



FICHA TÉCNICA M01/2020

MEDICIÓN RADÓN: COMPARATIVA

SBM2015-CTE DB HS6

OBJETO	Comparativa entre los protocolos de medición de la Norma Técnica de Medición en Baubiologie 2015 y del DB HS6 del CTE.	
DOCUMENTO DE REFERENCIA	Norma Técnica de Medición en Baubiologie 2015 (Standard der Baubiologischen Messtechnik 2015). Complemento a la Norma Técnica de Medición en Baubiologie SBM-2015 y a sus valores de referencia para zonas de descanso: Condiciones marco para mediciones técnicas. Aclaraciones y complementos. Versión 2015.	Código Técnico de la edificación (CTE) Documento Básico (DB) Salubridad (HS6) Protección frente a la exposición al radón. DB HS6. Apéndice C Determinación del <i>promedio anual de concentración de radón</i> en el aire de <i>los locales habitables</i> de un edificio/ 3 Medición. Versión 20 diciembre 2020.

COMPARATIVA DE PROTOCOLOS DE MEDICIÓN

	SMB 2015	CTE HS6
CONDICIONES DE MEDICIÓN	Condiciones normales de uso.	Hábitos de ocupación ordinarios de los edificios.
LUGAR DONDE MEDIR	En el dormitorio y a la altura de la nariz de la persona usuaria tendida en la cama .	Distancia a suelo : 50 y 180 cm Distancia a paredes y puertas : 30 cm. Distancia a objetos : 10 cm.
DURACIÓN Y ESTACIÓN PARA LA MEDICIÓN	Duración. De 1 a 2 semanas. Estación. En período entre temporadas (primavera y otoño). Extrapolación. Si se tiene mucha experiencia y se tienen en cuenta todos los factores que influyen, se puede hacer una primera aproximación al valor medio anual.	Duración. Los detectores deberán permanecer expuestos durante un periodo mínimo de dos meses. Estación. Si el edificio está situado en alguna de las zonas climáticas de invierno C, D o E establecidas en el DB-HE Ahorro de energía, el periodo de exposición tendrá lugar preferiblemente durante los meses de la temporada de calefacción.
APARATOS	Monitores de radón de indicación directa. Espectrómetros de nucleidos descendientes de radón. Dosímetros pasivos (aparatos electrónicos según el principio de	Detector (de radón) activo. Instrumento para la detección de este gas o de sus descendientes de vida corta que incorpora componentes activos (como bombas o pantallas de visualización), y por tanto requiere el uso de fuentes de alimentación.



FICHA TÉCNICA M01/2020

MEDICIÓN RADÓN: COMPARATIVA

SBM2015-CTE DB HS6

semiconductor detector, detector de trazas nucleares, carbono activo, etc.).

Detector (de radón) pasivo. Instrumento para la detección de este gas o de sus descendientes de vida corta que no incorpora componentes activos (como bombas o pantallas de visualización), y por tanto no requiere el uso de fuentes de alimentación.

EL INFORME INCLUIRÁ

a) identificación de la entidad de medida;
b) identificación del cliente;
c) fecha de emisión del informe;
d) fecha de inicio y final de la exposición;
e) características y tipos de detectores;
f) procedimiento de lectura;
g) identificación y localización de cada detector sobre plano;
h) --
i) --
j) fabricante del dispositivo, modelo, límites de medición del aparato, así como el error inducido por el mismo;
k) cualquier otra información relevante que pudiera influir en el resultado de las medidas;
l) firma de la persona o personas que asuman la responsabilidad técnica del informe.

a) identificación de la entidad de medida;
b) identificación del cliente;
c) fecha de emisión del informe;
d) fecha de inicio y final de la exposición;
e) características y tipos de detectores;
f) procedimiento de lectura;
g) identificación y localización de cada detector sobre plano;
h) circunstancias meteorológicas y ambientales que puedan haber afectado al resultado;
i) la representación en continuo de los datos almacenados por los sensores de cada detector, en caso de que éste permita disponer de ella;
j) fabricante del dispositivo, modelo, límites de medición del aparato, así como el error inducido por el mismo;
k) cualquier otra información relevante que pudiera influir en el resultado de las medidas;
l) firma de la persona o personas que asuman la responsabilidad técnica del informe.

RESULTADO

Los valores de referencia de Baubiologie se refieren a mediciones realizadas durante como mínimo de 7 a 14 días en la época de entretiempo (clima medio anual, por ejemplo, primavera/otoño) en condiciones de uso normales y en zonas de descanso (dormitorios).

