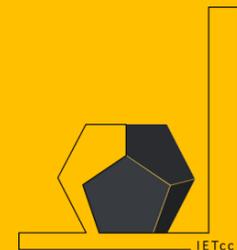


Soluciones constructivas de mitigación de radón

... y perspectivas

Borja Frutos Vázquez. Dr. Arquitecto.

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)



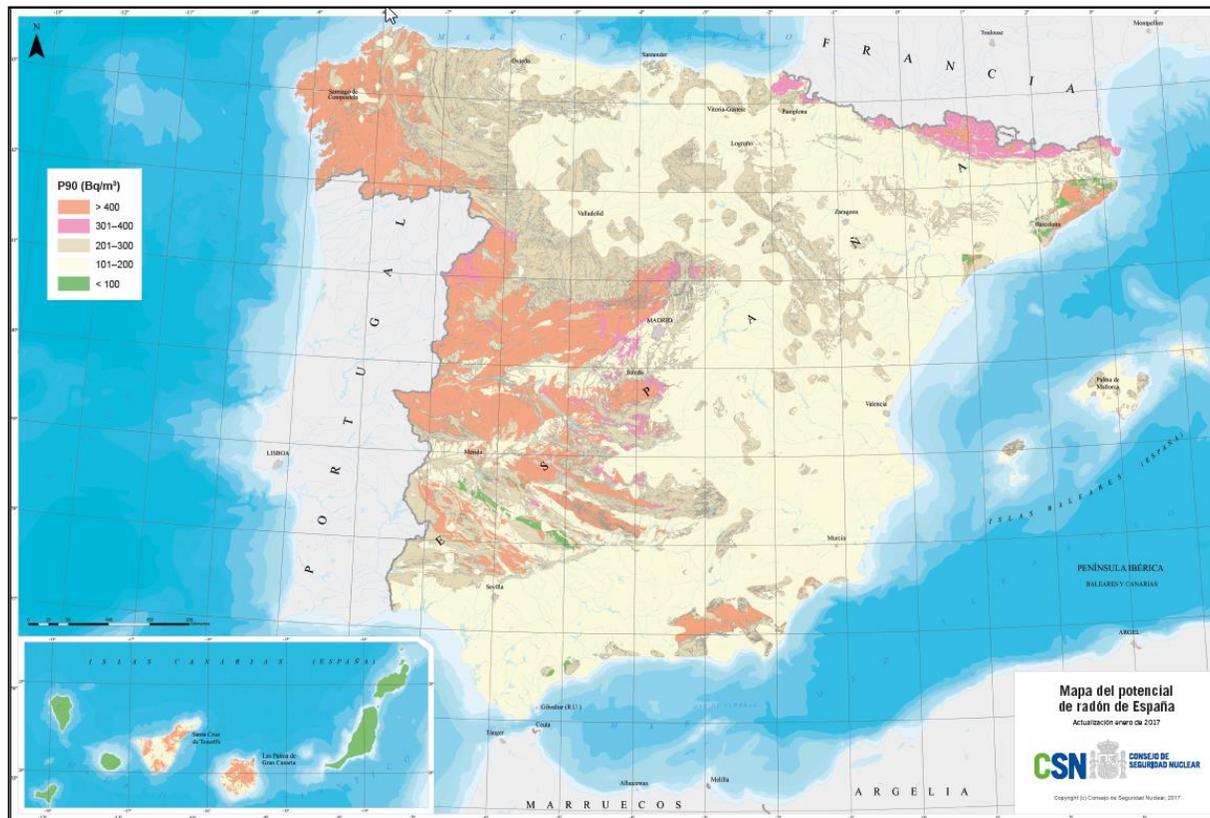
Índice

- FUENTES DE RADON
- MECANISMOS DE ENTRADA EN LA EDIFICACION
- ESTRATEGIAS DE REMEDIO
- DESARROLLOS ACTUALES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Límites y Mapa de Riesgo

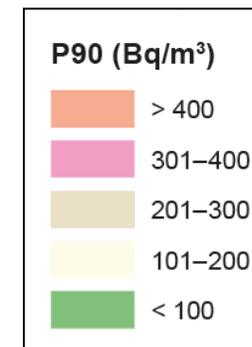
Marco de referencia. **NORMATIVA**

Fuente	Viv. Existentes	Viv. Nuevas
Recomendación Europea. (90/143/EURATOM):	400 Bq/m ³	200 Bq/m ³
OMS (2009)	100 Bq/m ³	100 Bq/m ³
Nueva Directiva Europea (BSS-2013)	300 Bq/m ³	300 Bq/m ³



