



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN

Máster en Gestión en Edificación (MAGE)

PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN EN OBRAS DE EDIFICACIÓN EN ESPAÑA

AUTORA:

PATRICIA ELIZABETH CAHUANA HUAYANCA

TUTORA:

ALEJANDRA VIDALES BARRIGUETE

MADRID- ESPAÑA

2026

DEDICATORIA

A Mateo, mi hijo, por enseñarme cada día a ver el mundo con ilusión y ser mi motivación en este camino. Eres un niño maravilloso, mami te ama mucho.

A Maurizio, mi esposo, por su apoyo incondicional en cada desafío y por caminar siempre de mi mano. Gracias por tu paciencia, tu amor y por siempre creer en mí. Este logro también tuyo, te amo.

AGRADECIMIENTO

Quiero iniciar agradeciendo a Dios, por ser mi guía constante y por no soltar mi mano en ningún momento de este proceso.

A mi familia: mis padres, hermanos y a mi abuelita Elisa, quienes, desde Perú, hicieron corta la distancia con cada una de sus llamadas, brindándome siempre el cariño y aliento necesarios para seguir adelante.

A mi tutora, Alejandra, por su dedicación y apoyo a lo largo del desarrollo de este trabajo; su orientación ha sido fundamental para alcanzar este objetivo.

Finalmente quiero agradecer a la Cátedra Arpada por haber confiado en el tema propuesto, facilitando los recursos necesarios para finalizar el presente estudio.

RESUMEN

La acumulación de gas radón en el interior de los edificios ha dejado de ser un problema secundario para convertirse en un riesgo radiológico de primer orden, señalado a nivel mundial como un detonante directo del cáncer de pulmón. En España, la alta presencia de suelos graníticos acelera la emanación de este gas hacia las estancias habitables, lo que ha forzado una actualización drástica de la normativa edificatoria.

El trabajo analiza exhaustivamente el marco regulatorio actual, destacando la implantación del Documento Básico HS 6 "Protección frente a la exposición al radón" del Código Técnico de la Edificación (CTE) como el eje fundamental para la mitigación del gas. Tras revisar la bibliografía y las prácticas del sector, se comprueba que la eficiencia de las medidas de protección - barreras físicas, cámaras ventiladas o redes de despresurización – no depende únicamente de su diseño, sino de la calidad de la ejecución material.

Para abordar esta necesidad, se ha desarrollado un procedimiento de control de ejecución para sistemas de protección frente al gas radón, el cual permite verificar los puntos críticos del proceso constructivo para garantizar el cumplimiento de las exigencias del CTE. La validez de esta metodología se confirmó mediante un caso práctico en un centro asistencial de Tres Cantos (Madrid), donde la ejecución de una solución complementaria demostró una alta fiabilidad. La monitorización in situ y el análisis de parámetros ambientales permitieron validar la eficacia de la intervención, logrando mantener las concentraciones de radón ampliamente por debajo del nivel de referencia de 300 Bq/m³.

En conclusión, el éxito de la protección radiológica depende de una supervisión efectiva durante la ejecución, integrando el control técnico desde el inicio hasta el final de la obra. El procedimiento de control de ejecución para sistemas de protección frente al gas radón se propone como una herramienta para garantizar la salubridad y el cumplimiento normativo. Esta metodología, replicable y eficiente, ha sido adaptada tanto a obra nueva como a intervenciones de rehabilitación, permitiendo transformar los requisitos teóricos del CTE en una construcción segura y eficaz para la salud pública.

ABSTRACT

The accumulation of radon gas inside buildings has ceased to be a secondary problem to become a first-order radiological risk, recognized worldwide as a direct trigger for lung cancer. In Spain, the high presence of granitic soils accelerates the emanation of this gas into habitable rooms, which has forced a drastic update of the building regulations.

The work exhaustively analyzes the current regulatory framework, highlighting the implementation of the Basic Document HS 6 "Protection against radon exposure" of the Technical Building Code (CTE) as the fundamental axis for the mitigation of the gas. After reviewing the bibliography and sector practices, it is verified that the efficiency of the protection measures - physical barriers, ventilated cavities, or depressurization networks - does not depend solely on their design, but on the quality of the material execution.

To address this need, an execution control procedure for radon gas protection systems has been developed, which allows verifying the critical points of the construction process to guarantee compliance with the CTE requirements. The validity of this methodology was confirmed through a practical case in a healthcare center in Tres Cantos (Madrid), where the execution of a complementary solution demonstrated high reliability. In situ monitoring and the analysis of environmental parameters allowed validating the efficacy of the intervention, managing to keep radon concentrations well below the reference level of 300 Bq/m³.

In conclusion, the success of radiological protection depends on effective supervision during execution, integrating technical control from the beginning to the end of the work. The execution control procedure for radon gas protection systems is proposed as a tool to guarantee healthiness and regulatory compliance. This methodology, replicable and efficient, has been adapted to both new construction and rehabilitation interventions, allowing the theoretical requirements of the CTE to be transformed into safe and effective construction for public health.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	9
2.1 Origen de los estudios de radón en la edificación	9
2.1.1 El descubrimiento del riesgo residencial: El caso pionero de Suecia	9
2.1.2 Antecedentes de exposición y primeras campañas de medición en Canadá	10
2.1.3 El "Incidente Watras" y el desarrollo de la ingeniería de mitigación en Estados Unidos	10
2.2 Vías de entrada del radón	11
2.3 Tipos de medición de radón.....	12
2.4 Métodos de medición actuales	13
2.5 Fiabilidad y precisión de los equipos de medición	13
2.6 Factores que favorecen la aparición y exhalación de radón.....	15
2.7 Sistemas de Mitigación.....	16
2.7.1 Barrera de Protección frente al radón	16
2.7.2 Sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas	19
2.7.3 Despresurización.....	19
2.7.4 Presurización.....	21
2.7.5 Ventilación natural y mecánica	22
2.8 Mitigación en edificios existentes	23
2.8.1 Mitigación en edificios históricos y espacios confinados	25
2.9 Impacto de la eficiencia energética y la hermeticidad en la acumulación de radón..	25
2.10 Cronología de las exigencias normativas y de salud pública.....	26
2.11 Marco Normativo de Aplicación	28
2.11.1 Marco regulatorio europeo.....	29

2.11.2 Normativa técnica de edificación en España	29
2.11.3 Protección radiológica y salud pública.....	32
CAPÍTULO 3 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	33
CAPÍTULO 4: OBJETIVOS	34
4.1 Objetivo Principal.....	34
4.2 Objetivos Específicos	34
CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA	35
CAPÍTULO 6: DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO	36
6.1 Identificación de sistemas de protección frente al radón	36
6.1.1 Barreras de Protección.....	36
6.1.2 Espacio de contención ventilado	40
6.1.3 Despresurización del terreno.....	42
6.2 Clasificación según tipo de intervención.....	44
6.2.1 Obras de nueva planta	44
6.2.2 Intervenciones en edificios existentes	46
6.3 Metodología de medición y evaluación de la exposición	48
6.3.1 Clasificación de detectores de medida	48
6.3.2 Criterios de muestreo y ubicación de detectores.....	50
6.3.3 Requisitos de las entidades y periodo de exposición	51
6.3.4 Estimación del promedio anual y validación.....	54
6.4 Cumplimiento de la Instrucción IS-47	54
6.4.1 Criterio de muestreo y ubicación de detectores	55
6.4.2 Criterios temporales para la estimación de promedio anual.....	56
6.4.3 Pautas de exposición y actualización de estudios de medición	56
6.5 Fase de control en obra.....	57

6.5.1 Control antes de la ejecución	57
6.5.2 Control durante la ejecución.....	58
6.5.3 Control después de la ejecución	59
6.6 Caso práctico en Centro Asistencial	60
6.6.1 Sistemas de mitigación ejecutados	61
6.6.2 Monitoreo y medición de comprobación	63
6.6.3 Interpretación y validez de los resultados	65
6.7 Procedimiento de control de ejecución	68
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES	97
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	99
ANÁLISIS DE IMPACTO	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS.....	106

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El radón es un gas radiactivo de origen natural perteneciente al grupo de gases nobles, incoloro e inodoro, que se produce por la desintegración del radio proveniente del uranio presente en los suelos, rocas y aguas subterráneas. El radón se libera desde el terreno hacia el ambiente, donde experimenta un proceso de desintegración que genera nuevas partículas radiactivas. Al ser inhaladas, estas partículas se adhieren a los tejidos del sistema respiratorio, teniendo el potencial de alterar el ADN celular y desencadenar el desarrollo de cáncer pulmonar [1].

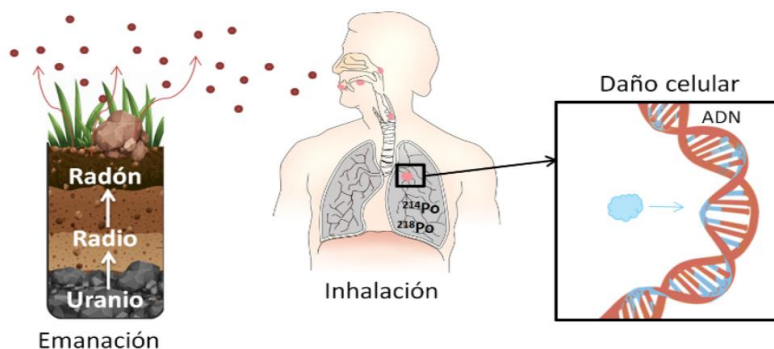


Ilustración 1: Ciclo del radón. Fuente: [2].

La presencia de radón en el mundo es altamente variable y depende fundamentalmente de la geología, condicionada principalmente por la composición del subsuelo. Existe evidencia que detallada presencia de radón en al menos 66 países del mundo [3], lo que nos permite identificar variaciones por regiones y países. Sin embargo, la información se encuentra fragmentada ya que hay muy poca información de África y parte de Asia.

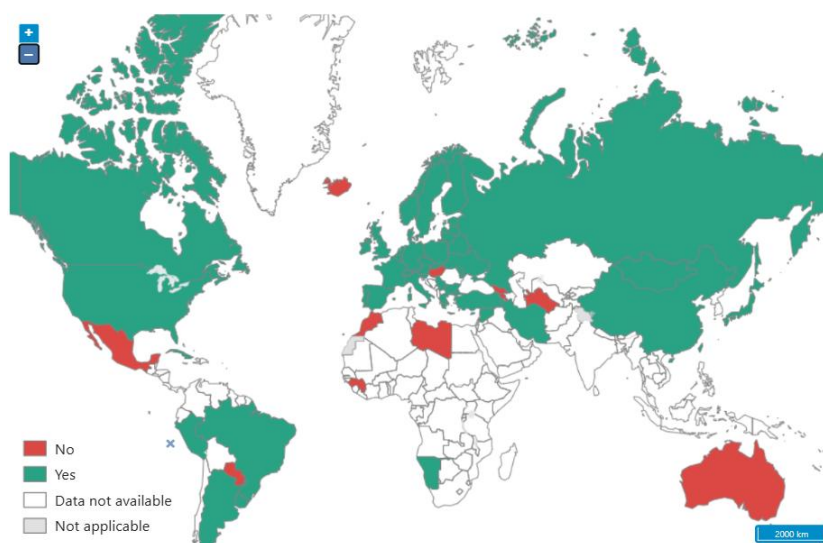


Ilustración 2: Actividad de radón en el mundo. Fuente: [4].

En el siglo XX surgieron las primeras evidencias que vinculaban la inhalación de gas radón con el desarrollo de cáncer de pulmón. Se iniciaron los estudios científicos debido al aumento exponencial en la tasa de cáncer de pulmón en trabajadores de minas subterráneas de uranio por exposición prolongada a concentraciones muy altas de radón. Inicialmente lo que se abordó como un riesgo laboral en la industria minera, marcó un hito en la salud pública para iniciar con investigaciones en presencia de radón en interiores [5]

En 1988 la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC), organismo especializado perteneciente a la Organización Mundial de la Salud, designó oficialmente al radón y sus productos de descomposición como carcinógenos humanos del Grupo 1. Esta clasificación establece que existe evidencia epidemiológica que concluye que su exposición causa cáncer de pulmón en seres humanos. La IARC determinó que las partículas radiactivas de vida corta derivadas de este gas se depositan en el sistema respiratorio tras ser inhaladas. Al desintegrarse dentro de los pulmones, estas partículas emiten radiación alfa que daña directamente las cadenas de ADN de las células, un proceso de alteración genética que eventualmente resulta en la formación de tumores malignos clínicamente evidentes [6].

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) ha clasificado al radón como un carcinógeno de Clase A. Dentro del sistema de evaluación de riesgos de esta institución, la Clase A (o Grupo A) representa el nivel de máxima alerta y se reserva exclusivamente para aquellos agentes que son reconocidos como carcinógenos humanos conocidos [7]. Anualmente, la exposición al gas radón es responsable de aproximadamente 21.000 muertes por cáncer de pulmón en los Estados Unidos. Dentro de esta mortalidad, alrededor de 2.900 de estas víctimas corresponden a personas que nunca han fumado [8].

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que el radón es un factor principal de cáncer de pulmón a nivel global. Se calcula que el radón residencial causa entre el 3 % y el 14 % de todos los cánceres de pulmón. De acuerdo con estas cifras, el radón representa la segunda causa más importante de cáncer de pulmón, después del tabaco, y la primera en no fumadores. Se estima científicamente que la probabilidad de desarrollar una neoplásica de pulmón es 25 veces mayor en población fumadora [9].

En las últimas décadas, diversas líneas de investigación epidemiológica han planteado una posible asociación entre la exposición al radón en ambientes interiores y un incremento en el riesgo de desarrollar leucemia infantil [10]. Si bien la comunidad científica menciona que la evidencia estadística aún presenta inconsistencias, se requiere de mayor evidencia para asegurar de que la radiación afecte a la médula ósea infantil [11].

La magnitud del riesgo biológico del radón está respaldada por las máximas autoridades sanitarias y ambientales a nivel mundial. Todas las clasificaciones coinciden en dictaminar que existe evidencia epidemiológica irrefutable respecto a inhalación a este gas reactivo y a sus productos de desintegración, siendo una causa directa comprobada del desarrollo de cáncer de pulmón en el ser humano.

En España, la presencia de radón en el subsuelo está relacionada con la geología del territorio, particularmente con la existencia de formaciones graníticas y rocas con presencia de uranio. Estas características geológicas favorecen la liberación de radón desde el

terreno hacia la superficie, lo que puede provocar su acumulación en espacios interiores de edificios, especialmente en plantas bajas y sótanos.

La recopilación formal de datos sobre la presencia de radón en España inició en la década de los 90 bajo la dirección del Laboratorio de Radiación Natural de la Universidad de Cantabria. En etapas posteriores, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) lideró el financiamiento y la investigación mediante campañas de medición en entornos residenciales. Los resultados se publicaron mediante informes técnicos oficiales para definir con precisión los niveles de exposición a los que está sometida la población, generando así un registro histórico detallado del riesgo a nivel nacional. La zonificación del riesgo radiológico en España es el resultado de múltiples investigaciones lideradas por el Consejo de Seguridad Nuclear. Estos estudios han permitido elaborar mapas de exposición de radón que señalan una mayor probabilidad de concentraciones severas en aquellas regiones con una geología de base granítica [12].

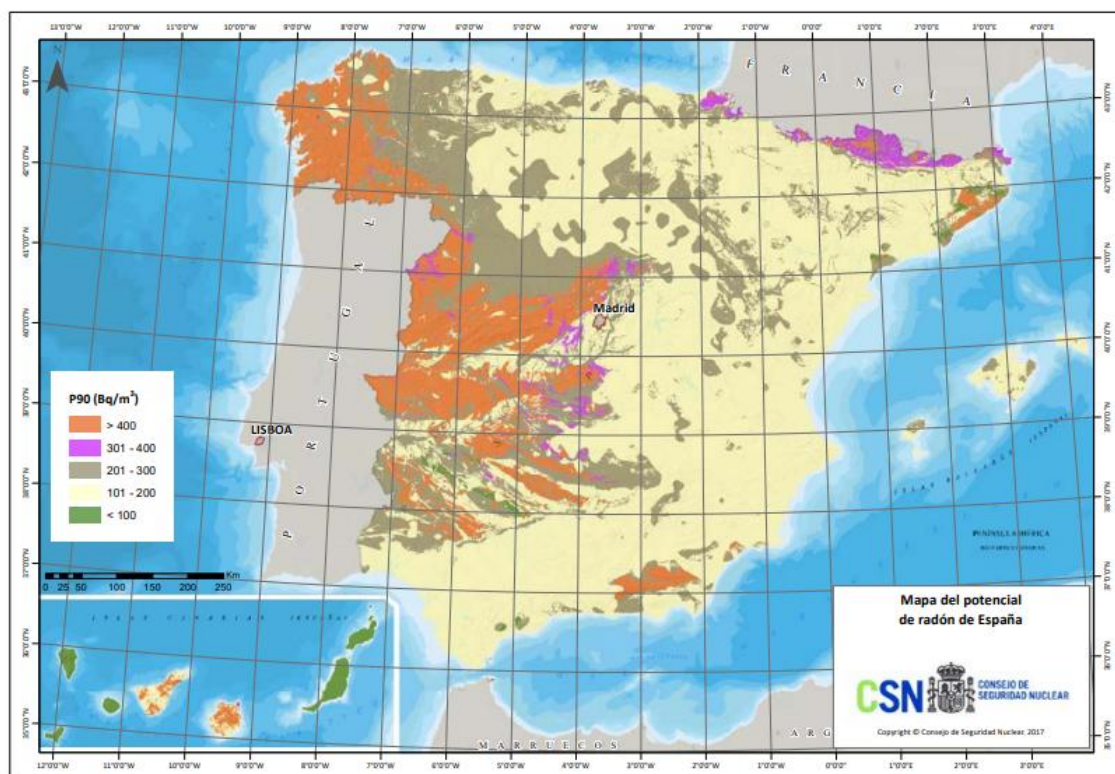


Ilustración 3: Mapa del Potencial de Radón en España CSN. Fuente: [13]

De acuerdo con el mapa del potencial de radón en España, se consideran zonas de actuación prioritaria aquellas áreas geográficas donde se estima que más del 10 % de los edificios pueden presentar concentraciones superiores al umbral legal de 300 Bq/m³ en su planta baja o primera planta. Atendiendo a esta clasificación de riesgo, las mayores proporciones de superficie territorial afectada se concentran en Galicia, con un 70 % de su territorio catalogado como zona prioritaria, seguida de Extremadura con un 47 % y la Comunidad de Madrid con un 36 % [14].

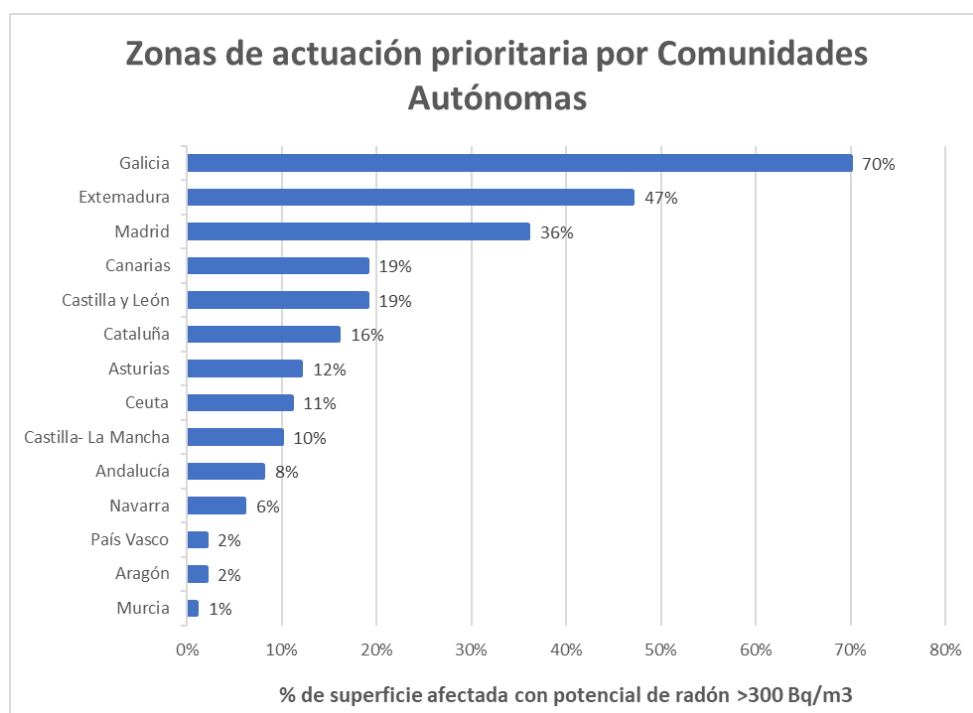


Ilustración 4: Porcentaje de superficie autonómica afectada por un potencial de radón superior a 300 Bq/m³. Fuente: propia.

Al ser el territorio con mayor afectación a nivel nacional, Galicia dispone de su propio Mapa de radón. Este monitoreo es desarrollado por el Laboratorio de Radón de Galicia, grupo de investigación de la Facultad de Medicina de la Universidad de Santiago de Compostela. El gran aporte científico, más de 4.300 mediciones realizadas, de este mapa radica en que se realizan mediciones en alturas superiores a primera planta [12], [14].

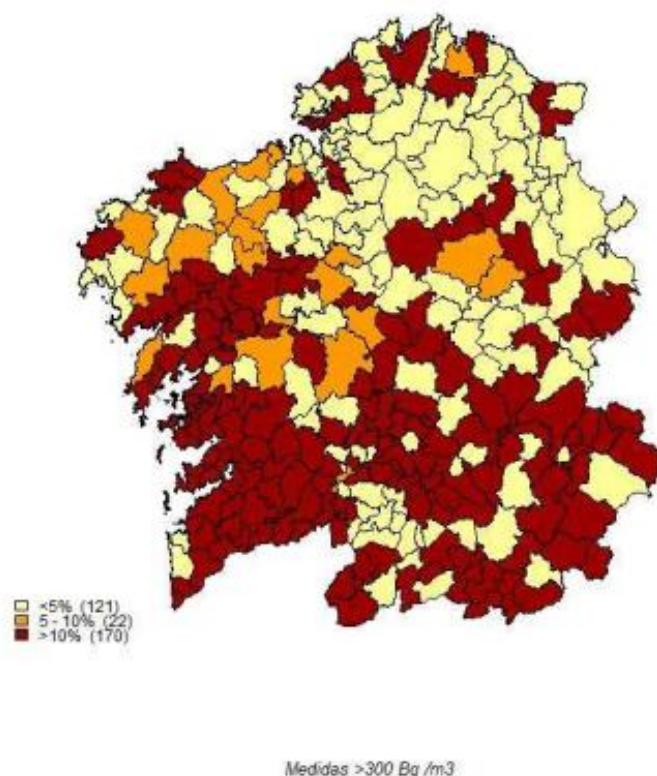


Ilustración 5: Mapa de radón en Galicia (Concellos). Fuente: [14].

Existe una discrepancia notable entre las recomendaciones sanitarias internacionales y parámetros regulatorios vigentes en España. Mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece un nivel de referencia de 100 Bq/m³ para minimizar eficazmente los riesgos asociados a la exposición en interiores [5], la legislación española adopta el límite superior máximo tolerado de 300 Bq/m³ para recién iniciar la mitigación[15].

El marco regulatorio, que rige la protección frente al radón en la edificación, se origina a nivel obligatorio con la Directiva 2013/59/Euratom, la cual impuso a los Estados miembros de la Unión Europea la obligación de establecer normativas para limitar la exposición a este gas radiactivo en edificaciones interiores [16]. En el ámbito nacional español, este mandato comunitario fue aprobado mediante el Real Decreto 732/2019, introduciendo una actualización estructural del Código Técnico de la Edificación (CTE). Esta regulación se concretó en el Documento Básico de Salubridad HS 6 (DB-HS 6) “Protección frente a la exposición al radón”, el cual establece el nivel de referencia de 300 Bq/m³ para viviendas y lugares de trabajo. De este modo, la exigencia europea se transforma en una obligación

técnica exigiendo la implementación de medidas preventivas y mitigación en obras nuevas o reformas en los municipios de la Zonas 1 y Zona 2 [17], se encuentra detallada en el Apéndice B del documento DB-HS6 (ver anexo 1).

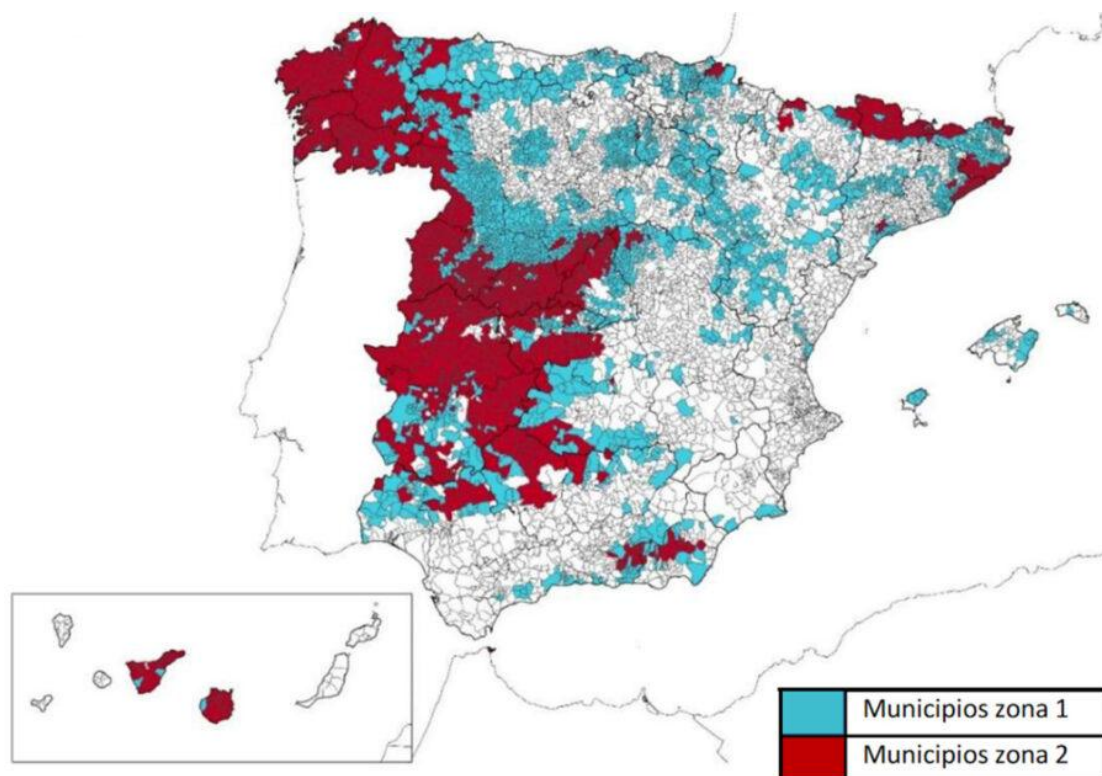


Ilustración 6: Clasificación de municipios del CTE en función del potencial de radón. Fuente: [14].

La protección de los edificios frente a la acumulación de gas radón requiere la implementación de estrategias de mitigación que varían en función de si se aplican en edificaciones nuevas o edificaciones existentes. El enfoque preventivo principal consiste en la disposición de barreras físicas impermeables como las láminas anti-radón, combinadas con el sellado hermético de juntas y pasos de instalaciones. Como mecanismos complementarios o de mayor nivel de exigencia, destacan los sistemas de despresurización del terreno bajo la solera y la ventilación de espacios de contención. Finalmente, la dilución del gas mediante sistemas de ventilación mecánica controlada en el interior de los recintos actúa como una medida adicional para garantizar la calidad y salubridad del aire ambiente [18].