Promedio anual de la concentración de radón (Bq/m^3). El valor de concentración o exposición debe expresarse junto con el de la incertidumbre expandida y el factor k utilizado.

CONDICIONES MARCO

PARA MEDICIONES TÉCNICAS

ACLARACIONES Y COMPLEMENTOS

5. Proyecto 5/2015

Estas condiciones marco y aclaraciones amplían y profundizan de forma resumida los criterios esenciales para la realización experta de mediciones, análisis y procedimientos. Adicionalmente hay que tener en cuenta las instrucciones de uso de los fabricantes de los aparatos, las indicaciones de las asociaciones, los contenidos de las normas y la literatura especializada.

Los complementos tratan de ampliar mediante directrices, valores orientativos y ayudas a las evaluaciones adicionales los valores de referencia para las zonas de descanso.

La ampliación de estos estudios para la transposición técnica de los criterios estándar en *Baubiologie* se encuentran en los libros 'Stress durch Strom und Strahlung' (Estrés causado por la electricidad y las radiaciones) de Wolfgang Maes y 'Stress durch Wohngifte und Pilze' (Estrés causado por sustancias tóxicas en la vivienda y por hongos) de Dr. Manfred Mierau y Dr. Thomas Haumann. Los seminarios básicos y de especialización 'Técnicas de Medición en Baubiologie' del Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit (Instituto de Bioconstrucción + Sostenibilidad) IBN y otras ofertas de formación de postgrado, como por ejemplo los seminarios prácticos de la asociación Baubiologie VB, ofrecen formación completa teórica y práctica en relación a la norma, sus valores de referencia y las condiciones marco. La Asociación Profesional de Bioconstructores Alemanes VDB ofrece directrices complementarias a los apartados concretos de la norma, instrucciones para los procedimientos y recomendaciones para garantizar la calidad.

La disponibilidad de varios métodos de medición y análisis dentro de un punto estándar producen una mayor seguridad técnica en la medición. Los métodos descritos se complementan, no se sustituyen unos a otros y, según los casos y la problemática, deben combinarse.

6 RADIOACTIVIDAD (Radiación alfa, beta y gamma, Radón)

Medición de la radiactividad como **tasa de impulsos, tasa de dosis equivalente** y diferencia, así como medición y registro prolongado de la concentración de radón.

- **Radiactividad** (Impulsos por segundo/minuto, 10s/ipm - nanosievert por hora, nSv/h)

Medición de la actividad de productos de la construcción, materiales, aparatos e instalaciones, etc., sospechosos de radioactividad y/o anotación comparativa de las cifras de impulsos de la radiación alfa, beta y gamma.

Medición de la radiación gamma con aparatos de medición de tasa de dosis (tubo contador Geiger-Müller, detector de zonas extensas, contador proporcional, contador de centelleo...).

- El aparato de medición debería abarcar como mínimo el ámbito de la energía gamma relevante para el medio ambiente de 50 KeV a 1,3 MeV.

- A causa de la necesaria exactitud estadística en el ámbito de las dosis bajas, se precisan como mínimo 1000 impulsos por medición.

- La sensibilidad de comprobación debe ser de cómo mínimo 100 nSv/h (mejor menos),

- margen de error $\pm 25 \%$,

- sensibilidad básica recomendada 40 impulsos por minuto con 100 nSv/h,

- efecto cero (murmullo propio del detector) $< 50 \%$ con 100 nSv/h.

Atención: en los reconocimientos de dormitorios se recomienda tomar dos puntos de medición como mínimo, por ejemplo, en el cabezal y a los pies de la cama. Las diferencias claras entre la medición en el cabezal y al pie indican una radiación propia elevada de la masa de la edificación (por ejemplo, la pared tras el cabezal). Para la evaluación cuenta el resultado más alto. Mediciones ulteriores junto a paredes, suelos, rincones, etc., posibilitan buscar las fuentes y la elaboración de propuestas de saneamiento. La mayor parte de aparatos asequibles normalmente no sirven para determinar pequeñas desviaciones en el ámbito de la radiación de fondo en 100 nSv/h. A pesar de ello, es posible realizar una valoración bastante fiable del ámbito de dosis reducidas con aparatos que cubren las exigencias arriba mencionadas; para ello hay que observar principalmente la recogida de impulsos (estadística de conteo) y el efecto cero (murmullo propio del detector). Debido a esta problemática deben privilegiarse las mediciones comparativas.

