprobación de controles del secado técnico de la construcción bajo encofrados o sobre yeso.

Examen de capacidad de aplicación de cubiertas de suelo. La medición sobre superficies no es destructiva, pero los resultados en orificios perforados son más concluyentes. La composición del material examinado se debe basar en una isoterma de sorción (determinada en el laboratorio con el método Darr-Wäge) o en la experiencia de campo. El secado completo se identifica en los edificios residenciales aun sin curvas de sorción, pero la humedad residual solo se puede estimar con una curva de sorción.

Parámetros y métodos de medición

Recuerde siempre lo siguiente:

Para mediciones con embudo:

El embudo debe estar perfectamente en contacto. Si se inclina o se eleva, se producen intercambios de aire, lo que puede aumentar el tiempo de estabilización. Habitualmente, las superficies ásperas o irregulares no se pueden medir con un embudo.

No hay que calentar el embudo con la mano. Sin embargo, el efecto de la temperatura puede ser compensado si el sensor de humedad del aire se utiliza para determinar la humedad absoluta del aire y no la relativa.

Para orificios perforados:

El calentamiento y secado producidos por el proceso de perforación deben haber desaparecido por completo. Se recomienda esperar por un plazo de entre 1 y 2 horas. A no ser que se realicen perforaciones y mediciones en serie en un lote de orificios consecutivo, suele ser necesario realizar una segunda visita.

La "clavija" de sellado debe encajar.

Por norma general:

Es recomendable, en términos generales, anotar la humedad absoluta y la humedad relativa junto con la temperatura correspondiente. También hay que registrar la humedad del aire de la sala.

Si se utilizan compuestos para juntas para sellar herméticamente la cámara de medición, no se debe aplicar agua (por ejemplo, no se debe utilizar goma de mascar ni otros compuestos con base de agua). Es muy adecuado el sellador perimetral flexible permanente (como el utilizado para sanitarios).

1.4.1.4 Otros métodos

Aunque el método térmico de medición por infrarrojos mencionado habitualmente (termografía o termómetro sin contacto) es indispensable para localizar fugas de agua caliente, este método no es adecuado para evaluar el contenido de agua.¹³

En el **método CM** químico, se cincela una pieza del tamaño de un pulgar de material de construcción, se aplasta siguiendo un determinado procedimiento, se mezcla con reactivo y se vierte en una botella a presión. Al agitar, el agua liberada de la muestra base reacciona con el reactivo (carburo de calcio) y produce el gas acetileno. El aumento de presión que se genera en la botella es una medida del agua contenida. El contenido de agua determinado mediante el dispositivo CM suele ser inferior al determinado con el método Darr-Wäge. Este hecho ya ha sido tomado en cuenta en los valores y límites estándar, por ejemplo, para encofrados. Los valores límite se identifican como "CM %" y solo se pueden utilizar combinados con el método CM.

Por motivos básicos, no todo el agua contenida entra en reacción o la reacción solo se produce lentamente. Por ello, hay que respetar estrictamente los tiempos de lectura y sacudida. También hay que comprobar con regularidad la hermetización de presión y la exactitud de los valores indicados del dispositivo. Para este fin se pueden rellenar cápsulas de ensayo de reactivo especiales.

El método CM es un método muy utilizado y reconocido en países como Alemania (a diferencia de lo que ocurre, por ejemplo, en Escandinavia). Probablemente esto se debe a su temprana introducción en el mercado. Sus desventajas son el consumo de reactivo, lo costoso del procedimiento en términos de tiempo y (si no se toma el cuidado suficiente) las diferencias entre los resultados obtenidos por diferentes usuarios.

Al igual que ocurre con otros procesos intrusivos, la lectura no es estrictamente reproducible (para la verificación se requiere una segunda muestra de material que no tiene que ser idéntica a la primera). Otros procedimientos de medición tienen el potencial de satisfacer la función requerida con el mismo grado de fiabilidad.

¹³ Hay aplicaciones industriales en las que se utiliza la medición por infrarrojos para determinar el contenido de agua en las superficies. Sin embargo, no hay instrumentos de este tipo adecuados para el uso en obras (tamaño, peso, costes).

Parámetros y métodos de medición

Las mejores perspectivas son las que ofrece el **método de equilibrio de contenido de humedad**, ya que es muy eficaz en costes, no depende del diseño y muestra poca sensibilidad lateral. A medida que crece la experiencia se producen las curvas de calibración necesarias (como los valores límites de CM que conocemos hoy en día).

El **método de microondas** es similar al método de campo de dispersión en sus efectos, pero funciona con diferentes frecuencias y produce profundidades de penetración mayores. Las sondas tienen aproximadamente el tamaño y la forma de una linterna de gran tamaño y, en función del diseño, ofrecen distintas profundidades de penetración que van de los 5 a los 30 cm. Este método también reacciona a las propiedades del material de construcción (composición, densidad) y al contenido de agua. Los metales y las capas entre el material de construcción y el aire distorsionan la medición. Esto significa, por ejemplo, que los ladrillos con perforación vertical no se pueden medir ya que contienen numerosas cámaras. Las barras de refuerzo se pueden identificar por unas lecturas más elevadas repetidas a determinados intervalos.

Un instrumento de medición por microondas tiene aproximadamente las mismas dimensiones que otras unidades de mano, pero es más caro.

Por último, también cabe hacer referencia a las **sondas de neutrones (sondas Troxler)**, mucho más costosas. Se utilizan con materiales ligeramente radioactivos, para la documentación de autorización de manipulación y transporte, y son instrumentos muy complejos. Debido a la alta profundidad de penetración y a su forma (similar a la de un aspirador de pie) son muy adecuadas para revelar la distribución del agua en cubiertas planas.

2. Aspectos básicos de la medición

2.1 La ventaja de la autoridad

Para representar e interpretar de forma convincente datos importantes se requieren datos sólidos de base. Estos datos provienen de mediciones verificables realizadas correctamente por un experto.

Sin embargo, para que las mediciones y los datos verificables y exactos sean aceptados ampliamente entre todos los grupos de población será necesario combinarlos con una presentación y comunicación profesionales de los resultados.

Esta aceptación significa una ventaja en autoridad que solo se puede mantener si las conclusiones ofrecidas están respaldadas realmente por la tecnología, esto es, si no hay fallos en los argumentos ni en los datos.

Por tanto, es esencial:

- realizar las mediciones adecuadamente en función de los sistemas utilizados, manejar los instrumentos de medición de forma experta,
- documentar los resultados de forma clara y comprensible, e interpretarlos con el grado de cautela necesario.

2.2 Fe ciega en la tecnología digital

Incluso los expertos corren el riesgo de creer que sus instrumentos de medición les informan con absoluta certeza. Esta tendencia aún está más marcada si los instrumentos tienen pantallas digitales (y no el tradicional puntero) ya que las lecturas ofrecen valores decimales y dan la impresión de una exactitud que no es real. Además, las fluctuaciones son más difíciles de captar para el ojo que con una aguja moviéndose rápidamente de un lado a otro.

Al realizar una medición, siempre debe preguntarse lo siguiente:

- ¿La lectura obtenida es plausible?
- ¿Hay una explicación clara del valor?
- ¿Qué se espera a un determinado nivel?
- ¿Ese valor es físicamente posible?
- ¿Estoy cometiendo un error manifiesto en la forma de realizar la medición?
- ¿La medición se puede reproducir en caso de duda?

Aspectos básicos de la medición

Si se obtienen lecturas diferentes cuando, por ejemplo, un sensor de humedad del material se aplica repetidamente en la misma zona del muro, no se puede utilizar un valor de medición individual.

El motivo más probable es que la posición del sensor no sea exactamente la misma, que la superficie sea demasiado irregular, que no se haya sostenido el sensor fijo, etc. Para poder excluir estas incidencias de forma estadística, habría que realizar muchas mediciones de repetición y, a continuación, calcular la desviación media y estándar.

¿Qué tolerancias cabe esperar?

Las imprecisiones pueden tener varias fuentes:

- el sensor
- el dispositivo de mano
- efectos secundarios (temperatura, sales)
- diferencias en el manejo
- ¿Cómo se compara la exactitud de la medición con la exactitud de los valores indicados?

¿Qué tolerancias cabe esperar?