→ **Ámbito constructivo. CTE**

Consejo de Seguridad Nuclear. 2017
Estimación de concentración de radón en edificios



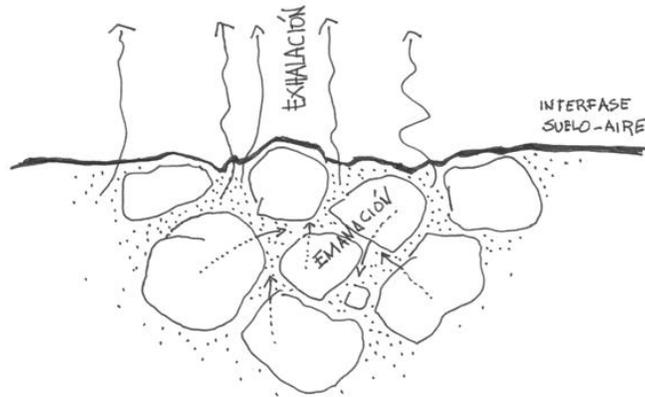
1. Depende de la cantidad de uranio (y por tanto radio) que se encuentre en la composición del suelo
2. Y de la permeabilidad del mismo. (Emanación y Exhalación)

Libro: "Radón, un gas radiactivo de origen natural". CSN y Universidad de Cantabria)

TIPO DE ROCA	Contenido medio URANIO U ²³⁸
Basálticas	1,0 (ppm)
Graníticas	5,0 (ppm)
Arcillas	3,7 (ppm)
Arenas	0,5 (ppm)



Consejo de Seguridad Nuclear.



Exposición Potencial al Radón (EN EDIFICIOS)	Concentración de ²²² Rn Bq/m ³ (EN TERRENO)		
	Permeabilidad Baja < 4. 10 ⁻¹³ m ²	Permeabilidad Media 4. 10 ⁻¹³ m ² - 4. 10 ⁻¹² m ²	Permeabilidad Alta > 4.10 ⁻¹² m ²
Baja <200 Bq/m ³	<30.000	<20.000	<10.000
Media 200 – 400 Bq/m ³	30.000 –100.000	20.000-70.000	10.000-30.000
Alta > 400 Bq/m ³	>100.000	>70.000	>30.000



Medida de permeabilidad al aire de terrenos

Radón en MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Por su contenido en RADIO

$$J_w = R \cdot E \cdot \lambda \cdot \rho \cdot L \cdot \tanh(d/L) \quad (\text{Nazaroff and Nero 1988})$$

(R: Radio content; E: Emanation fraction; λ Decay; ρ Density; L: Diffusion Length; d: Thickness)

Contenido en Radio - 226	
Material de construcción	[Bq/kg]
Ladrillos	45.2 - 143
Hormigón	21.1 - 192
Morteros	19.8 - 82
Plaqueta cerámica	63.0 - 117
Arena	13.3 - 41
Arcilla	40.9 - 199
Cemento	36.5 - 88
Yeso	12.1 - 86

(The National Rad. Prot. Inst. (Rep. Checa))

Contribución a conc. interior:

- **Materiales: 20% (5 a 20 Bq/m³)**
- **Terreno: 80 % (Fuente principal)**

(SWISS RADON HANDBOOK. 2000)

Φ =Surface exhalation rate (mBq/m ² .s)		Reference
NATURAL SOILS		
Earth soils (mean)	20.00	ISO 11665-7:2016: Accumulation method for estimating surface exhalation rate.
Soils in France	1.00 -100.00	
Natural soils	10.60 – 28.50	Zhuo et al. 2006. Modeling Radon Flux Density from the Earth's Surface
Natural soils	16.00	Nezmal et al. 2000. Comparison of calculated and measured soil-gas radon concentration and radon exhalation rate.
CONSTRUCTION MATERIALS		
Granite	0.63	Misdaq et al. 2000. A new method for studying the transport of radon and thoron in various building
Granite from E. Torroja Institute	0.97	
Brick wall	0.70	