El efecto cero, es decir, el murmullo propio del detector, se hace notar con bastante claridad en el entorno de la radiación de fondo general de unos 100 nSv/h, puede significar hasta un 50 % del valor de medición, y cuanto menos sensible el aparato, tanto más fuerte será este. En el medidor de centelleo (NaJ 2" o 3") el efecto cero es prácticamente irrelevante, debido a la gran cantidad de impulsos recogidos.

Las evaluaciones de *Baubiologie* se refieren a la recogida de impulsos gamma que parten de nucleidos naturales (Ra-226, Th-232 y K-40). La nueva dosis equivalente para el entorno H10 corresponde en este caso a la radiación natural del entorno (terreno, materiales de construcción) de la dosis equivalente de fotones.

En todas partes hay radiactividad en pequeñas cantidades. En la tierra, el cuerpo y el aire, hay elementos radiactivos principalmente naturales (radionucleidos) de la cadena del torio (Th-232) y del urano-radio (Ra-226), así como del potasio (K-40). Durante la medición de la radiación radiactiva se determina la cantidad de desintegraciones radiactivas en un intervalo de tiempo, en forma de impulsos. Los aparatos de medición transforman la radiación incidente en impulsos eléctricos. La medición comparativa es un método especialmente útil para los fines de la *Baubiologie*. En él se indica la relación entre la radiación ambiental natural y la radiación en la casa, en el material de construcción, en el dormitorio, etc., como una desviación porcentual. Es recomendable indicar siempre todos los valores de referencia medidos. La determinación de la dosis del lugar, o tasa de dosis equivalente por radiación gamma, reviste una especial importancia.

Junto a la radiación gamma también hay que prestar atención a la radiación beta. La radiación alfa tiene un papel subordinado en los estudios en *Baubiologie*, debido a una menor presencia y

alcance. En relación a la admisión interna a través del radón y los nucleidos de desintegración en el aire, puede ser interesante realizar mediciones de la radiación alfa.

Durante las mediciones dentro del edificio, hay que tener en cuenta de que a menudo se trata de diversos materiales de obra macizos en paredes interiores y exteriores, que pueden tener un efecto muy evidente sobre la actividad gamma.

Una clasificación diferencial de los nucleidos puede hacerse mediante la espectroscopia gamma. Se pueden realizar análisis de muestras de materiales sospechosos (por ejemplo, materiales de construcción) en relación a su actividad específica.

Si se dan indicios de contaminación significativa por, por ejemplo, la existencia de radio en la masa de obra, a menudo se trata de escorias; en este caso deberían llevarse a cabo mediciones de radón.

En lo que se refiere a una posible elevación de la dosis anual de radiactividad las señales de actividad de los materiales suelen ser menos llamativas que las de radón.

- **Radón** (becquerel por metro cúbico, Bq/m³)

Medición aérea de edificios, estancias, materiales y solares con señales de radón o que se sospecha que pueden presentar radón (análisis previos, mediciones cortas, mediciones de larga duración, mediciones de exhalación, mediciones de gas en el suelo).

Mediante monitores de radón de indicación directa, espectrómetros de nucleidos hijo de radón, dosímetros pasivos (aparatos electrónicos según el principio de semiconductor detector, detector de trazas nucleares, carbono activo,...)

Atención: la medición, o **análisis preliminares** en espacios no ventilados o en condiciones de uso con una ventilación más bien deficiente, durante un tiempo de pocas horas a hasta tres días proporcionan los primeros indicios de un problema de radón o sirven a efectos comparativos. Para obtener mediciones rápidas in situ y hallar el origen se emplean sobre todo los procedimientos de indicación directa con bombas. Mediante los sencillos métodos electrostáticos también se puede reconocer una concentración más elevada de radón: los nucleidos derivados radioactivos positivos se depositan rápidamente sobre las superficies con carga negativa y pueden detectarse con contadores geiger sensibles. Los ionómetros también son adecuados para la detección de concentraciones de radón: cantidades elevadas de iones pequeños en el aire interior se relacionan a menudo con la radiactividad, y sobre todo con la concentración de radón y la cantidad de nucleidos de desintegración. Una evaluación previa del aire sencilla se puede llevar a cabo mediante un acumulador pasivo de carbono activo durante un periodo de hasta tres días.

En el caso de que una medición previa de hasta 3 días arroje un valor de radón por encima de una referencia que debe precisarse más exactamente, deberían llevarse a cabo mediciones repetidas o durante un tiempo más prolongado (en espacios habitados a ser posible tomando unas primeras medidas de saneamiento a través de la ventilación).