Ejemplo: Si una indicación de humedad de 21 %HR tiene un error de ± 5 %HR, no tiene mucho sentido ofrecer un valor decimal, sobretodo si la medición se realiza sobre una base aleatoria que podría ofrecer lecturas muy diferentes una hora después. Ningún experto debería ofrecer una conclusión a partir de un valor de este tipo.

2.3 Los cuatro elementos básicos de la medición

El diagnóstico de una estructura constructiva no solo incluye mediciones. Estos son sus cuatro elementos básicos:



Fig. 16: Un rompecabezas que comprende observación, entrevistas, medición y combinación

Observación

A menudo, los inspectores expertos pueden deducir las causas del daño a partir de su aspecto (observación). Por supuesto, esto supone el riesgo de tomar conclusiones prematuras sin haber examinado y descartado otras causas posibles.

La tecnología de medición puede ofrecer la ayuda fundamental aquí, ya que permite confirmar una sospecha y descartar otras causas.

Entrevistas

Las respuestas ofrecidas por los desarrolladores también tienen una gran importancia psicológica. Es mejor si los afectados se sienten integrados. Además, establecer el tiempo en el que se produjo el daño puede ofrecer información muy valiosa. Por ejemplo, si los entrevistados afirman que la mancha de humedad apareció cuando hacía frío, se debe investigar y analizar más atentamente la posibilidad de daños por congelación en las tuberías.

Aspectos básicos de la medición

Estas pueden ser algunas de las preguntas habituales:

¿Cuándo se produjo el daño?

¿Qué influencias externas o condiciones meteorológicas imperaban cuando se produjo el daño?

Si hay varios síntomas: ¿en qué orden surgieron?

¿El fenómeno es continuo o recurrente?

Si el fenómeno es recurrente: ¿a qué intervalos se da y en qué ocasiones?

Si se realiza esta entrevista, dará pistas importantes sobre la mejor forma de realizar las mediciones.

Combinación

Al combinar todo lo que se ha podido averiguar, se obtendrá una imagen global. No siempre se pueden recomponer todas las piezas del rompecabezas. A menudo son necesarios varios días de reflexión para encontrar la solución. En muchas ocasiones todo esto también ayuda a definir la forma de aclarar definitivamente el problema, y la solución se encuentra en una segunda visita.

Medición

Antes de comenzar la medición, debe estar claro cuál es el problema real. A menudo se determina de forma intuitiva.

Es una gran ventaja tener claro de antemano qué lecturas se espera obtener y qué mediciones probarían o descartarían una teoría.

Habitualmente se recomienda registrar con exactitud las mediciones. Se puede hacer mediante un informe escrito a mano, un informe informático o un impreso en papel generado por el propio instrumento de medición.

Los detalles esenciales son: fecha, piso/habitación/componente constructivo, parámetro y clima ambiente.

Los formularios de registro preimpresos resultan muy útiles. Aseguran que nada quede olvidado, sin olvidar el hecho de que siempre presentan el mismo formato. Puede diseñar usted mismo estos formularios, o hacerse con formularios preelaborados (del autor).

Aspectos básicos de la medición

Bl. ... zu Bl.

Aufnahmeprotokoll (Messung)

Datum 18.10.2003 Zeit 11:30 AG HW. Kindermann... Adr Eichenweg 30,
 Biskar... KIZI = Anbau! Darmstadt

Wohnung Raum
 Geschoss EG Ausrichtung Süd, Ex-Außenwand,
 jetzt INNENWAND

Fleck 1 Messraster Höhe 10 x Breite 10

Messverf.: Streufeld Widerst. Dorn Widerst. Bürste Ausgl.f.

Sondenausrichtung b. Streufeld ggf. Bohrlochtiefe .../.....

Skalierung b. Streufeld 0 bis 10

an Luft und Handfläche

Oberfläche Gipsputz, Raufaserta- Raumklima 19°...67% r.F.....
 mete-entf.....

Skizze:

Messpkt	Messverf. ₁	Messverf. ₂	T _{Oberfläche}	Messpkt	Messverf. ₁	Messverf. ₂	T _{Oberfläche}
1	3,0	1,2	16	09	3,7		17
2	2,8			10	4,4 !	2,2 - blinkt	
3	2,8			11	2,8		
4	5,1 !			12	3,1		
5	3,1	1,2		13			
6	2,1			14			
7	2,5			15			
8	3,3			16			
Vergl-wert	0,9	0,6		Vergl.ort	im Höhe	s. Skiz	

Notizen: rückseitig gelegene Duschanne angeblich im Aug. neu abgedichtet (Schwarzarbeit)

Fig. 17: Extracto de un formulario de registro de medición de humedad preimpreso

Aspectos básicos de la medición

El adjuntar fotografías ayuda a recordar el proceso incluso transcurridos algunos meses y permite hacer un procesamiento experto (también da una certidumbre legal en determinados escenarios). Para interpretar muchas lecturas es esencial contar con la experiencia suficiente. Debería evitar tomar conclusiones prematuras a las personas implicadas en el proceso.

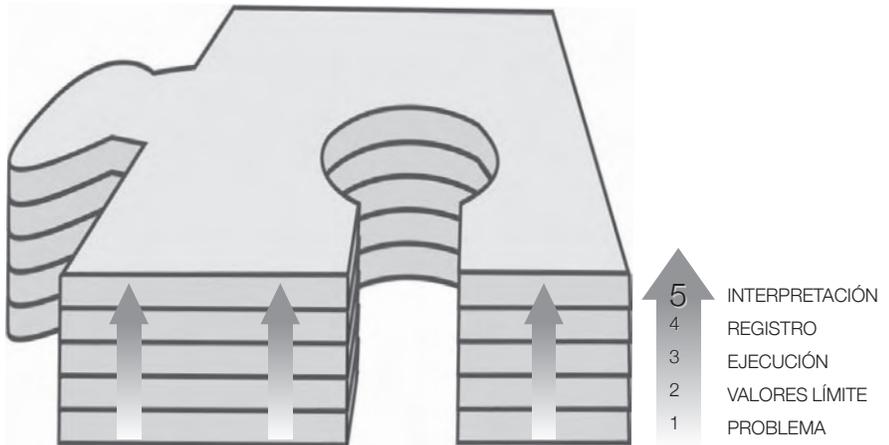


Fig. 18: "Cadena del proceso": problema, definición de valor límite, ejecución, registro, interpretación

3. Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

3.1 Localización de fugas en tuberías

Si hay grandes fugas de agua de las tuberías, se suelen identificar rápidamente: el agua empapa la pared o el suelo en cuestión de días.

Si la fuga es pequeña, la humedad puede tardar varias semanas en extenderse. Pueden producirse este tipo de fugas si las tuberías pierden agua por la corrosión o por la pérdida de estanqueidad de las juntas soldadas. Las tuberías de agua potable sometidas a varios bares de presión suelen mostrar un chorro muy fino y apenas visible (el diámetro es más fino que el de una aguja).

No obstante, no es infrecuente que las paredes se saturen completamente hasta los 2 m de altura y en toda la sección cruzada. Cuando toda la pared está húmeda es muy difícil restringir la zona de la fuga mediante una medición. El instrumento de medición se limita a indicar completamente “húmedo” en todos los puntos de medición.

Si la tubería dañada está situada dentro de una pared, la zona de humedad se extenderá concéntricamente alrededor de la fuga en sí. Si la tubería está en el suelo, la humedad penetrará la capa aislante o separadora del encofrado. En consecuencia, el agua subirá por las paredes con una línea de humedad horizontal que se podrá observar en los muros internos y externos.

Las fugas de las tuberías de agua caliente se pueden localizar fácilmente con tecnología de infrarrojos. En este caso, se debe utilizar una cámara de infrarrojos para no tener que perder mucho tiempo examinando todas las superficies.

Las marcas de color (denominadas “termogramas”) también ilustran la distribución del agua de forma muy clara (véase la fig. 19). Las zonas calientes suelen mostrarse claramente. Esto supone, por supuesto, que la fuga sea de agua caliente.

En el caso de la calefacción bajo suelo, lo mejor es dejar que el encofrado se enfríe durante la noche y reanudar el calentamiento aproximadamente 1 hora antes de visitar el lugar. Así, la superficie del suelo todavía estará a baja temperatura y será más fácil localizar las fugas que si el calor es uniforme.