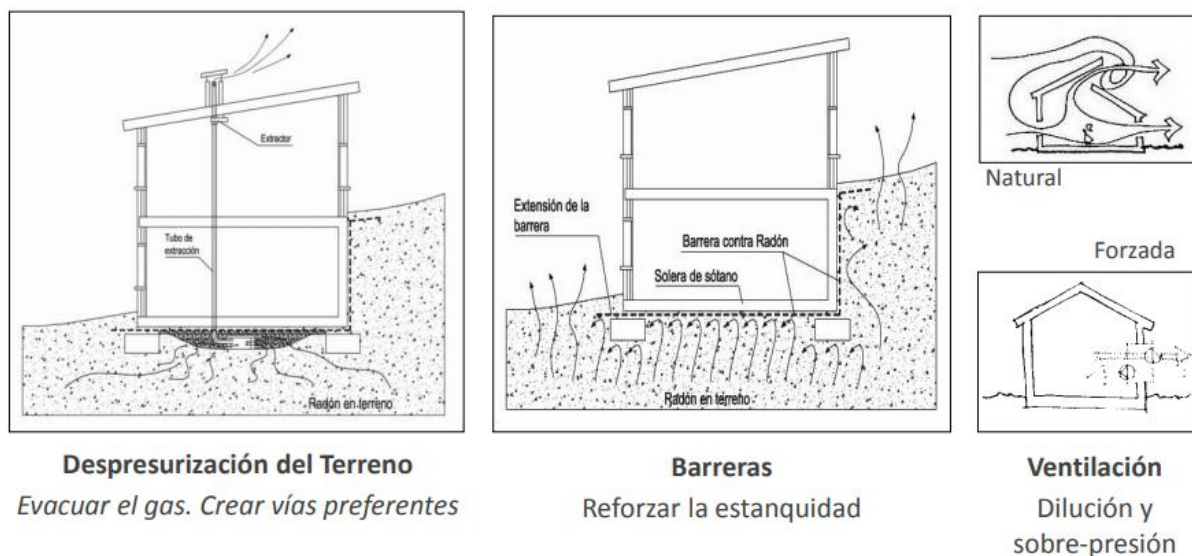


Ilustración 7: Principales estrategias de mitigación. Fuente: [18].

En este contexto, la correcta implementación de las soluciones constructivas destinadas a limitar la entrada de radón adquiere una relevancia fundamental durante la fase de ejecución de las obras. Sin embargo, la eficacia de estos sistemas depende en gran medida de su adecuada instalación y control en obra. La ausencia de procedimientos sistemáticos de inspección puede derivar en errores constructivos que comprometan la estanqueidad de las barreras o el funcionamiento de los sistemas de mitigación. Por ello, el presente trabajo propone el desarrollo de un procedimiento de control de ejecución para sistemas de protección frente al gas radón, mediante la elaboración de una guía de inspección técnica aplicada a obras de edificación, con el objetivo de facilitar la verificación del cumplimiento de las exigencias establecidas en la normativa vigente.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1 Origen de los estudios de radón en la edificación

El desarrollo de las actuales estrategias de control frente al gas radón es el resultado de varias décadas de investigación aplicada a la física de los edificios. Para contextualizar este proceso, a continuación, se detalla el origen de los estudios sobre el radón en edificaciones, trazando su evolución histórica a través de los tres escenarios internacionales que impulsaron las primeras campañas de medición y obligaron a estandarizar los sistemas de mitigación constructiva que conocemos hoy en día.

2.1.1 El descubrimiento del riesgo residencial: El caso pionero de Suecia

Durante mucho tiempo, la exposición al radón se consideró un riesgo laboral exclusivo de la minería del uranio. Sin embargo, los países nórdicos (especialmente Suecia) fueron los primeros en investigar su impacto en las viviendas. A raíz de la crisis energética de 1973, la industria de la construcción en el norte de Europa comenzó a hacer las casas extremadamente herméticas para maximizar la conservación de calor. Esta falta de ventilación provocó concentraciones alarmantes de radón en los interiores, documentándose concentraciones de 200 - 800 Bq/m³. Ante la gravedad de estos resultados alarmantes el Gobierno sueco en 1979 creó una comisión encargada de investigar el problema y proponer medidas correctivas contra la radiación en las viviendas. Como resultado, se establecieron límites provisionales de exposición: un promedio anual de 400 Bq/m³ para edificaciones existentes declarando insalubres aquellos que lo superen, y 70 Bq/m³ para construcciones nuevas. La verdadera magnitud del problema quedó en evidencia tras la monitorización de 20.000 viviendas, la cual reveló que el 14 % superaba los 400 Bq/m³ y un 2 % excedía los 1.000 Bq/m³, llegándose a registrar picos extremos de entre 4.000 y 9.000 Bq/m³ en casos puntuales. En paralelo, se impulsaron programas de investigación enfocados en el desarrollo de estrategias de mitigación, ensayando desde sistemas de ventilación hasta la disposición de láminas de aluminio en las soleras para bloquear la penetración del gas exhalado por el terreno [19].

2.1.2 Antecedentes de exposición y primeras campañas de medición en Canadá

El interés inicial por los efectos del radón y sus descendientes en Canadá estuvo estrechamente ligado a la industria del ciclo del combustible nuclear y su impacto en los mineros de uranio. No obstante, la atención se desvió hacia el ámbito residencial al descubrirse concentraciones elevadas de este gas en el aire del interior de las viviendas. Este fenómeno se debió al uso de material de relleno durante la construcción de las casas. Dichos rellenos contenían concentraciones elevadas de radio-226, evidenciándose además que las viviendas construidas en las cercanías de las minas podían acumular radón si estaban cimentadas directamente sobre el propio yacimiento mineral. Cuando las autoridades nacionales intentaron establecer concentraciones máximas permisibles para el radón en los hogares, se percataron de que existía una notable carencia de información sobre la presencia natural de este gas fuera de los entornos mineros. Por este motivo, y para poder legislar con rigor, se diseñó un estudio nacional representativo destinado a muestrear viviendas a lo largo de zonas geográficas muy diversas de todo el país. Para evaluar los factores de influencia, la investigación analizó la correlación entre la concentración del gas y los parámetros de ventilación de los inmuebles (uso de ventilación mecánica y estado de las aperturas). Los resultados confirmaron empíricamente que las concentraciones eran significativamente más altas en las casas que mantenían las ventanas del sótano cerradas, demostrando el impacto directo de las tasas de renovación de aire en la acumulación del gas [20].

2.1.3 El "Incidente Watras" y el desarrollo de la ingeniería de mitigación en Estados Unidos

El verdadero catalizador que impulsó la investigación científica rigurosa y dio origen a la industria de la mitigación ocurrió en Estados Unidos en 1984, a raíz del famoso "Incidente Watras". Stanley Watras era un ingeniero que trabajaba en la construcción de la central nuclear de Limerick, en Pensilvania. Un día, hizo saltar las alarmas de los monitores de radiación al entrar a la planta, la cual todavía no albergaba combustible nuclear. Las

investigaciones revelaron que el origen de la contaminación era su propia casa, que presentaba concentraciones de radón astronómicas (alrededor de 100.000 Bq/m^3) [21].

La estandarización de las técnicas actuales contra el radón se consolidó a finales de la década de 1980, impulsada por los manuales técnicos de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA). Esta documentación aportó una metodología sistemática a la industria de la construcción, permitiendo dar el salto de los ensayos experimentales a soluciones de ingeniería estandarizadas. Así, los contratistas pudieron empezar a seleccionar el método de reducción más adecuado para cada caso —como ventilar el subsuelo, despresurizar o sellar la envolvente— en función de las características constructivas de cada edificio. Entre las alternativas para intervenir edificaciones existentes, el control por alteración de presiones demostró ser la técnica más eficiente. Su principio básico consiste en crear una succión activa bajo la envolvente para captar el gas directamente del terreno, canalizándolo de forma segura hacia el exterior antes de que acceda a las zonas habitables. Para lograr este objetivo, el documento clasifica y estandariza diferentes variantes de intervención en función de la tipología constructiva, destacando principalmente la despresurización. Asimismo, el protocolo define las directrices técnicas esenciales para el dimensionamiento de la red de conductos, la ubicación estratégica de los ventiladores extractores y la imprescindible verificación del rendimiento aerodinámico del sistema una vez ejecutado [22].

2.2 Vías de entrada del radón

Un estudio reciente (2021) demostró mediante simulaciones matemáticas que la cantidad de radón que entra en una vivienda depende enormemente de cómo esté construida su planta baja. En dichas simulaciones, han evaluado la tasa de entrada de radón en diferentes tipologías de edificación, concluyendo que la concentración de actividad radiactiva es directamente proporcional a la cota de profundidad de la cimentación. El modelo demuestra que los espacios bajo rasante, como sótanos y semisótanos, presentan los mayores índices de vulnerabilidad al maximizar la superficie de los cerramientos perimetrales en contacto directo con el sustrato geológico, pudiendo superar holgadamente los 1.000 Bq/m^3 en terrenos de alta exhalación. Por el contrario, los edificios construidos sobre pilares o forjados sanitarios altos logran aislarse del subsuelo casi por completo. En este tipo de

construcciones elevadas, el suelo deja de ser una amenaza y el poco radón que puede haber proviene únicamente de los materiales de construcción empleados (como ciertas piedras o ladrillos). En definitiva, el estudio confirma que evitar el contacto directo de los espacios habitables con el terreno es la primera y mejor estrategia constructiva frente al radón [23].

2.3 Tipos de medición de radón

La elección del método y del equipo de detección de radón depende directamente de los objetivos específicos del estudio, pudiendo clasificarse los sistemas en función de tres parámetros principales. Según el tiempo de medida, las evaluaciones pueden ser puntuales, llevadas a cabo en periodos muy cortos (habitualmente inferiores a dos horas) para obtener estimaciones rápidas en instantes concretos; en continuo, extendiéndose desde horas hasta años para registrar ininterrumpidamente la evolución temporal y las variaciones dinámicas del gas; o integradas, que requieren exposiciones prolongadas de días a meses para proporcionar un valor medio de la concentración, sin reflejar sus fluctuaciones temporales. La clasificación de estos equipos también depende de cómo trabajen en el campo. Por un lado, están los detectores pasivos, que realizan la medición de manera autónoma sin suministro eléctrico (es el caso de las trazas nucleares o la termoluminiscencia). Por otro, encontramos los detectores activos, que obligatoriamente necesitan energía para mover sus componentes y aspirar el aire. Respecto al fenómeno físico de detección, el mercado se divide entre cámaras de ionización y tecnologías de estado sólido. Las cámaras confinan un gas a alto voltaje que reacciona a la radiación produciendo impulsos eléctricos. Los sistemas semiconductores clonan este principio básico usando materiales como el silicio para medir partículas alfa, pero ofrecen un rendimiento mucho más eficiente gracias a su alta resolución, su velocidad de respuesta y un tamaño compacto que facilita su uso frente a los aparatos gaseosos. [24].

A nivel global, la medición de radón en interiores padece una evidente falta de cohesión metodológica y normativa, a pesar de las recomendaciones de los organismos de salud. El panorama actual muestra una división clara: para estudios a largo plazo se imponen los detectores pasivos de trazas nucleares (SSNTD, destacando el CR-39) por su bajo coste y viabilidad en campo. Para monitorizaciones a corto plazo, la tendencia cambia hacia

equipos activos con sensores de estado sólido. Sin embargo, los criterios de muestreo distan mucho de estar unificados; campañas etiquetadas como "a largo plazo" pueden durar tres meses en un proyecto y más de un año en otro. A esto se suma que, si bien la Directiva 2013/59/EURATOM y las directrices de la OMS son los marcos más citados, los límites de acción varían de forma notable entre fronteras. Esta dispersión hace imprescindible una estandarización internacional de los protocolos y de la clasificación de los equipos; solo así se garantizará que los datos sean comparables y que las soluciones técnicas adoptadas sean realmente eficaces. [25].

2.4 Métodos de medición actuales

Para evaluar correctamente la exposición al radón, tanto en entornos laborales (ocupacionales) como ambientales, una revisión científica reciente (2024) destaca la importancia de adaptar el método de medición a las características específicas de cada espacio. El estudio señala que, aunque los detectores pasivos siguen siendo el estándar más fiable para calcular la exposición acumulada a largo plazo, los recientes avances tecnológicos han mejorado drásticamente los sistemas de detección activa. En la actualidad, el uso de monitores continuos en tiempo real, dosímetros personales y muestreos puntuales de aire permite registrar con gran precisión cómo fluctúa la concentración del gas a lo largo del día, ya sea en un puesto de trabajo o en una vivienda. En el ámbito de la edificación, disponer de esta tecnología avanzada es fundamental, ya que ofrece datos exactos y al instante para diagnosticar por dónde entra el gas y comprobar que los sistemas de mitigación instalados funcionan correctamente [26].

2.5 Fiabilidad y precisión de los equipos de medición

La Guía de rehabilitación frente al radón (2020) indica que la elección del equipo de medición depende del objetivo del diagnóstico, existiendo detectores de medición integrada (como los de trazas, carbón activo o electretes) que son los más utilizados por su bajo coste para obtener promedios a largo plazo, y detectores de medición en continuo (aparatos electrónicos), que permiten registrar las fluctuaciones temporales del gas. Adicionalmente, el documento clasifica los equipos en activos o pasivos según requieran o no alimentación eléctrica, y advierte que los resultados obtenidos con estos dispositivos presentan una

incertidumbre que oscila entre el 10% y el 30%. En cuanto a los tiempos de medición, debido a la gran variabilidad del gas, la guía exige periodos ininterrumpidos de al menos dos meses para que los datos sean representativos, descartando las mediciones de pocos días. Para saber cómo medir adecuadamente, el protocolo indica que durante la prueba deben mantenerse estrictamente las actividades habituales de uso y ventilación del edificio, o bien mantener puertas y ventanas exteriores cerradas si este se encuentra desocupado. Finalmente, sobre dónde y cómo colocarlos, se requiere instalar al menos dos detectores en las estancias de mayor permanencia (dormitorios o salas de estar) ubicadas en las plantas inferiores, debiendo posicionarse sobre el mobiliario a una distancia mínima de 30 cm de los paramentos verticales y alejados de cualquier corriente de aire o fuente de calor [27].

La utilización de monitores de radón de bajo coste en el mercado ha planteado nuevos interrogantes sobre la fiabilidad de los diagnósticos en la edificación. Una reciente evaluación de rendimiento (2024) comparó exhaustivamente la precisión de sensores activos de grado consumidor, medio y de investigación, así como de dosímetros pasivos, sometiéndolos tanto a concentraciones límite habituales (300 Bq/m^3) como a concentraciones extremas ($2.000 - 3.000 \text{ Bq/m}^3$). Al analizar los resultados confirman que la precisión del equipo está vinculada a su categoría: mientras que los sensores científicos y de grado medio tuvieron márgenes de error inferiores al 5% en altas concentraciones, los dispositivos de grado doméstico presentaron desviaciones cercanas al 10%, mostrando además ser más lentos y sencillos para registrar fluctuaciones dinámicas y perdiendo fiabilidad en niveles bajos de radón. En cuanto a las mediciones pasivas, el estudio ratificó que el factor determinante para la exactitud analítica es el tiempo de exposición; los dosímetros comercializados para mediciones a muy corto plazo (7 días) evidenciaron discrepancias severas respecto a los datos reales. De este modo, las investigaciones coinciden en que los dispositivos de bajo coste funcionan bien como primera aproximación a nivel doméstico. Sin embargo, no se pueden realizar de manera científica o formal los protocolos de control y la certificación formal de las medidas de mitigación. Estos procesos técnicos exigen estrictamente el uso de equipos profesionales o de investigación, un requisito que además debe respaldarse siempre con mediciones de dosimetría pasiva a largo plazo. [28].

2.6 Factores que favorecen la aparición y exhalación de radón

La acumulación de gas radón en espacios habitables no obedece a un único parámetro, sino a la interacción de diversas variables condicionantes, destacando de forma primaria los factores geológicos y las propiedades físicas del terreno. A nivel geológico, la potencialidad de exhalación está directamente correlacionada con el contenido de uranio-238 de las rocas subyacentes, siendo los sustratos graníticos los de mayor riesgo. No obstante, la capacidad del gas para migrar hacia la superficie dependerá estrictamente de la permeabilidad, porosidad y fracturación del medio; mientras que los suelos arcillosos actúan como un estrato impermeable que dificulta el escape, los terrenos compuestos por gravas, arenas o rocas muy fracturadas favorecen una rápida convección del radón. A esta dinámica litológica se le superponen los factores meteorológicos, responsables de las fluctuaciones de concentración a corto y medio plazo. Las caídas de temperatura (especialmente en invierno o de madrugada) propician un efecto chimenea que succiona el gas desde el subsuelo hacia el interior más cálido del edificio, mientras que las bajas presiones atmosféricas (borrascas) facilitan su exhalación. Por el contrario, las altas presiones y las precipitaciones abundantes —al saturar de agua los poros del terreno— bloquean las vías de escape del gas, disminuyendo temporalmente su emisión hacia la superficie [29].

La variabilidad en la concentración de radón en el interior de los edificios no depende únicamente de las características constructivas, sino de la compleja dinámica de transporte del gas a través de la zona vadosa del terreno. Investigaciones recientes de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) han modelado cómo se comporta el radón bajo tierra, y los resultados dejan claro que su viaje hacia la superficie no es lineal; depende de un montón de variables del suelo y del clima. El modelo numérico demuestra que la porosidad de las distintas capas, las subidas y bajadas del nivel freático (el grado de saturación) y la propia estratigrafía cambian por completo la distancia efectiva que el gas puede recorrer. Además, los cambios de temperatura en el exterior —tanto el ciclo día y noche como las estaciones— crean diferencias térmicas en el terreno que alteran la velocidad de exhalación del radón. Si vemos esto desde el control de calidad en obra, las implicaciones son críticas. Por una parte, obliga a hacer mediciones largas si no queremos que los cambios estacionales

falseen los datos. Por otra, confirma que un sistema de despresurización no se puede diseñar con una receta estándar: hay que adaptarlo sí o sí a la humedad y permeabilidad reales del terreno donde se va a cimentar [30].

2.7 Sistemas de Mitigación

2.7.1 Barrera de Protección frente al radón

La efectividad de las barreras físicas contra el gas radón está relacionada, fundamentalmente, a la resolución de los detalles constructivos. Más allá de la calidad teórica del aislamiento, el éxito de la protección se la juega en la puesta en obra; específicamente, en la capacidad para asegurar la estanqueidad y el sellado hermético de los encuentros singulares y las juntas de dilatación. Investigaciones experimentales desarrolladas por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC) han contrastado las deficiencias de estanqueidad inherentes a las láminas prefabricadas tradicionales frente al alto rendimiento termodinámico de las membranas elastoméricas de aplicación continua de Poliuretano de dos componentes (poliol e isocianato) de densidad de producto aplicado de 1.000 Kg/m^3 y espesor de 3 a 5mm. Al conformar un revestimiento monolítico ejecutado in situ, estos polímeros aseguran una hermeticidad integral en la interfaz suelo-estructura, neutralizando las vías preferenciales de advección del gas hacia el interior. La monitorización de este sistema en terrenos clasificados con altas tasas de exhalación certifica su viabilidad técnica, terrenos de minería de uranio, registrando coeficientes de atenuación de la concentración de radón del 96% en recintos bajo rasante (plantas sótano) y del 93% en los forjados de planta baja. Desde la perspectiva de la gestión y el control de calidad en la edificación, estas métricas consolidan el uso de elastómeros como una técnica de mitigación primaria de alta fiabilidad constructiva [31].

Tabla 1: Efectividad de la Barrera elastomérica. Fuente: [31].

MEDIDA CORRECTORA	INICIAL CONCENTRACION MEDIA Bq/m ³		CONCENTRACIÓN TRAS LA INTERVENCIÓN Bq/m ³		REDUCCIÓN Bq/m ³		REDUCCIÓN %	
	Sótano	P.Baja	Sótano	P.Baja	Sótano	P.Baja	Sótano	P.Baja
BARRERA FRENTA A RADÓN Colocación de una membrana elasomérica- barrera de radón	42.000	7.000	1.700	300	40.300	6.500	96	93

Para profundizar en la eficacia real de las estrategias de mitigación, investigaciones experimentales recientes (2023) han evaluado el rendimiento termodinámico de los materiales de barrera en combinación directa con técnicas de ventilación activa. A través de ensayos volumétricos realizados en habitaciones a escala —construidas con materiales porosos de alta exhalación radiológica—, se analizó el comportamiento frente a la difusión de 12 tipologías diferentes de materiales impermeabilizantes. La resina sintética y un polímero con terminación de silano proporcionaron una reducción del radón en interiores de aproximadamente el 80%, la membrana de HDPE entre el 52% y el 62%, y los productos bituminosos, las membranas a base de poliurea y un polímero de poliuretano proporcionaron índices de reducción de radón (RIR) entre -18% y -41%. Los resultados evidenciaron una notable variabilidad en la eficacia aislante dependiendo de la composición química y física de cada producto; no obstante, se demostró empíricamente que la aplicación perimetral de los revestimientos y membranas anti-radón de mayores prestaciones logró atenuar la concentración del gas en el ambiente interior hasta en un 80% de forma autónoma. Sin embargo, el mayor aporte de estos ensayos para el diseño constructivo radica en la cuantificación del rendimiento de los sistemas híbridos: cuando el aislamiento pasivo determinado por las barreras ensayadas se complementó con una presurización mecánica del recinto (mediante la inyección controlada de aire exterior), la reducción alcanzó un nivel óptimo del 93%. Estos resultados confirman que, si bien la instalación de membranas constituye una primera línea de contención indispensable para bloquear la advección del gas desde el sustrato, la estrategia de remediación más efectiva

para garantizar la salubridad del inmueble exige la integración sinérgica de barreras impermeables certificadas con sistemas activos de alteración de presiones [32].

Un estudio (2023) desarrollado en un edificio histórico del Alto Minho (Portugal), al estar situado sobre un sustrato granítico de alta exhalación, los recintos bajo rasante registraban niveles iniciales críticos. La instalación de una membrana polimérica logró frenar el gas en un 90% tras una monitorización prolongada. Sin embargo, los datos demostraron que, en terrenos tan expuestos, la barrera física por sí sola no basta para descender del límite normativo de 300 Bq/m³. El valor del estudio radica en el control de calidad constructivo mediante la optimización de los sistemas híbridos: intentar mitigar dichas concentraciones recurriendo exclusivamente a la ventilación mecánica habría exigido tasas de renovación inviables (entre 30 y 60 renovaciones por hora). La ejecución previa de la membrana anti-radón actuó como una barrera de protección primaria reduciendo la ventilación complementaria a un rango de 4 a 6 renovaciones por hora, garantizando la salubridad mediante una solución técnica y energéticamente sostenible [33].

Un estudio del 2020 analiza a profundidad la eficacia de diferentes membranas continuas, destacando la aplicación de membranas continuas compuestas por plásticos, betunes y materiales compuestos (tales como poliolefinas termoplásticas, polietileno de alta o baja densidad, membranas bituminosas modificadas, e incluso membranas líquidas impermeabilizantes de gases). Para que estos materiales actúen como un escudo efectivo, la investigación menciona que deben poseer un coeficiente de difusión al radón inferior a $10 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ y un espesor continuo superior a los 2 mm. Sin embargo, la conclusión más crítica del análisis advierte sobre los límites operativos de este sistema pasivo: la instalación exclusiva de membranas anti-radón solo es suficiente para garantizar la protección del edificio si la concentración geogénica del gas en el terreno es estrictamente inferior a los 600 Bq/m³. Superado este umbral de riesgo, las barreras físicas resultan ineficaces por sí solas y deben funcionar obligatoriamente en simultáneo con otros sistemas de mitigación complementarios, tales como la despresurización bajo la losa o la ventilación de espacios de contención [34].

2.7.2 Sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas

Históricamente, el sellado de fisuras, grietas y juntas en contacto con el terreno fue considerado como una de las principales estrategias de mitigación frente al gas radón, fundamentado en tratar de bloquear físicamente las vías de acceso. Sin embargo, la evidencia contemporánea ha provocado un cambio en la ciencia de la edificación. Revisiones sistemáticas a nivel global demuestran en la actualidad que la adopción exclusiva de medidas pasivas, como el simple sellado, resulta habitualmente insuficiente para alcanzar los estándares de salubridad en áreas de alto riesgo geogénico.

En proyectos de rehabilitación donde no se puede instalar una membrana protectora y la envolvente no está totalmente dañada, se puede recurrir al sellado de fisuras, grietas y juntas para que los propios suelos y muros funcionen como barreras contra el radón. Este procedimiento físico resulta fundamental para interceptar las vías de entrada del gas, requiriendo un tratamiento especial en los puntos de discontinuidad de la envolvente, tales como los cruces de tuberías y pasos de instalaciones. La efectividad de esta intervención técnica se encuentra limitada, siendo una solución únicamente frente a niveles de concentración de radón de hasta 600 Bq/m^3 . Cuando se supera este valor, la evidencia técnica establece que el sellado no debe de ser el único recurso, sino que puede requerir la implementación conjunta de medidas complementarias de mitigación, tales como la mejora de la ventilación de los espacios habitables, la instalación de sistemas de despresurización bajo la solera, o la creación de espacios de contención ventilados [35].

2.7.3 Despresurización

La viabilidad de la despresurización activa bajo la losa se puso a prueba en 2005 con un estudio en un edificio de Bélgica. La estructura asentaba directamente sobre roca, impidiendo la colocación de barreras físicas tradicionales. Antes de intervenir, las mediciones continuas (tanto pasivas como activas) registraron una media de 1.800 Bq/m^3 (con picos de casi 2.000 Bq/m^3), lo que indicaba una tasa de entrada constante de gas.

El problema venía del radón acumulado en los poros del terreno combinado con una sobrepresión bajo la losa; la única defensa de la casa era la ventilación natural. Para

solucionarlo, se creó un único punto de extracción bajo la solera, logrando tumbar los niveles de gas en más de un 90%. En el ámbito del control de ejecución y la inspección técnica de estas instalaciones, la conclusión más relevante subraya la necesidad de auditar rigurosamente la maquinaria mecánica empleada: los datos empíricos evidencian que resulta indispensable exigir y verificar la instalación de ventiladores de tipo radial, en detrimento de los axiales, ya que son los únicos con la capacidad tractora necesaria para sostener la elevada diferencia de presión requerida para bloquear la infiltración del gas de forma ininterrumpida [36] .

A la hora de evaluar qué solución técnica funciona mejor, los datos respaldan la despresurización activa bajo la losa. Un estudio internacional de 2019 que analizó diversas estrategias determinó que este método es, con diferencia, el más efectivo, ya que consigue aislar y reducir hasta el 99% del radón dentro del edificio. El estudio demuestra que confiar únicamente en medidas pasivas, como colocar una membrana o sellar el pavimento, suele ser insuficiente para alcanzar niveles seguros en zonas de alto riesgo geogénico. Sin embargo, el hallazgo más importante para la práctica constructiva es que el éxito de cualquier sistema depende de su ejecución material. Las investigaciones advierten que los errores de instalación y los daños sufridos por los materiales durante los trabajos de obra son muy frecuentes y llegan a anular por completo la protección del edificio. Esta realidad justifica que no basta con definir las soluciones en la fase de proyecto, sino que resulta indispensable aplicar guías de inspección técnica exhaustivas que controlen y certifiquen la correcta instalación de los sistemas sobre el terreno [37].