Las **mediciones de conjunto** deberían llevarse a cabo durante un tiempo prolongado y mediante otros métodos. Para obtener una evaluación fiable del valor medio anual se aconseja realizar mediciones con dosímetros electrónicos o exposímetros de huella del núcleo durante semanas o incluso más tiempo. Tiene sentido realizar mediciones simultáneas, por ejemplo, en la sala de estar y en el sótano, ya que el radón casi siempre penetra en la casa a través del suelo y el sótano.

Los valores de referencia de Baubiologie se refieren a mediciones realizadas durante como mínimo 7 a 14 días en la época de entretiempo (clima medio anual, por ejemplo, primavera/otoño) en condiciones de uso normales. Si se tiene mucha experiencia y se tienen en cuenta todos los factores que influyen puede hacerse una primera aproximación al valor medio anual. Antes de realizar saneamientos profundos y caros se recomienda llevar a cabo mediciones simultáneas y de repetición.

Las **mediciones de valoración** para establecer la superación de valores indicativos y de referencia, por ejemplo, de la UE, OMS, UBA, BfS, etc. se realizan normalmente mediante

exposímetros de huella nuclear durante un tiempo de exposición de varios meses hasta un año. En *Baubiologie* estos tiempos tan prolongados de análisis solo tienen sentido si parece posible una disminución, en base a los análisis previos y las mediciones de conjunto, o bien para el control del saneamiento.

Complementariamente a las mediciones de radón en la atmósfera interior también se pueden considerar exámenes de materiales (tasa de emanación de radón), medición de gas del suelo (con sonda de gas del suelo "sonda checa", profundidad recomendada: 80-100 cm.).

El gas radón radiactivo es invisible, completamente inodoro e insípido. El radón se desintegra directamente en el aire que se respira y produce sustancias radiactivas derivadas (Po-218, Po-214, Pb-214, Bi-214 y otros). Estos productos derivados se depositan en el polvo fino que penetra en los pulmones, y causan la mayor parte de la dosis radiactiva asimilada. Las estimaciones estadísticas en Alemania se producen ya cada año hasta casi 2000 muertes adicionales por cáncer pulmonar a causa del radón en la atmósfera interior. No existe un valor umbral por debajo del cual no exista un riesgo.

Los problemas por radón en las casas se producen con frecuencia a causa de concentraciones elevadas en el subsuelo, falta de aislamiento hacia el subsuelo, materiales de construcción e instalaciones más radiactivos y una ventilación insuficiente del espacio interior. En casas más antiguas con sótanos húmedos, sobre todo, se suele encontrar radón, ya que es muy soluble en agua.

La concentración de radón en un edificio oscila fuertemente en el tiempo, junto a la ventilación del aire interior también son importantes el clima exterior y las oscilaciones de temperatura y presión, así como también las características del suelo. Durante la temporada de calefacción las concentraciones son notablemente mayores, debido a la elevación térmica, a una ventilación más deficiente y a unas concentraciones de aire procedente del suelo. En verano las concentraciones de radón en los espacios interiores suelen estar hasta 5 veces más bajas que en invierno. También en el subsuelo pueden darse claras diferencias de concentración de gas radón debidas a las estaciones, pero las diferencias suelen ser menores y están en aproximadamente entre 1,5 a 3 veces.

Las concentraciones más elevadas de radón se dan sobre todo en Baviera, Sajonia, Sajonia-Anhalt y Turingia (Bosques de Baviera, Alto Palatinado, Fichtelgebirge, Bosque de Turingia, Montes Metálicos, Selva Negra meridional, Vogtland, Sauerland, Sarre y el norte y el este de Schleswig-Holstein).

Son muy exactas las correlaciones de la concentración de radón entre las mediciones del gas en el suelo y las de los espacios interiores. Mientras que a un metro de profundidad en el suelo predominan concentraciones muy altas de unos 10.000 hasta más de 600.000 Bq/m³, en el espacio interior las concentraciones son de aproximadamente un factor de 1000 más bajas. Sin embargo, si hay una falta de estanqueidad hacia el subsuelo, se puede suponer una contaminación por radón en la casa a partir de una concentración de menos de 10.000 Bq/m³ en el suelo.