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

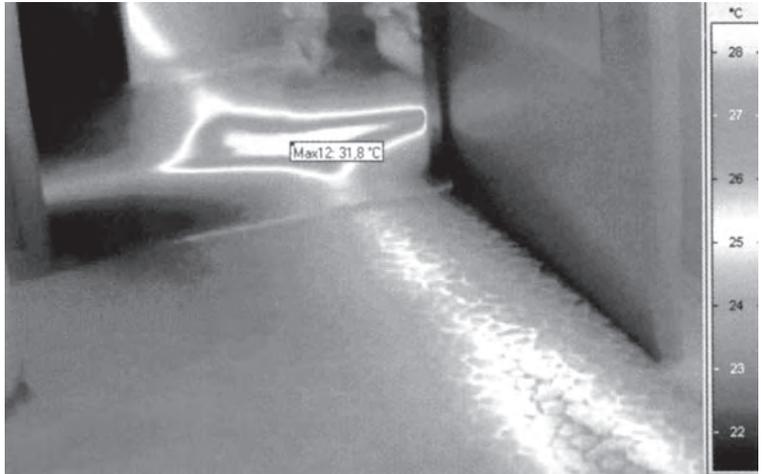


Fig. 19: Termograma para fugas de agua caliente

En el caso de las tuberías de agua fría, lo mejor es restringir la posición de la fuga utilizando un instrumento de medición de conductividad compacto (por ejemplo, el testo 606). En este tipo de medición no hay que preocuparse por la distorsión causada por la sal, ya que el periodo de penetración de humedad tras la rotura de una tubería no es más que de unas semanas.

Si el patrón de humedad en las paredes indica que hay humedad bajo el encofrado, se puede confirmar midiendo la humedad del aire en las juntas. Si hay agua liberada por debajo del encofrado, las lecturas superarán el 95 %. Este método no permite hacer una localización más precisa ya que el agua y el vapor de agua se extienden de la misma forma bajo el encofrado.



Fig. 20: Medición en un orificio de ensayo en un suelo embaldosado

Si no se puede hacer una localización más precisa (por ejemplo, porque el instrumento de medición muestre una lectura extrema en todas las posiciones), lo mejor es confiar en el instinto y tener conocimientos de ingeniería de estructuras. Siempre se producen sorpresas (sobre todo en los edificios antiguos) ya que las tuberías van por lugares que nadie podría haber sospechado. En tales casos, puede resultar útil consultar los planos del edificio.

En el caso de las tuberías de agua, se puede hacer una ubicación inicial observando el contador de agua. La pérdida, por supuesto, puede ser muy pequeña (unos litros por semana). Por eso solo es posible determinar si la pérdida se debe a los daños en una tubería o si el edificio ha estado vacío durante varios días con los consumidores apagados. Es importante leer detenidamente el contador de agua, hasta el último decimal. Si solo se determina una pérdida muy baja, se deben descartar como causa el goteo de los grifos o problemas similares (sería útil cerrar las válvulas en escuadra al comenzar el periodo de observación).

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

Si el contador de agua no muestra ningún consumo, pero el sistema de calefacción sufre una pérdida constante de presión será necesario investigar las causas. Sin embargo, unas pérdidas de agua mínimas también pueden indicar que las bombas tienen fugas o que los calentadores tienen fisuras.

Atención: en el caso de los apartamentos ubicados en sótanos, la humedad bajo el encofrado no siempre se debe a la presencia de fugas en las tuberías. También puede ser agua absorbida desde el suelo (por ejemplo, a través de la unión entre la pared y el suelo), por la base e incluso por fugas en las tuberías de aguas residuales (tomas de suelo de la lavandería del edificio, por ejemplo).

En cualquier caso, es relativamente sencillo encontrar fugas en tuberías sometidas a presión. La fontanería ofrece algunos procesos especiales como dispositivos rastreadores de gas o localización por sonido para los problemas “más duros de roer”.

3.2 Localización de fugas de aire en ensayos Blower-door, evaluación de corrientes de aire

Este capítulo se dedica al aire. Frecuentemente hay que resolver problemas de pérdidas de calor por ventilación, capacidad de calefacción, corrientes de aire, empañamiento de aire frío y confort, especialmente en apartamentos tipo loft. En las últimas décadas, las conversiones tipo loft han sido muy sensibles a problemas relacionados con el aire, ya que no se prestaba atención al aislamiento de hermetizado.

Si hay que recoger pruebas de medición adecuadas, hay que definir el problema con claridad de antemano. Depende, fundamentalmente, de la posición legal en la que se encuentre el cliente (por ejemplo, propietario, arrendador, arrendatario, desarrollador, planificador...). También depende de si hay que clarificar reclamaciones civiles (periodos de garantía, deficiencias en la construcción...) o infracciones de la ley pública (normativas de construcción, leyes de conservación de la energía, etc.).

En la práctica, surgen tres preguntas en concreto:

- a) ¿El armazón del edificio cumple con las normas de aceptación general de la ingeniería de estructuras y con las normas sobre conservación de energía en lo relativo a la hermeticidad? (Esta pregunta suele plantearse en las inspecciones de aprobación centradas en la garantía de calidad).

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

- b) ¿Las corrientes o el frío del que se queja el ocupante son verificables y reproducibles?
En otras palabras, ¿hay alguna razón técnica para ellas o es una cuestión de sensibilidad? (Esta pregunta suele surgir en disputas entre arrendador y arrendatario).
- c) Si los apartamentos no se pueden calentar correctamente:
- ¿La causa subyace en el sistema de calefacción (los radiadores son demasiado pequeños)?
 - ¿La causa subyace en la estructura del edificio (construcción de la membrana de aire, ventanas, etc.)?
 - ¿Subyace en el diseño (disposición de las columnas de hormigón, zonas amplias de vidrieras, etc.)?

Las preguntas secundarias del punto c) suelen remitir al punto b) y están dedicadas a determinar responsabilidades (planificadores, trabajadores, etc.).

El área sometida a examen suele ser muy compleja. Por este motivo, aquí solo explicaremos los principios básicos y la aplicación de técnicas de medición de flujo.

Requisitos: hay que hermetizar toda la estructura. Es decir, con las diferencias de presión habituales entre el interior y el exterior, no penetrará ni saldrá ninguna corriente de aire importante por las paredes, techos, ventanas ni puertas. Si escapa aire mientras se está calentando el edificio, supone una pérdida de energía y daños por condensación. El aire que penetra desde el exterior genera corrientes y una capa de aire frío en el suelo (la tendencia a construir estructuras herméticas surgió de planteamientos energéticos). El aire fresco necesario por motivos de higiene debería proporcionarse por ventilación intencionada o por un sistema de ventilación.

La hermeticidad solo se puede determinar para el edificio en conjunto. El único dispositivo de medición apto para ello es el denominado "Blower-door". Determina la corriente de fuga cuantitativamente a una diferencia de presión artificialmente elevada, de forma que las condiciones meteorológicas naturales tendrán un efecto menor en la capacidad de reproducción de la medición. Por supuesto, se debe permitir un cierto nivel de fuga para las tolerancias utilizadas en el trabajo de construcción. Habitualmente, la pregunta del punto a) se puede responder mediante un Blower-door. Los valores límite necesarios para este tipo de evaluaciones han sido definidos por ley.

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva



Fig. 21: Blower-door instalado

Si hay que responder a la pregunta del punto b) deben conocerse los puntos por los que entra el aire. En este caso también resulta útil un Blower-door (véase la figura 21). Genera el vacío necesario para forzar una corriente de aire (algo que de forma natural solo se produce con vientos muy fuertes). Habitualmente los puntos de entrada del aire se pueden localizar fácilmente de forma manual: en zócalos, bajo alféizares, huecos en paredes separadores, radiadores, ventanas en techo, uniones de encofrado.



Fig. 22: Conducto de humos/Flujo de aire en un zócalo

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

Cuando se hayan localizado los puntos de entrada, hay que evaluar si la corriente de aire puede tener un impacto real en el nivel de confort. Una evaluación superficial puede tener importantes consecuencias económicas (piense, por ejemplo, en los litigios por gastos de renovación muy elevados).

Hay que tomar en consideración varios factores:

- La temperatura del aire entrante
- La posición del punto de fuga (en la entrada o en una esquina del salón, junto a la cama o en la ducha, altura, distancia de las personas)
- La geometría del punto de fuga (fisura, tobera, perforación...)
- El tamaño y distribución del punto o puntos de fuga
- La cantidad de fuga (esto es, el volumen).