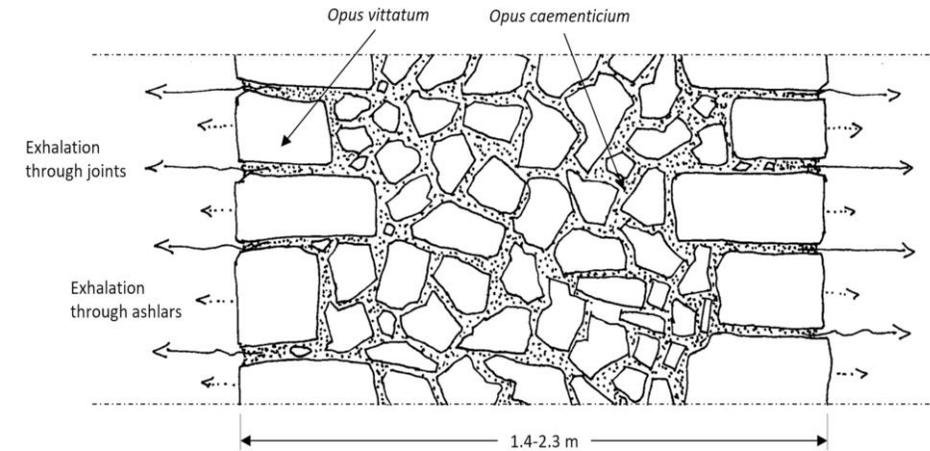
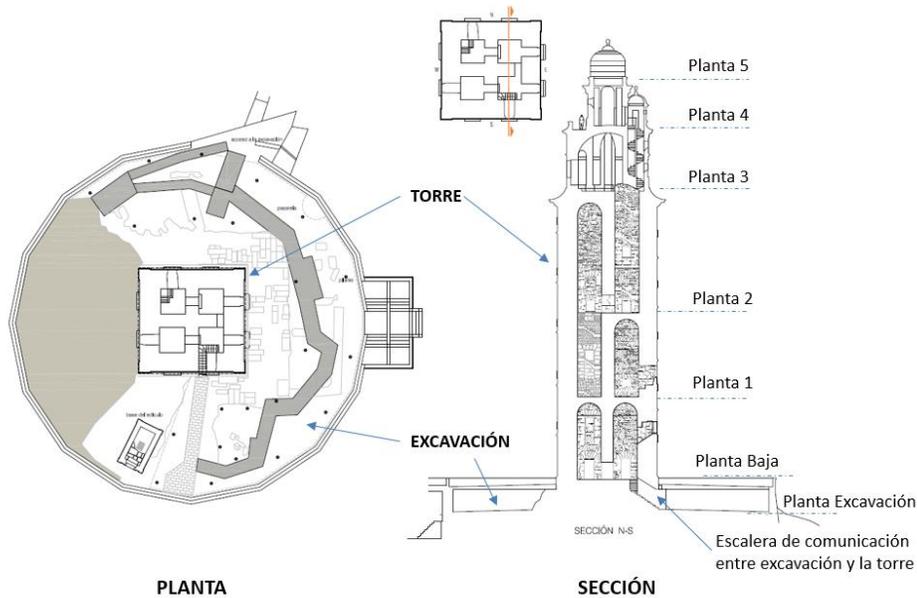


Soil >> Materials (2 orders of magnitude)



Torre de Hércules. Caso singular

Inner wall filler as a singular and significant source of indoor radon pollution in heritage buildings. *Building and Environment (2021)*



Granite rock. Opus Quadratum



Internal wall. 1.4m
Opus Vittatum / floors over vault;

ISO 11665-7:2016: Accumulation method for estimating surface exhalation rate.

$$C = \phi(Bq/s) / \lambda \cdot V$$

C: concentration (Bq/m³) ; Φ = Exhalation rate (Bq/s)
; λ = ventilación + decay (s⁻¹) ; V = volume (m³)

Constructive element	Φ = Surface exhalation rate (mBq/m ² .s)	Remarks on seals
Internal Wall. 1.4m thick. Opus Vittatum	33.33	With joint
Facade Wall. 2.3m thick. Opus Vittatum	50.16	With joint
Granite ashlar Opus Queadratum	3.62	Without joint
Granite floor over soil	32.50	With joint
Granite floor over vault	149.67	With joint

RADON IN BUILDINGS

Accumulation: increasing RISK > 300 Bq/m³

Transport physics

Diffusion: ($C_{\text{Soil}} > C_{\text{in}}$)

Advection : ($P_B > P_A$)