El efímero torón (radón Rn-220 de la serie del torio) apenas tiene relevancia en las mediciones de *Baubiologie*. Pero pueden producirse problemas en la atmósfera interior a causa de materiales de construcción abiertos y ricos en nucleidos. El torón no se puede medir mediante el carbono activo. En este caso lo más adecuado es medir los productos derivados contenidos en el aire (Pb-212, Po 212). El torón también debe considerarse críticamente por sus desintegraciones alfa intensivas en la serie de sus nucleidos de desintegración. El torón puede penetrar en la atmósfera del interior a través de granito radiactivo (por ejemplo, como pavimento). Pero también los materiales de construcción que presentan mucho torio, las escorias y eventualmente los revestimientos gruesos de arcilla pueden hacer que los nucleidos de descomposición del torón radiactivo sea significativo en relación a la dosis anual en el espacio interior cuando se da una fuerte carga espacial ($> 1 \text{ m}^2/\text{m}^3$) y una tasa reducida de renovación media del aire ($< 0,5$).

Los edificios con elevada radiactividad en la masa de la obra pueden causar problemas de radón procedente de los materiales por su contenido en radio (Ra-226), pero la probabilidad de

una emanación de radón muy significativa es más bien reducida. No se puede hacer una afirmación en sentido contrario, ya que las casas que no presentan radiaciones gamma pueden presentar concentraciones de radón inesperadamente altas, pues a menudo la aportación (casi siempre por convección) se produce a través del subsuelo. Los equipamientos y objetos muy radiactivos, como pueden ser baldosas, vidriados, antigüedades, etc., también pueden contribuir considerablemente a la acumulación de radón en las estancias.

7 PERTURBACIONES GEOLÓGICAS (Campo magnético y radiación terrestre)

Medición del **campo magnético terrestre** y su **radiación**, y sus **perturbaciones** significativas

- Perturbaciones significativas en el campo magnético terrestre (nanotesla, nT)

Con magnetómetro 3D:

- rango de medición hasta ± 100.000 nT,
- sensibilidad de comprobación 10 nT (mejor menos),
- margen de error ± 10 %

Atención: las mediciones se deben disponer en forma de cuadrícula para una mejor visión de conjunto, por ejemplo, un punto de medición cada 50 cm. Las sustancias y los materiales de construcción magnéticos (o solo ligeramente cargados) pueden confundir la medición y el resultado, sobre todo en el interior de la casa, hasta incluso hacerlos imposibles. Por ello, en un edificio construido e instalado de forma convencional casi nunca es posible realizar una medición magnética geológica, a causa de las numerosas perturbaciones técnicas.

- Perturbaciones significativas de la radiación terrestre radiactiva (impulsos por segundo, ips o porcentaje, %)

Mediante un contador de centelleo:

- sensibilidad de medición como mínimo 20 ips (mejor 200 ips o más),
- margen de error ± 10 %.
- Se ha consolidado el uso de cristal de yoduro sódico como sensor, tamaño mínimo 2" (mejor 3" o más), eventualmente protegido con plomo libre de isótopos frente a la radiación ambiental, y también con un moderador de frenado de neutrones.

Atención: las mediciones deben organizarse en forma de trama, por ejemplo, en zonas sensibles (dormitorios) un punto de medición cada 50 cm.; por cada punto se precisa una recogida de cómo mínimo 1000 impulsos, mejor de 5000. Los productos, instalaciones y materiales de construcción radiactivos (incluso los que solamente están ligeramente contaminados) pueden alterar o hacer incluso imposible la medición y el resultado, sobre todo dentro de casa.

La radiación terrestre está en todas partes. En cualquier lugar existen el campo magnético terrestre y la radiación radiactiva procedente del suelo. La aguja de la brújula atestigua la fuerza magnética de la tierra y el contador geiger la radiación gamma. Muchas otras fuerzas físicas emanan de la tierra.

Las denominadas perturbaciones geológicas son zonas de actividad terrestre alteradas. En ellas se pueden medir anomalías ostensibles en comparación a la media. La intensidad de flujo del campo magnético terrestre aumenta o disminuye dentro de unos límites locales y la radiación terrestre se ve alterada. Otros efectos físicos también se muestran de forma más acusada, más o menos penetrante, que en un entorno inalterado. Las perturbaciones geológicas son la consecuencia de, por ejemplo, corrientes de agua subterráneas, las denominadas vetas de agua o manantiales, u otros accidentes terrestres como, por ejemplo, fracturas, grietas, fisuras o fallas.