En el 2021 el Instituto Eduardo Torroja (IETcc-CSIC) concluye que extraer el aire del terreno por despresurización es el método más efectivo para proteger los edificios frente al radón, logrando reducir la presencia de este gas en más de un 90% al aspirarlo antes de que entre a la vivienda. Sin embargo, el estudio advierte que también es la técnica más difícil de aplicar correctamente, ya que su éxito depende de la porosidad de la tierra, de lo bien sellado que esté el suelo del edificio y de que no haya muros de cimentación ocultos que bloqueen la extracción del aire. Como solución para edificios ya construidos, la investigación ha comprobado que instalar una red de tubos perforados bajo el suelo funciona muy bien y evita hacer grandes destrozos en el interior de la casa. En conclusión,

para garantizar la salubridad y reducir los niveles por debajo del umbral normativo (menos de 300 Bq/m³), el control de calidad no puede limitarse a la ejecución de obra, es necesario hacer un diagnóstico previo en el terreno antes de la instalación para asegurar que el diseño de los tubos y el ventilador realmente va a funcionar [38].

De acuerdo, entonces, con la literatura científica más reciente, las estrategias constructivas para la mitigación del radón se fundamentan en la alteración de presiones, la ventilación y la interposición de barreras físicas. Entre todas las técnicas disponibles, la despresurización bajo solera se consolida como el método más utilizado y eficaz en la edificación moderna, logrando índices de reducción de la concentración que oscilan entre el 50% y el 99%. Este sistema operativo consiste en la instalación de una red de captación bajo la cimentación, conectada a un ventilador extractor que genera un campo de presión negativa (succión); de este modo, se extrae el gas intersticial del terreno y se expulsa de forma segura al exterior por encima del tejado. A nivel de gestión y mantenimiento, este sistema es ideal porque apenas gasta energía y no da problemas operativos a largo plazo. Cuando en la obra nos encontramos con forjados sanitarios o espacios sin pavimentar, la solución directa es la despresurización bajo membrana: se despliega una lámina plástica continua para confinar la tierra y se aplica la misma succión. También está el tema de sellar meticulosamente las juntas y los pases de tuberías. Hacerlo bien es indispensable para cerrarle las puertas al gas, pero los datos demuestran que fiarlo todo al sellado es un error. Para lograr una eficacia real con el paso del tiempo, el sellado debe ser únicamente el complemento de la extracción mecánica. Si por las condiciones de la obra no podemos sacar el gas del terreno, toca cambiar el enfoque y presurizar en positivo. Básicamente, consiste en meter aire limpio a la fuerza con ventiladores para crear una sobrepresión dentro del edificio; así, es el propio aire interior el que ejerce de escudo y le impide al radón colarse en el recinto. [39].

2.7.4 Presurización

La mitigación mediante presurización positiva consiste en contrarrestar la presión natural, del radón, entre el terreno y el edificio. Ingresan aire del exterior filtrado hacia las estancias principales del inmueble, lo que genera una sobrepresión que minimiza la probabilidad de entrada del gas radiactivo y favorece la dilución de las concentraciones ya existentes. La

evidencia este sistema presenta una eficacia operativa que garantiza la protección frente a concentraciones geogénicas de hasta 700 Bq/m^3 , logrando casos de éxito excepcionales de hasta 1.000 Bq/m^3 . No obstante, que esta solución sea efectiva depende de la envolvente del recinto a proteger y que éste posea un alto nivel de estanqueidad al aire. En escenarios que superen los límites de riesgo mencionados, la normativa técnica recomienda combinar la presurización con intervenciones pasivas, tales como la instalación de barreras anti-radón o el sellado minucioso de fisuras. Durante la fase de diseño y ejecución, resulta indispensable realizar una evaluación higrotérmica rigurosa, dado que la insuflación continua de aire exterior ha demostrado propiciar la aparición de problemas de condensación en determinados edificios residenciales [35].

El diseño de estrategias activas exige evaluar el comportamiento del radón bajo distintos escenarios de intercambio de aire. Es indispensable distinguir entre la ventilación mecánica convencional y las técnicas de alteración de presiones. Mientras que la ventilación mecánica actúa mitigando el riesgo mediante la dilución de las concentraciones de radón ya presentes en el ambiente interior, la presurización en cambio actúa como una medida preventiva de bloqueo. Al inyectar aire de forma controlada, crea una presión positiva en el interior del inmueble que choca contra el terreno, impidiendo físicamente que el gas ascienda. Para lograr una reducción de forma óptima y definitiva los valores de radón, la literatura científica sugiere la adopción de una estrategia de mitigación combinada o mixta. El diseño integral de estas soluciones combinadas (que integran presurización y barreras físicas) no basta con analizar la permeabilidad del suelo, sino que debe considerar de forma específica el contenido de radio presente en los propios materiales de construcción utilizados, garantizando un control exhaustivo sobre todas las fuentes de exhalación que puedan comprometer la salubridad del inmueble [40].

2.7.5 Ventilación natural y mecánica

Investigaciones recientes (2022) sobre la mitigación del radón en viviendas evidencian que el éxito de la ventilación depende estrechamente de la direccionalidad del flujo y del dimensionamiento de los equipos. Por un lado, las pruebas de ventilación natural revelan que habilitar flujos de aire directos y cruzados permite abatir las concentraciones del gas

en más de un 90%; por el contrario, el uso aislado de aireadores pasivos en las ventanas apenas alcanza reducciones del 11% al 20%, cifras ineficaces frente a las exigencias normativas. El estudio también desaconseja confiar en la ventilación indirecta, ya que renovar el aire de una estancia principal no asegura la descontaminación de las habitaciones contiguas carentes de salida propia. Por otro lado, al evaluar sistemas mecánicos, los datos empíricos demuestran que la intensidad de extracción debe estar rigurosamente calibrada según la amplitud del recinto: mientras que los caudales altos son óptimos para ventilar grandes volúmenes como los salones, los caudales medios o bajos resultan ser más eficaces para controlar el gas en espacios reducidos, como los dormitorios [41].

Estudios recientes en España, basados en simulaciones de fluidos (CFD) y mediciones en zonas de alto riesgo concluyen que la ventilación natural resulta sistemáticamente insuficiente como medida aislada de mitigación, en particular dentro de espacios que presentan una conectividad interna deficiente. Los datos demuestran que la dependencia exclusiva de factores meteorológicos y la carencia de rutas efectivas de ventilación cruzada limitan la renovación del aire a valores marginales, situados entre 0,13 y 0,25 cambios de aire por hora (ACH). Para revertir esta acumulación, el estudio establece que resulta indispensable la implementación de sistemas de ventilación mecánica, capaces de garantizar de forma constante el umbral técnico de entre 1 y 2 ACH; un parámetro de rendimiento considerado en la literatura científica como el mínimo necesario para lograr una atenuación efectiva en recintos confinados. La eficiencia de estas soluciones activas ha demostrado empíricamente su capacidad para incrementar las tasas de renovación hasta los 2,21 ACH y abatir drásticamente las concentraciones críticas de radón (reducciones de hasta un 80 % en apenas una hora), consolidando a la extracción forzada como un requisito constructivo indispensable para garantizar la salubridad del aire interior frente a las limitaciones inherentes de los sistemas pasivos [42].

2.8 Mitigación en edificios existentes

El verdadero reto técnico, a nivel de proyecto, está en las rehabilitaciones, ya que lidiar con el radón desde cero está resuelto. Un estudio realizado en el Alto Minho (Portugal) marca el camino a seguir en estas reformas. A nivel operativo, la solución más efectiva es apostar

por un sistema mixto que integre membranas o morteros anti-radón y una ventilación, teniendo especial cuidado con las técnicas de extracción activa en edificios antiguos. Modificar la presión bajo la rasante sin un diagnóstico geotécnico impecable es un riesgo inasumible, ya que puede cambiar el contenido de agua y la densidad del suelo y desestabilizar la cimentación. Para garantizar el éxito de la intervención con el paso de los años, la clave es la domótica (IoT). El despliegue de redes de sensores inalámbricos ofrece una monitorización multiparamétrica constante, permitiendo verificar la eliminación del radón mientras se optimiza la eficiencia energética del edificio [43].

Las intervenciones en edificios ya construidos encuentran un gran aliado en los sistemas de ventilación mecánica descentralizada con recuperación de calor, gracias a su viabilidad y bajo impacto estructural. Diversos ensayos recientes (2022) han analizado el funcionamiento continuo de estos dispositivos a lo largo de un año. Los datos certifican reducciones del radón interior de hasta el 83%. En este contexto, destaca especialmente la superioridad técnica de la presurización, ya que las instalaciones ajustadas para mantener una presión diferencial positiva arrojaron los mejores resultados de mitigación. Por otro lado, la monitorización reveló que cerrar las puertas interiores altera de forma radical la dinámica de acumulación del gas. Este comportamiento obliga a replantear el control de ejecución. Los inspectores técnicos deben dejar de tratar el inmueble como un solo volumen y empezar a sectorizar las auditorías, ajustando el diseño a las exigencias de permeabilidad de cada recinto [44].

La presurización positiva se ha consolidado en el territorio español como una solución de alta eficacia, sobre todo en proyectos donde intervenir directamente sobre el sustrato geológico es inviable. Varios estudios empíricos del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja analizaron el comportamiento de Centrales de Tratamiento de Aire (CTA) en zonas de máxima exposición geogénica. Los ensayos demostraron el doble beneficio de insuflar aire limpio a las estancias: se consigue diluir la concentración del gas al mismo tiempo que se establece una sobrepresión interior. Este cambio de presión invierte el gradiente natural y corta físicamente el paso del radón. Los registros confirmaron una mejora sostenida, manteniendo la calidad del aire siempre por debajo de los 300 Bq/m³ que marca la ley. A raíz de esta evidencia, la industria nacional ha lanzado en 2026 soluciones

integrales de ventilación mecánica diseñadas para presurizar zonas específicas (desde salones hasta cámaras de contención). En el plano del control de ejecución, esto impone unas reglas estrictas. Hay que auditar minuciosamente el equilibrado de los equipos y certificar que la falta de estanqueidad en la envolvente no arruine el diferencial de presión constante [45].

2.8.1 Mitigación en edificios históricos y espacios confinados

Aunque despresurizar es la solución estándar en la edificación residencial, su aplicación en espacios confinados, subterráneos o en edificios del patrimonio histórico requiere de un análisis termodinámico riguroso. Un reciente estudio experimental (2022) desarrollado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en un edificio de Madrid demostró que, en recintos de alta estanqueidad o galerías subterráneas sin aislamiento adecuado en la solera, la presurización mecánica (inyección continua de aire exterior) resulta ser la estrategia de remediación más exitosa, logrando reducir y estabilizar las concentraciones de radón por debajo de los niveles de riesgo normativos. La alta eficacia de este sistema radica en un doble mecanismo de acción: la dilución directa del gas acumulado mediante la renovación del aire y la generación de un gradiente de presión positiva que bloquea físicamente la entrada de nuevo radón por advección desde el subsuelo. Por el contrario, los ensayos de despresurización del recinto (extracción del aire interior) arrojaron los peores resultados analíticos, evidenciando ser una medida contraproducente en este tipo de tipologías; la presión negativa generada por los extractores provocó un efecto de succión que incrementó drásticamente el flujo de gas intersticial desde el terreno y los cerramientos perimetrales hacia el interior de las salas. Finalmente, los sistemas de ventilación (tanto natural como forzada) mostraron una eficacia moderada y altamente inestable, ya que su capacidad de reducción dependió directamente de las fluctuaciones climáticas exteriores y de la formación de flujos preferenciales de aire [46].

2.9 Impacto de la eficiencia energética y la hermeticidad en la acumulación de radón

En el marco del diseño constructivo y la calidad del aire interior, investigaciones recientes (2018) advierten sobre los riesgos radiológicos derivados de aumentar la hermeticidad de

la envolvente del edificio sin implementar estrategias de ventilación activa. Un análisis en viviendas unifamiliares comprobó que suprimir las infiltraciones naturales —cambiando ventanas y reforzando el aislamiento— deteriora gravemente la calidad del aire si se omite la ventilación mecánica. Las mediciones de invierno arrojaron datos preocupantes: las casas estancas sin renovación automatizada multiplicaron por cuatro sus niveles de radón respecto al verano, alcanzando umbrales críticos de 500 Bq/m^3 . La situación fue muy distinta en los inmuebles equipados con sistemas de recuperación de calor (HRV), donde la concentración se estabilizó de forma constante cerca de los 110 Bq/m^3 . Estos resultados confirman que el uso de tecnología HRV es imprescindible en la ejecución de obra para lograr conciliar la máxima eficiencia energética con la protección frente a este gas [47].

2.10 Cronología de las exigencias normativas y de salud pública

A lo largo de las últimas décadas, el conocimiento sobre los efectos del gas radón ha motivado una progresiva adaptación de los marcos legales a nivel internacional y nacional. Esta evolución histórica evidencia la transición desde las primeras investigaciones sanitarias hasta la consolidación de exigencias técnicas de obligado cumplimiento en la edificación. Comprender este recorrido es fundamental para contextualizar la normativa vigente, la cual hace imprescindible la implementación de sistemas de gestión de calidad rigurosos y protocolos de inspección durante la fase de obra para asegurar la eficacia de las barreras de protección. A continuación, en la Tabla 2, se detallan los principales hitos científicos y normativos que han sentado las bases del actual control de ejecución.

Tabla 2: Principales acontecimientos relacionados con el radón y la salud. Fuente: propia basada en [29].

FECHA	ACONTECIMIENTO
1500	Agrícola observa un exceso de mortalidad por enfermedad respiratoria en mineros de las montañas del Erz (Europa del Este).
1879	Harting Hesse encuentran que ese exceso de mortalidad en los mineros se debe al cáncer de pulmón.
1921	Uhlig relaciona las emanaciones del radio con el cáncer de pulmón.
Años 70	Se publican los primeros estudios que relacionan la exposición a radón y el cáncer de pulmón en mineros
1987	La Agencia de Protección Ambiental Norteamericana (USEPA) establece 148 Bq/m ³ como la concentración de radón a partir de la cual deberían tomarse medidas de reducción en los domicilios.
1988	La Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC) clasifica el radón y sus descendientes como carcinógenos humanos.
1988	BEIR IV (US National Academy of Sciences/ National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations). Análisis pormenorizado de los estudios realizados sobre radón en mineros y sobre radón en animales. Asocia la evidencia publicada con el riesgo de cáncer de pulmón debido a la exposición a radón.
1990	Publicación de una directiva europea (EURATOM, Comisión europea para la Energía Atómica) que recomienda que no se superen los 400 Bq/m ³ en viviendas ya construidas y los 200 Bq/m ³ en viviendas de nueva construcción.
Años 90	Estudios sobre radón residencial y riesgo de cáncer de pulmón.
1999	BEIR IV (US National Academy of Sciences/ National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations). Actualización del informe BEIR IV, donde se indica que el radón es el segundo factor de riesgo del cáncer de pulmón después del tabaco.
2005	Publicación de los resultados combinados de los estudios sobre radón domiciliario y cáncer de pulmón realizados en Europa y Norteamérica.
2005	Inicio del Internacional Radon Project, patrocinado por la Organización Mundial de la Salud.

2009	Publicación del WHO Handbol on Indoor Radon. Manual de referencia sobre el radón residencial y su efecto sobre la salud. Reduce el nivel recomendado de exposición a radón residencial a 100 Bq/m ³ .
2014	Directiva 2013/EURATOM por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. La UE fija unos niveles límites para domicilios y lugares cerrados de 300 Bq/m ³ de exposición promedio anual.
2014	Inclusión del radón residencial en el Código Europeo Contra el Cáncer como un factor de riesgo a medir y evitar.
2019	Se modifica el Código Técnico de la Edificación, incorporando la Sección HS 6. Protección frente a la exposición al radón (Documento Básico HS Salubridad).
2020	Se publicó la Guía Rehabilitación frente al radón, documento técnico de apoyo que proporciona criterios de diseño, soluciones constructivas y ejemplos prácticos facilitando la aplicación de las exigencias de la DB HS6.
2022	Se publica el Real Decreto 1029/2022, por el cual se establece un nivel de referencia para viviendas de nueva construcción de 300 Bq/m ³ .
2024	Publicación del Plan Nacional contra el Radón (2024), documento estratégico elaborado por el Ministerio de Sanidad que fija la estrategia estatal para prevenir y mitigar la presencia de radón en la edificación.
2025	Instrucción IS-47 del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) 2025, establece los municipios de actuación prioritaria y los requisitos técnicos estrictos para medir y revisar el radón en lugares de trabajo.

2.11 Marco Normativo de Aplicación

El diseño, la implementación y la garantía de calidad de los sistemas de protección del gas radón se rigen fundamentalmente por un marco legal obligatorio. Esta estructura normativa se divide en diferentes niveles jerárquicos, partiendo de las exigencias sanitarias y de seguridad establecidas en Europa, hasta su adaptación y desarrollo técnico detallado en la reglamentación nacional de edificación y salud pública. A continuación, se describen las principales disposiciones regulatorias que fundamentan los criterios técnicos obligatorios y la adopción de medidas de mitigación.

2.11.1 Marco regulatorio europeo

La legislación europea dio un cambio con la publicación de la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, donde se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. Esta directiva estableció que el control del gas radón ya no sea una recomendación sanitaria pasando a ser una exigencia legal de obligado cumplimiento para todos los Estados miembros de la Unión Europea.

En el ámbito de la edificación, la Directiva 2013/59/Euratom establece directrices fundamentales que impactan en el diseño, la ejecución y el control de calidad al fijar un nivel de referencia máximo de 300 Bq/m³ en recintos cerrados exigiendo la implementación de Planes nacionales de acción (Artículo 74). Asimismo, su Artículo 103 obliga a los Estados miembros a adaptar sus códigos de edificaciones nacionales—como el Código Técnico de la Edificación en España— para incorporar normativas que eviten la entrada de radón en edificios de nueva planta. Esta exigencia legal de resultados concretos justifica que la simple prescripción de sistemas de protección en la fase de proyecto resulte insuficiente si no va acompañada de un estricto control durante la ejecución material [16].

2.11.2 Normativa técnica de edificación en España

En el ámbito nacional, la adaptación técnica de las exigencias europeas al sector de la construcción se materializó mediante el Real Decreto 732/2019, del 20 de diciembre. Esta disposición legal modificó el Código Técnico de la Edificación (CTE), introduciendo la nueva exigencia básica de salubridad DB-HS 6, denominada "Protección frente a la exposición al radón", constituyendo la piedra angular para el diseño y control de ejecución en obra. Esta normativa obliga implementar medidas de protección frente al gas radón en los edificios ubicados en municipios de riesgo, estableciendo criterios técnicos de diseño precisos para verificar y justificar su estricto cumplimiento [17] .

En los municipios catalogados como Zona 1, la norma dispone de la instalación de una barrera de protección estanca entre el terreno y los espacios habitables, o como alternativa, una cámara de aire adecuadamente ventilada. En los municipios de Zona 2, el rigor técnico

se incrementa sustancialmente, exigiendo complementar la barrera de protección con un sistema adicional de mitigación, ya sea un espacio de contención ventilado o un mecanismo de despresurización del terreno colindante. En las obras de edificios existentes, son las mediciones previas las que dictan si la intervención debe seguir el estándar de la Zona 1 o el de la Zona 2. En definitiva, esta clasificación no es solo una guía de diseño, sino el manual base que define qué puntos críticos hay que inspeccionar sin falta durante el control de calidad en obra. Esta precisa categorización de los sistemas preventivos define el marco de actuación obligatorio, estableciendo los elementos constructivos críticos que deben ser objeto de una rigurosa supervisión mediante los procedimientos de inspección y control de calidad durante la fase de ejecución [17].

La normativa refiere a la barrera de protección como el elemento constructivo fundamental para restringir el paso del gas radón desde el terreno, estableciendo dos vías para su validación técnica: un dimensionado analítico basado en el límite de exhalación o la adopción directa de láminas con un espesor mínimo de 2 mm y un coeficiente de difusión inferior a 10^{-11} m²/s. Sin embargo, la normativa deja claro que la efectividad real de estos materiales depende íntegramente de su correcta puesta en obra, lo que exige un riguroso plan de aseguramiento de la calidad. Los protocolos de inspección deben verificar de manera exhaustiva la continuidad física de la barrera, el sellado hermético en juntas y pasos de instalaciones, la ausencia total de fisuras por convección y la estanqueidad de las puertas de comunicación. Estas exigencias constructivas, que también obligan a sellar cuidadosamente los cerramientos en edificios existentes, evidencian que el diseño teórico es insuficiente si no va acompañado de un marco de control técnico estricto durante la fase de ejecución, garantizando así la durabilidad del sistema y el cumplimiento de los estándares de protección [17].

Como medida de mitigación complementaria, se define el espacio de contención ventilado, materializado mediante cámaras de aire horizontales o verticales, o bien a través de locales no habitables, los cuales exigen una ventilación natural o mecánica garantizada. La norma establece parámetros geométricos precisos para las aberturas de ventilación natural- exigiendo un área mínima de 10 cm² por metro lineal y una distribución estratégica libre de obstrucciones- e incluso contempla la ejecución de cámaras interiores continuas de, al

menos, 5 cm de espesor para adecuar los edificios existentes. Desde la perspectiva del control de calidad y la inspección técnica, el aspecto más crítico de esta disposición es el mandato legal de verificar la eficacia real de la solución adoptada mediante mediciones empíricas de concentración de radón una vez finalizada la intervención. Si estos ensayos post-obra no arrojan valores normativamente aceptables, o si la configuración arquitectónica impide la correcta ventilación natural, resulta preceptiva la instalación dimensionada de extractores mecánicos. Esta estricta condicionalidad subraya la absoluta necesidad de aplicar protocolos de verificación rigurosos durante la fase de ejecución, asegurando que tanto la continuidad del espacio como la correcta ejecución de las aberturas se ajusten fielmente al diseño técnico para evitar deficiencias que comprometan la salubridad final del edificio [17].

Como alternativa de máxima exigencia técnica, el reglamento contempla despresurizar el subsuelo. Este mecanismo requiere extender una capa de material granular bajo el edificio, donde se oculta una red de captación unida a un equipo de extracción forzada. Para que funcione correctamente, la norma es tajante sobre la circulación del aire: no puede haber barreras. Si la geometría de la cimentación interrumpe el relleno permeable, el proyecto debe prever conductos de paso o bien multiplicar los elementos de captación. Ya sea en nueva planta o en intervenciones perimetrales sobre edificios antiguos, acertar con el trazado interno y las bocas de expulsión es determinante. Además, la normativa impone un examen final basado en mediciones reales. Si la concentración de radón no baja a niveles seguros tras la intervención, será obligatorio aumentar el caudal de los ventiladores o abrir nuevas vías de succión. Queda claro que cualquier error constructivo arruina la funcionalidad del sistema. Por este motivo, es indispensable aplicar protocolos de aseguramiento de calidad muy estrictos durante la fase material, vigilando con lupa el ensamblaje de la red para garantizar el cumplimiento legal sin tener que recurrir a costosas demoliciones posteriores [17].

2.11.3 Protección radiológica y salud pública

La normativa constructiva y el marco legal se complementan con regulaciones enfocadas en la protección de la salud laboral y pública. El Real Decreto 1029/2022 actualizó el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes, estableciendo actuaciones estrictas de medición y mitigación en los lugares de trabajo ubicados en áreas de riesgo. Esta disposición normativa impone a los empleadores la exigencia de evaluar la concentración de radón en aquellos lugares de trabajo situados en términos municipales de la zona 2, así como en determinados recintos subterráneos. Si las mediciones realizadas superan el nivel de referencia fijado en 300 Bq/m³, resulta preceptiva la ejecución de medidas de mitigación orientadas a reducir drásticamente la exposición de los ocupantes [48].

Finalmente, la estrategia regulatoria estatal se consolida con la aprobación del Plan Nacional contra el Radón (2024), elaborado por el Ministerio de Sanidad. Su objetivo es proporcionar a los organismos públicos y a la dirección técnica un marco de trabajo completo para frenar el impacto epidemiológico del gas. Si analizamos sus ejes de actuación, el sector de la edificación ocupa un lugar central. El plan insiste repetidamente en la urgencia de monitorizar los edificios y asegurar que el Documento Básico DB-HS 6 se aplique con el máximo rigor. Ahora bien, el propio texto reconoce que las leyes son inútiles si fallan los datos analíticos. Por ello, exige que cualquier medición de control se realice a través de infraestructuras metrológicas debidamente acreditadas. Esta exigencia aterriza de lleno en la fase constructiva, ratificando que el aseguramiento de la calidad y la supervisión técnica sobre el terreno son pasos innegociables para certificar que las medidas de protección funcionen correctamente [14].

CAPÍTULO 3 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

A pesar de la presencia de un marco regulatorio, la implementación adecuada de estas medidas en obra presenta diversas dificultades. La eficacia de los sistemas de mitigación frente al radón no depende únicamente de su diseño, sino de una correcta ejecución durante el proceso constructivo lo que conlleva a la reducción de su efectividad.

En el ámbito profesional de la edificación, se observa un déficit de herramientas prácticas que permitan a los técnicos de obra verificar de manera sistemática el cumplimiento de las exigencias establecidas en la normativa. Aunque existen soluciones técnicas definidas, no siempre se dispone de procedimientos claros de inspección que faciliten su control durante la ejecución, especialmente en situaciones de obra real donde intervienen múltiples agentes y condicionantes constructivos.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar un enfoque que practico orientado al control de obra y no solo que aborde las soluciones desde un punto de vista teórico. Por ello, el presente trabajo se justifica en la elaboración de un procedimiento de control de ejecución para sistemas de protección frente al gas radón, mediante el diseño de un protocolo de control de ejecución que permita identificar, verificar y controlar los puntos críticos durante el proceso constructivo.

De este modo, el trabajo pretende contribuir a mejorar la calidad de la ejecución de las soluciones constructivas frente al radón, facilitando su correcta implementación tanto en obra nueva como en intervenciones de rehabilitación, y aportando una herramienta útil para técnicos, directores de obra y agentes implicados en el proceso edificatorio.

CAPÍTULO 4: OBJETIVOS

4.1 Objetivo Principal

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Máster es desarrollar un procedimiento de control de ejecución para sistemas de protección frente al gas radón en obras de edificación, mediante la elaboración de un procedimiento de control de ejecución para sistemas de protección frente al gas que permita verificar el correcto cumplimiento de las soluciones constructivas establecidas en la normativa vigente.

4.2 Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo general de este trabajo, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la normativa y soluciones constructivas para la protección frente al radón.
- Identificar los puntos críticos de ejecución en obra que pueden comprometer la eficacia de los sistemas de mitigación.
- Definir criterios técnicos de inspección para verificar la correcta instalación de los sistemas de protección, mediante la elaboración de un procedimiento de control de ejecución.
- Desarrollo de un procedimiento de control de ejecución aplicable a obras de edificación.

CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA

Este trabajo presenta el desarrollo de un protocolo técnico diseñado para supervisar la instalación de sistemas de protección contra el gas radón en edificios, siendo aplicable tanto en construcciones nuevas como en proyectos de rehabilitación. La investigación se fundamenta en una metodología que combina el carácter experimental con una revisión bibliográfica detallada, organizada en varias fases secuenciales que permiten abordar el problema de manera integral.

En la primera etapa, el estudio establece un marco de referencia al analizar el origen y comportamiento del radón, así como sus efectos perjudiciales para la salud, basándose en la evidencia científica avalada por organismos internacionales. Posteriormente, se realiza un análisis profundo de la normativa vigente, con especial énfasis en las exigencias del Código Técnico de la Edificación (CTE DB-HS 6), y se examinan investigaciones previas sobre técnicas de mitigación en espacios donde se superan los niveles de exposición recomendados.

La fase central de la investigación consiste en un análisis técnico de las soluciones constructivas más efectivas para impedir la entrada de este gas en los inmuebles. A partir de este estudio, se define un procedimiento de control de ejecución en obra que permite verificar que los sistemas de protección se implementen de forma correcta. Finalmente, el trabajo expone sus conclusiones, sintetizando los resultados alcanzados y validando la utilidad del procedimiento propuesto como una herramienta técnica esencial para el control de calidad en la edificación.