Todavía no hay medios practicables de determinar el volumen de flujo de una fuga. La forma de una fuga en los marcos de una ventana o posiciones similares suele evitar la necesidad de hacer una medición con embudos de flujo, ya que se puede realizar en lugares correctamente definidos geométricamente (por ejemplo, tomas de aire de los sistemas de aire acondicionado). Además, los volúmenes son demasiado pequeños para ser identificados como diferencias en una medición con Blower-door. Así pues, lo único que se puede hacer es medir la temperatura y la velocidad de flujo. Aunque estas mediciones ofrecen una descripción imprecisa, se suelen aplicar en la mayoría de los casos debido a la falta de alternativas.

Regla:

los flujos de aire tienen un efecto negativo en el confort si:

- Las personas están paradas junto a la fuga o sin ropa (un ejemplo clásico sería la corriente de aire en un WC); la distancia crítica del “tiro” es de aprox. 0,5 m.
- El aire entra sin ningún “freno” del exterior.
- La corriente supera una velocidad de 2 a 3 m/s (asumiendo un volumen importante y una presión diferencial de 50 pascal).
- El aire entrante está frío y sin calentar cuando atraviesa esa parte del edificio (la temperatura en la entrada más de 10 K por debajo de la temperatura de la sala).
- Un lugar de fuga aislado o en forma de tobera tiene un tamaño importante (aproximadamente del tamaño de un pulgar).
- Un lugar de fuga en forma de fisura tiene una longitud importante (por ejemplo, de la caja de la ventana).

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

El lugar de fuga deja entrar grandes cantidades de aire que se propaga y caliente (por ejemplo, ladrillo flotante sin enyesar).

El aire entrante enfría grandes zonas por tiro (por ejemplo, paneles frente a instalaciones sanitarias, líneas de bañeras o techos).

El aire penetra por una pared exterior expuesta al viento.

Cuanto más de estos criterios de evaluación se acumulen, más importante será la corriente de aire para el nivel de confort. Por norma general no importa si el ocupante del momento se siente incómodo. Lo que importa es si el ocupante "medio", tal y como se describe en las directrices de confort, siente reducido el nivel de confort.

¹⁴ Aunque se observen todos los valores límite, siempre habrá personas que tiendan a quejarse, por su mayor sensibilidad o, simplemente, por una cuestión de actitud.



Fig. 23: Diseños de hilo y bola caliente

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva



Fig. 24: Medición en una unión de ventana

La velocidad del aire entrante se mide con anemómetros. Los anemómetros de veleta (como los utilizados en meteorología y en conductos de aire acondicionado) tienen muy poca sensibilidad y dan demasiada prioridad a la dirección como para ser adecuados para las aplicaciones señaladas anteriormente. Para evaluar niveles de confort solo se pueden utilizar anemómetros de bola o hilo caliente. Además de la velocidad de flujo, incluyen un segundo parámetro de gran importancia: la temperatura del aire.

No se puede definir con claridad la geometría de la mayor parte de los puntos de fuga. Habitualmente, por ejemplo, no se sabe con exactitud dónde y a qué distancia se produce la velocidad máxima. La sonda debe moverse lentamente hasta que se muestre el valor más alto. En la práctica, sin embargo, es difícil mantener constante el valor mostrado en pantalla, ya que no se puede sostener la sonda en una posición constante. Por este motivo, los decimales se redondean hacia arriba o hacia abajo, hasta valores medios.

Debe evitarse el contacto directo con materiales sólidos. Hace que el cabezal esférico se enfríe y ofrece una velocidad de flujo superior e incorrecta. Tampoco hay que encerrar en la mano la parte delantera de las sondas, ya que en esa posición hay un sensor térmico para la medición comparativa.

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

Las condiciones de la medición son importantes para interpretar correctamente la lectura. El registro debe tomarlas en consideración.

Ejemplo de registro

23/08/2003, apartamento Schmidt, lugar de fuga 1 = puerta del balcón del salón, junta de cierre en parte inferior

Medición a presión diferencial de 50 Pascal, generada por Blower-door instalado en puerta del salón

Lecturas entre 2,0 y 3,5 m/s, medidas directamente en el marco

Longitud de la junta 70 cm

Lectura máxima en esquina hasta 4,2 m/s, medida a una distancia aprox. de 2 cm

- Temperatura exterior 2 °C, RT 20 °C
- Tiro perceptible subjetivamente con la mano a temperatura interior de 7 °C aprox. 10 cm
- Lectura en posición fija 0,7 m/s

Todas las demás juntas prácticamente estancas (lecturas por debajo de 1 m/s)

Posición del balcón con orientación sur

Asiento más cercano a 1,5 m

Calefacción de suelo

=> No se esperan impedimentos al confort

=> Solucionar ajustando la altura de la puerta.

En la práctica, las fugas menores (por ejemplo, en marcos de ventana) se suelen poder corregir con medidas sencillas como sellador de silicona o con un reajuste. Los fenómenos más graves, por otro lado, suelen ser el resultado de un sellado incorrecto de la barrera contra la humedad. En este tipo de infracciones graves de la normativa de construcción, la causa y las responsabilidades se suelen poder probar fácilmente. En estos casos hay que solicitar una tarea de renovación amplia. Las mejoras menores no tendrían un efecto significativo.

La humedad se produce allí donde la fuga de aire caliente genera condensación en la estructura de techo o en los perfiles de marco de las ventanas. La penetración de humedad suele estar localizada. En el material aislante se puede utilizar un sensor de humedad del aire para "estimular" la humedad en la capa de fibra tras haber perforado previamente la barrera

contra la humedad. Las lecturas de humedad de aire cercanas al 100 % son un signo inequívoco de agua liberada, especialmente en estructuras que no estén bien ventiladas. Se puede introducir un endoscopio a través del mismo orificio para comprobar visualmente la formación de gotas. También se pueden introducir unas tenacillas para recoger una muestra del material aislante.

En este caso, el mayor problema es la destrucción o el desmantelamiento del aislante. Una vez se haya decidido dar este paso, lo mejor es hacer un corte amplio en la barrera contra la humedad para poder alcanzar los puntos importantes con la mano. Si los lados de la capa no están fijados (u observa algo similar) deberá documentarlo debidamente. Al hacer el corte en la capa, deje un margen lo bastante ancho para poder volver a cerrarlo de nuevo con una cinta adhesiva especial.

3.3 Evaluación de daños por humedad

3.3.1 El problema

Muchos hogares tienen que combatir fenómenos de humedad como desconchado de la pintura, fragmentación del yeso, eflorescencia salina, olores mohosos, podredumbre de la madera y moho, especialmente en los techos.



Fig. 25: Ejemplo de daño por humedad

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

Si hay daños, hay que plantear las preguntas habituales:

- ¿El daño es antiguo o severo?
- ¿De dónde viene el agua?
- ¿Cuánto tiempo es necesario para que se seque?
- ¿Qué probabilidad hay de que se repita?

La pregunta “¿De dónde viene el agua?”, en concreto, tiene muchos aspectos diferentes y plantea otras preguntas:

- ¿Hay fugas en las tuberías? (Esto suele ser evidente con la imagen de los daños, consulte el capítulo 3.1 para saber cómo proceder)
- ¿El agua procede del subsuelo, es humedad procedente de la tierra, es filtración de agua, es agua de estrato o simplemente agua bloqueada temporalmente?
- Si es agua de superficie o agua del suelo, ¿procede de conductos de aguas residuales o de suministro o de cisternas con fugas?
- ¿El agua procede del exterior o está siendo absorbida desde abajo (“humedad ascendiente”)?
- ¿El agua está penetrando por una unión de contacto con fugas (entre el suelo y la pared), a través de la pared en sí, a través de la base o cuando el suelo está permeado?
- ¿Está actuando de alguna forma la condensación?

Estas preguntas solo se pueden resolver con:

- conocimiento profundo de los métodos habituales de construcción y sellado (y sus posibles fallos);
- conocimiento básico de tipos de carga de agua y suelo;
- experiencia.

Estos son algunos de los factores de dificultad dar una respuesta:

- puede haber una combinación de causas;
- habitualmente las entradas de agua no se pueden reproducir con exactitud;
- el acceso suele ser difícil.