Por las experiencias habidas hasta el momento con el empleo del magnetómetro y el contador de centelleos, se parte de la base de que en caso de agua subterránea, se puede contar con

SBM 2015

La Norma de Mediciones Técnicas de Baubiologie, junto con los valores de referencia para dormitorios y las condiciones marco, las aclaraciones y complementos fueron desarrollados durante los años 1987 a 1992 por BAUBIOLOGIE/MAES por encargo y con el apoyo del Instituto de Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN. Han colaborado colegas y médicos. Fue publicada por primera vez en mayo de 1992. La norma junto con los valores de referencia y las condiciones marco se elaboran desde 1999 por expertos en Baubiologie con mucha experiencia y la ayuda adicional de científicos independientes del ámbito de la física, química, biología, arquitectura, laboratorios, médicos medioambientales y otros expertos. Esta norma SBM 2015 es la octava edición, presentada en mayo de 2015 en el Congreso de Baubiologie del IBN en Rosenheim.

Han tomado parte en el desarrollo, la confección, actualización, cumplimentación, revisión, etc., de la norma y del los valores de referencia durante estos años numerosos colegas con su trabajo y sus consejos (¡Gracias!); en primer lugar mis dos socios Dr. Dipl. Biol. Manfred Mierau y Dr. Dipl. Chem. Thomas Haumann. Seguidamente los demás miembros de la comisión para la norma, fundada en 1999, Dipl. Ing Norbert Honisch, Dipl. Ing. Helmut Merkel, Uwe Münzenberg, Johannes Schmidt, Rupert Schneider, Peter Sierck, Dipl. Chem. Jörg Thumulla y Dr. Dipl. Ing. Martin Virnich. Y además Christian Blank, Dipl. Ing. Peter Danell, Dipl. Ing. Joachim Gertenbach, Dipl. Ing. Friedbert Lohner, Dipl. Med. Frank Mehlis, Dipl. Ing. Jürgen Muck y Arch. Winfried Schneider. Gracias también a todos los médicos, laboratorios, científicos, expertos, amigos, que han estado ahí apoyándonos y aconsejándonos.

Las condiciones marco, aclaraciones y complementos fueron elaborados por la BAUBIOLOGIE MAES. La columna de la norma A (Campos, ondas, radiaciones) por Wolfgang Maes con apoyo de Dr. Dipl. Biol. Manfred Mierau, Dr. Dipl.Chem. Thomas Haumann, Dipl. Ing. Helmut Merkel y Dipl. Ing Norbert Honisch, el apartado A6 (radiactividad, radón) bajo la dirección de Dr. Thomas Haumann, el apartado A8 (sonido) bajo la dirección de Dipl. Ing. Jürgen Muck y el apartado A9 (luz) con el apoyo de Dipl. Ing. Joachim Gertenbach y Dipl. Ing. Peter Danell. La columna B (tóxicos domésticos, sustancias nocivas, clima interior) fue elaborada por Dr. Thomas Haumann con el apoyo del Dr. Manfred Mierau y la columna C (Hongos, bacterias, alérgenos) por el Dr. Manfred Mierau con la ayuda del Dipl. Med. Frank Mehlis y Wolfgang Maes.

El primer borrador de las condiciones marco, las aclaraciones y complementos se presentó en el seminario de trabajo de mediciones técnicas de Baubiologie en abril de 2010 en Fulda-Loheland, el segundo borrador en el seminario de técnicos de medición en diciembre de 2011 y la tercera versión en el seminario básico del tema 'Mediciones técnicas en Baubiologie' en octubre de 2012 también en Fulda-Loheland, la 4ª versión solo se revisó en algunos detalles y este quinto borrador se presentó en el Congreso del IBN en mayo de 2015 en Rosenheim.

Serán bienvenidos los complementos y actualizaciones que puedan aportar los colegas que trabajen en la praxis de *Baubiologie*.

Apéndice C Determinación del *promedio anual de concentración de radón* en el aire de los *locales habitables* de un edificio

1 Generalidades

- 1 En este apéndice se presentan las especificaciones básicas para determinar *el promedio anual de concentración de radón* (Rn-222) en el aire de los *locales habitables* de un edificio. El proceso para su determinación se divide en tres fases: muestreo, medición y estimación del *promedio anual de concentración de radón*.
- 2 Se emplea como unidad de medida el becquerel por metro cúbico (Bq/m³) en aire.

2 Muestreo

- 1 La fase de muestreo se determinará por el proyectista, la dirección facultativa o entidad de control.