CAPÍTULO 6: DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO

Se propone establecer un protocolo de control de ejecución para los sistemas de protección contra el radón, diseñado específicamente para su implementación práctica en el entorno de obra. El desarrollo de este procedimiento parte de un análisis exhaustivo del Documento Básico HS 6 del Código Técnico de la Edificación (CTE), con el fin de determinar los requisitos técnicos y las soluciones constructivas que exige la normativa actual.

Asimismo, la investigación profundiza en los métodos de mitigación destinados tanto a edificios de nueva construcción como a proyectos de rehabilitación. Un aspecto fundamental de este análisis es la identificación de los puntos críticos durante la fase de construcción, cuya incorrecta ejecución podría comprometer la estanqueidad y la eficiencia de las medidas de protección adoptadas frente a la entrada del gas.

6.1 Identificación de sistemas de protección frente al radón

El Documento Básico DB-HS 6 del Código Técnico de la Edificación define las medidas técnicas de carácter obligatorio diseñadas para reducir el riesgo de exposición al gas radón en espacios interiores. Esta normativa se centra en limitar la filtración del gas proveniente del subsuelo, estableciendo los estándares que deben cumplir las edificaciones para garantizar la seguridad de sus ocupantes.

Para garantizar una supervisión de obra efectiva, es esencial identificar con exactitud los sistemas de protección autorizados por la ley. Esto se debe a que las especificaciones reglamentarias de cada solución funcionan como los criterios objetivos de aceptación o rechazo durante las inspecciones técnicas. Bajo este marco, se presentan a continuación los tres métodos principales de mitigación que contempla la normativa vigente.

6.1.1 Barreras de Protección

La función principal de la barrera de protección es actuar como obstáculo para impedir que los gases del suelo se filtren hacia las zonas habitables, por lo que su eficacia debe estar plenamente acreditada. En la práctica, para agilizar el control de calidad y la recepción de

materiales en obra, se aceptan directamente las láminas que cumplen con unos estándares mínimos: un grosor de al menos 2 mm y un coeficiente de difusión frente al radón inferior a $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. Si se cumplen estos parámetros, la normativa permite su uso sin necesidad de aportar cálculos analíticos adicionales.

Para el dimensionado de la barrera de protección, su espesor (d) y coeficiente de difusión al radón (D) deben garantizar que la exhalación prevista a su través (E) sea estrictamente inferior a la exhalación límite (E_{lim}). Este límite normativo se determina mediante la expresión $E_{\text{lim}} = \frac{C_d \cdot Q}{A}$, donde C_d es la concentración de diseño (10% del nivel de referencia Bq/m^3), Q es el caudal de ventilación del local (asumiendo un valor de cálculo de 0,1 renovaciones/hora si se desconoce) y A es la superficie de la barrera. Paralelamente, en ausencia de estudios específicos, la exhalación prevista se estima con la fórmula $E = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot \lambda \cdot l}{\sinh(\frac{d}{l})}$, la cual relaciona la constante de desintegración del gas (λ) es $7,56 \cdot 10^{-3} [\text{h}^{-1}]$, el espesor de la lámina y su longitud de difusión $l = \sqrt{\frac{D \cdot 3600}{\lambda}}$ (l). Finalmente, dicha longitud de difusión se calcula a partir del propio coeficiente de difusión del material mediante la relación, conformando así el sistema de cálculo exigido por el DB HS 6, debiendo de cumplirse $E < E_{\text{lim}}$.

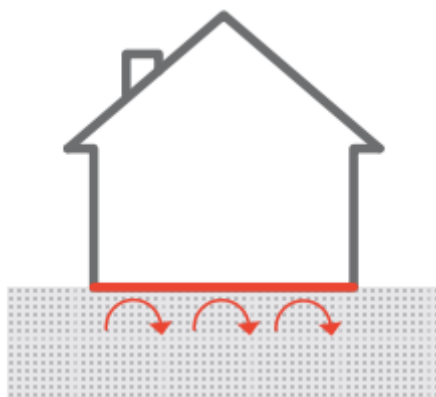


Ilustración 8: Barrera de protección frente al radón. Fuente: [27].

Para asegurar su correcto funcionamiento, la inspección técnica deberá verificar de manera exhaustiva el cumplimiento de las siguientes exigencias constructivas críticas:

- **Continuidad y estanqueidad:** Todos los solapes y encuentros de la barrera deben ejecutarse con un sellado ininterrumpido.
- **Puntos singulares:** Deben sellarse herméticamente todos los encuentros con aquellos elementos que interrumpan la barrera, tales como los pasos de conducciones, tuberías o instalaciones.
- **Aberturas y pasos:** Las puertas de comunicación que interrumpan la continuidad de la barrera de protección deben ser totalmente estancas y estar equipadas con un mecanismo de cierre automático.
- **Integridad física:** La instalación final no debe presentar fisuras, desgarros o discontinuidades que permitan el paso del gas radón por convección hacia el interior del edificio.



Ilustración 9: Solape entre dos láminas. Fuente: [27].

En intervenciones sobre edificios existentes donde sea inviable instalar una barrera convencional, los propios cerramientos en contacto con el terreno asumirán la función de contención. Para garantizar su eficacia, el protocolo de inspección verificará el sellado de todas sus grietas y juntas, la total estanqueidad a los gases de cualquier elemento de paso que comunique con locales habitables (puertas o trampillas), el correcto funcionamiento de sus mecanismos de cierre automático y el estricto cumplimiento de las exigencias normativas de ventilación del espacio.

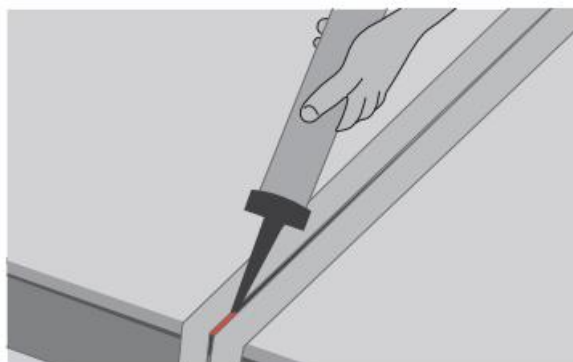


Ilustración 10: Sellado de una junta de dilatación en solera. Fuente: [27].

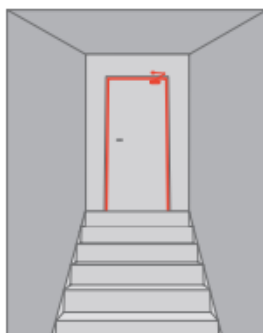
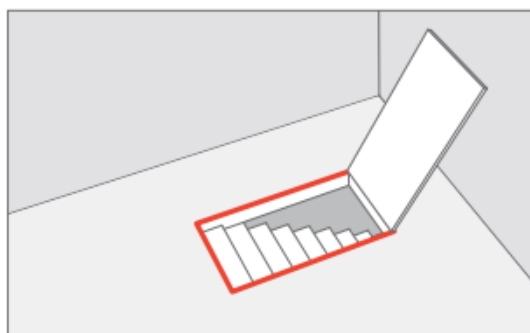


Ilustración 11: Ejemplo de puertas estancas: trampilla o cámara sanitaria (arriba) y puerta de bajada a sótano (abajo). Fuente: [27].

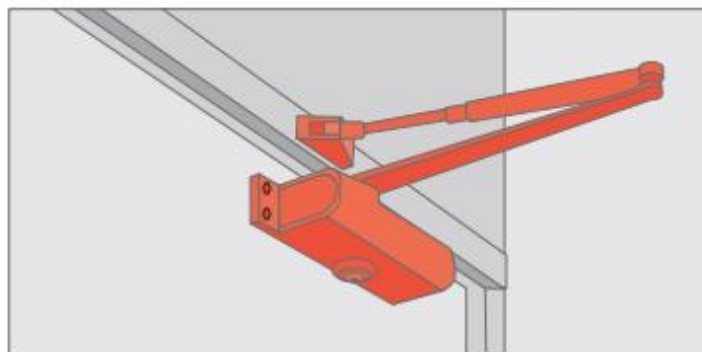


Ilustración 12: Mecanismo de cierre automático. Fuente: [27].

6.1.2 Espacio de contención ventilado

Este sistema de mitigación está constituido por una cámara de aire (que puede ser vertical u horizontal, dependiendo del cerramiento a proteger) o por un local no habitable, interpuesta entre el terreno y los locales habitables del edificio. Su objetivo es diluir y mitigar la entrada del gas radón mediante sistemas de ventilación natural o mecánica. En las inspecciones de obra, se deberá prestar especial atención a los siguientes aspectos reglamentarios:

- **Ventilación natural:** En las cámaras de aire horizontales, las aberturas de ventilación deben disponerse de forma homogénea en las fachadas, garantizando un área efectiva de al menos 10 cm^2 por metro lineal del perímetro de la cámara. En las cámaras verticales, estas aberturas se ubicarán en la parte superior, cumpliendo la misma exigencia mínima de 10 cm^2 por metro lineal. En todo momento, estas vías de ventilación deben mantenerse libres de obstrucciones.

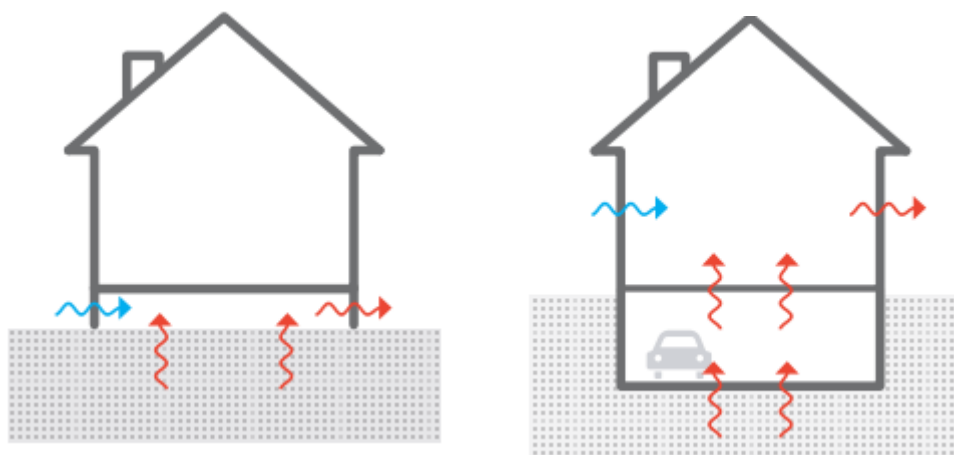


Ilustración 13: Ventilación natural del espacio de contención. Fuente: [27].

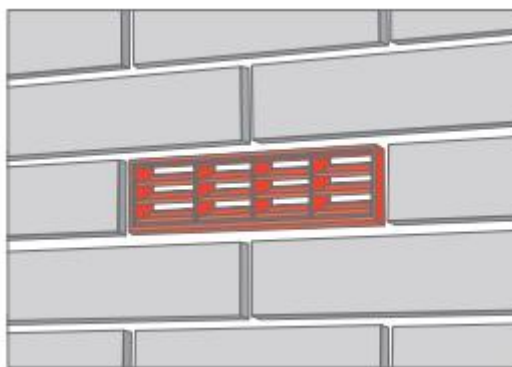


Ilustración 14: Abertura de ventilación. Fuente: [27].

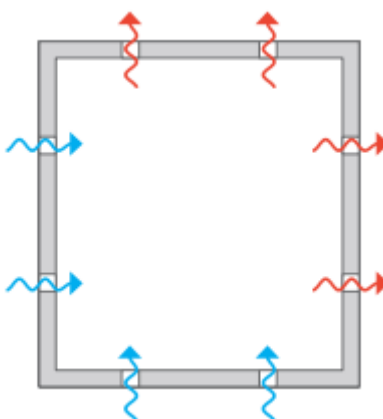


Ilustración 15: Distribución de aberturas en planta. Fuente: [27].

- **Ventilación mecánica:** Cuando la configuración arquitectónica no permita una correcta ventilación natural, o cuando sea necesario incrementar la eficacia del sistema de mitigación, resulta preceptiva la instalación de extractores mecánicos. En este caso, el diseño deberá situar las aberturas de admisión lo más lejos posible de las aberturas de extracción para optimizar el barrido del aire.

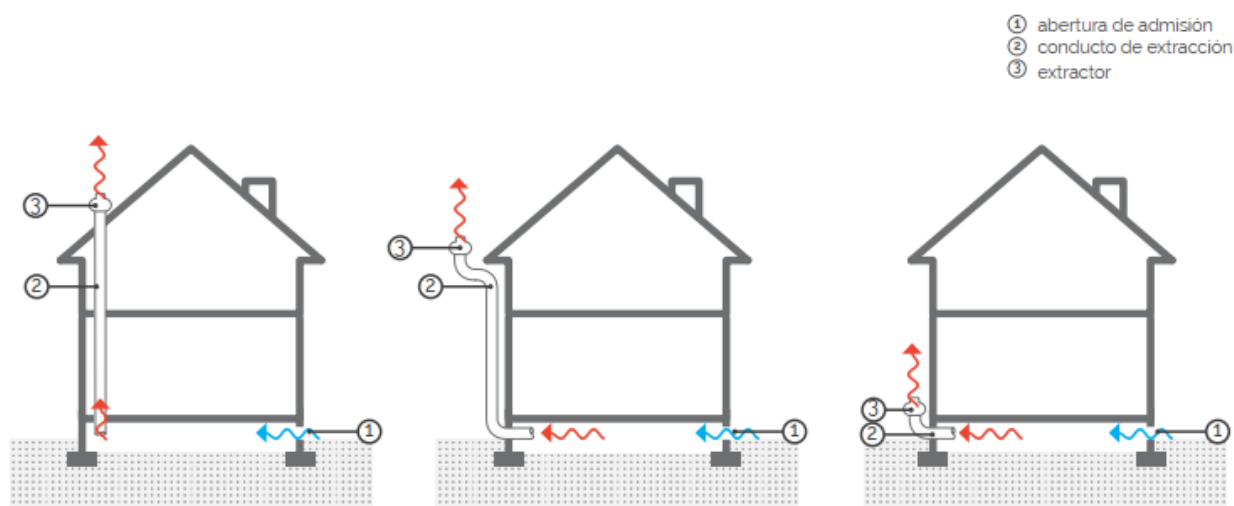


Ilustración 16: Conducto de extracción con extractor hasta cubierta por el interior del edificio (izquierda.), por el exterior (centro) y en fachada (derecha.). Fuente: [27].

- **Validación de eficacia:** La normativa exige de forma ineludible que la eficacia de la solución adoptada se compruebe experimentalmente mediante mediciones de concentración de radón posteriores a la intervención constructiva, tanto para edificios de obra nueva como para edificios existentes.

6.1.3 Despresurización del terreno

La despresurización del terreno es un sistema de extracción activa configurado mediante una red de elementos de captación (arquetas o tubos perforados) alojada en una capa de relleno granular bajo la edificación, la cual favorece la circulación del aire y se encuentra conectada a un conducto con un sistema de extracción mecánica. Para el control técnico de la ejecución, los puntos más críticos son:

- **Continuidad de la captación:** Es fundamental verificar durante la fase de instalación que la capa de relleno mantenga su continuidad espacial bajo el suelo. Si la presencia de obstáculos estructurales, como partes de la cimentación, interrumpe el flujo de aire, se debe facilitar dicha continuidad mediante la apertura de huecos en los obstáculos o distribuyendo elementos de captación independientes en cada zona aislada.
- **Verificación y acciones correctivas:** Al igual que en los espacios ventilados, el éxito de esta medida se debe certificar experimentalmente mediante ensayos de concentración de radón tras la finalización de la obra. Si los resultados de dichas mediciones no ofrecen valores normativamente aceptables, el sistema deberá ajustarse, ya sea incrementando el caudal del equipo de extracción o incorporando nuevas vías de captación en el terreno.

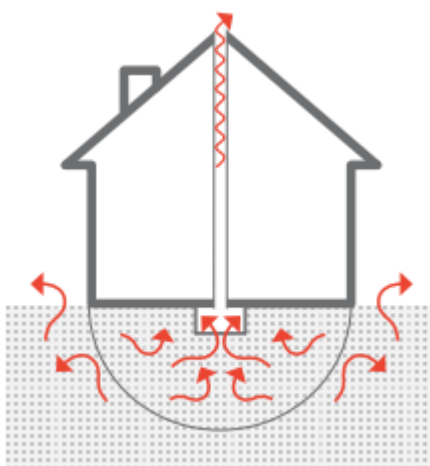


Ilustración 17: Despresurización del terreno. Fuente: [27].

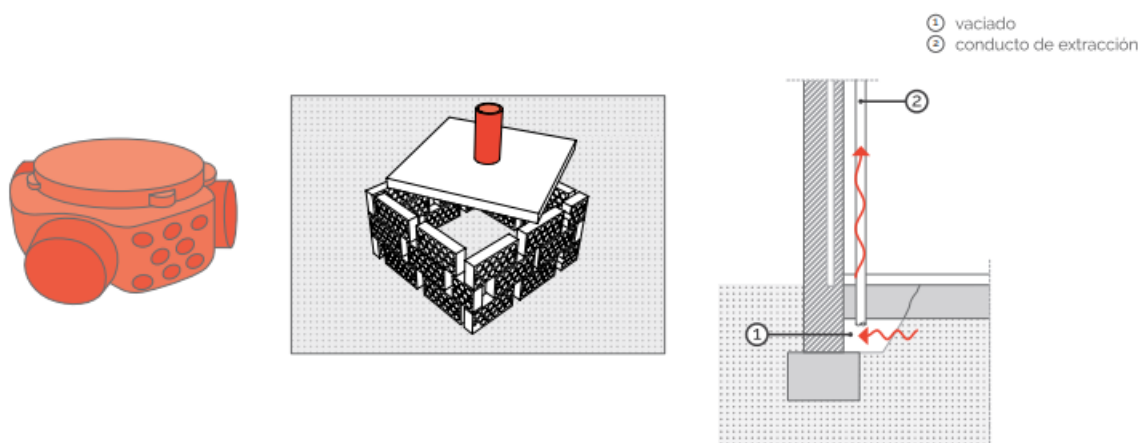


Ilustración 18: Distintos tipos de arquetas: prefabricada (izquierda), de obra de ladrillo (centro) y realizada con un pequeño vaciado (derecha). Fuente: [27].

6.2 Clasificación según tipo de intervención

Para definir una estrategia eficaz de aseguramiento de la calidad en obra, es requisito previo clasificar la intervención objeto de estudio. El CTE DB-HS 6 determina que la obligatoriedad y combinación de los sistemas de protección frente al radón dependen de dos factores condicionantes: la zona de riesgo del término municipal (Zona 1 o Zona 2), ver anexo 1, y el estado constructivo del edificio (obra de nueva planta o intervención en edificio existente). Esta categorización define el alcance del control de calidad a realizar.

6.2.1 Obras de nueva planta

En los proyectos de edificación de nueva construcción, el diseño y la ejecución se encuentran estrictamente pautados por la normativa vigente, siendo preceptivo verificar durante la fase de inspección el cumplimiento de las siguientes exigencias:

- **Edificios ubicados en Zona 1:** En el control de ejecución se debe de comprobar la correcta puesta en obra de, al menos, una de las soluciones primarias. La exigencia se satisface validando la instalación de una barrera de protección (Solución A) o, como

alternativa técnica, un espacio de contención ventilado (Solución B). Siendo en los municipios de la Zona 1 = A o B.

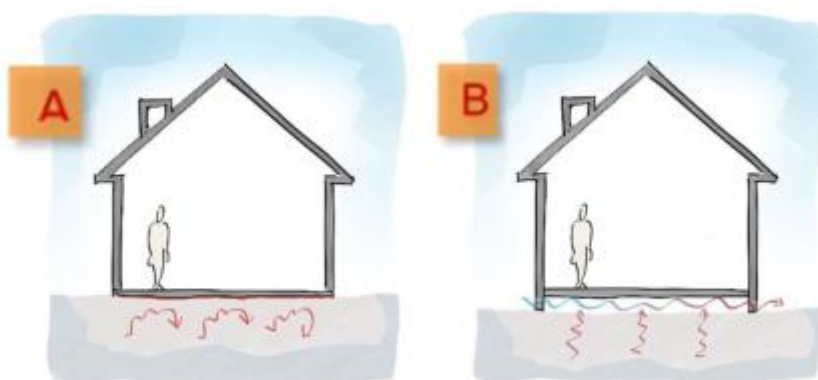


Ilustración 19: Barrera de protección (A) y cámara de aire ventilada (B). Fuente: [49].

- **Edificios ubicados en Zona 2:** Dado el elevado nivel de exhalación de radón en el terreno, las exigencias de inspección se incrementan. Resulta imperativo verificar la ejecución combinada de dos sistemas: se exigirá la instalación obligatoria de una barrera de protección (Solución A), complementada ineludiblemente con un sistema adicional de mitigación, que podrá ser un espacio de contención ventilado (Solución B) o un sistema de despresurización del terreno (Solución C). Siendo en los municipios de la Zona 2= A+ (B o C).

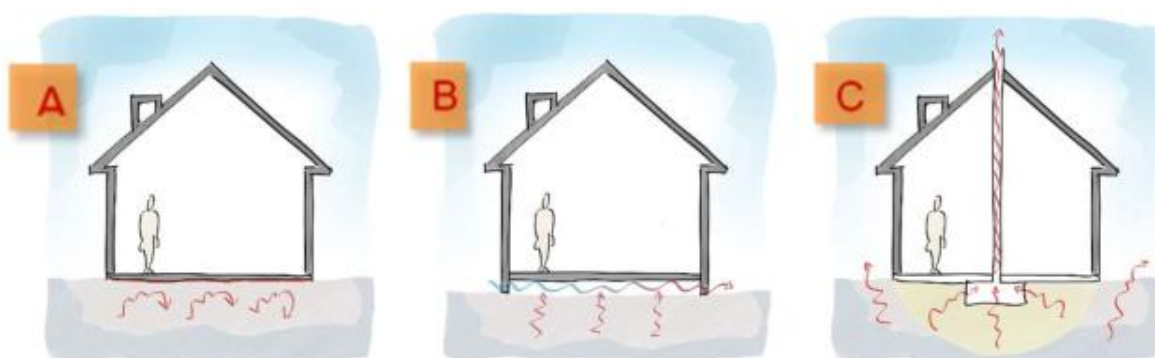


Ilustración 20: Barrera de protección (A), cámara de aire ventilada y Despresurización del suelo (C). Fuente: [49].

6.2.2 Intervenciones en edificios existentes

En los proyectos de rehabilitación, reforma o cambio de uso que afecten a elementos constructivos en contacto con el terreno, el criterio de aplicación normativa y su correspondiente control en obra deben adaptarse a la preexistencia arquitectónica. El alcance del control técnico en los municipios señalados en el Apéndice B se ajusta de manera proporcional a la magnitud de la obra. En el caso de las ampliaciones, los requisitos de protección se limitan exclusivamente a la nueva superficie construida. Si hablamos de un cambio de uso, la normativa obliga a actuar sobre todo el inmueble si el cambio es integral, o únicamente sobre la zona afectada si es parcial. Por su parte, en las reformas, la exigencia se circunscribe a las áreas intervenidas siempre que los trabajos modifiquen las barreras existentes o permitan mejorar la protección actual. En cualquiera de estas situaciones, la supervisión de la ejecución no debe ser rígida, sino que ha de aplicarse el principio de flexibilidad recogido en el artículo 2 de la Parte I del CTE. El objetivo prioritario de la auditoría es conseguir el mayor nivel de protección posible frente al radón, priorizando siempre aquellas soluciones que resulten técnicamente viables y efectivas dentro de las limitaciones de cada intervención.

Para las intervenciones en edificios existentes, el marco normativo habilita la implementación de soluciones alternativas que, evaluadas en su conjunto, limiten eficazmente la exhalación de radón, estableciendo como requisito ineludible garantizar que los locales habitables cumplan estrictamente con los caudales de ventilación exigidos por la reglamentación de calidad del aire interior. A nivel operativo y de dimensionamiento, la estrategia de mitigación dependerá directamente de las mediciones previas in situ (conforme al Apéndice C): si el promedio anual de concentración registrado se sitúa entre una y dos veces el nivel de referencia ($<600 \text{ Bq/m}^3$) el proyecto deberá adoptar y justificar las soluciones correspondientes a la Zona I; mientras que, si los valores superan el doble de dicho límite normativo ($>600 \text{ Bq/m}^3$), se exigirá la ejecución de las medidas estipuladas para la Zona II. Por el contrario, la justificación documental de que ninguna zona de muestreo excede el nivel de referencia ($<300 \text{ Bq/m}^3$) eximirá al proyecto de implementar

sistemas de protección, independientemente de la clasificación geográfica de riesgo del municipio.

Si bien la normativa busca alcanzar niveles de protección similares a los de una obra nueva, el CTE es flexible y permite soluciones alternativas —como el sellado de paramentos— cuando existen limitaciones técnicas que impiden otras intervenciones. En estos casos, el enfoque del control de calidad debe dar un giro y priorizar la inspección directa de la hermeticidad en obra. Resulta fundamental que el técnico verifique con rigor, tanto visual como físicamente, el estado de grietas, juntas de dilatación, los encuentros entre muros y soleras y el paso de tuberías o instalaciones. El éxito de la medida depende, en última instancia, de asegurar que estos puntos críticos se han ejecutado con el cuidado necesario para frenar realmente la entrada del gas.:

- **Sellado de cerramientos (Solución D):** Esta medida tiene como objetivo bloquear las vías preferentes de entrada del radón obturando los puntos débiles de la envolvente existente. La inspección técnica deberá centrarse en la verificación exhaustiva, tanto visual como física, de la hermeticidad y continuidad de los sellados ejecutados.

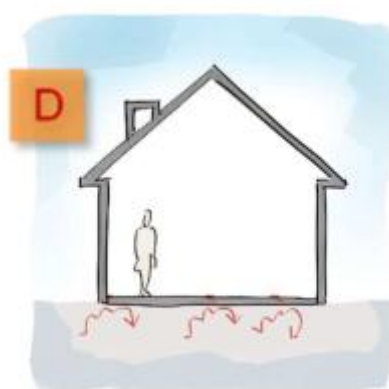


Ilustración 21: Sellados de cerramientos. Fuente: [49].

- **Mejora de la ventilación interior (Solución E):** Esta solución complementaria consiste en incrementar la tasa de renovación de aire de los recintos habitables para diluir la concentración del gas.

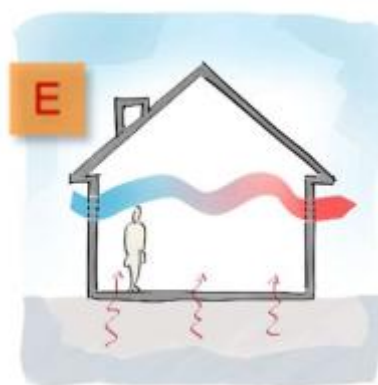


Ilustración 22: Mejora de la ventilación. Fuente: [49].

6.3 Metodología de medición y evaluación de la exposición

La medición de la concentración de radón es el proceso técnico objetivo que permite cuantificar la presencia del gas en el interior de los espacios habitables. El Apéndice C (ver anexo 2) del Documento Básico DB-HS 6 establece una metodología unificada para esta determinación, la cual resulta aplicable tanto en fases de diagnóstico previo en edificios existentes como en la verificación de la eficacia de las soluciones ejecutadas. Este procedimiento se estructura en tres fases técnicas: muestreo, medición y estimación del promedio anual de concentración, debiendo cumplirse los siguientes requisitos para garantizar la validez de los datos obtenidos.