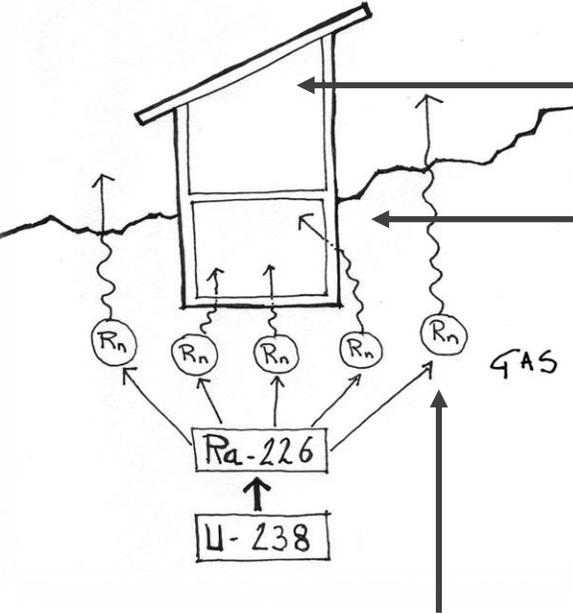
D_e : Diffusion coefficient

K : Permeability

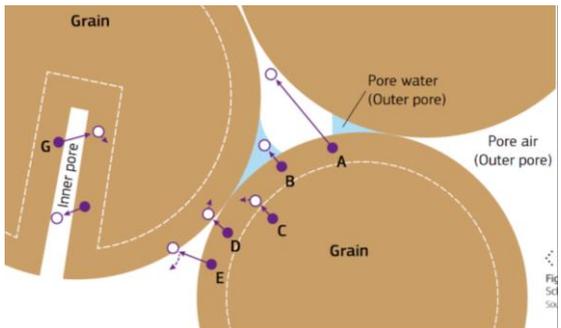
(Through material/SLOW)

(Through cracks, joints/FAST)

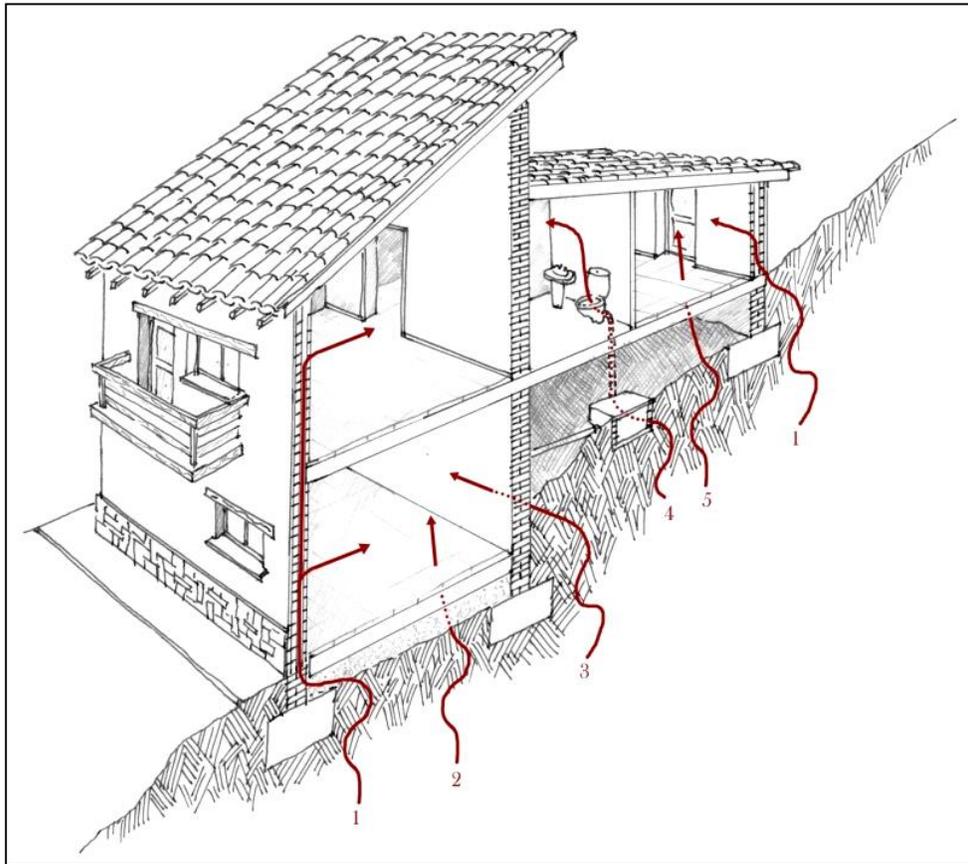
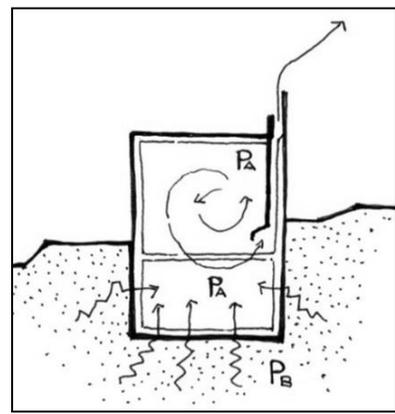
$$\frac{\partial \beta C}{\partial t} = \underbrace{\beta D_e \nabla^2 C}_{\text{DIFUSIÓN}} + \underbrace{\frac{k}{\mu} \nabla C \nabla P}_{\text{ADVECCIÓN}} + \underbrace{\varepsilon G - \lambda \varepsilon C}_{\text{GENERACIÓN Y DESINTEGRACIÓN}}$$