2.1 Determinación del número de detectores

- 1 Para determinar el número de detectores a disponer, se definirán en primer lugar las zonas de muestreo necesarias en el edificio.
- 2 Las zonas de muestreo se establecerán en aquellas plantas del edificio donde exista una probabilidad más alta de presentar niveles elevados de radón. En particular:
 - a) bajo rasante, en cada una de las plantas en las que existan *locales habitables*;
 - b) sobre rasante, en las dos plantas más bajas en las que haya *locales habitables*.
- 3 Para delimitar las zonas de muestreo, se tendrán en cuenta las siguientes condiciones:
 - a) En cada *unidad de uso* se establecerá, al menos:
 - i) una zona de muestreo por cada 200 m² de superficie útil;
 - ii) una zona de muestreo por planta.
 - b) En *unidades de uso* con grandes áreas no compartimentadas (por ejemplo, oficinas de planta abierta, superficies de atención al público, etc.), se tendrá en cuenta lo siguiente:
 - i) cuando la superficie sea superior a 1.000 m² e inferior o igual a 5.000 m², se podrá establecer una zona de muestreo por cada 400 m²;
 - ii) cuando la superficie sea superior a 5.000 m², se podrá establecer 1 zona de muestreo por cada 500 m².
- 4 En cada zona de muestreo se instalará al menos 1 detector, excepto en *unidades de uso* de superficie inferior a 200 m² en los que se haya definido una única zona de muestreo, donde se instalarán al menos 2 detectores.
- 5 En el caso de los *detectores pasivos*, cuando, de acuerdo con las indicaciones anteriores, el número de detectores a exponer en un mismo edificio esté comprendido entre 15 y 25, será necesario colocar un detector más, a modo de control. A partir de 25 detectores, se añadirá un detector de control adicional por cada 20 detectores expuestos. Estos detectores se ubicarán en una zona del edificio en la que se prevea una baja *concentración de radón*.

2.2 Ubicación de los detectores

- 1 La localización de los detectores en cada zona de muestreo deberá elegirse de forma que sea representativa de las estancias donde la permanencia de las personas sea más elevada (por ejemplo, en viviendas, en dormitorios y salas de estar).

- 2 La ubicación exacta de los detectores dentro de cada zona de muestreo, se establecerá en función de la configuración espacial de cada planta, vivienda o local, teniendo en cuenta las características de los sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación, y, en especial, la distribución de entradas, salidas de aire, puertas y ventanas.
- 3 Mediante esquema gráfico del edificio y plano de cada planta, se mostrarán la ubicación de cada detector; la distribución de las zonas de muestreo y la localización de los sistemas de calefacción y refrigeración, las entradas y salidas de aire del sistema de ventilación y las puertas y las ventanas.

3 Medición

3.1 Entidades de medida

- 1 La estimación del *promedio anual de la concentración de radón* en el aire podrá efectuarse mediante detectores de tipo pasivo o activo. Las entidades de medida que proporcionen los detectores y lleven a cabo, bien su análisis, o bien el procesamiento de los registros de medida, deberán cumplir los siguientes requisitos:
 - a) estar acreditadas de acuerdo a UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), o bien por otro organismo nacional de acreditación designado de acuerdo con la normativa europea; y
 - b) cumplir los requisitos exigidos de acuerdo al Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo, y haber presentado la declaración responsable como laboratorio de ensayos para el control de la calidad de la edificación ante el órgano competente de la comunidad autónoma.
- 2 Cuando así lo requiera el sistema de medida utilizado, las entidades de medida se encargarán de la instalación, puesta en marcha, toma de datos, lectura o determinación de la medición y expresión de la medida de los detectores con los que se determinará el nivel de radón en cada zona de muestreo identificados y localizados en las ubicaciones indicadas por el proyectista, la dirección facultativa o entidad de control.

3.2 Instalación y puesta en marcha

- 1 Para la ubicación de los detectores se seguirán los siguientes criterios:
 - a) los detectores se situarán a una altura entre 50 y 180 cm sobre el nivel del suelo, a una distancia de más de 30 cm de paredes o puertas, y a más de 10 cm de otros objetos;
 - b) no deberán colocarse en el interior de elementos cerrados, como armarios, cajones o vitrinas;
 - c) no deberán colocarse próximos a corrientes de aire (ventanas, ventiladores) ni exponerse directamente al sol o a otras fuentes de calor;
 - d) si fuera necesario colocarlos en lugares de humedad elevada ($HR > 70\%$) y se tratara de detectores alterables por ello según la especificación del fabricante, los detectores deberán recubrirse con una membrana que los proteja de la humedad sin interferir en el resultado de la medida de radón.