6.3.1 Clasificación de detectores de medida

Para la medición de la concentración de radón en interiores existen distintos tipos de detectores, cuya selección depende del objetivo de la medición, la duración del ensayo y el nivel de precisión requerido. De forma general, los detectores se pueden clasificar en pasivos y activos, en función de si requieren o no una fuente de alimentación para su funcionamiento:

- **Detectores pasivos:** Este grupo de instrumentación se caracteriza por no requerir alimentación eléctrica, fundamentando su registro en la acumulación física del gas

durante el periodo de exposición. Entre los más utilizados se encuentran los detectores de trazas (CR-39), de carbón activo y de electrete. Dada su sencillez, nulo mantenimiento y bajo precio, estos sensores son la opción más común para calcular medias anuales en estudios prolongados. La principal contrapartida es que solo ofrecen un dato acumulado del tiempo que han estado expuestos; por lo tanto, perdemos cualquier detalle sobre la evolución temporal de la medición, ya que es imposible detectar picos de gas o variaciones puntuales durante el periodo analizado.

- **Detectores activos:** También llamados de detección continua, requieren de una fuente de alimentación para procesar la información sin interrupciones. Su principal virtud técnica radica en la captura de datos en tiempo real, lo que permite evaluar sobre la marcha si las medidas de protección están surtiendo efecto. Sin embargo, su elevado precio suele restringir su uso a casos muy concretos. En este mismo apartado entrarían los equipos de medida puntual: herramientas muy útiles para hacer un diagnóstico rápido y localizar por dónde se está filtrando el gas, pero poco eficaces si lo que buscamos es determinar la media anual que exige la normativa.

En resumen, no se trata de elegir un sistema sobre otro sin más, sino de ajustar la herramienta a lo que necesitemos en cada fase: tiempo, rigor y propósito de la medida. Si lo que buscamos es obtener valores medios que representen la exposición a largo plazo (lo habitual para cumplir normativa), los dispositivos pasivos son la opción más lógica. En cambio, cuando hace falta monitorizar el comportamiento del gas minuto a minuto o comprobar si una reforma de mitigación ha surtido efecto, la tecnología activa se vuelve indispensable. Ambas metodologías no compiten entre sí, sino que se combinan para ofrecer una imagen realmente completa de la situación del edificio.



Ilustración 23: Detectores más habituales: a) detector de trazas; b) electrete; c) dispositivos electrónicos; d) detector de carbón activo. Fuente: [27].

6.3.2 Criterios de muestreo y ubicación de detectores

Con el fin de que las mediciones sean realmente fiables, es fundamental que la estrategia de muestreo esté bien fundamentada técnicamente. En la práctica, durante la inspección y la fase de colocación de los equipos, el técnico deberá validar el cumplimiento de los parámetros que marca la norma, prestando especial atención a los puntos que detallamos a continuación:

- **Zonas de muestreo:** La prioridad se centra en las plantas bajo rasante con locales habitables y en las dos plantas inferiores sobre rasante que alberguen estancias habitables.
- **Densidad de medición y número de detectores:** En cada unidad de uso (vivienda, oficina, etc.) se exigirá definir, como mínimo, una zona de muestreo por planta y una

zona por cada 200 m² de superficie útil. Respecto a la dotación de equipos, la norma general exige instalar al menos un detector por cada zona de muestreo. Sin embargo, el inspector deberá aplicar una excepción crítica: en aquellas unidades de uso con superficie inferior a 200 m² donde se haya definido una única zona de muestreo, es obligatorio instalar al menos dos detectores.

- **Detectores de control:** Como garantía de calidad del propio ensayo, cuando se utilicen detectores pasivos y el número total a exponer en un mismo edificio esté comprendido entre 15 y 25 unidades, será exigible la colocación de un detector adicional a modo de control (blanco metrológico). A partir de los 25 detectores, se exigirá un detector de control extra por cada 20 unidades expuestas. El inspector verificará que estos detectores de contraste se ubiquen estratégicamente en zonas del edificio donde se prevea una baja concentración de radón.
- **Disposición in situ de los medidores:** Se comprobará in situ que los dispositivos se sitúen a una altura de entre 50 y 180 cm sobre el nivel del suelo y manteniendo una distancia mínima de 30 cm respecto a paramentos verticales o puertas. Se debe de rechazar expresamente su colocación en el interior de recintos cerrados (armarios, cajones), en puntos con corrientes de aire directas, zonas expuestas a radiación solar o proximidad a fuentes de calor que puedan desvirtuar la lectura empírica.

6.3.3 Requisitos de las entidades y periodo de exposición

Para asegurar el rigor técnico y la trazabilidad documental del proceso de verificación, la inspección deberá corroborar el estricto cumplimiento de las siguientes condiciones:

- **Acreditación:** Las entidades encargadas del suministro, análisis y procesamiento de los detectores deben poseer la acreditación otorgada por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) o entidad equivalente europea, bajo los estándares de la norma UNE-EN ISO/IEC 17025, con especial atención en el apartado 7.2 *Selección, verificación y validación de métodos* de la norma mencionada. Esta exigencia garantiza que el laboratorio opera con procedimientos validados, personal cualificado y equipos correctamente calibrados con trazabilidad metrológica [50].

Por otro lado, el inspector verificará documentalmente que la entidad cumple con las exigencias del Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo, debiendo figurar inscrita 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 [51].

- **Temporalidad:** El periodo de exposición de los detectores debe ser, de forma preceptiva, de al menos dos meses ininterrumpidos. En el caso de edificios situados en zonas climáticas de invierno C, D o E, establecidas en el DB-HE Ahorro de energía se catalogan geográficamente en municipios con inviernos fríos, muy fríos o extremos, se considera la recomendación técnica de realizar la medición preferentemente durante la temporada de calefacción para captar los escenarios de menor ventilación y mayor concentración.

Tabla 3: Zonas Climáticas. Fuente: [52].

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (h)																										
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	111 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	251 - 300 m	≥ 1300 m			
Albacete	C3										D3										E1						
Alicante/Alacant	B4					C3										D3											
Almería	A4		B4		B3		C3										D3										
Araba/Álava	D1										E1																
Asturias	C1	D1										E1															
Ávila	D2										D1										E1						
Badajoz	C4								C3	D3																	
Balears, Illes	B3					C3										E1											
Barcelona	C2					D2		D1										E1									
Bizkaia	C1					D1										E1											
Burgos	D1										E1																
Cáceres	C4										D3										E1						
Cádiz	A3			B3					C3		C2					D2											
Cantabria	C1			D1										E1													
Castellón/Castelló	B3			C3							D3		D2								E1						
Ceuta	B3										E1																
Ciudad Real	C4								C3	D3																	
Córdoba	B4			C4										D3													
Coruña, A	C1					D1										E1											
Cuenca	D3										D2					E1											
Gipuzkoa	D1										E1																
Girona	C2			D2										E1													
Granada	A4	B4					C4					C3			D3					E1							
Guadalajara	D3										D2					E1											
Huelva	A4	B4	B3			C3										D3											
Huesca	C3					D3			D2					E1													
Jaén	B4					C4					D3					E1											
León	E1										E1																
Lleida	C3			D3										E1													
Lugo	D1										E1																
Madrid	C3										D3										D2		E1				
Málaga	A3			B3			C3										D3										
Melilla	A3										E1																
Murcia	B3			C3										D3													
Navarra	C2			D2					D1					E1													
Ourense	C3					C2			D2										E1								
Palencia	D1										E1																
Palmas, Las	α3					A2										B2					C2						
Pontevedra	C1					D1										E1											
Rioja, La	C2					D2										E1											
Salamanca	D2										E1										E1						
Santa Cruz de Tenerife	α3					A2										B2					C2						
Segovia	D2										E1																
Sevilla	B4					C4										E1											
Soria	D2										D1					E1											
Tarragona	B3			C3							D3										E1						
Teruel	C3										C2		D2										E1				
Toledo	C4										D3																
Valencia/València	B3			C3							D2										E1						
Valladolid	D2										E1																
Zamora	D2										E1																
Zaragoza	C3					D3										E1											

6.3.4 Estimación del promedio anual y validación

De acuerdo con lo establecido en el Apéndice C (ver anexo 2) del documento DB HS-6, la fase final de estimación del promedio anual de concentración de radón es competencia y responsabilidad directa de la Dirección Facultativa o de la entidad de control. Si bien el laboratorio acreditado proporciona los valores brutos de concentración obtenidos durante el periodo de exposición, es el responsable técnico de la obra quien debe aplicar los criterios de evaluación normativa para emitir el dictamen final del edificio.

- **Cálculo del valor de zona:** La representatividad del dato analítico está condicionado por el número de detectores instalados. En aquellas zonas de muestreo que requieran únicamente uno o dos dispositivos, se asignará como valor representativo la medición más alta registrada. Por el contrario, en recintos de mayor volumen que exijan el uso de tres o más equipos, el resultado final se determinará mediante la media aritmética de las concentraciones obtenidas en dicho espacio.
- **Factor de corrección estacional:** La medición realizada para verificar la recepción de la obra suele llevarse a cabo durante el periodo mínimo obligatorio de dos meses, en lugar de un año completo. Por ello, los resultados obtenidos no pueden compararse de manera directa con los niveles de referencia legales. Para ajustar la estimación a las variaciones estacionales y al comportamiento fluctuante del radón, se aplicará un factor de seguridad de 1,4 al valor representativo de la zona. El resultado de esta operación constituirá la cifra oficial del Promedio Anual de Concentración de Radón para la zona correspondiente.

6.4 Cumplimiento de la Instrucción IS-47

Cuando un edificio opera como centro de trabajo, el cumplimiento de la normativa está regulado de manera explícita por la Instrucción IS-47 del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Este marco regulatorio establece obligaciones de protección radiológica orientadas a garantizar la seguridad y la salud laboral. Otros documentos se centran únicamente en requisitos constructivos, la aplicación de la IS-47 implica una gestión continua y susceptible de verificación. En este contexto, la Instrucción considera a los municipios clasificados como Zona II como áreas prioritarias, donde es obligatorio llevar a cabo revisiones

periódicas. A nivel operativo, la normativa dictamina que dichas mediciones deben ejecutarse preceptivamente en la planta baja y en las plantas bajo rasante del edificio, permitiendo así comprobar la eficacia de las medidas de protección frente a la exhalación del terreno durante toda la vida operativa del lugar de trabajo [53].

6.4.1 Criterio de muestreo y ubicación de detectores

La determinación del número de detectores se realizará según la superficie del centro de trabajo, conforme a los rangos establecidos en la tabla 4. Se requiere instalar un mínimo de un detector por zona de muestreo y excepcionalmente, en recintos inferiores a 200 m² configurados como una única zona, se exigirá la colocación de dos dispositivos para garantizar la fiabilidad del registro. No obstante, si la planificación está a cargo de una unidad técnica de protección radiológica, se podrá justificar el menor uso de dispositivos basándose en mediciones previas de corta duración con monitores de medición continua.

Asimismo, para que la campaña de medición posea plena validez legal, la totalidad de los equipos deberá ser suministrada y procesada por un laboratorio acreditado bajo la norma UNE-EN ISO/IEC 17025, dando así cumplimiento estricto a la normativa de protección frente a radiaciones ionizantes.

*Tabla 4: Número de localizaciones de mediciones a tener en cuenta en los estudios de radón.
Fuente: [53].*

Características del centro de trabajo	Número de detectores
Edificios compartimentados tradicionales.	Un detector por despacho o habitación.
Sótanos.	Un detector por cada cuarto o sección compartimentada o semi-compartimentada.
Áreas de hasta 1.000 m ² (oficinas de planta abierta, superficies de atención al público, almacenes comerciales...).	Un detector por cada 200 m ² .
Áreas de hasta 5.000 m ² .	Un detector por cada 400 m ² .
Áreas muy extensas.	Un detector por cada 500 m ² .

En la instalación de los detectores se debe de garantizar la representatividad de la muestra: cada dispositivo deberá instalarse a una cota comprendida entre 0,5 y 2 metros sobre el suelo, manteniendo una separación perimetral mínima de 30 centímetros respecto a las

paredes. Para preservar la fiabilidad metrológica, queda expresamente prohibida su ubicación en microambientes confinados (armarios) o en corrientes de aire o sistemas de ventilación. Finalmente, para asegurar la trazabilidad el técnico responsable debe de certificar y documentar, mediante firma y referenciación del código de cada equipo, el registro cronológico exacto (fecha y hora) de los actos de instalación y retirada.

6.4.2 Criterios temporales para la estimación de promedio anual

La planificación cronológica para la determinación del promedio anual de concentración de radón se rige por criterios de representatividad técnica que admiten dos modalidades de exposición diferenciadas:

- **Muestreo estacional restringido:** Requiere una campaña con una duración mínima de tres meses, ejecutada obligatoriamente dentro del intervalo comprendido entre el 1 de octubre y el 31 de mayo. Esta metodología permite obtener una estimación conservadora del riesgo al monitorizar el inmueble durante el periodo de menor tasa de ventilación natural.
- **Monitorización anual integrada:** Se extiende a lo largo de doce meses naturales, excluyendo periodos de inactividad y vacaciones del centro.

6.4.3 Pautas de exposición y actualización de estudios de medición

El inicio de las campañas de medición en centros de trabajo de nueva apertura deberá ejecutarse en un plazo máximo de seis meses. No obstante, aquellos centros de trabajo de edificaciones construidas o rehabilitadas bajo el marco del DB-HS 6 que dispongan de un informe favorable de validación final, inferior a 300 Bq/m^3 , quedarán legalmente exentos de este control durante sus primeros cinco años de vida operativa.

La actualización del estudio de medición se realizará cada diez años en los casos donde no existan sistemas activos de mitigación y los registros históricos muestren niveles inferiores a 300 Bq/m^3 . En los demás casos, la revisión deberá efectuarse cada cinco años. Paralelamente, cualquier intervención arquitectónica que altere la estanqueidad, modifique la envolvente o impacte en la tasa de renovación de aire del inmueble, detonará una

reevaluación extraordinaria en un plazo máximo de seis meses tras la finalización de los trabajos.

6.5 Fase de control en obra

La fase de ejecución representa la aplicación práctica y operativa del procedimiento de control de técnico. En esta etapa, las exigencias normativas y los criterios de control previamente definidos se trasladan al entorno físico de la construcción, transformando la planificación documental en acciones de inspección y monitorización directa.

Con el fin de asegurar la trazabilidad técnica y minimizar las no conformidades, el control de las unidades de obra se estructura cronológicamente en tres fases fundamentales de actuación:

6.5.1 Control antes de la ejecución

Esta fase tiene un carácter preventivo y se desarrolla antes de la instalación física de los sistemas de protección, siendo un punto de inflexión y el hito decisivo del protocolo de aseguramiento técnico, ya que es en este momento cuando se define y ratifica formalmente el sistema de mitigación específico que será objeto de control. Tras el análisis de la documentación de proyecto, la zonificación climática y los diagnósticos previos de concentración de radón, el responsable del control debe validar la idoneidad de la solución técnica elegida frente a las condiciones reales del edificio.

Para garantizar la efectividad de este proceso de selección y validación, las labores de inspección antes de la ejecución se dividen en los siguientes puntos críticos:

- **Validación técnica del sistema seleccionado:** Antes de autorizar el inicio de los trabajos, el responsable del control verificará que la solución de mitigación adoptada (barrera de protección, espacio de contención ventilado o despresurización) es la adecuada. Esta validación se fundamentará en el cruce de datos entre las exigencias del DB-HS 6 y la compatibilidad física con el soporte o estructura del edificio.
- **Control documental de recepción:** Se debe de verificar que los materiales suministrados (láminas anti-radón, masillas, cintas de sellado, extractores) coinciden exactamente con las especificaciones del sistema definido y cuentan con sus

respectivos marcados CE (Conformidad Europea) y Declaraciones de Prestaciones (DdP). El control deberá someterse estrictamente a los criterios indicados en el artículo 7.2 de la Parte I del CTE (Control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas). En cumplimiento de este marco normativo, la Dirección Facultativa o el responsable de la recepción constatará que las características técnicas satisfacen lo exigido en el proyecto mediante tres vías: el control exhaustivo de la documentación de los suministros entregada por el constructor (art. 7.2.1), la verificación de los distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad de las láminas o sistemas de extracción (art. 7.2.2) y, en su caso, la ejecución de los ensayos pertinentes sobre el muestreo de productos (art. 7.2.3) [54].

6.5.2 Control durante la ejecución

De conformidad con las directrices del apartado 5.2 Control de la ejecución del DB-HS 6 y en estricto cumplimiento del artículo 7.3 de la Parte I del CTE, el control de la ejecución se realizará con sujeción a las especificaciones del proyecto y a las instrucciones de la Dirección Facultativa. El objetivo de esta fase es verificar que la puesta en obra no comprometa la eficacia del sistema de mitigación, realizando las inspecciones preceptivas con la frecuencia establecida en el Pliego de Condiciones.

Durante el desarrollo de la construcción, la auditoría de ejecución se estructurará en los siguientes ejes fundamentales, en función de la solución técnica definida:

- **Control de ejecución de las barreras de protección:** La inspección visual y técnica se centrará en garantizar la continuidad física de la lámina anti-radón en toda la superficie en contacto con el terreno. Se verificará con especial rigor el correcto solape entre paños (respetando las dimensiones mínimas exigidas por el fabricante) y la ejecución de los sellados continuos. Asimismo, se inspeccionarán exhaustivamente los puntos singulares (pasos de instalaciones, encuentros con cimentación, pilares pasantes y juntas de dilatación), asegurando que la membrana no sufra punzonamientos durante el vertido posterior de las soleras.

- **Control de ejecución de sistemas de ventilación y despresurización:** En los proyectos que contemplen espacios de contención ventilados o sistemas de extracción bajo el terreno, la Dirección Facultativa supervisará la correcta instalación de la red de captación. Se auditará el adecuado dimensionamiento, la pendiente de los conductos y la hermeticidad de las conexiones. Igualmente, se comprobará que las descargas exteriores eviten la reentrada del gas al edificio y que los extractores mecánicos queden accesibles para su futuro mantenimiento.

Finalmente, cualquier modificación técnica que deba introducirse durante la ejecución por imprevistos en obra quedará debidamente justificada y registrada en la documentación final de la obra ejecutada, garantizando que en ningún caso dejen de satisfacerse las condiciones mínimas de protección frente al radón exigidas por la normativa.

6.5.3 Control después de la ejecución

La finalización material de los trabajos de impermeabilización y/o despresurización no exime del control operativo. De conformidad con lo estipulado en el apartado 5.3 Control de obra terminada del DB-HS 6 y en estricto cumplimiento del artículo 7.4 Control de la obra terminada de la Parte I del Código Técnico de la Edificación (CTE), el control final de obra tiene como objetivo validar que las soluciones implementadas han alcanzado los niveles de prestación exigidos en el proyecto.

Para ello, y bajo la supervisión de la Dirección Facultativa, este control final se estructurará en dos líneas de actuación que trascienden la mera ejecución física:

- **Control mediante evaluaciones de idoneidad técnica (Art. 7.2.2):** En el caso específico de barreras de protección, se exigirá ineludiblemente el certificado de ensayo vigente, emitido por un laboratorio independiente. El presente documento debe proporcionar evidencia objetiva de que el coeficiente de difusión frente al radón, inferior a 10^{-11} m²/s, y el espesor efectivo del material, de al menos 2 mm, aseguran la eficacia de la barrera de contención diseñada en el proyecto.
- **Comprobaciones finales de servicio:** Una vez finalizada la ejecución material, ya sea de todo el edificio o de instalaciones parciales concretas. Se ejecutarán

obligatoriamente las comprobaciones y evaluaciones operativas estipuladas en el diseño, las ordenadas por la Dirección Facultativa y las exigidas por los marcos regulatorios.

- **Gestión del Mantenimiento y Conservación:** Para que las medidas anti-radón no pierdan eficacia con el paso de los años y evitar averías prematuras, es obligatorio redactar un plan de mantenimiento detallado. Este plan, que formará parte del Libro del Edificio conforme al artículo 8 de la Parte I del CTE, deberá contemplar como mínimo la realización de revisiones periódicas y la corrección de cualquier defecto según lo estipulado en el Documento Básico correspondiente. Además, se deberán seguir estrictamente las indicaciones de mantenimiento proporcionadas por los fabricantes de los materiales y equipos, prestando especial atención a la verificación del correcto funcionamiento de los extractores mecánicos y a la programación de las auditorías de medición ambiental necesarias para asegurar la eficacia continua del sistema, según lo indicado en la tabla 5.

Tabla 5: Operaciones de mantenimiento. Fuente: [55].

	Operación	Periodicidad
Conductos	Limpieza	1 año
	Comprobación de la estanquidad aparente	5 años
Aberturas	Limpieza	1 año
Extractores	Limpieza	1 año
	Revisión del estado de funcionalidad	5 años
Filtros	Revisión del estado	6 meses
	Limpieza o sustitución	1 año
Sistemas de control	Revisión del estado de sus automatismos	2 años

6.6 Caso práctico en Centro Asistencial

El centro asistencial objeto de esta intervención se encuentra en el municipio de Tres Cantos (Madrid). De acuerdo con la zonificación técnica establecida en el Apéndice B (anexo 2) del Documento Básico HS 6 del CTE, el edificio se clasifica dentro de la Zona II, lo que implica un nivel de protección frente al radón A+ (B o C). Esta normativa obliga a la

implementación de dos sistemas de mitigación que garanticen el control efectivo de la migración del gas desde el sustrato. En este contexto, el presente caso práctico se ha diseñado como un escenario de validación para la aplicación directa del procedimiento de control de ejecución desarrollado, permitiendo comprobar su viabilidad operativa, la solidez técnica y la capacidad de verificar la conformidad de las soluciones propuestas en condiciones reales.

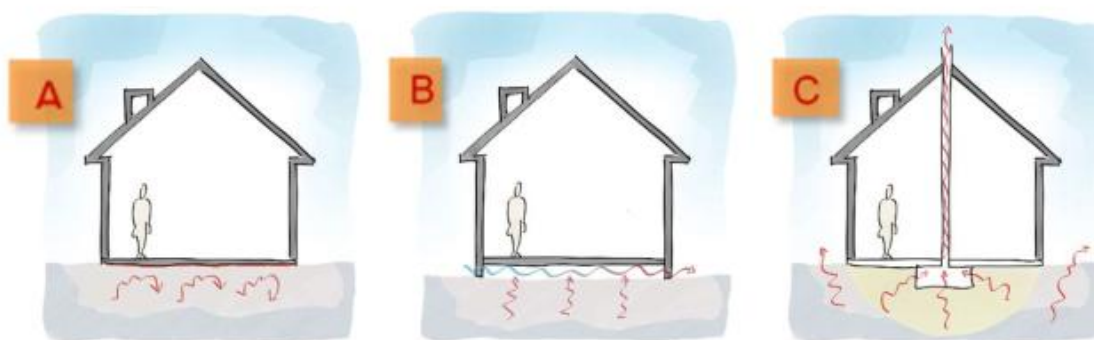


Ilustración 24: Barrera de protección (A), cámara de aire ventilada y Despresurización del suelo (C). Fuente: [49].

6.6.1 Sistemas de mitigación ejecutados

Las exigencias técnicas establecidas para la Zona II, obligó a la implementación de dos sistemas de mitigación complementarios, actuando de forma sinérgica para asegurar el control de la migración del gas radón.

Se instaló de barrera anti-radón una membrana líquida continua, aplicada mediante proyección mecánica en dos manos cruzadas para asegurar la homogeneidad y un sellado estanco en todos los encuentros. Respecto al cumplimiento normativo, si bien el DB-HS 6 prescribe un espesor nominal de 2 mm y un coeficiente de difusión inferior a 10^{-11} m²/s para barreras de tipo lámina prefabricadas, dicho criterio no resulta limitante para sistemas líquidos poliméricos. En estos casos, la idoneidad técnica se fundamenta en la demostración de que la tasa de exhalación del material es inferior al límite reglamentario establecido, garantizando una eficacia de contención equivalente o superior a la requerida para los sistemas de protección convencionales.

Complementariamente, se ha integrado un sistema de cámara de aire ventilada, diseñado para facilitar la evacuación por convección natural del radón acumulado en el subsuelo. Con el propósito de asegurar una renovación de aire efectiva, el sistema dispone de una red de aberturas conectadas directamente al exterior. Dichos elementos cuentan con una sección libre mínima de 10 cm², cumpliendo estrictamente con los requisitos de dimensionamiento del DB HS 6 para prevenir la acumulación de concentraciones críticas de gas.



Ilustración 25: Abertura de ventilación al exterior. Fuente: propia.

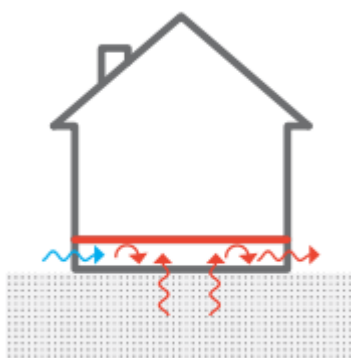


Ilustración 26: Barrera anti-radón y cámara de aire ventilada instalados. Fuente:[27].

6.6.2 Monitoreo y medición de comprobación

Con el propósito de verificar el comportamiento real de los sistemas de mitigación instalados, se realizó una medición *in situ* con una duración de 22 días consecutivos. Para ello, se instalaron dos equipos de monitorización: un medidor de radón activo y un registrador de datos de calidad del aire.

El medidor de radón de tipo activo fue posicionado a una altura aproximada de 1,40 m respecto al nivel del suelo, tomando como referencia lo establecido en el Documento Básico DB HS 6, el cual indica que los detectores deben situarse entre 50 cm y 180 cm de altura. La ubicación seleccionada permitió obtener mediciones representativas de la zona de respiración habitual de los ocupantes.

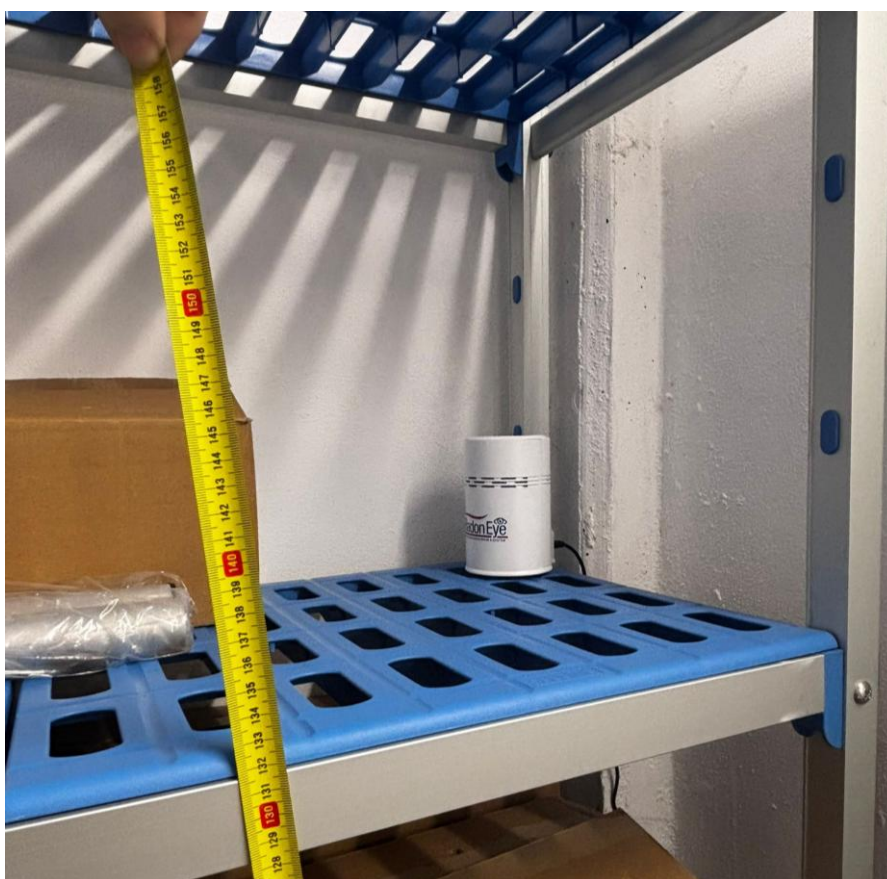


Ilustración 27: Verificación de altura de instalación. Fuente: propia.