Si cuenta con los conocimientos indicados arriba, esta información le ayudará a restringir las causas posibles mediante técnicas de medición.

3.3.2 El procedimiento

El primer paso es tener información detallada que explique cómo surgió el daño. A continuación se realiza una inspección externa, anotando todas las estimaciones y observaciones. Normalmente, en esta etapa ya comenzará a desarrollarse una sospecha sobre la causa y los defectos estructurales.

La siguiente acción es determinar el estado de humedad. La forma más rápida y fácil de hacerlo es con un instrumento de medición de conductividad de tipo clavija. Las clavijas del instrumento de medición se introducen a presión en el yeso. Lo importante aquí es asegurarse de introducir las a una profundidad uniforme. Si las clavijas entran con “demasiada” facilidad, se puede suponer que el yeso está sometido a un nivel de fatiga elevado y que el agua lleva actuando mucho tiempo.

Se realizan mediciones adicionales en varios lugares para confirmar la altura de la pared hasta la que se obtienen lecturas notablemente elevadas.

En la mayoría de los casos, por ejemplo, el instrumento de medición indicará el mismo nivel de humedad a 5, 10, 15 y 18 cm, pero disminuirá súbitamente desde los 20 cm. Esta es la altura que hay que marcar. Así se puede trazar un “horizonte de humedad” combinando las marcas de varias “columnas” de medición adyacentes. Normalmente, el horizonte de humedad determinado de esta forma se corresponde con el horizonte de humedad visible (color oscuro, desconchado de la pintura, etc.). Si el horizonte de humedad medido es inferior al visible, se puede suponer que la pared está en proceso de secarse. No es frecuente que el horizonte medido esté por encima del visible.

Horizonte de
humedad

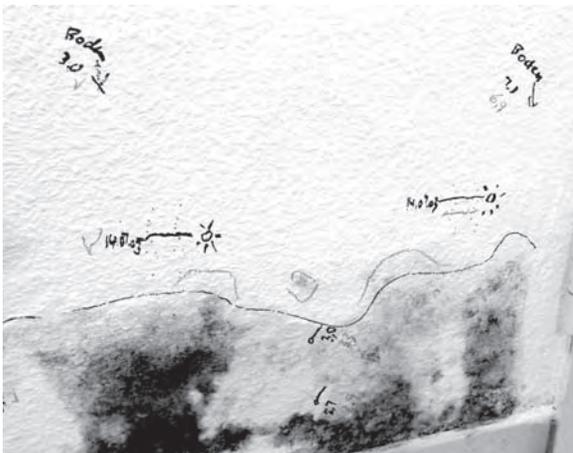


Fig. 26: Puntos de medición y horizonte de humedad

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

Para poder evaluar si la humedad se está secando o aumentando, lo mejor es repetir la medición a las 2 semanas. Obviamente hay que registrar las lecturas. Se pueden anotar en un registro o directamente en el yeso (a no ser que la reforma vaya a comenzar inmediatamente). Las pequeñas perforaciones dejan visibles los puntos de medición. Al medir por segunda vez, introduzca las clavijas justo al lado de los puntos anteriores, pero no en ellos.

Esta técnica de medición no es adecuada en el caso de eflorescencia salina grave o papeles húmedos (ni con papeles con reverso de aluminio). Para obtener mediciones fiables en tales casos, hay que retirar el papel, retirar la sal o eliminar el yeso desconchado. Es posible que las mediciones no ofrezcan resultados utilizables por ofrecer lecturas extremas constantes. En tal caso, la única opción es utilizar el método de campo de dispersión. Debido a su dureza, el estuco o el mortero no permiten introducir lo suficiente las clavijas. En este caso también se recomienda utilizar el método de campo de dispersión.

El método de campo de dispersión se basa en una cuadrícula. Es importante registrar la cuadrícula de medición y la orientación de la sonda con exactitud en el registro o directamente en la pared. Hay que realizar varias mediciones consecutivas en un mismo punto de medición para determinar la dispersión. El sustrato puede ser demasiado irregular para permitir la reproducción. Siempre hay que retirar el papel de pared.

Ha demostrado ser útil definir la escala del instrumento de medición pertinentemente. Esta escala se debe registrar y debe poder reproducirse. Se puede obtener un buen punto cero sosteniendo la sonda en el aire y dar a esa situación un valor de lectura "0". El otro extremo ("10") se puede obtener sosteniendo la sonda en una botella llena de agua mineral. Con una escala como esta, el yeso fibroso generará lecturas de entre 1,0 (seco) y 6,0 (húmedo). Dado que el clima de la sala y las condiciones meteorológicas también influyen en la humedad del material, las mediciones con cuadrícula deberían ir acompañadas de una lectura comparativa tomada en una sección seca de una pared del mismo material.

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

Importante:

Las mediciones se distorsionan por:

1. Falta de homogeneidad en el material de sustrato
2. Medición en esquinas o a lo largo de bordes



Fig. 27: Medición con cuadrícula en una pared

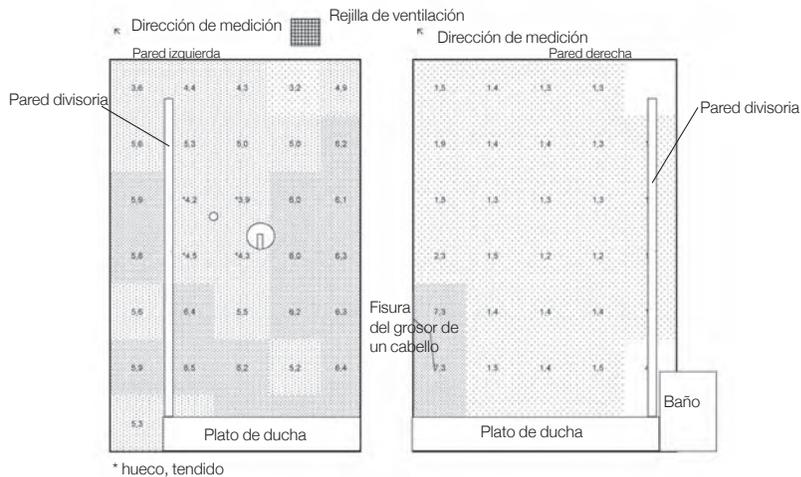


Fig. 28: Tabla de análisis de medición con cuadrícula con escalas cromáticas

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

Las mediciones con cuadrícula de grandes zonas pueden producir fácilmente más de 30 puntos de medición. Así pues, puede resultar útil utilizar un software de hoja de cálculo (como Excel) para el registro y el análisis. Las hojas de cálculo se pueden superponer entre sí para destacar las diferencias del color. Las áreas en secado pueden tener fondo verde, por ejemplo, y resaltar en rojo las zonas que se están humedeciendo. Las lecturas sin variaciones se pueden indicar en amarillo. De esta forma, de un solo vistazo se podrá ver el patrón de humedad y el proceso de secado (véase la figura 28).

Las lecturas sin variaciones tras el primer secado indican que la pared se ha secado lo máximo posible con las condiciones actuales del edificio.

La solución óptima es combinar ambas técnicas de medición: conductividad y el método de campo de dispersión. Los procesos de secado y humedecimiento se hacen patentes si quedan reflejados en las lecturas obtenidas por ambos métodos.

Además de hacer la división en cuadrículas y repetir las mediciones, también se puede crear un perfil de humedad para secciones cruzadas de pared de altura y profundidad.

Se hace con sondas de cepillo y el método de conductividad. Para realizar la evaluación es necesario perforar un número suficiente de orificios e introducir progresivamente las sondas de cepillo. De esta forma se puede establecer la distribución de la humedad a diferentes profundidades. Se puede ilustrar mediante códigos de color en una tabla o diagrama. Esta medición se puede repetir con posterioridad para recoger tendencias. Los orificios se deben sellar de forma hermética entre las mediciones.

3.4 Evaluación de daños por moho

La evaluación del daño por moho es una de las tareas más complejas relacionadas con la humedad y su medición. Al aplicar el sistema hay que proceder con extremo cuidado y es esencial hacer un cuidadoso registro y contar con mucha experiencia para elaborar unos informes fiables.