Radon generation IN SOIL



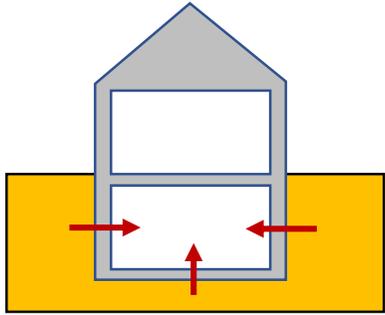
European Atlas Natural Radiation



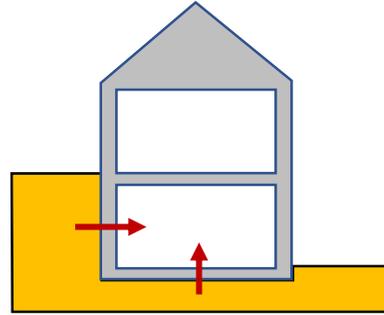
Common entry paths (source: B. Frutos. European Atlas of Natural Radiation)

VULNERABILIDAD de la edificación

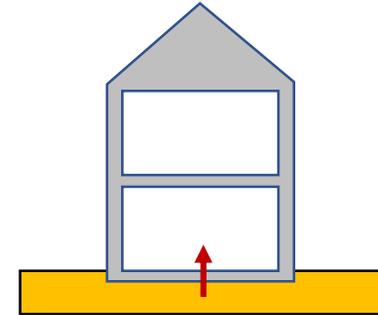
Por TIPOLOGIA. Contacto con terreno



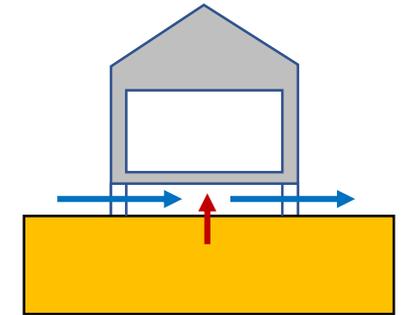
Enterrada



Semi-enterrada



Sobre terreno

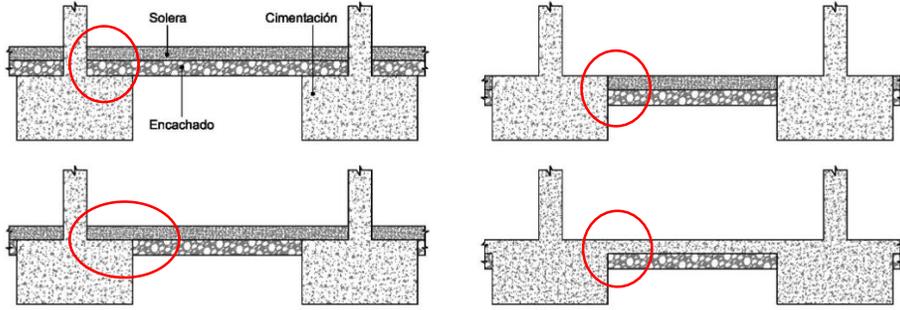


Elevada



RESISTENCIA DE LA ENVOLVENTE

Sistemas Constructivos



ASEMAS. Deformación de soleras

Materiales

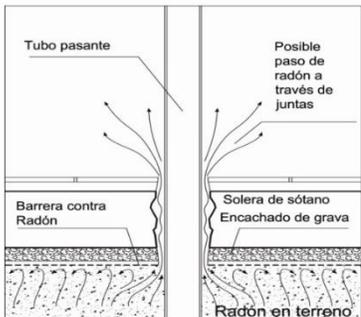
Coefficiente D
Espesor

Materiales plásticos
próximo a $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$