Además, se incorporó un registrador de datos de calidad del aire, específicamente el modelo PCE-AQD 50, debido a su capacidad de retener datos técnicos durante períodos prolongados. Este aparato es indispensable para la investigación, ya que facilita el monitoreo y la documentación continuos de variables críticas como la temperatura, la humedad relativa, la presión atmosférica y la concentración de CO₂. Si bien los instrumentos de monitoreo funcionan con protocolos distintos, la fusión de sus registros tiene un valor analítico significativo para la investigación. La documentación sincronizada de los datos permite correlacionar las fluctuaciones en la concentración de radón con la humedad relativa y los niveles de CO₂ presentes en la habitación. Esta metodología colectiva no solo mejora el rigor del análisis técnico, sino que también permite establecer un perfil de comportamiento del edificio, que trasciende las limitaciones de las mediciones aisladas.



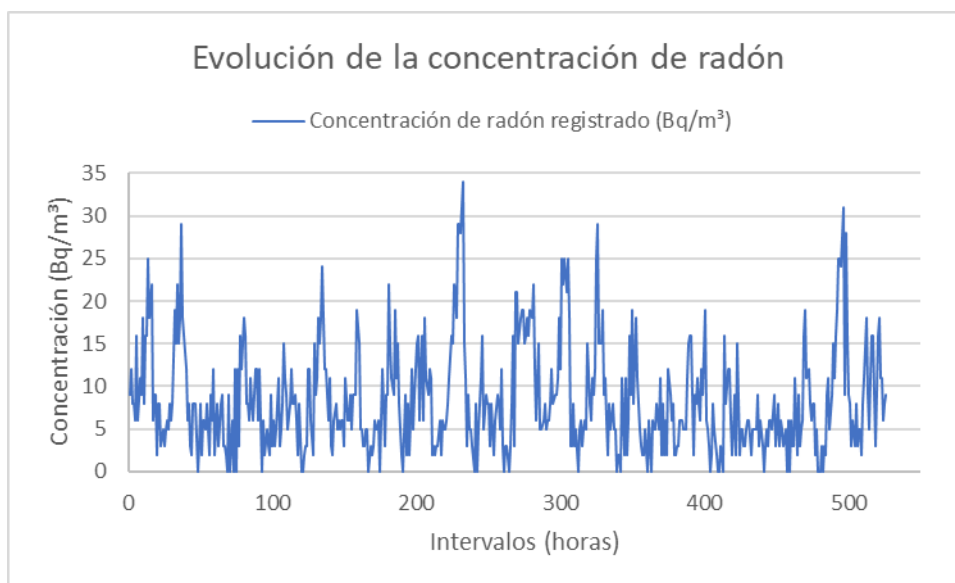
Ilustración 28: Instalación de medidor de radón y registrador de datos de calidad del aire. Fuente: propia.

6.6.3 Interpretación y validez de los resultados

Cabe señalar que el DB HS 6 establece un periodo mínimo de medición de dos meses para estudios reglamentarios de concentración de radón. Sin embargo, en el presente trabajo no se consideró dicho periodo debido al carácter académico y exploratorio del Trabajo de Fin de Máster, optándose por una campaña de medición de menor duración.

Durante la campaña de monitorización, se han procesado 526 intervalos horarios de registro, los cuales permiten caracterizar con precisión el comportamiento del recinto frente al radón. El análisis de la serie temporal revela una concentración máxima 34 Bq/m³ y un valor medio de 8 Bq/m³, registrándose puntualmente valores mínimos de 0 Bq/m³. Resulta relevante destacar que la totalidad de las mediciones se han mantenido holgadamente por debajo del nivel de referencia de 300 Bq/m³ establecido por la normativa vigente, lo que ratifica la eficacia de las medidas de protección implementadas.

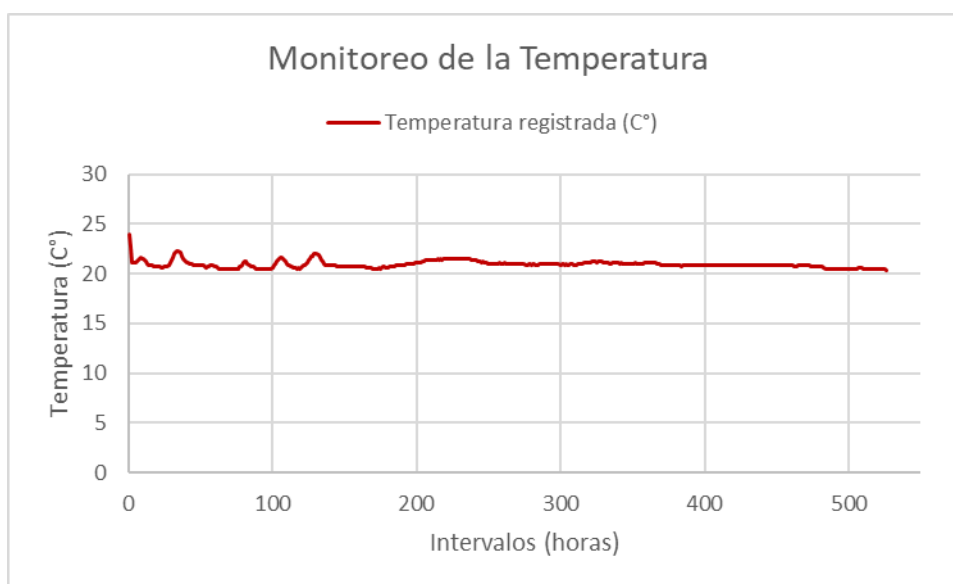
Gráfica 1: Medición de la concentración de radón. Fuente: Elaboración propia.



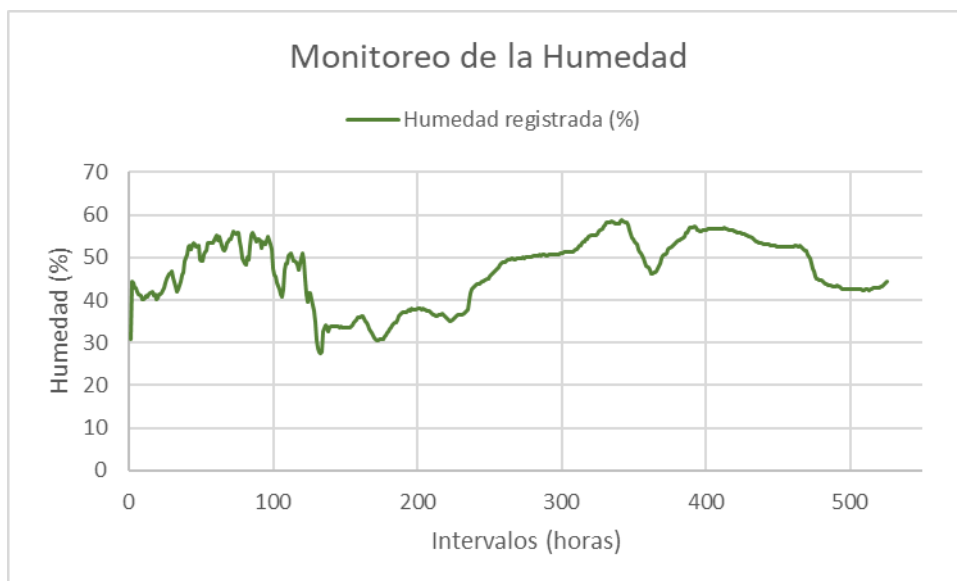
La evaluación de los parámetros ambientales documentados a lo largo de la campaña de monitoreo indica una consistencia de las condiciones ambientales interiores de acuerdo con los estándares de habitabilidad estipulados. Las concentraciones de CO₂ documentadas

oscilan predominantemente entre un rango de entre 300 y 400 ppm, confirman una tasa de ventilación adecuada, manteniéndose significativamente por debajo de los límites de alerta establecidos por el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) para una calidad del aire interior óptima (categoría IDA 1). Del mismo modo, la temperatura y la humedad relativa han mantenido una fluctuación controlada, compatible con el confort térmico en interiores. Esta monitorización conjunta de variables ambientales es de gran valor técnico para el presente estudio, pues permite descartar que las bajas concentraciones de radón observadas sean producto de una ventilación forzada o accidental excesiva, validando así que la atenuación del gas es una respuesta directa a la eficacia operativa de los sistemas de mitigación instalados.

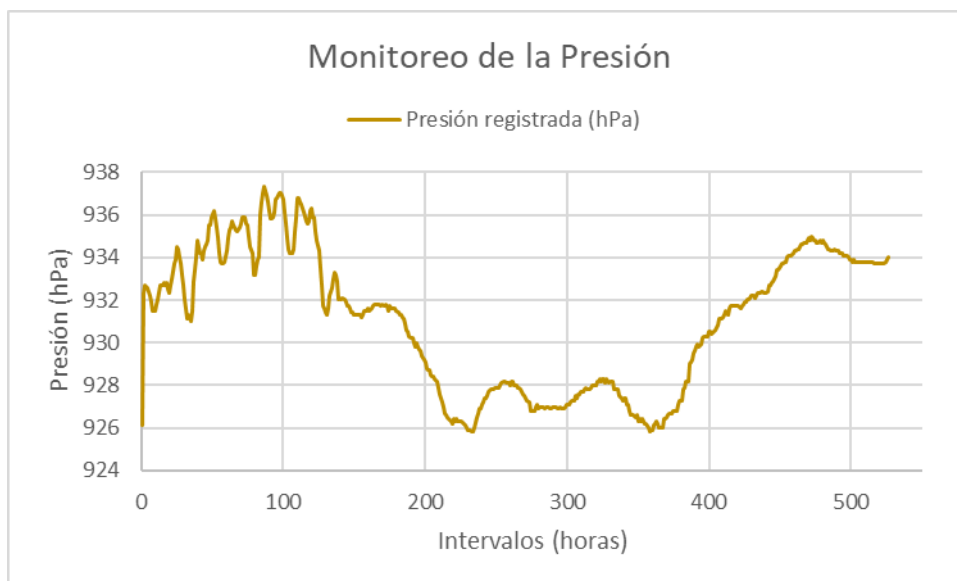
Gráfica 2: Monitoreo de la Temperatura. Fuente: Elaboración propia.



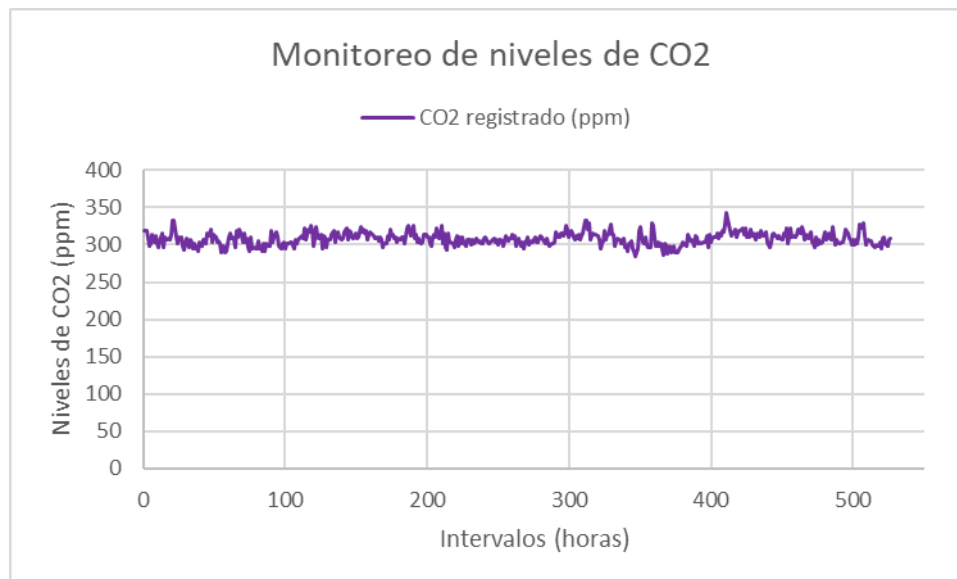
Gráfica 3: Monitoreo de la humedad. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 4: Monitoreo de la Presión. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 5: Monitoreo de niveles de CO₂. Fuente: Elaboración propia.



Los resultados alcanzados no solo demuestran la eficacia de la mitigación implementada al mantenerse ampliamente por debajo de los límites normativos, sino que acreditan la viabilidad del control de ejecución como garante indispensable de la salubridad del aire interior en los edificios afectados por la presencia de gas radón. En vista de los datos obtenidos en este caso práctico y recogiendo todos los registros mencionados con anterioridad, se propone a continuación el siguiente procedimiento técnico de ejecución.

6.7 Procedimiento de control de ejecución

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN

Redactado por: Patricia Cahuana	Revisado por: Patricia Cahuana	Aprobado por: Patricia Cahuana
Fecha: 19 / 05 / 2026	Fecha: 19 / 05 / 2026	Fecha: 19 / 05 / 2026
Firma: 	Firma: 	Firma:

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

ÍNDICE

1. OBJETO	71
2. ALCANCE	71
3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIAS Y MARCO NORMATIVO	71
3.1. Normativa Técnica.....	71
3.2. Normativa de Protección Radiológica y Salud Pública.....	71
3.3 Estrategia y Planificación Estatal	72
4. DEFINICIONES.....	72
5. DESARROLLO	73
5.1 Control previo a la ejecución.....	73
5.1.1 Revisión del proyecto	73
5.1.2 Monitoreo de concentración de radón	77
5.1.3 Revisión de materiales	79
5.1.4 Planificación de ejecución	79
5.2 Control durante la ejecución	80
5.2.1 Barreras de protección	80
5.2.2 Espacio de contención ventilado	83
5.2.3 Despresurización del terreno.....	88
5.3 Control final	90
5.3.1 Control mediante evaluaciones de idoneidad técnica (Art. 7.2.2).....	90
5.3.2 Comprobaciones finales de servicio	91
5.3.3 Gestión del Mantenimiento y Conservación	91
6. FORMATOS.....	91

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

1. OBJETO

El objetivo de este procedimiento es establecer las directrices técnicas necesarias para el control de la correcta ejecución de los sistemas de protección frente al gas radón en edificaciones, con el fin de garantizar su eficacia y el cumplimiento de las exigencias establecidas en el Código Técnico de la Edificación, en particular en el Documento DB HS 6.

2. ALCANCE

Las disposiciones contempladas en el presente procedimiento son aplicativas tanto a proyectos de edificación de nueva construcción como a las intervenciones en edificios existentes que se localicen en los términos municipales clasificados normativamente como Zona I y Zona II, conforme a la zonificación por riesgo de radón establecida en el Apéndice B del DB HS 6 (ver anexo 1). Incluye todas las fases del proceso constructivo relacionadas con la implementación de sistemas de protección frente al radón.

3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIAS Y MARCO NORMATIVO

Las normas y/o documentos que han sido utilizados en la redacción de este procedimiento son:

3.1. Normativa Técnica

- **Documento Básico DB-HS 6:** "Protección frente a la exposición al radón" del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- **Norma ISO 17025:** Acreditación de la competencia de los laboratorios de ensayo.

3.2. Normativa de Protección Radiológica y Salud Pública

- **Real Decreto 1029/2022**, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes (específicamente en su mandato sobre

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

la evaluación y mitigación del radón en lugares de trabajo y el establecimiento del nivel de referencia de 300 Bq/m³).

- **Instrucción IS-47 del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)** de 2025, que establece los requisitos y criterios técnicos vinculantes en materia de protección radiológica frente a la exposición al gas radón, complementando las obligaciones de evaluación, medición y mitigación.

3.3 Estrategia y Planificación Estatal

- **Plan Nacional contra el Radón (2024):** Documento estratégico elaborado por el Ministerio de Sanidad que fija la estrategia estatal para prevenir y mitigar la presencia de radón en la edificación, reforzando la protección de la salud pública y laboral.
- **Guía de Rehabilitación frente al radón (2020):** Documento técnico de apoyo publicado por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (actual Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana) que proporciona criterios de diseño, soluciones constructivas y ejemplos prácticos para la mitigación del gas radón en edificios existentes, facilitando la aplicación de las exigencias del DB-HS 6 en obras de intervención y reforma.

4. DEFINICIONES

- **Radón:** Es un gas radiactivo de origen natural perteneciente al grupo de gases nobles, incoloro e inodoro. En la edificación, constituye un riesgo para la salubridad pública al infiltrarse y acumularse en los espacios habitables a través de las discontinuidades de los cerramientos en contacto con el subsuelo.
- **Mitigación:** Conjunto de acciones, protocolos e intervenciones constructivas diseñadas para reducir y controlar.
- **Bq/m³ (Becquerelios por metro cúbico):** Unidad de medida del Sistema Internacional empleada para cuantificar la actividad radiactiva por unidad de volumen ambiental.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

- **Sistema de mitigación:** Solución constructiva integral, proyectada y ejecutada específicamente para bloquear la exhalación del gas desde el terreno hacia el edificio o para forzar su evacuación segura al exterior.
- **Antipunzonamiento:** Propiedad mecánica exigida a capas protectoras o elementos separadores (como los geotextiles) para resistir perforaciones, cortes o desgarros.
- **Plan de Mantenimiento:** Documento operativo que estructura la programación de operaciones preventivas, revisiones de equipos mecánicos y auditorías periódicas de medición ambiental. Su objetivo es asegurar el rendimiento, la eficacia y la durabilidad de las medidas de protección a lo largo de toda la vida útil del inmueble.

5. DESARROLLO

Esta sección establece el procedimiento operativo para garantizar el aseguramiento de la calidad en la puesta en obra de los sistemas de mitigación de gas radón, alineando la ejecución material con las exigencias del Código Técnico de la Edificación, estructurado en tres fases:

5.1 Control previo a la ejecución

Se verificará que el proyecto y las condiciones iniciales permiten una correcta ejecución de los sistemas de protección.

5.1.1 Revisión del proyecto

El CTE DB-HS 6 determina que la obligatoriedad y combinación de los sistemas de protección frente al radón dependen de dos factores condicionantes: la zona de riesgo del término municipal y el estado constructivo del edificio (obra de nueva planta o intervención en edificio existente). Esta categorización define el alcance del control de calidad a realizar.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

5.1.1.1 Clasificación de municipio con zona de radón:

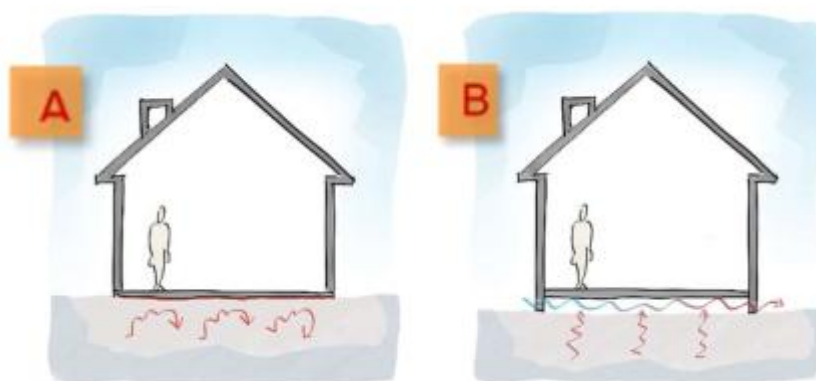
Se debe definir y comprobar a qué zona (Zona I o Zona II) de exposición corresponde el término municipal donde se ubica el inmueble, consultando obligatoriamente el listado del Apéndice B del DB-HS 6, ver anexo 1.

5.1.1.2 Clasificación según el tipo de intervención

OBRAS DE NUEVA PLANTA

En los proyectos de edificación de nueva construcción, el diseño y la ejecución se encuentran estrictamente pautados por la normativa vigente, siendo preceptivo verificar durante la fase de inspección el cumplimiento de las siguientes exigencias:

- **Edificios ubicados en Zona 1:** Se debe de validar la instalación de una barrera de protección (Solución A) o, como alternativa técnica, un espacio de contención ventilado (Solución B). Siendo en los municipios de la Zona 1 = A o B.



*Ilustración 1: Barrera de protección (A) y cámara de aire ventilada (B). Fuente: DB-HS 6
Conceptos básicos sobre la modificación del Código Técnico de la Edificación.*

- **Edificios ubicados en Zona 2:** Resulta imperativo verificar la ejecución combinada de dos sistemas: se exigirá la instalación obligatoria de una barrera de protección (Solución A), complementada con un sistema adicional de mitigación, que podrá ser un espacio de contención ventilado (Solución B) o un

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

sistema de despresurización del terreno (Solución C). Siendo en los municipios de la Zona 2= A+ (B o C).

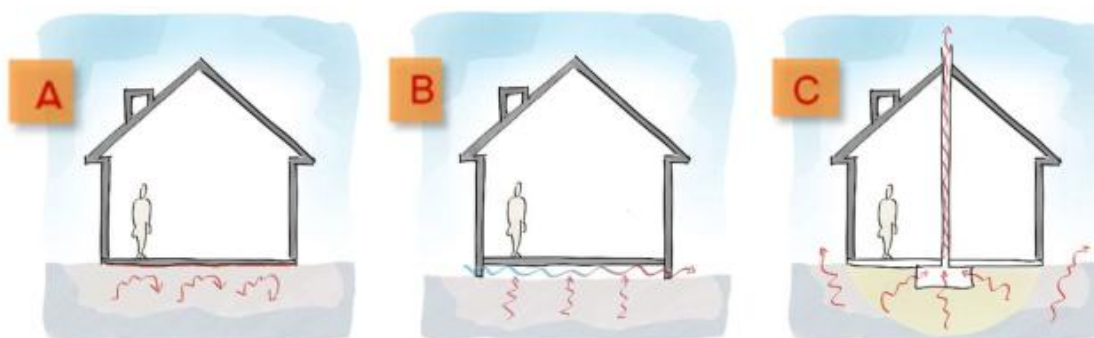


Ilustración 2: Barrera de protección (A), cámara de aire ventilada y Despresurización del suelo (C). Fuente: DB-HS 6 Conceptos básicos sobre la modificación del Código Técnico de la Edificación.

INTERVENCIONES EN EDIFICIOS EXISTENTES

En las intervenciones sobre edificios existentes (rehabilitación, reforma o cambio de uso), la aplicación del DB-HS 6 se rige por el principio de proporcionalidad respecto a la zona intervenida y bajo el criterio de flexibilidad del CTE, persiguiendo alcanzar el mayor grado de adecuación efectiva posible. A nivel operativo, el dimensionamiento de los sistemas de mitigación se determina mediante mediciones previas in situ: el proyecto quedará exento si la concentración es inferior al nivel de referencia ($<300 \text{ Bq/m}^3$), deberá adoptar soluciones de Zona I para valores intermedios (entre 300 y 600 Bq/m^3), y exigirá la ejecución de las medidas de Zona II si la concentración supera el doble del límite normativo ($>600 \text{ Bq/m}^3$).

Cuando la preexistencia arquitectónica impida implementar las soluciones estándar de obra nueva (solución A, B o C), la normativa habilita el uso de medidas alternativas, siendo un requisito ineludible garantizar los caudales reglamentarios de ventilación interior. En obras existentes aparecen como soluciones el sellado de cerramientos (Solución D) y la mejora de ventilación interior (Solución E). La inspección técnica verificará rigurosamente el sellado físico y la hermeticidad en grietas, juntas de dilatación, pasos de instalaciones y encuentros entre solera y muro, asegurando que

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

el grado de protección alcanzado bloquee de forma eficaz la entrada del gas a los espacios habitables.

- **Sellado de cerramientos (Solución D):** Esta medida tiene como objetivo bloquear las vías preferentes de entrada del radón obturando los puntos débiles de la envolvente existente.

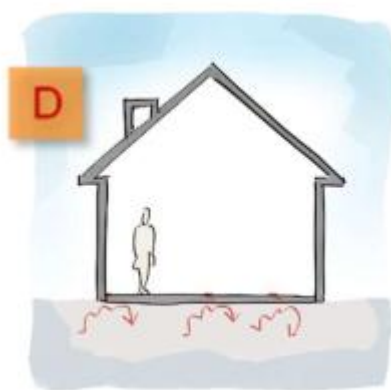


Ilustración 3: Sellados de cerramientos. Fuente: DB-HS 6 Conceptos básicos sobre la modificación del Código Técnico de la Edificación.

- **Mejora de la ventilación interior (Solución E):** Esta solución complementaria consiste en incrementar la tasa de renovación de aire de los recintos habitables para diluir la concentración del gas.



Ilustración 4: Mejora de la ventilación. Fuente: DB-HS 6 Conceptos básicos sobre la modificación del Código Técnico de la Edificación.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

5.1.1.3 Identificación de sistema de mitigación

Se verifica que el sistema elegido (barrera de protección, espacio de contención ventilado o despresurización del terreno) se ajusta a la zona de riesgo y clasificación identificada en el punto anterior.

5.1.2 Monitoreo de concentración de radón

El Apéndice C (ver anexo 2) del Documento Básico DB-HS 6 establece una metodología unificada para esta determinación, la cual resulta aplicable tanto en fases de diagnóstico previo en edificios existentes como en la verificación de la eficacia de las soluciones ejecutadas.

Este procedimiento se estructura en tres fases técnicas: muestreo, medición y estimación del promedio anual de concentración. Para garantizar la validez de los datos obtenidos en estas fases, el protocolo de aseguramiento exige la evaluación de un informe técnico emitido obligatoriamente por un laboratorio acreditado (conforme a la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 o equivalente), debiendo auditarse los siguientes requisitos:

5.1.2.1 Fase de muestreo

Las zonas de muestreo priorizarán las plantas bajo rasante y las dos primeras sobre rasante habitables. Se instalará un detector por planta y por cada 200 m² de superficie útil. Siendo en áreas no compartimentadas una cada 400 m² para superficies entre 1.000 y 5.000 m², o cada 500 m² si superan los 5.000 m². Para medidores pasivos, se ubicará un equipo de control en áreas de bajo radón para lotes de 15 a 25 detectores, añadiendo uno extra por cada 20 adicionales.

5.1.2.2 Fase de medición

Se deben tener en cuenta los siguientes puntos clave para asegurar la validez técnica y documental del ensayo:

- **Control documental riguroso:** Es obligatorio mantener un registro cronológico exacto que vincule las fechas y horas específicas de instalación y retirada con el código único de cada detector.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

- **Tiempo mínimo de exposición:** Se debe garantizar y verificar que los equipos permanezcan instalados durante un plazo de al menos dos meses ininterrumpidos, requisito normativo para asegurar la representatividad temporal de la muestra.
- **Posicionamiento espacial adecuado:** Se deben de instalar los dispositivos entre 50 y 180 cm sobre el nivel del suelo, con una distancia de separación mínima de 30 cm de cualquier pared o puerta y de otros objetos a 10cm.
- **Prohibiciones de ubicación:** Queda expresamente prohibido instalar los medidores en lugares que puedan alterar la lectura empírica, tales como recintos cerrados (armarios, cajones, etc.), puntos sometidos a corrientes de aire directas, zonas expuestas directamente a la radiación solar, áreas próximas a fuentes de calor.

5.1.2.3 Fase de estimación

Según el Apéndice C del DB HS-6, la Dirección Facultativa o Entidad de Control es responsable de estimar el promedio anual a partir de los datos brutos del laboratorio, aplicando estos criterios:

- **Cálculo del valor representativo de zona:** Cuando se han instalado 1 o 2 detectores se adoptará la medición más alta y con 3 o más detectores se calculará la media aritmética.
- **Estimación del Promedio Anual:** Para compensar la medición de corta duración (mínimo dos meses), el valor representativo anterior debe multiplicarse por un factor de corrección de 1,4. El resultado de esta operación será la estimación oficial para comparar con el nivel de referencia normativo y emitir el dictamen final.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

5.1.3 Revisión de materiales

En concordancia con las exigencias del DB-HS 6, este procedimiento operativo debe regirse estrictamente por los criterios y niveles de inspección definidos en el artículo 7.2 de la Parte I del CTE. Para garantizar que las características técnicas de los materiales suministrados (barreras anti-radón, sellantes, tuberías o extractores) satisfacen lo proyectado, la Dirección Facultativa auditará el suministro mediante los siguientes bloques de control:

5.1.3.1 Control documental de los suministros (Art. 7.2.1)

Se deben comprobar exhaustivamente los albaranes de entrega, identificando que el producto recibido corresponde con el prescrito. Se verificará la aportación de los certificados de garantía del fabricante y la posesión del preceptivo Marcado CE y su correspondiente Declaración de Prestaciones (DoP) para todos los productos sujetos a normativa europea.