Los aspectos señalados a continuación se limitan a puntos relacionados con la física de la construcción. Los aspectos sanitarios del daño por moho solo pueden ser evaluados de forma interdisciplinaria, esto es, junto con un biólogo estructural y un médico. Sin embargo, los casos en los que esto es necesario son muy infrecuentes.¹⁵

¹⁵ Para realizar una estimación inicial de si el número de esporas de la habitación es peligroso, deje una placa de Petri abierta durante una hora. Posteriormente, se recuenta y analiza por tipos el número de manchas de moho que se forme.

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

3.4.1 Procedimientos de una inspección

En este momento hay que volver a remitir a la información ofrecida en el capítulo 2.3. La observación y el planteamiento de preguntas son valiosas fuentes de información sin las que no se puede hacer una evaluación seria. Además de la medición, es importante saber, por ejemplo: la densidad de ocupación del piso, el estilo de vida de sus ocupantes, el número de plantas de interior, fases meteorológicas, la orientación del piso, puentes térmicos estructurales, momento oportuno para realizar mediciones estructurales o posibles incidentes, por ejemplo.

Se recomienda encarecidamente utilizar unos buenos formularios de registro preimpresos. Con ello se garantizará el no olvidar cosas importantes. Si no quiere crearlos usted mismos, puede comprar formularios ya elaborados (del autor).

En los simposios para expertos y en los seminarios sobre patologías de humedad en la construcción de TESTO se ofrece información detallada sobre qué preguntar y observar.

Zusatzprotokoll Schimmel (Interview)		Bk. zu Bl.
Datum	AG	Adr
Eig. t./Mieter	Etage/Ausrichtg	
Bj.	Bezug	Nutzung
Belegung		
Schimmel bei Bezug angetroffen?		
ggf. wie behandelt?		
Schimmel wo/wann erstmalig aufgetreten		
ggf. wie behandelt?		
Schimmel wo/wann wiederholt aufgetreten?		
zeitl. Zus.hg. zu <input type="checkbox"/> Starkregen <input type="checkbox"/> Langregen <input type="checkbox"/> Jahreszeit		
<input type="checkbox"/> Frost		
andere Zus.hge (Urlaub, Besuch, Krankheit, Arb.Losigkt, Haustiere, Bauarbeiten, Wasserschaden)		
.....		
Lüftungsgewohnheit Herbst/Frühjahr (Übergangsperioden)		
- Raum	Uhrzeit/Art/Dauer/Häufigkeit	
	Beheizung/Türstellung	
- Raum	Uhrzeit/Art/Dauer/Häufigkeit	
	Beheizung/Türstellung	
- Raum	Uhrzeit/Art/Dauer/Häufigkeit	
	Beheizung/Türstellung	
Lüftungsgewohnheit Winter (Kälteperiode)		
- Raum	Uhrzeit/Art/Dauer/Häufigkeit	
	Beheizung/Türstellung	
- Raum	Uhrzeit/Art/Dauer/Häufigkeit	
	Beheizung/Türstellung	
- Raum	Uhrzeit/Art/Dauer/Häufigkeit	
	Beheizung/Türstellung	

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

Fig. 29a: Extracto de informe de humedad, página 1

Bl. zu B.

Küchendunstabfuhr wie

Beobachtung Fensterzugänglichkeit Küche

Bauart/Funktionskontrolle Abzugshaube

Feuchteabfuhr duschen/baden wie

Beobachtung Fensterzugänglichkeit Bad

Bauart/Funktionskontrolle Badventilator

Wäsche trocknen wie

Beobachtung Wäscheständer

Bauart/Funktionskontrolle Trockner

Beobachtung Ordnung/Sauberkeit

Wer ist Interviewpartner? kompetente Auskunft?

Eindruck Glaubwürdigkeit

Bewohner ist: Mieter Neu-Käufer langjähriger Eigentümer
 rechtl. Status: Mietrückstand Mietminderung Rechtsstreit Mieterverein

War die Besichtigung angekündigt? ja nein Zeuge

Sind die beim Ortstermin angetroffenen Verhältnisse repräsentativ?

- Fenster offen vor Besichtigung?

- Vergleichsmessung von $T_{\text{Oberfläche}}$ an °C

- Ausgleichfeuchte von Putz Innenwand an % rF S_{putz}

- Ausgleichfeuchte Textil/Möbel an % rF S_{textil}

Fig. 29b: Extracto de informe de humedad, página 2

La primera inspección se puede realizar en cualquier estación del año. Sin embargo, si se determinara que el moho es el resultado de la condensación y no de penetración de humedad desde el exterior (tuberías rotas, lavadora averiada o similar), las mediciones solo se pueden realizar en momentos fríos del año (es decir, cuando la calefacción esté encendida).

Las siguientes secciones explican cómo aplicar metódicamente la técnica de medición.

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

3.4.2 Medición a corto y largo plazo

El objetivo es registrar las condiciones de ventilación del apartamento mediante una medición lo más representativa posible. Esto significa que las salas se deben medir cuando estén en una condición habitual para el estilo de vida propio de los ocupantes. En otras palabras, la presencia de una persona encargada de hacer la medición no debe tener un efecto importante en el equilibrio de humedad.

¿Cómo debe proceder?

Lo ideal es anunciar las visitas;

Si se tienen que anunciar por adelantado, anote si el lugar se ha ventilado especialmente para la visita;

Al entrar, cierre la puerta inmediatamente;

Comience a medir inmediatamente, antes de que su presencia modifique la humedad del aire. No obstante, respete el tiempo que necesitan las sondas para aclimatarse.

En cada visita debe realizarse una medición para hacerse con una impresión de la situación en ese momento. Sin embargo, solo las mediciones a largo plazo (que se deben realizar al menos cada dos o preferentemente cada 3 semanas) son realmente concluyentes, especialmente cuando se producen disputas legales. Se deben evitar situaciones extraordinarias como Navidades o vacaciones, cuando pueda haber visitantes.

Si solo se requiere una evaluación de la ventilación y de la temperatura ambiente media, la medición se puede realizar en noviembre, un mes en el que aumenta el moho. Sin embargo, si hay que registrar también los puentes térmicos, la medición se debe realizar durante un periodo de heladas que dure varios días. Por supuesto, la planificación depende del tiempo.

3.4.3 Ubicación de la medición

Cuando se realiza la medición con dispositivos de mano, no supone un gran problema hacer la medición en varias habitaciones. Hay notables diferencias de temperatura y humedad entre baños, cocinas, salones y dormitorios, y estas diferencias pueden ser cruciales.

El registro a largo plazo solo se lleva a cabo en salas atacadas por moho, porque el usuario normal no tiene un número ilimitado de registradores de datos. En la mayoría de los casos el dormitorio es la habitación más importante. En él deberían colocarse 1 o 2 registradores.

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

Si quiero establecer si hay un riesgo de condensación en una esquina o sobre el suelo, tengo que medir en esos puntos exactamente.

En el caso del moho, la posición de la sonda en la sala es obvia, ya que solo marca la condensación por medios visuales. Debe descartarse cualquier penetración de humedad desde el exterior.

Otra pregunta interesante es si los ocupantes se atienen a las especificaciones o valores medios de humedad del aire. Los valores de humedad del aire y de temperatura del aire recomendados siempre están relacionados con una altura de aprox. 1,40 m en el centro de la habitación. Deriva de los estándares de confort indicados en el capítulo 1.1.2. Si hay que comparar el valor “real” con el “objetivo”, por tanto, es esencial hacer la medición en el centro de la sala. Esto se aplica tanto a mediciones únicas como constantes.

El “centro de la sala” puede ser cualquier lugar a más de 50 cm de la pared. Los recovecos con poca ventilación o posiciones similares no deben ser tenidos en cuenta.

Al colocar las sondas de aire hay que tomar en consideración las siguientes restricciones:

Si las sondas se colocan en o sobre armarios o alacenas se retarda el registro de las mediciones debido a la inercia del mueble y la poca circulación de aire. Sin embargo, las lecturas obtenidas se pueden utilizar para obtener valores medios. No obstante, no se detectan picos de humedad y temperatura ni fases de ventilación.

Las fuentes de calor o humedad cercanas distorsionan los resultados.

Las sondas no se deben fijar a lámparas ni cerca de ordenadores, radiadores, canastillas de mascotas, acuarios o similares.

La luz del sol no puede incidir sobre el sensor en ningún momento del día.

Si la medición se realiza con fines de diagnóstico, hay que colocar el dispositivo en un lugar lo más discreto posible. Si la medición se realiza para fines indicativos o informativos, el sensor puede permanecer visible.