3.3 Condiciones durante la exposición

- 1 Durante el periodo de exposición de los detectores se seguirán los hábitos de ocupación ordinarios de los edificios y, si existen soluciones de protección frente al radón como *espacios de contención ventilados* o sistemas de despresurización, estos deberán estar en el régimen habitual de funcionamiento.
- 2 En caso de que el edificio no este ocupado, se mantendrán, en la medida de lo posible, las condiciones de edificio cerrado (ventanas y puertas exteriores cerradas y las puertas interiores abiertas). Si existen en el edificio soluciones de protección frente al radón, estos deberán estar en su régimen habitual de funcionamiento.
- 3 Los detectores deberán permanecer expuestos durante un periodo mínimo de dos meses.

- 4 Si el edificio está situado en alguna de las zonas climáticas de invierno C, D o E establecidas en el DB-HE Ahorro de energía, el periodo de exposición tendrá lugar preferiblemente durante los meses de la temporada de calefacción.

3.4 Análisis de los detectores y expresión de resultados de medida

- 1 Los valores medidos por cada detector, asociados a su correspondiente código identificativo, deben presentarse en el informe emitido por la entidad de medida como concentración media de radón (Bq/m^3) durante el periodo de exposición. El valor de concentración o exposición debe expresarse junto con el de la incertidumbre expandida y el factor k utilizado. Es necesario indicar siempre el valor del límite de detección del procedimiento y/o aparato o sistema de medición empleado.
- 2 El informe de resultados debe incluir, además, la siguiente información:
 - a) identificación de la entidad de medida;
 - b) identificación del cliente;
 - c) fecha de emisión del informe;
 - d) fecha de inicio y final de la exposición;
 - e) características y tipos de detectores;
 - f) procedimiento de lectura;
 - g) identificación y localización de cada detector sobre plano;
 - h) circunstancias meteorológicas y ambientales que puedan haber afectado al resultado;
 - i) la representación en continuo de los datos almacenados por los sensores de cada detector, en caso de que éste permita disponer de ella;
 - j) fabricante del dispositivo, modelo, límites de medición del aparato, así como el error inducido por el mismo;
 - k) cualquier otra información relevante que pudiera influir en el resultado de las medidas;
 - l) firma de la persona o personas que asuman la responsabilidad técnica del informe.

4 Estimación del *promedio anual de concentración de radón*

- 1 La fase de estimación del *promedio anual de concentración de radón* se realizará por la dirección facultativa o entidad de control.
- 2 A partir de los valores de *concentración de radón* en el aire que proporcione la entidad de medida, se estimará el *promedio anual de concentración de radón* durante el periodo de exposición para cada una de las zonas de muestreo donde los detectores estuvieron expuestos.
- 3 Cuando en una zona de muestreo se haya expuesto solo uno o dos detectores, el valor promedio de concentración corresponderá al resultado de la medida más alta. En otro caso, el promedio se calculará como la media aritmética de los valores de *concentración de radón* proporcionados por todos los detectores expuestos en la zona de muestreo.
- 4 Para obtener el *promedio anual de concentración de radón* en cada zona de muestreo, el resultado obtenido de acuerdo con lo especificado en el punto 2 de este apartado deberá multiplicarse por un factor 1,4 en los siguientes casos:
 - a) si las exposiciones de los detectores han tenido lugar en un edificio no ocupado en el que, por condicionantes prácticos, no se pueden garantizar las condiciones de edificio cerrado; o
 - b) si las exposiciones de los detectores han tenido lugar en un edificio en uso situado en alguna de las zonas climáticas de invierno C, D o E establecidas en el DB-HE Ahorro de energía y el periodo de exposición no coincide al menos en 2/3 con la temporada de calefacción.
- 5 En el resto de los casos, el promedio de *concentración de radón* durante el periodo de exposición se considerará una estimación adecuada del *promedio anual de concentración de radón*.
- 6 En la información justificativa de la estimación del *promedio anual de concentración de radón* en el interior del edificio, deberán incluirse los siguientes datos:

- a) información sobre estado del edificio o zona de muestreo durante la exposición de los detectores (en uso/no ocupado, cerrado/no cerrado, calificación energética);
- b) mediante el esquema gráfico del edificio y plano de cada planta indicados en el apartado 2.2 se mostrará la ubicación de cada detector, con su correspondiente código identificativo;
- c) en su caso, circunstancias que puedan inducir a valores anómalos en las medidas (concentraciones elevadas de radón, condiciones meteorológicas atípicas, etc.);
- d) para cada zona de muestreo:
 - i) número de detectores expuestos y código identificativo de cada uno de ellos;
 - ii) promedio de *concentración de radón* durante el periodo de muestreo y *promedio anual de concentración de radón*;
- e) anexo que contenga el informe de resultados proporcionado por la entidad de medida.