CTE Barrera

Material	Numbers of samples	Thickness (10^{-3} m)	Diff. coeff. ($10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)	Diff. length (10^{-3} m)	Valuation
Gypsum	12	100	2.35 (1.3-3.4)	1100	Permeable
Pumice	8	150	1.50 (0.9-2.3)	850	Permeable
Limestone	5	150	0.34 (0.2-0.5)	400	Permeable
Brick	8	150	0.35 (0.1-0.5)	400	Permeable
Sandstone	3	100	2.20 (1.8-2.6)	1000	Permeable
Aerated concrete	5	100	1.30 (1.0-2.0)	800	Permeable
Heavy concrete	8	100	0.007 (10^{-3} - 10^{-2})	60	Permeable
Polymer concrete PCC	2	40	$<10^{-6}$	7	Tight
Asphalt-asbestos	2	3	10^{-6}	0.7	Tight
Bitumen	6	3	$<10^{-6}$	<0.7	Tight
PEHD foil	18	1	$<10^{-6}$	<0.7	Tight
Silicone rubber	6	3	$<10^{-6}$	<0.7	Tight
Butyl rubber	1	1.5	10^{-5}	2	Permeable
Polyurethane coating	4	5	$<10^{-6}$	<0.7	Tight
Plastic foil	19	3	$<10^{-6}$	<0.7	Tight
Epoxy resin	5	3	$<10^{-6}$	<0.7	Tight

MATERIAL	ESPESOR
Hormigón	$\geq 180 \text{ mm}$
Láminas bituminosas	$\geq 2 \text{ mm}$
Láminas de Polietileno	$\geq 0.9 \text{ mm}$
Yeso	$\geq 0.55 \text{ mm}$
Gres	$\geq 0.5 \text{ mm}$
Resina de Poliuretano	$\geq 1.5 \text{ mm}$
Resina epoxy	$\geq 0.3 \text{ mm}$



Espesor de materiales habituales para constituir barrera

HERMETICIDAD EDIFICIO. Influye en la acumulación

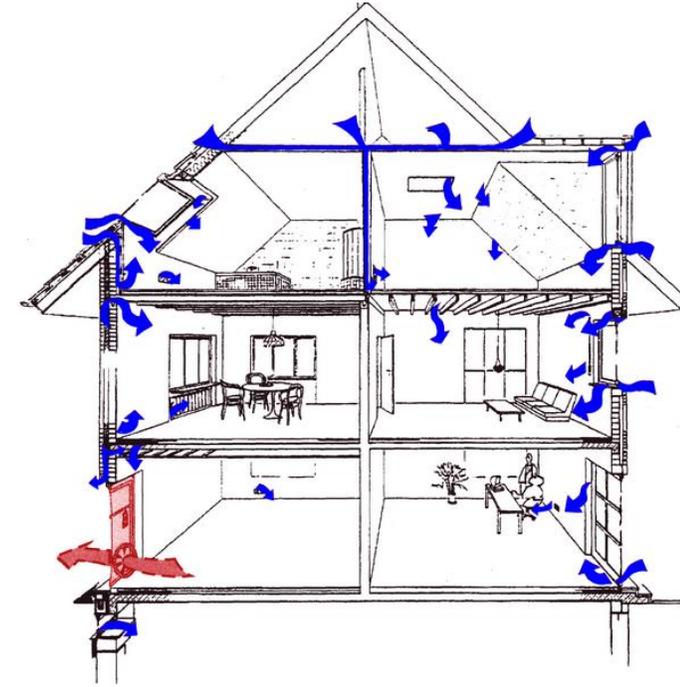
Permeabilidad de la envolvente.
(carpinterías, grietas, encuentros, etc.)

Ensayo de Blower Door

- Viviendas de cierta antigüedad 1,5 (h⁻¹)
- Viviendas actuales 0,25 (h⁻¹)



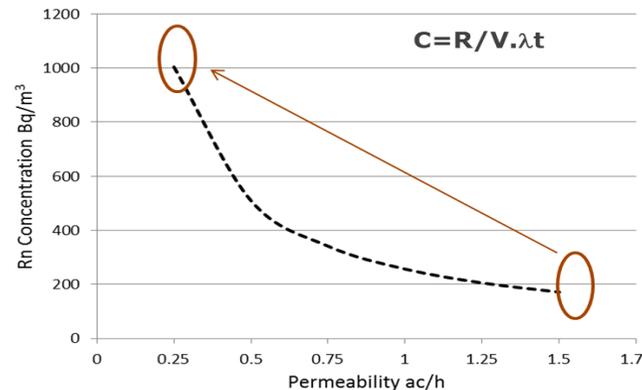
ACUMULACIÓN



DILUCIÓNreduce la concentración

Directivas Eficiencia Energética.