5.1.4 Planificación de ejecución

De acuerdo con las exigencias constructivas y de control derivadas del DB-HS 6, el inicio físico de los trabajos exige la definición previa y la integración en el cronograma maestro de la obra de los siguientes aspectos críticos:

- **Coordinación de interferencias (Tajado de obra):** Las medidas de protección frente al radón interactúan directamente con la estructura y las redes de saneamiento, fontanería y electricidad. Es indispensable planificar la secuencia de trabajos para garantizar que todos los elementos pasantes (tuberías, conducciones y pilares) estén ejecutados y replanteados antes de instalar la barrera pasiva o la red de captación, permitiendo así su correcto sellado perimetral y evitando perforaciones a posteriori.
- **Adecuación y recepción del soporte físico:** Se debe planificar la entrega del tajo por parte del equipo de movimiento de tierras o cimentación. Se inspeccionará previamente la capa de regularización, encachado u hormigón de limpieza, asegurando que presenta la planimetría exigida, está libre de rebabas,

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

cascotes o resaltos mecánicos que supongan un riesgo de punzonamiento o desgarró para la lámina protectora.

- **Gestión de condicionantes termo-higrométricos:** La aplicación de los materiales que garantizan la estanqueidad (especialmente las masillas de poliuretano, cintas expansivas o polímeros de sellado para juntas y solapes) está supeditada a las prescripciones del fabricante. Se deben contemplar en la planificación las "ventanas climáticas" admisibles, evitando programar estas tareas con temperaturas extremas o alta humedad en el soporte que puedan comprometer la adherencia química del sistema.

5.2 Control durante la ejecución

Una vez definido el sistema de mitigación, validados los materiales y planificados los tajos, se procede a la revisión in situ de la instalación física de los sistemas de mitigación, en estricto cumplimiento del artículo 7.3 de la Parte I del CTE. Las verificaciones se realizarán de acuerdo al sistema de mitigación seleccionado:

5.2.1 Barreras de protección

Para asegurar su correcto funcionamiento, la inspección técnica deberá verificar de manera exhaustiva el cumplimiento de las siguientes exigencias constructivas críticas en obras nuevas:

5.2.1.1 Acondicionamiento de la base

Se verificará que la barrera se instale sobre una superficie completamente limpia y uniforme para prevenir tensiones que deriven en fisuras. Cuando sea una barrera tipo lámina se debe asentar directamente sobre el terreno o sobre una subbase granular, se exigirá la ejecución previa de una capa de hormigón de limpieza o mortero de cal hidráulico, garantizando la total ausencia de resaltos o elementos que puedan dañar la membrana.

5.2.1.2 Protección antipunzonamiento

Se comprobará la disposición de capas protectoras antipunzonamiento complementarias en aquellos casos donde la barrera prescrita no cuente con dichas características mecánicas de forma intrínseca.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

5.2.1.3 Tratamiento de juntas y puntos singulares

Se inspeccionará el refuerzo sistemático de la lámina en esquinas, rincones y pasos de conducciones. Se revisará que los solapes y las uniones entre los distintos tramos se encuentren convenientemente sellados utilizando productos que garanticen la estanqueidad ininterrumpida al gas radón (tales como masillas flexibles, perfiles de goma, recubrimientos plásticos o pinturas aislantes).

5.2.1.4 Entregas y prolongación vertical

Se controlará métricamente que la barrera horizontal ascienda y se prolongue de forma continua por los paramentos verticales (muros y fachadas) hasta alcanzar, como mínimo, 20 cm por encima de la cota exterior definitiva del terreno.

5.2.1.5 Estanqueidad de registros y huecos pasantes

Se verificará que los pozos de registro, arquetas de acometida, patinillos y demás elementos en contacto con el terreno no generen discontinuidades en el sistema. Se validará que estos elementos mantengan la estanqueidad a los gases, bien mediante su ejecución con hormigón armado impermeable, la aplicación de un recubrimiento estanco, o envolviéndolos directamente con la propia barrera anti-radón.

5.2.1.6 Protección durante el hormigonado

Se llevará a cabo una supervisión in situ de las precauciones adoptadas durante el vertido y vibrado del hormigón estructural para garantizar que la membrana anti-radón no sufra desgarros ni desplazamientos.

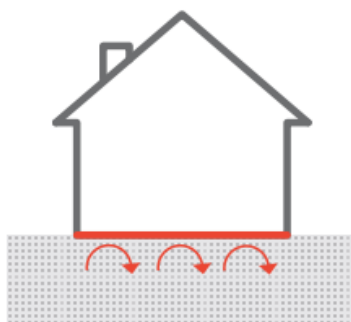


Ilustración 5: Barrera de protección frente al radón. Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------



Ilustración 6: Solape entre dos láminas. Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

5.2.1.7 Intervención en edificios existentes

En intervenciones sobre edificios existentes donde sea inviable instalar una barrera convencional, los propios cerramientos en contacto con el terreno asumirán la función de contención. Se verificará el sellado de todas sus grietas y juntas, la total estanqueidad a los gases de cualquier elemento de paso que comunique con locales habitables (puertas o trampillas), el correcto funcionamiento de sus mecanismos de cierre automático y el estricto cumplimiento de las exigencias normativas de ventilación del espacio.

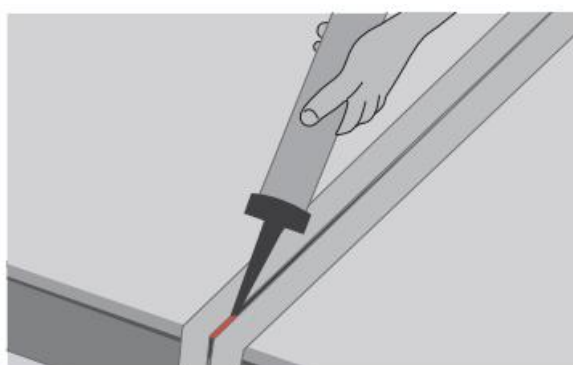


Ilustración 7: Sellado de una junta de dilatación en solera. Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

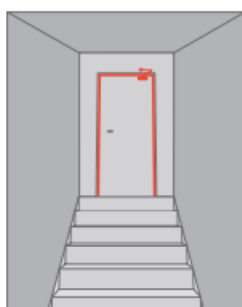
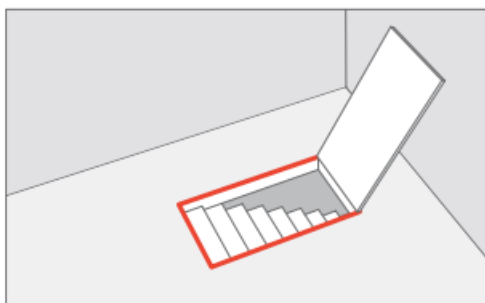


Ilustración 8: Ejemplo de puertas estancas: trampilla o cámara sanitaria (arriba) y puerta de bajada a sótano (abajo). Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

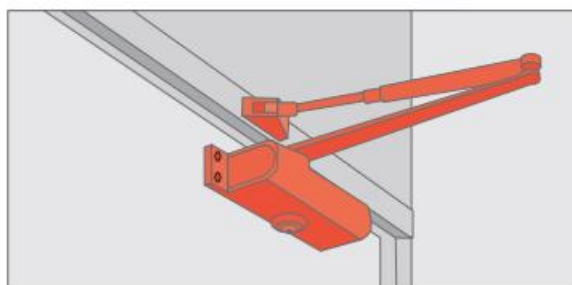


Ilustración 9: Mecanismo de cierre automático. Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

5.2.2 Espacio de contención ventilado

En aquellos casos donde la solución técnica consista en la ejecución de un espacio de contención ventilado (ya sea mediante cámaras de aire horizontales, verticales o locales no habitables), el protocolo de aseguramiento técnico centrará la inspección in situ en garantizar su correcta configuración y capacidad de ventilación. La Dirección Facultativa auditará el cumplimiento de las siguientes exigencias:

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

5.2.2.1 Ventilación natural

- **Cámaras de aire horizontales:** Las aberturas de ventilación deben disponerse de forma homogénea en las fachadas, garantizando un área efectiva de al menos 10 cm² por metro lineal del perímetro de la cámara. En cámaras con una superficie menor a 100 m², se validará que ningún punto de la misma diste más de 10 metros de la abertura más próxima.
- **Cámaras de aire verticales:** Estas aberturas se ubicarán en la parte superior, cumpliendo la misma exigencia mínima de 10 cm² por metro lineal. Se verificará la ejecución de los elementos, tales como cámaras bufas exteriores o patios ingleses continuos. Se validará su correcta continuidad geométrica a lo largo del cerramiento, comprobando que mantienen su eficacia funcional y de ventilación, incluso en aquellos tramos en los que no se encuentren totalmente abiertos por su coronación o parte superior. En todo momento, estas vías de ventilación deben mantenerse libres de obstrucciones y comunicarse con el exterior.
- **Locales no habitables como contención:** Cuando se utilicen espacios como garajes o cuartos técnicos para contención de radón, se verificará que cuentan con el nivel de ventilación reglamentario establecido por el DB HS 3 o el RITE. En el apartado 2 Caracterización y cuantificación de la exigencia del documento DB HS 3 menciona que debe aportarse al menos el caudal de aire exterior suficiente para eliminar los contaminantes propios del uso de cada local (tales como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno en el caso de los aparcamientos).

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

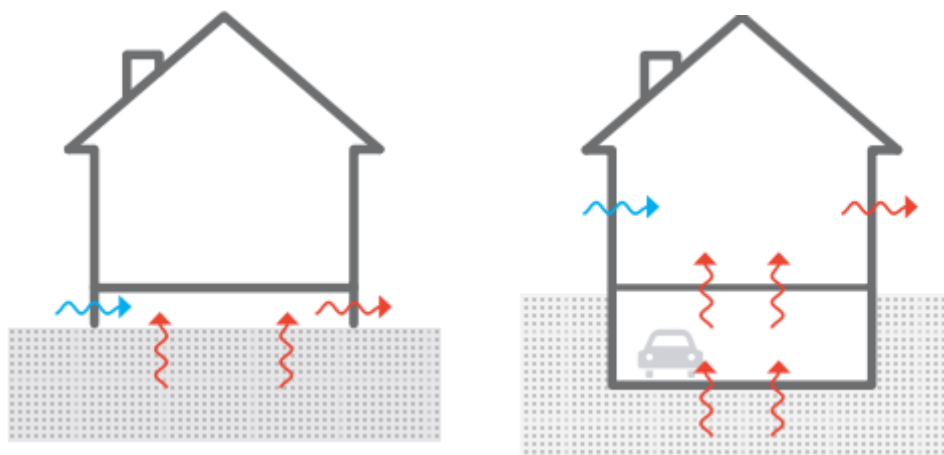


Ilustración 10: Ventilación natural del espacio de contención. Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

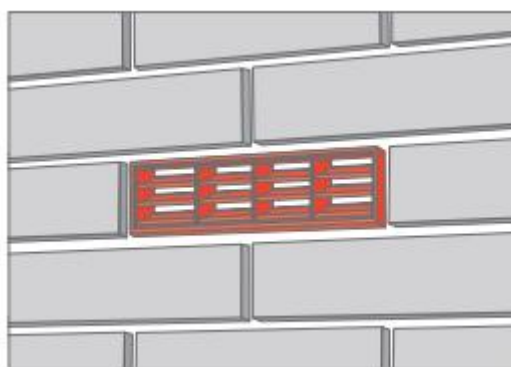


Ilustración 11: Abertura de ventilación. Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

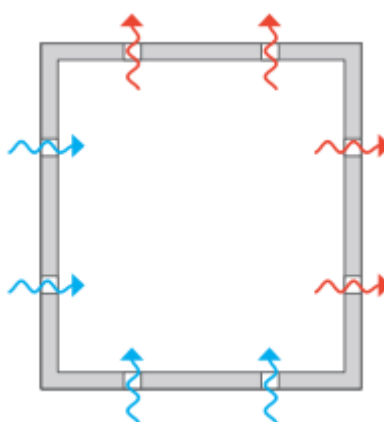


Ilustración 12: Distribución de aberturas en planta. Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

5.2.2.2 Ventilación mecánica

Se verificará la adecuación y el tratamiento de la superficie del terreno situada bajo la cámara de ventilación. Con el fin de garantizar la estabilización del soporte, se supervisará la disposición de una capa previa de hormigón de limpieza, validando que el espacio quede libre de irregularidades o acumulación de tierras. El diseño deberá situar las aberturas de admisión lo más lejos posible de las aberturas de extracción para optimizar el barrido del aire.

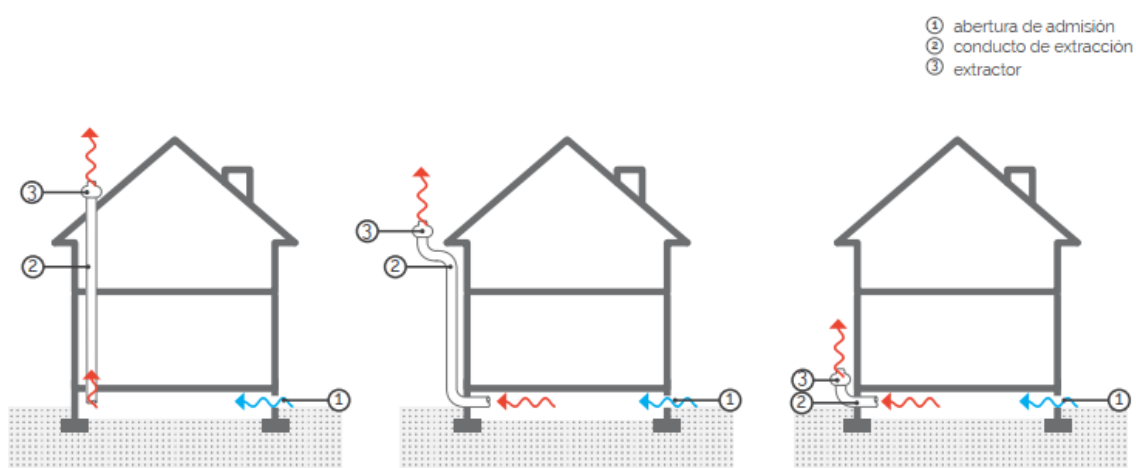


Ilustración 13: Conducto de extracción con extractor hasta cubierta por el interior del edificio (izquierda.), por el exterior (centro) y en fachada (derecha.). Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

5.2.2.3 Intervención en edificios existentes

Para aquellos edificios existentes que carezcan de cámara de aire original, la normativa habilita la ejecución de una solución alternativa de mitigación mediante la creación de una cámara adosada al cerramiento en contacto con el terreno. Esta intervención, siempre que resulte viable, podrá ejecutarse principalmente a través de una cámara sanitaria ventilada en el plano horizontal exterior o una cámara bufa en el plano vertical interior. En ambos casos, la intervención deberá cubrir la totalidad de la superficie del cerramiento. Desde la perspectiva del control de ejecución, la validación de este sistema requerirá que la inspección técnica audite rigurosamente tres parámetros críticos: la continuidad ininterrumpida de la cámara sobre la totalidad de la superficie a proteger, la existencia de una comunicación funcional y efectiva con el

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

exterior para garantizar la evacuación del gas, y la comprobación dimensional de un espesor libre estructural nunca inferior a 5 cm.

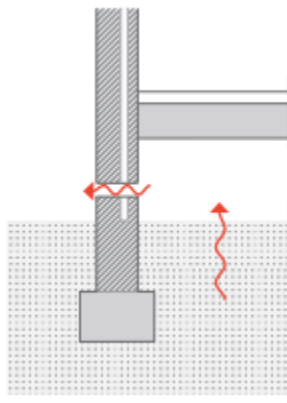


Ilustración 14: Cámara sanitaria ventilada. Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

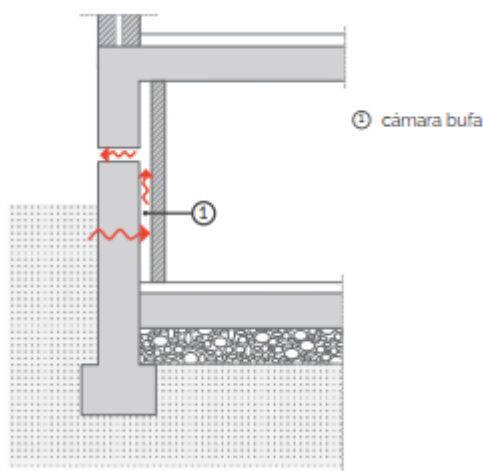


Ilustración 15: Cámara ventilada vertical interior. Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

5.2.3 Despresurización del terreno

Para las soluciones técnicas basadas en la despresurización del terreno, el protocolo de aseguramiento técnico exigirá la inspección presencial de la red de extracción bajo la solera. La revisión de ejecución validará el cumplimiento de las siguientes directrices operativas:

5.2.3.1 Posicionamiento de la red de captación

Se verificará que los elementos de captación, tanto las arquetas como los tubos perforados, se instalen perfectamente centrados respecto al espesor total de la capa de relleno granular. Esta comprobación es crítica para asegurar que el sistema utilice toda su superficie útil en la extracción del aire intersticial.

5.2.3.2 Protección del sistema de extracción

De forma previa al vertido directo del hormigón de la solera sobre la capa de relleno, se supervisará la colocación de un elemento separador filtrante (como, por ejemplo, una lámina de geotextil). Se auditará que esta protección cubra la totalidad de la superficie para evitar que se saturen los huecos del material granular o inutilicen hidráulicamente las arquetas y los tubos perforados.

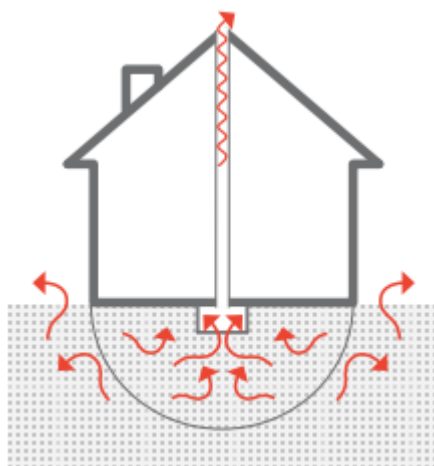


Ilustración 16: Despresurización del terreno. Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

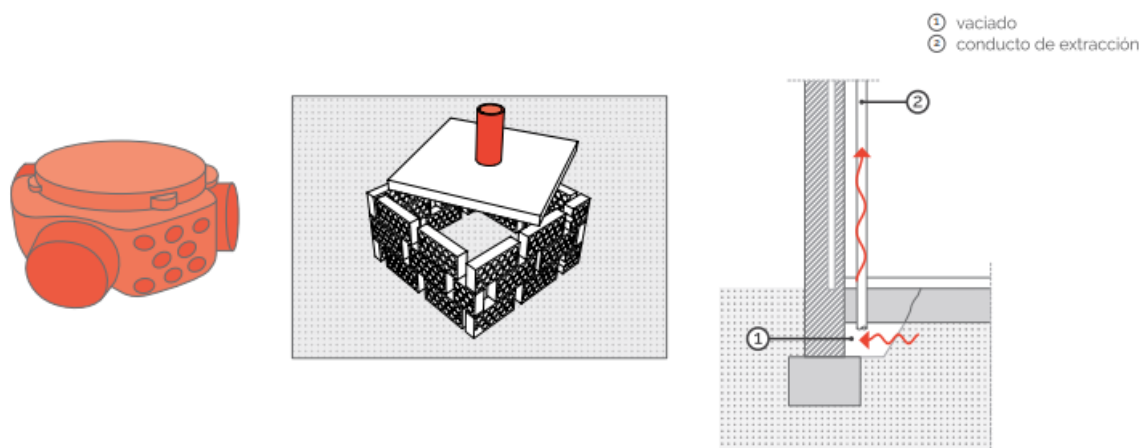


Ilustración 17: Distintos tipos de arquetas: prefabricada (izquierda), de obra de ladrillo (centro) y realizada con un pequeño vaciado (derecha). Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

5.2.3.3 Intervención en edificios existentes

Cuando la configuración estructural del edificio existente imposibilite la instalación del sistema de mitigación bajo la solera, la normativa consiente su disposición perimetral en el terreno exterior adyacente. En esta casuística, el control técnico previo a los trabajos de excavación cobra una importancia crítica: la Dirección Facultativa deberá exigir y auditar obligatoriamente un estudio específico que valide la solución adoptada, garantizando que la intervención no compromete la estabilidad de la cimentación preexistente y certificando analíticamente que el diseño exterior asegura una dinámica eficaz de circulación de aire bajo la huella del edificio.

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

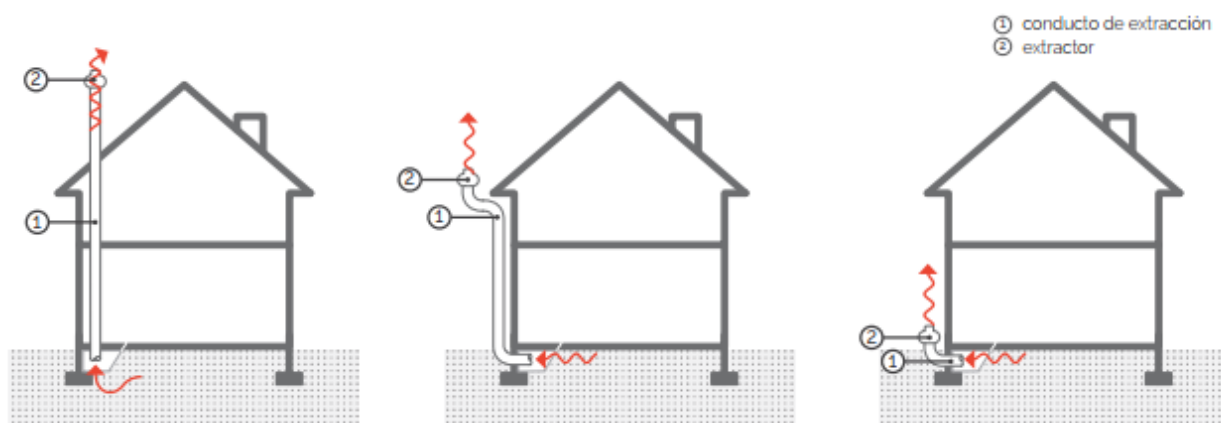


Ilustración 18: Conducto de extracción a cubierta por el interior del edificio (izquierda) y por el exterior (centro) y a fachada (derecha). Fuente: Guía de Rehabilitación frente al radón.

5.3 Control final

La finalización material de los trabajos de impermeabilización y/o despresurización no exime del control operativo. De conformidad con lo estipulado en el apartado 5.3 Control de obra terminada del DB-HS 6 y en estricto cumplimiento del artículo 7.4 Control de la obra terminada de la Parte I del Código Técnico de la Edificación (CTE), el control final de obra tiene como objetivo validar que las soluciones implementadas han alcanzado los niveles de prestación exigidos en el proyecto.

5.3.1 Control mediante evaluaciones de idoneidad técnica (Art. 7.2.2)

La validación técnica de la barrera de protección frente al radón dependerá estrictamente de su tipología. Para los sistemas tipo lámina, la inspección verificará de forma objetiva y documental que el material garantiza un coeficiente de difusión inferior a $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ y un espesor efectivo mínimo de 2 mm. Si el proyecto contempla soluciones o materiales de barrera alternativos, el control de idoneidad exigirá acreditar que la tasa de exhalación de radón (E) a través de los mismos se mantiene siempre por debajo de la exhalación límite normativa (E_{lim}), siendo ($E < E_{\text{lim}}$).

	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE EJECUCIÓN PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN	Ver: 00	FECHA: 19/05/2026
---	--	----------------	-----------------------------

5.3.2 Comprobaciones finales de servicio

Sobre la obra terminada, ya sea en su totalidad o sobre sus instalaciones parciales, se ejecutarán obligatoriamente las comprobaciones y evaluaciones operativas estipuladas en el diseño, las ordenadas por la Dirección Facultativa y las exigidas por los marcos regulatorios.

5.3.3 Gestión del Mantenimiento y Conservación

Para garantizar la eficacia y durabilidad de los sistemas anti-radón, las operaciones preventivas y correctivas se integrarán en un plan de mantenimiento dentro del Libro del Edificio (Art. 8, Parte I del CTE). Este plan exigirá cumplir las especificaciones de los fabricantes, revisar el funcionamiento de los extractores mecánicos y planificar las auditorías de medición ambiental para verificar el sistema, conforme a la tabla 1.

Tabla 1: Operaciones de mantenimiento. Fuente: Documento Básico HS 6 Salubridad, 2022.

	Operación	Periodicidad
Conductos	Limpieza	1 año
	Comprobación de la estanquidad aparente	5 años
Aberturas	Limpieza	1 año
Extractores	Limpieza	1 año
	Revisión del estado de funcionalidad	5 años
Filtros	Revisión del estado	6 meses
	Limpieza o sustitución	1 año
Sistemas de control	Revisión del estado de sus automatismos	2 años

6. FORMATOS

- PAT.RAD-001: Protocolo de control obra nueva planta.
- PAT.RAD-002: Protocolo de control intervención en edificios existentes.

	SISTEMA DE PROTECCIÓN FRENTE AL RADÓN		PAT.RAD-001	
	PROTOCOLO DE CONTROL DE EJECUCIÓN		Ver: 00	Fecha: 07/05/2026
	OBRA DE NUEVA PLANTA		Página: 1 de 2	

PROYECTO:	REGISTRO N°:
MUNICIPIO:	FECHA:
ZONA: ZONA I ☐ ZONA II ☐	ZONA I : A o B ZONA II : A+ (B o C)
SISTEMA DE MITIGACIÓN: A. BARRERA DE PROTECCIÓN ☐ B. ESPACIO DE CONTENCIÓN VENTILADO ☐ C. DESPRESURIZACIÓN ☐	
C. SELLADO DE CERRAMIENTOS ☐ D. MEJORA DE VENTILACIÓN ☐	

I. CONTROL PREVIO					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	CUMPLE	NO CUMPLE	NO APLICA	OBSERVACIÓN
1	Revisión del proyecto Verificación en el Apéndice B del DB-HS 6 de que el municipio corresponde a la zona definida en proyecto.				
2	Definición de sistema de mitigación por zona : ZONA I = A o B , ZONA II = A+(B+C)				
3	Revisión de materiales Validación de albaranes frente a las especificaciones técnicas y verificación de documentación :Marcado CE, Declaración de Prestaciones (DdP) y certificado de garantía)				
4	Planificación de la ejecución Replanteo de todos los elementos pasantes (instalaciones y estructura). Comprobación de que la superficie base presenta la planimetría exigida y está libre de elementos punzantes.				
5	Verificación de las condiciones termo-higrométricas (temperatura/humedad) según las especificaciones del fabricante para asegurar la adherencia química de los sellantes				

II. CONTROL DURANTE LA EJECUCIÓN					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	CUMPLE	NO CUMPLE	NO APLICA	OBSERVACIÓN
A. Barreras de protección					
1	Acondicionamiento de la base Verificación de superficie base uniforme, con capa de limpieza libre de elementos punzantes, y disposición de capas protectoras si la lámina lo requiere				
2	Tratamiento de juntas y puntos singulares Inspección del refuerzo y sellado continuo en solapes, esquinas y pasos de conducciones. Revisión de uniones entre tramos que garanticen la estanqueidad ininterrumpida.				
3	Remate perimetral vertical Control métrico de la prolongación vertical de la barrera (mínimo 20 cm sobre la cota exterior del terreno).				
4	Protección en el hormigonado Supervisión in situ del vertido y vibrado para prevenir desgarros, punzonamientos o desplazamientos de la membrana.				
B. Espacio de contención ventilado					
Ventilación natural					
1	Cámaras de aire horizontales Distribución homogénea en las fachadas, garantizando un área efectiva de al menos 10 cm ² /m lineal del perímetro de la cámara y distancia máxima de 10 m de la abertura próxima para cámaras con una superficie menor a 100 m ² .				
2	Cámaras de aire verticales Verificación de ejecución de elementos como cámaras bufas exteriores o patios ingleses continuos, aberturas en exteriores libres de obstrucciones mínimas de 10 cm ² /m lineal y continuidad geométrica.				
3	Locales no habitables como contención Verificación del caudal de ventilación en garajes o cuartos técnicos empleados como contención (según DB HS 3 o RITE), garantizándose la eliminación de contaminantes propios del uso (monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno en el caso de los aparcamientos).				