3.4.4 Programación recomendada para los registradores de condiciones climáticas

Los instrumentos de medición para el registro a largo plazo se denominan también registradores de datos. Pueden programarse de acuerdo a sus requisitos concretos (por ejemplo, respecto a límites de medición, frecuencias de reloj, número de lecturas, comienzo y final de la medición, etc.).

Hay cursos de 2 días TESTO dedicados a estudiar en profundidad la programación y, especialmente, el análisis.

La medición debería comenzar cuando el instrumento esté en posición. La experiencia ha demostrado que los ocupantes tienden a hacer más esfuerzo con la ventilación los primeros días pero después recuperan sus antiguos hábitos. Por ello, la medición también puede comenzar 2 o 3 días más tarde. La medición debe terminar al recoger el instrumento. Para evitar cualquier distorsión de los valores medios que se puede determinar con el software, hay que garantizar que no se registre ningún dato relacionado con el apartamento (por ejemplo, al volver de un viaje largo o a la oficina) después del periodo de medición en sí. La ventaja de utilizar un periodo de medición abierto es que el dispositivo se puede dejar en el sitio durante algo más de tiempo (por ejemplo para esperar a un periodo de heladas).

La frecuencia de reloj depende del problema específico. Si solo interesa la humedad de aire media dominante en el apartamento, basta con realizar una medición de una hora.

Si hay que registrar los periodos de ventilación (momentos en los que se abren las ventanas) se recomienda una frecuencia de reloj de dos minutos.

Si solo hay que registrar los periodos en los que las ventanas están abiertas, el sensor de aire se puede colocar justo al lado de la ventana. Las diferencias en las lecturas serán así más grandes y más súbitas.

Los límites de medición se definen para reflejar las condiciones de vida, por ejemplo, el intervalo de temperatura de 0 a 30 °C o el intervalo de humedad de 20 a 85 % HR.

El sensor elegido también dependerá de la tarea a realizar específicamente. Si hay que evaluar puentes térmicos o las horas de funcionamiento del radiador, se situarán sensores de registro de temperatura de superficie en la esquina más fría o sobre el radiador.

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva



Fig. 30: Montaje de un sensor de lámina

3.4.5 Reducción de las causas

Para interpretar los resultados de la medición se requiere experiencia y razonamiento analítico.

Hay que dar respuesta, especialmente, a las siguientes preguntas:

Si la humedad del aire es excesiva: ¿De dónde procede? ¿De los ocupantes (presencia, duchas, ropa húmeda, etc.)? ¿De plantas de interior, etc?

¿Por qué aumenta la humedad? ¿La habitación no está lo bastante ventilada? ¿Solo se ventila con la ventana entreabierta? ¿No se ventila por corriente? ¿El ritmo de vida dificulta hacer una ventilación regular?

¿Por qué se produce la condensación? ¿Las paredes están tan frías como cabría de esperar de una estructura intacta o mucho más frías?

¿Se produciría condensación aunque el edificio estuviera bien aislado porque la humedad del aire es extremadamente elevada?

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

El último bloque de preguntas es extremadamente importante para causas legales, especialmente en lo relativo a rectificación de defectos, deducciones de alquiler, asignación de gastos jurídicos, derechos de rescisión de contrato, etc.

El problema de los puentes térmicos se examinará detalladamente en el próximo capítulo.

Esta es la pregunta clave:

¿Lo que sucede es que...?

1. con ventilación intencionada y calefacción (como es propio y adecuado para un hogar) y
2. con las condiciones meteorológicas habituales del invierno (para esa región), el componente constructivo necesita varios días e incluso semanas para enfriarse y, en consecuencia, la temperatura del componente está 3 K por debajo de la temperatura de punto de rocío?

Para evaluar esta pregunta se requiere una medición y registro exhaustivos de:

- la frecuencia y duración de los tiempos de ventilación (o de la capacidad operativa de un sistema de ventilación dado);
- el tipo de ventilación por ventana (entreabiertas o abiertas de par en par, ventilación por corriente o aireación individual);
- la humedad media del aire y la temperatura del aire en el centro de la sala;
- los tiempos de funcionamiento y la temperatura de los radiadores;
- la influencia de los muebles en el enfriamiento adicional de las superficies de pared que hay detrás de ellos;
- la temperatura de superficie (interior) de las zonas de componentes constructivos críticos;
- la temperatura del aire exterior;
- la temperatura de superficie (exterior) de las zonas de componentes constructivos críticos (orientación este, oeste o sur, ya que el efecto de la luz del sol puede producir un calentamiento por encima de la temperatura del aire).

Esta tarea de medición no se puede realizar con un *solo* registrador de datos. En su lugar hay que utilizar dos o tres registradores. Naturalmente, habrá que sincronizarlos y calibrarlos previamente siguiendo un mismo procedimiento. Las curvas de medición se pueden combinar en el software.

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

3.5 Evaluación de puentes térmicos

3.5.1 El problema y su importancia

Si hay daños por moho, la pregunta estándar se puede resumir de la siguiente forma: ¿Quién tiene la culpa?

¿Los ocupantes, con sus hábitos de ventilación?

¿El casero/vendedor con una construcción deficiente del edificio?

Para resolver estas preguntas, hay que registrar y evaluar los puentes térmicos.

3.5.2 Tipos de puente térmico

Con “puentes térmicos” se alude a lugares de la estructura constructiva que se enfrían muchísimo en condiciones invernales. Cada pared y cada muro tienen zonas más frías que el resto de la superficie. Suelen estar en zonas de borde y de esquina.

En estos puntos se realiza la disipación de calor desde el interior al exterior, con 2 resultados:

La temperatura del exterior del componente constructivo aumenta, se emite más calor al entorno y las pérdidas de energía aumentan los gastos de calefacción.

La temperatura en el interior del componente constructivo cae, la superficie fría tiende a formar moho y condensación y disminuye el nivel de confort.

Hay que distinguir distintos tipos de puente térmico:

puentes de calor relacionados con las dimensiones: hay lugares en los que el componente constructivo es más delgado (por ejemplo, huecos para radiadores o cajas de persianas solo cubiertas por finas placas);
puentes de calor relacionados con el material: hay lugares en los que se ha utilizado un material constructivo inadecuado (que disipa bien el calor), por ejemplo: columnas de cemento, cierre con ladrillos de antiguos vanos de ventana, huecos en los ladrillos tapados con cemento...¹⁶

puentes de calor relacionados con la geometría: hay lugares que forman lo que se denomina “aleta de enfriamiento”, es decir, en los que la superficie exterior es más grande que la interior. Donde sucede así, el calor irradiado al exterior supera el calor absorbido desde la sala (p.ej., impostas, vigas voladizas, dinteles, alféizares y aleros. En esencia, todas las esquinas de una casa con un puente térmico geométrico.

¹⁶ En sentido estricto, incluyen todas las uniones de ladrillo, tal y como demuestra la termografía. Sin embargo, son irrelevantes en la práctica.

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

Los puntos térmicos de material y geometría suelen combinarse. Si una parte sobresale suele estar hecha de acero u hormigón armado.

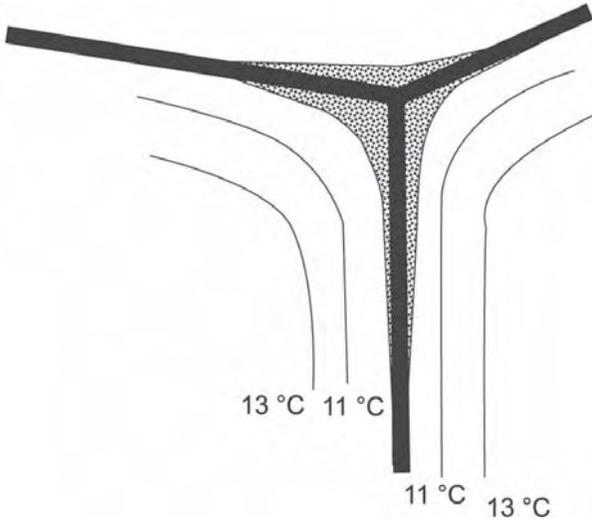


Fig. 31: Puente térmico geométrico atacado por moho

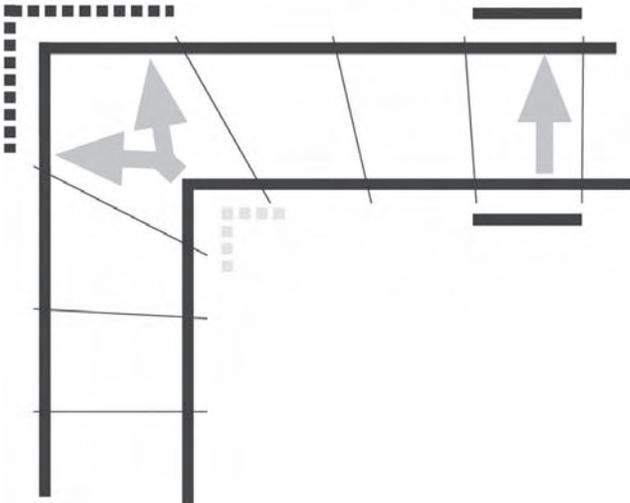


Fig. 32: Puente térmico geométrico, en 2 dimensiones (esquema)