Mayor estanquidad
Menores pérdidas energéticas



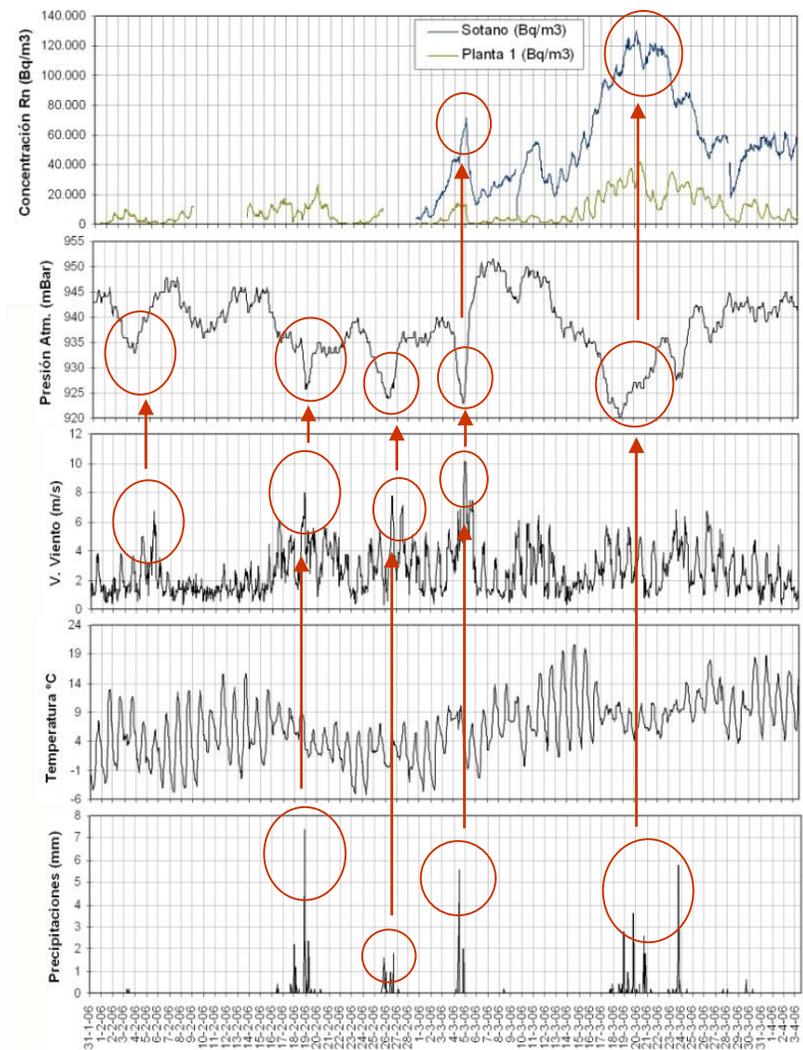
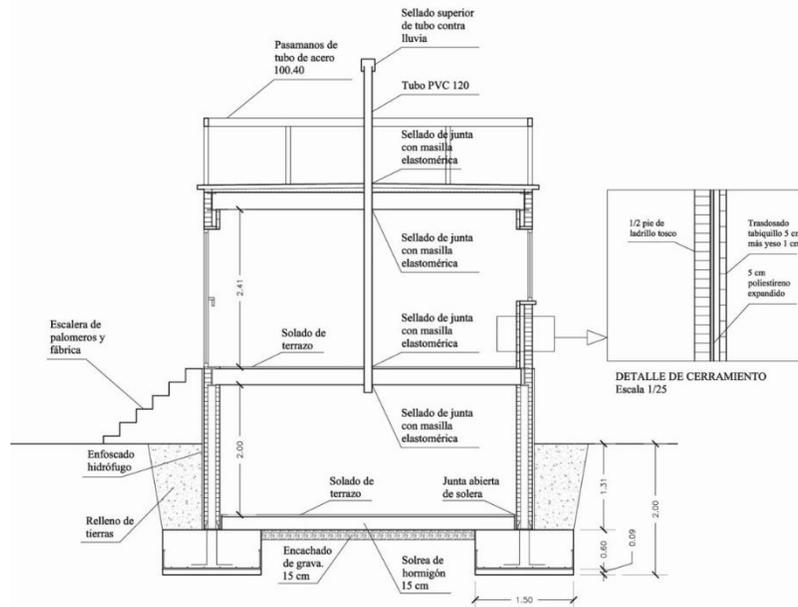
Reducción de estanquidad.