	SISTEMA DE PROTECCIÓN FRENTE AL RADÓN		PAT.RAD-001		
	PROTOCOLO DE CONTROL DE EJECUCIÓN		Ver: 00	Fecha: 07/05/2026	
	OBRA DE NUEVA PLANTA		Página: 2 de 2		
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	CUMPLE	NO CUMPLE	NO APLICA	OBSERVACIÓN
Ventilación mecánica					
1	Control del espacio de contención Verificación de la capa bajo la cámara mediante hormigón de limpieza (superficie expedita y sin irregularidades) y comprobación de la máxima separación geométrica entre las aberturas de admisión y extracción para optimizar el barrido de aire.				
C. Despresurización del terreno					
1	Definición de elemento de captación - Arquetas prefabricadas de plástico ☐ - Arquetas de obra ☐ - Realización de pequeños vaciados contra terreno ☐				
2	Posicionamiento de la red de captación Control de la cota de instalación de la red de captación (arquetas y tubos perforados), garantizando su centrado exacto en el espesor del relleno granular para maximizar la extracción del aire intersticial.				
3	Protección del sistema de extracción Verificación previa al hormigonado de la cobertura total del separador filtrante (geotextil) sobre el relleno, para prevenir la colmatación del material granular y proteger la red de captación.				
III. CONTROL FINAL					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	CUMPLE	NO CUMPLE	NO APLICA	OBSERVACIÓN
1	Comprobaciones finales de servicio Comprobación de la eficacia del sistema de mitigación ejecutado mediante mediciones de concentración de radón.				
2	Plan de mantenimiento Verificación documental de la inclusión del plan de mantenimiento (preventivo/correctivo) y especificaciones de fabricantes en el Libro del Edificio.				
3	Validación de la programación de futuras revisiones durante la vida útil de los sistemas de mitigación ejecutados.				
4	Control de idoneidad técnica (caso específico de barreras antiradón) Validación técnica, objetiva y documental de barreras: Verificación documental de coeficiente de difusión inferior a 10^{-11} m ² /s y espesor mín de 2 mm en láminas; o acreditación de exhalación ($E < E_{lim}$) en sistemas alternativos.				
OBSERVACIONES:					
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:	
Firma:		Firma:		Firma:	
Cargo:		Cargo:		Cargo:	
Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

P C PATRICIA CAHUANA	SISTEMA DE PROTECCIÓN FRENTE AL RADÓN		PAT.RAD-002	
	PROTOCOLO DE CONTROL DE EJECUCIÓN		Ver: 00	Fecha: 07/05/2026
	INTERVENCIÓN EN EDIFICIOS EXISTENTES		Página: 1 de 3	

PROYECTO:

REGISTRO N°:

MUNICIPIO:

FECHA:

ZONA:

ZONA I

ZONA II

ZONA I : A o B

ZONA II : A + (B o C)

ÁMBITO DE APLICACIÓN:

AMPLIACIÓN

CAMBIO DE USO

REFORMA

SISTEMA DE MITIGACIÓN:

A.BARRERA DE PROTECCIÓN

B. ESPACIO DE CONTENCIÓN VENTILADO

C. DESPRESURIZACIÓN

D. SELLADO DE CERRAMIENTOS

E. MEJORA DE VENTILACIÓN

I. CONTROL PREVIO

ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	CUMPLE	NO CUMPLE	NO APLICA	OBSERVACIÓN
1	Revisión del proyecto Verificación de que el informe del laboratorio acreditado conforme a la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 o equivalente certifica un periodo de exposición de los detectores de al menos 2 meses, validando la representatividad de la muestra.				
2	Verificación de resultados de medición : <300 Bq/m³= exención <600 Bq/m³ = ZONA I >600 Bq/m³ = ZONA II				
3	Definición del tipo de intervención y sistemas de mitigación que se ejecutará.				
4	Revisión de materiales Validación de albaranes frente a las especificaciones técnicas y verificación de documentación :Marcado CE, Declaración de Prestaciones (DdP) y certificado de garantía)				
5	Planificación de la ejecución Replanteo de todos los elementos pasantes (instalaciones y estructura). Comprobación de que la superficie base presenta la planimetría exigida y está libre de elementos punzantes.				
6	Verificación de las condiciones termo-higrométricas (temperatura/humedad) según las especificaciones del fabricante para asegurar la adherencia química de los sellantes				

II. CONTROL DURANTE LA EJECUCIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	CUMPLE	NO CUMPLE	NO APLICA	OBSERVACIÓN
A. Barreras de protección					
Instalación de barrera de protección					
1	Acondicionamiento de la base Verificación de superficie base uniforme, con capa de limpieza libre de elementos punzantes, y disposición de capas protectoras si la lámina lo requiere				
2	Tratamiento de juntas y puntos singulares Inspección del refuerzo y sellado continuo en solapes, esquinas y pasos de conducciones. Revisión de uniones entre tramos que garanticen la estanqueidad ininterrumpida.				
3	Remate perimetral vertical Control métrico de la prolongación vertical de la barrera (mínimo 20 cm sobre la cota exterior del terreno).				
4	Protección en el hormigonado Supervisión in situ del vertido y vibrado para prevenir desgarros, punzonamientos o desplazamientos de la membrana.				
De no ser posible la instalación					
1	Se verificará el cerramiento existente como barrera: inspección del sellado de juntas/grietas y comprobación de estanqueidad (con cierre automático) en accesos.				

		SISTEMA DE PROTECCIÓN FRENTE AL RADÓN			PAT.RAD-002	
		PROTOCOLO DE CONTROL DE EJECUCIÓN			Ver: 00	Fecha: 07/05/2026
		INTERVENCIÓN EN EDIFICIOS EXISTENTES			Página: 2 de 3	
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	CUMPLE	NO CUMPLE	NO APLICA	OBSERVACIÓN	
B. Espacio de contención ventilado						
Ventilación natural						
1	Cámaras de aire horizontales Distribución homogénea en las fachadas, garantizando un área efectiva de al menos 10 cm ² /m lineal del perímetro de la cámara y distancia máxima de 10 m de la abertura próxima para cámaras con una superficie menor a 100 m ² .					
2	Cámaras de aire verticales Verificación de ejecución de elementos como cámaras bufas exteriores o patios ingleses continuos, aberturas en exteriores libres de obstrucciones mínimas de 10 cm ² /m lineal y continuidad geométrica.					
3	Locales no habitables como contención Verificación del caudal de ventilación en garajes o cuartos técnicos empleados como contención (según DB HS 3 o RITE), garantizándose la eliminación de contaminantes propios del uso (monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno en el caso de los aparcamientos).					
Ventilación mecánica						
1	Control del espacio de contención Verificación de la capa bajo la cámara mediante hormigón de limpieza (superficie expedita y sin irregularidades) y comprobación de la máxima separación geométrica entre las aberturas de admisión y extracción para optimizar el barrido de aire.					
De no ser posible una cámara de aire						
1	Comprobación dimensional del espesor de la cámara (>5 cm), verificación de su continuidad geométrica sin interrupciones sobre el cerramiento de contacto y control de las vías de ventilación al exterior."					
C. Despresurización del terreno						
Instalación de sistema de despresurización						
1	Definición de elemento de captación - Arquetas prefabricadas de plástico ☐ - Arquetas de obra ☐ - Realización de pequeños vaciados contra terreno ☐					
2	Posicionamiento de la red de captación Control de la cota de instalación de la red de captación (arquetas y tubos perforados), garantizando su centrado exacto en el espesor del relleno granular para maximizar la extracción del aire intersticial.					
3	Protección del sistema de extracción Verificación previa al hormigonado de la cobertura total del separador filtrante (geotextil) sobre el relleno, para prevenir la colmatación del material granular y proteger la red de captación.					
De no ser posible la instalación bajo solera						
1	Verificación del estudio específico obligatorio (cimentación y circulación de aire) para validar la instalación exterior perimetral de sistemas de mitigación.					
III. CONTROL FINAL						
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	CUMPLE	NO CUMPLE	NO APLICA	OBSERVACIÓN	
1	Comprobaciones finales de servicio Comprobación de la eficacia del sistema de mitigación ejecutado mediante mediciones de concentración de radón.					
2	Plan de mantenimiento Verificación documental de la inclusión del plan de mantenimiento (preventivo/correctivo) y especificaciones de fabricantes en el Libro del Edificio.					
3	Validación de la programación de futuras revisiones durante la vida útil de los sistemas de mitigación ejecutados.					

		SISTEMA DE PROTECCIÓN FRENTE AL RADÓN		PAT.RAD-002	
		PROTOCOLO DE CONTROL DE EJECUCIÓN		Ver: 00	Fecha: 07/05/2026
		INTERVENCIÓN EN EDIFICIOS EXISTENTES		Página: 3 de 3	
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	CUMPLE	NO CUMPLE	NO APLICA	OBSERVACIÓN
4	Control de idoneidad técnica (caso específico de barreras antiradón) Validación técnica, objetiva y documental de barreras: Verificación documental de coeficiente de difusión inferior a 10^{-11} m ² /s y espesor mín de 2 mm en láminas; o acreditación de exhalación ($E < E_{lim}$) en sistemas alternativos.				
OBSERVACIONES:					
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:	
Firma:		Firma:		Firma:	
Cargo:		Cargo:		Cargo:	
Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

El presente Trabajo de Fin de Máster ha permitido analizar la problemática asociada a la presencia de gas radón en edificaciones, abordando de manera integral tanto sus graves implicaciones para la salud humana como las exigencias normativas y soluciones constructivas destinadas a limitar su acumulación en espacios interiores. Sobre la base de este análisis técnico y la revisión del marco regulatorio vigente, se ha desarrollado un procedimiento de control de ejecución que sintetiza las conclusiones principales del estudio, las cuales se exponen a continuación:

- El análisis del marco normativo permite identificar las mejoras en materia de protección radiológica, consolidando al DB-HS 6 del Código Técnico de la Edificación como la principal herramienta técnica en España. Se ha verificado la eficacia de su enfoque metodológico, que pauta soluciones constructivas diferenciadas y adaptadas tanto a la zonificación de riesgo geológico como a la tipología de la intervención (obra nueva o rehabilitación).
- La investigación confirma que, aunque el marco normativo actual (DB-HS 6) proporciona una base sólida para la protección frente al radón, la eficacia de las medidas no depende únicamente del diseño teórico, sino críticamente de la calidad de la ejecución material. La complejidad de los sistemas de mitigación exige una supervisión especializada que, en la práctica profesional actual, a menudo carece de protocolos sistemáticos de verificación.
- El desarrollo de un procedimiento de control de ejecución es la principal aportación del presente trabajo. Se identificaron los principales puntos críticos de control, estableciendo criterios de verificación y facilitando el seguimiento de la correcta implementación de las soluciones constructivas frente al radón en obra, planteándose como una herramienta práctica de apoyo para técnicos, direcciones facultativas y agentes implicados en el proceso edificatorio.
- El caso práctico desarrollado en un centro asistencial de Tres Cantos (Zona II) ha servido como validación in situ del procedimiento, permitiendo monitorizar el comportamiento temporal del radón y la influencia de las variables ambientales interiores sobre su exhalación. Aunque la campaña de medición posee un carácter

exploratorio, los resultados obtenidos ratifican que la integración sinérgica de una barrera continua con un sistema de ventilación de la cámara de aire constituye una estrategia de mitigación de alta fiabilidad constructiva, garantizando concentraciones de radón ampliamente inferiores al nivel de referencia de 300 Bq/m³.

En definitiva, la protección frente al radón debe abordarse desde un enfoque integral que combine normativa, diseño constructivo, correcta ejecución e inspección en obra. En este sentido, el control durante la fase de ejecución adquiere un papel fundamental para garantizar la eficacia de las soluciones implementadas y asegurar condiciones adecuadas de salubridad en los edificios. Asimismo, se considera necesario continuar desarrollando investigaciones y herramientas técnicas que permitan mejorar los procedimientos de control e inspección frente a este riesgo emergente en el ámbito de la edificación.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo del presente procedimiento de control de ejecución abre nuevas vías para optimizar la protección radiológica en el sector de la edificación, permitiendo extender esta metodología hacia campos más avanzados y tecnificados. Las futuras líneas de investigación se centran en los siguientes ejes:

- **Análisis de la durabilidad de los materiales de barrera en condiciones reales:** Aunque la guía verifica la correcta instalación, es necesario profundizar en el comportamiento a largo plazo de las barreras líquidas y láminas bajo el efecto del envejecimiento, la humedad y el asentamiento estructural. Estudios experimentales que midan la eficacia de estas soluciones tras 5 o 10 años de servicio en diferentes climas peninsulares aportarían un valor incalculable al CTE.
- **Adaptación del procedimiento a la rehabilitación energética profunda** Dada la creciente necesidad de rehabilitar el parque edificado existente para cumplir con los objetivos europeos de eficiencia energética, sería vital investigar cómo los sistemas de aislamiento térmico exterior (SATE) y la estanqueidad de envolventes afectan a la acumulación de radón. Se requiere un protocolo específico que integre la eficiencia energética con la protección radiológica, evitando que la mejora del aislamiento incremente el riesgo para los usuarios.
- **Aplicación de la filosofía Lean Construction en el control de calidad:** Una línea de investigación de enorme potencial es la adaptación de los fundamentos Lean al proceso de verificación del radón. La implementación de herramientas como el Last Planner System permitiría optimizar el flujo de trabajo entre los diversos agentes intervinientes, minimizando las actividades que no aportan valor y reduciendo los tiempos de espera en obra.

ANÁLISIS DE IMPACTO

La implementación de este protocolo de control de ejecución repercute de forma directa en múltiples dimensiones de la edificación. Su relevancia no es solo técnica, sino que se traduce en una mejora sustancial en tres frentes estratégicos: la seguridad sanitaria de los usuarios, la rentabilidad económica del proyecto y la solvencia en el cumplimiento del marco legal vigente.

1. Impacto en la salud pública (Sanitario): La consecuencia más directa de este control es la reducción del riesgo radiológico. Al garantizar una ejecución regida a los requisitos del CTE DB-HS 6, se mitiga el riesgo de exposición al gas radón, un agente carcinógeno clasificado por la Organización Mundial de la Salud cataloga como uno de los principales responsables del cáncer de pulmón en personas no fumadoras. Este procedimiento actúa como un filtro preventivo que asegura que la barrera teórica proyectada sea, en la realidad física de la obra, una barrera efectiva, salvaguardando así la salud de los usuarios finales y mejorando la calidad del ambiente interior.

2. Impacto en la calidad de la edificación (Técnico-Normativo): Este trabajo aporta en generar relación entre el diseño (fase proyectual) y la realidad constructiva. La falta de protocolos de inspección detallados ha sido un punto débil en el cumplimiento del CTE. El procedimiento propuesto eleva los estándares de calidad al estandarizar la verificación de puntos críticos, proporcionando a los directores de ejecución y a los organismos de control técnico una herramienta operativa, replicable y auditable.

3. Impacto socioeconómico y sostenibilidad: La implementación de este procedimiento reduce los costes asociados a futuras reparaciones o intervenciones correctivas. Una ejecución correcta desde el primer momento, basada en una supervisión efectiva, evita el alto impacto económico que supone un retrabajo sobre un edificio ya habitado cuando se detectan niveles de radón superiores a los permitidos. Además, al asegurar la eficacia de las medidas de protección, se fomenta una construcción más sostenible, donde la longevidad de las soluciones constructivas y el bienestar de los ocupantes se integran de manera eficiente, optimizando los recursos invertidos en la fase de construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, «El radón y sus efectos en la salud». Accedido: 9 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>
- [2] Asepeyo, «Aprobado el Plan Nacional contra el Radón - Portal Prevención». Accedido: 18 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://prevencion.asepeyo.es/aprobado-el-plan-nacional-contra-el-radon/>
- [3] J. Gaskin, D. Coyle, J. Whyte, y D. Krewski, «Global Estimate of Lung Cancer Mortality Attributable to Residential Radon», *Environ. Health Perspect.*, may 2018, doi: 10.1289/EHP2503.
- [4] Organización Mundial de la Salud, «Actividad del radón: cualquier actividad de radón a nivel nacional, existencia». Accedido: 11 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: [https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/existence-of-any-national-radon-activity-\(phe-radon-database\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/existence-of-any-national-radon-activity-(phe-radon-database))
- [5] Organización Mundial de la Salud, «MANUAL DE LA OMS SOBRE EL RADÓN EN INTERIORES», 2015.
- [6] Agencia Internacional para la investigación sobre el cáncer, *Evaluation of carcinogenic risks to humans man-made mineral fibres and radon*, 43.^a ed. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer ; Distributed for the International Agency for Research on Cancer by the Secretariat of the World Health Organization, 1988.
- [7] Environmental Law Institute, «Radon in Rental Housing. Legal and Policy Strategies for Reducing Health Risks», sep. 1994.
- [8] United States Environmental Protection Agency, «Riesgos para la salud del radón | EPA de EE. UU.». Accedido: 12 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/radon/health-risk-radon#head>
- [9] Organización Mundial de la Salud, «Radón». Accedido: 12 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>

- [10] L. T. N. Ngoc, D. Park, y Y. C. Lee, «Human Health Impacts of Residential Radon Exposure: Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Case–Control Studies», 1 de enero de 2023, MDPI. doi: 10.3390/ijerph20010097.
- [11] J. Tong et al., «Environmental Radon Exposure and Childhood Leukemia», *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.*, vol. 15, n.º 5, pp. 332-347, jul. 2012, doi: 10.1080/10937404.2012.689555.
- [12] M. Pérez, M. García, M. García, y S. González, «Mortalidad atribuible a la exposición a radón residencial en España», 2021.
- [13] M. García-Talavera San Miguel Francisco Javier López Acevedo, «Cartografía del potencial de radón de España», 2019. [En línea]. Disponible en: www.csn.es
- [14] «Plan Nacional contra el Radón», 2024.
- [15] Consejo de seguridad nuclear, Instrucción IS-47, de 9 de abril de 2025, del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se aprueba el listado de términos municipales de actuación prioritaria contra el radón y se establecen directrices para las mediciones de radón en el aire interior de los centros de trabajo ubicados en ellos. 2025. Accedido: 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2025-8734
- [16] Diario Oficial de la Unión Europea, Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom. 2013.
- [17] Ministerio de Fomento, Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. 2019, pp. 141269-141634. Accedido: 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-18528
- [18] B. Frutos y E. Muñoz, «Radón en la edificación-Técnicas de mitigación», sep. 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.32752.15362.
- [19] G. Akerblom y C. Wilson, «RADON-GEOLOGICAL ASPECTS OF AN ENVIRONMENTAL PROBLEM», 1982.

- [20] R. G. McGregor, P. Vasudev, E. C. Letourneau, R. S. McCullough, F. A. Prantl, y H. Taniguchi, «BACKGROUND CONCENTRATIONS OF RADON AND RADON DAUGHTERS IN CANADIAN HOMES».
- [21] S. Bennett, «Reseña del libro de Cole sobre la política del radón en EE.UU», *Sci. Technol. Human Values*, pp. 112-115, 1993.
- [22] R. B. Mosley y D. Bruce Henschel, «Application of Radon Reduction Methods», ago. 1988.
- [23] C. Sabbarese, F. Ambrosino, y A. D'Onofrio, «Development of radon transport model in different types of dwellings to assess indoor activity concentration», *J. Environ. Radioact.*, vol. 227, feb. 2021, doi: 10.1016/j.jenvrad.2020.106501.
- [24] A. Hernández y H. Eulogio, «El radón en suelos, rocas, materiales de construcción y aguas», 2015.
- [25] S. Tamborino, P. M. Congedo, y C. Baglivo, «Procedures for Indoor Radon Measurement in Recent Years: A Scoping Review», *Buildings*, vol. 15, n.º 20, oct. 2025, doi: 10.3390/buildings15203725.
- [26] M. Kholopo y P. C. Rathebe, «Radon Exposure Assessment in Occupational and Environmental Settings: An Overview of Instruments and Methods», *Sensors*, vol. 24, n.º 10, may 2024, doi: 10.3390/s24102966.
- [27] Pilar Linares Alemparte y Sonia Garcia Ortega, «Guía de Rehabilitación frente al radón», sep. 2020. [En línea]. Disponible en: www.codigotecnico.org
- [28] J. F. Rey, N. Meisser, D. Licina, y J. Goyette Pernot, «Performance evaluation of radon active sensors and passive dosimeters at low and high radon concentrations», *Build. Environ.*, vol. 250, feb. 2024, doi: 10.1016/j.buildenv.2023.111154.
- [29] C. Gómez, «Actualización de los niveles de radiación natural en Cantabria», UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2023.
- [30] F. Barrio-Parra, A. Hidalgo, M. Izquierdo-Díaz, L. Arévalo-Lomas, y E. De Miguel, «1D_RnDPM: A freely available ²²²Rn production, diffusion, and partition model to evaluate confounding factors in the radon-deficit technique», *Science of the Total Environment*, vol. 807, feb. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150815.

- [31] M. O. A. Borja Frutos Vázquez, «El uso de membranas elastoméricas barrera radon.2008», jun. 2008.
- [32] M. Portaro, P. Tuccimei, G. Galli, M. Soligo, C. Longoni, y D. Vasquez, «Testing the Properties of Radon Barrier Materials and Home Ventilation to Mitigate Indoor Radon», *Atmosphere (Basel)*, vol. 14, n.º 1, ene. 2023, doi: 10.3390/atmos14010015.
- [33] L. J. R. Nunes y A. Curado, «Confined Spaces in Buildings with High Indoor Radon Concentration: A Case Study Analysis with the Application of Constructive Remediation Measures», *Buildings*, vol. 13, n.º 1, ene. 2023, doi: 10.3390/buildings13010049.
- [34] T. V. Rasmussen y T. Cornelius, «Use of radon barriers to reach an acceptable radon level», 2020, doi: 10.1051/e3sconf/20201720.
- [35] L. P. Real, P. Linares-Alemparte, A. R. Poças, y J. G. Viegas, «Techniques to mitigate the admission of radon inside buildings», *Open Engineering*, vol. 14, n.º 1, ene. 2024, doi: 10.1515/eng-2022-0573.
- [36] J. Paridaens, L. De Saint-Georges, y H. Vanmarcke, «Mitigation of a radon-rich Belgian dwelling using active subslab depressurization», *J. Environ. Radioact.*, vol. 79, n.º 1, pp. 25-37, 2005, doi: 10.1016/j.jenvrad.2004.06.001.
- [37] S. M. Khan, J. Gomes, y D. R. Krewski, «Radon interventions around the globe: A systematic review», *Heliyon*, vol. 5, n.º 5, may 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01737.
- [38] B. Frutos, M. Olaya, y C. Alonso, «MITIGACIÓN DE RADÓN MEDIANTE TÉCNICA DE DESPRESURIZACIÓN», sep. 2021.
- [39] M. Bello et al., «EXPLORING RADON: FROM SOURCES AND MIGRATION FACTORS TO HEALTH EFFECTS AND MITIGATION STRATEGIES», *FUDMA JOURNAL OF SCIENCES*, vol. 9, n.º 2, pp. 340-262, abr. 2025, doi: 10.33003/fjs-2025-0902-3483.
- [40] C. Lucchetti, G. Galli, y P. Tuccimei, «Indoor/outdoor air exchange affects indoor radon-the use of a scale model room to develop a mitigation strategy», *Advances in Geosciences*, vol. 57, pp. 81-88, jun. 2022, doi: 10.5194/adgeo-57-81-2022.
- [41] J. Choi et al., «Comparison of Indoor Radon Reduction Effects Based on Apartment Housing Ventilation Methods», *Atmosphere (Basel)*, vol. 13, n.º 2, feb. 2022, doi: 10.3390/atmos13020204.

- [42] M. Suárez-Vázquez et al., «Seasonal study of radon concentrations in a uranium mine: A CFD comparison between natural and forced ventilation», *Results in Engineering*, vol. 29, mar. 2026, doi: 10.1016/j.rineng.2025.108483.
- [43] L. J. R. Nunes, A. Curado, y S. I. Lopes, «Indoor radon mitigation strategies: The Alto Minho region (Northern Portugal) practical case», *Indoor and Built Environment*, vol. 33, n.º 2, pp. 269-286, feb. 2024, doi: 10.1177/1420326X231194877.
- [44] D. Altendorf, H. Grünwald, T. L. Liu, J. Dehnert, R. Trabitzzsch, y H. Weiß, «Decentralised ventilation efficiency for indoor radon reduction considering different environmental parameters», *Isotopes Environ. Health Stud.*, vol. 58, n.º 2, pp. 195-213, 2022, doi: 10.1080/10256016.2022.2047960.
- [45] E. Press, «El CSIC confirma la efectividad del sistema para el control de radón en interiores de Murprotec». Accedido: 21 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.europapress.es/ciencia/noticia-csic-confirma-efectividad-sistema-control-radon-interiores-murprotec-20211027132728.html>
- [46] I. Sicilia, S. Aparicio, M. González, J. J. Anaya, y B. Frutos, «Radon Transport, Accumulation Patterns, and Mitigation Techniques Applied to Closed Spaces», *Atmosphere (Basel)*, vol. 13, n.º 10, oct. 2022, doi: 10.3390/atmos13101692.
- [47] G. Géczi, J. Benécs, K. Kristóf, y M. Horváth, «High concentrations of radon and carbon dioxide in energy-efficient family houses without heat recovery ventilation», *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, vol. 26, n.º 1, pp. 64-74, mar. 2018, doi: 10.3846/16486897.2017.1347095.
- [48] BOE-A-2022-21682-consolidado. 2022.
- [49] «DB-HS 6 Conceptos básicos sobre la modificación del Código Técnico de la Edificación», abr. 2020.
- [50] ENAC, «Criterios generales para la acreditación de laboratorios de ensayo y calibración según norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 CGA-ENAC-LEC Rev. 12 Abril 2024 Series 1 y 2», abr. 2024. [En línea]. Disponible en: www.european-accreditation.org
- [51] M. DE Vivienda, Disposición 6368 del BOE núm. 97 de 2010. 2010.

- [52] *Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE: Ahorro de Energía. 2022. Accedido: 14 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>*
- [53] *C. DE Seguridad Nuclear, INSTRUCCIÓN IS-47. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es>*
- [54] *Movilidad y agenda urbana Ministerio de transportes, CTE PARTE I. 2022.*
- [55] *D. Básico y H. S. Salubridad, Documento Básico HS Salubridad. 2022.*

ANEXOS

- **ANEXO 1: Apéndice B Clasificación de municipios en función del potencial del radón**, del DB HS 6 del Código Técnico de la Edificación, de la página 156 a 189.
- **ANEXO 2: Apéndice C Determinación del promedio anual de concentración de radón en el aire de los locales habitables de un edificio**, del DB HS6 del Código Técnico de la Edificación, de la página 191 a 194.