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

En la práctica, los puentes térmicos más críticos son:
 vigas voladizas de balcones (sobre todo si no tienen aislamiento térmico);
 techos de hormigón salientes
 techos de garajes subterráneos con aislamiento de encofrado pero sin
 capa aislante en el lado del garaje (véase la figura 33);
 postes de cemento y dinteles con compartimentos de filas de ladrillos.

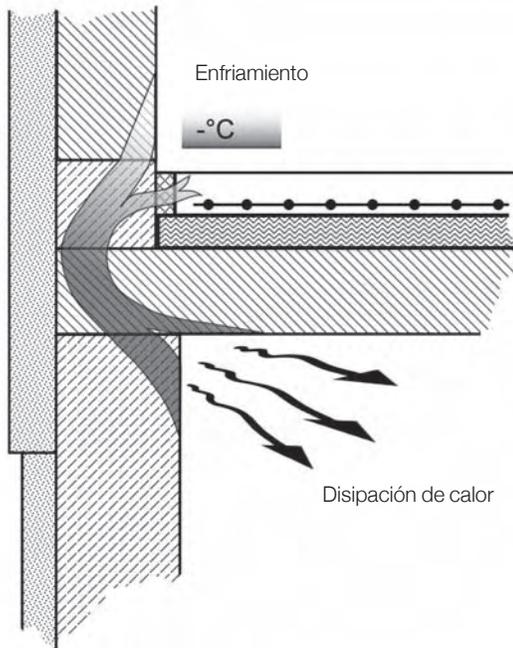


Fig. 33: Techo de garaje subterráneo con flujo de calor

3.5.3 Registro de puentes térmicos

¿Cómo se pueden cuantificar los puentes térmicos?

Hay tres formas posibles:

1. Si se trata de un puente térmico “estándar”, se pueden referir los valores calculados en un atlas de puentes térmicos. Se han elaborado muchas soluciones estándar para estructuras de madera y de ladrillo silicocalcáreo. Ya no son críticos en la práctica, porque ya han sido optimizados. Sin embargo, la situación con edificios antiguos no suele responder a esta estandarización. También es difícil registrar la situación en un edificio antiguo (secciones cruzadas, densidades aparentes, valores lambda) o identificar si se corresponde con una situación estándar.
2. Se registra la sección cruzada más importante del componente constructivo y se determinan los materiales utilizados. Estas determinaciones se utilizan para preparar un modelo CAD con el que se puede determinar por ordenador la refrigeración. Aquí la dificultad reside en calcular no solo en 2 dimensiones, sino en 3 (con mayores gastos). Hay programas para puentes térmicos que permiten hacerlo, pero los cálculos y la conversión CAD puede llevar varias horas. También se deben tener en cuenta las posibles imprecisiones. Se dan porque las simulaciones utilizan datos de materiales que tienen tolerancias y que no se corresponden necesariamente con los materiales utilizados realmente en el edificio (los controles de material y la calidad de los productos en los edificios antiguos no se pueden comparar con la situación actual).

Análisis
destrutivo

Simulación por
ordenador

Hay que tener también cuidado para garantizar que en los cálculos se incluyan las temperaturas del aire interior y exterior correctas.

¿Se deben asumir valores estándar para la temperatura exterior?

¿O se deben utilizar valores reales de esa región en concreto?

¿Qué temperatura interior se debe aplicar?

¿Se debe utilizar los valores de DIN 4108 o la temperatura real, que depende de la posición del mueble, disposición de los radiadores, temperaturas de entrada, cubiertas de suelo, etc.?

Hay una última pregunta: ¿un cálculo estacionario se acerca lo suficiente a la vida real o se deben realizar cálculos no estacionarios (esto es, con fluctuaciones entre día y noche)?

Aplicaciones habituales de la práctica constructiva

Ante la complejidad de los problemas, el autor de este libro tiende a adoptar la siguiente solución:

3. Realizar la medición en el objeto “habitacional”. Se registran las temperaturas de superficie como se producen con unas condiciones invernales “habituales”.

Principal ventaja: no es necesario examinar y analizar los componentes estructurales. Habitualmente determinar las secciones cruzadas y los materiales constructivos suele ser una tarea destructiva (perforaciones, retirada de ladrillos...). También evita la discrepancia que se produce entre la situación estándar y la situación climática regional o local real. ¿De qué sirve que las condiciones estándar afirmen que no se produce condensación si esta se produce en la práctica?

Medición en condiciones ideales

Principal desventaja:

Es esencial encontrar un periodo de medición adecuado en el que

- a) la situación habitacional sea la habitual, y
- b) el tiempo sea el habitual para el invierno.

La forma de extrapolar una medición realizada en un periodo cálido al invierno sería un tema más que interesante para una tesina.

Otra interesante área de debate es la evaluación de los puentes térmicos (descritos cuantitativamente). Los estándares ofrecen medios insuficientes para evaluar puentes térmicos, especialmente en edificios antiguos. Solo recientemente la norma DIN 4108 ha descrito detalladamente los puentes térmicos. El estado de los estándares no siempre coincide con la práctica habitual, lo que es de notable importancia al establecer las “reglas aceptadas de forma general”. La evaluación de los puentes térmicos, así, es una tarea habitual para inspectores expertos y va más allá de los límites de esta guía. Se prefiera la simulación o la medición, es importante ser consciente de la falta de exactitud. No es adecuado asignar causas y responsabilidades basándose en valores decimales o en medios grados Celsius, si las suposiciones subyacentes o condiciones límites solo se pueden describir de forma aproximada. En la práctica, desgraciadamente, las disputas sobre puentes térmicos siempre se reducen a una cuestión de unos pocos grados Celsius. Por supuesto, esto no significa que no tenga ningún sentido calcular y medir. Si los expertos no midieran, el nivel de incertidumbre sería mayor y no ayudaría a nadie. Ser conscientes de nuestros límites debería animarnos a realizar todas las investigaciones y mediciones utilizando el equipo adecuado y tomando el cuidado necesario.

Autor:
Martin Giebeler

4. Referencia a otras guías de campo

Para medir flujos de aire y temperaturas de superficie y para consultar requisitos relativos a calefacción, recomendamos las guías de usuario de esta serie:



Referencia a otras guías de campo





Manual práctico

Tecnología de medición en calderas

Repleto de información de utilidad



°C

O₂

CO

NO

NO₂

NO_x

λ/α

Eficacia

3ª Edición

General

Copia

Puede copiar esta página todas las veces que quiera y devolver la copia una vez completada por correo o fax.

Sugerencia de mejora / solicitud de información de productos

A:

Dirección de devolución:

Nombre _____

Departamento _____

Calle, n.º _____

Código postal, ciudad _____

Teléfono _____

Fax: _____

Fecha, Firma _____

Deseo recibir más información acerca de los siguientes productos:

registradores 175/176 testo 845 testo 606 cámaras termográficas 875/881

instrumento de referencia testo 650 testo 350 M/XL testo Saveris

Estaremos encantados de recibir sugerencias de mejora que nos ayuden a mantener al día esta guía y a adaptarla a los requisitos del sector.

Tengo esta sugerencia de mejora:

Capítulo	Página	Asunto	Sugerencia



Instrumentos Testo, S.A.
Zona Industrial, C/ B, nº 2
08348 Cabrils (Barcelona)
Tel: 937 539 520
Fax: 937 539 526
E-Mail: info@testo.es

Siganos en:



www.testo.es