1.5 ACH → 0.25 ACH

Incremento de radón

200 Bq.m⁻³ → 1000 Bq.m⁻³

Concentraciones



Concentración media

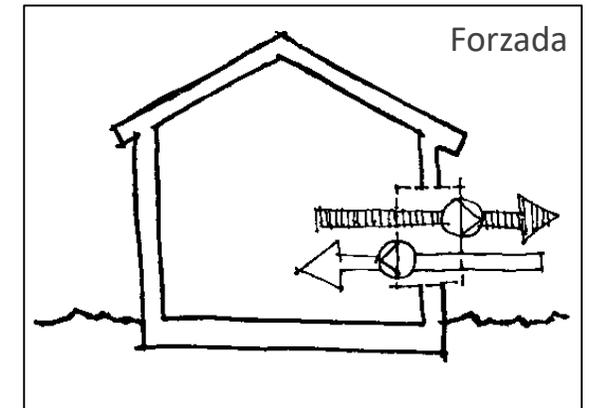
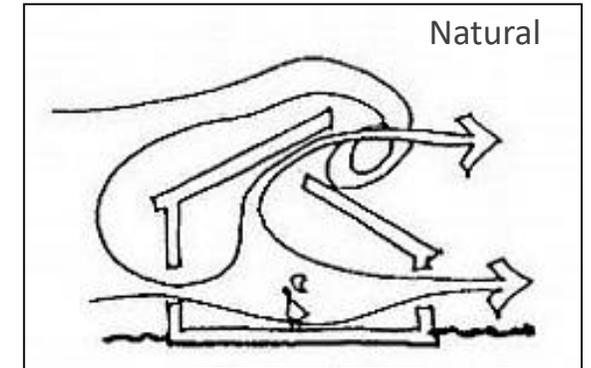
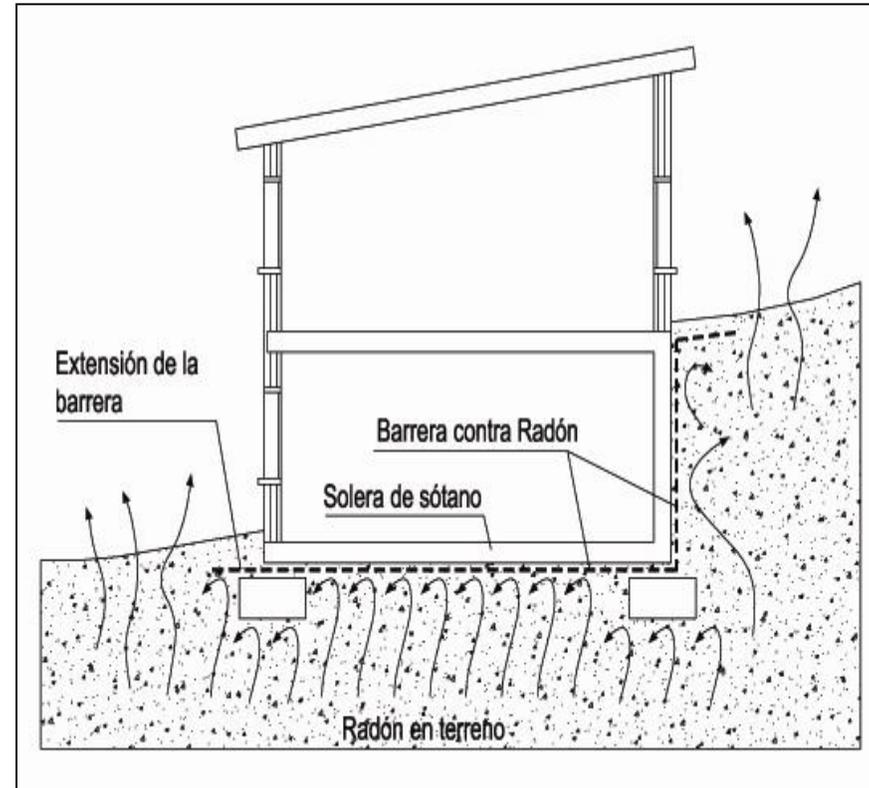
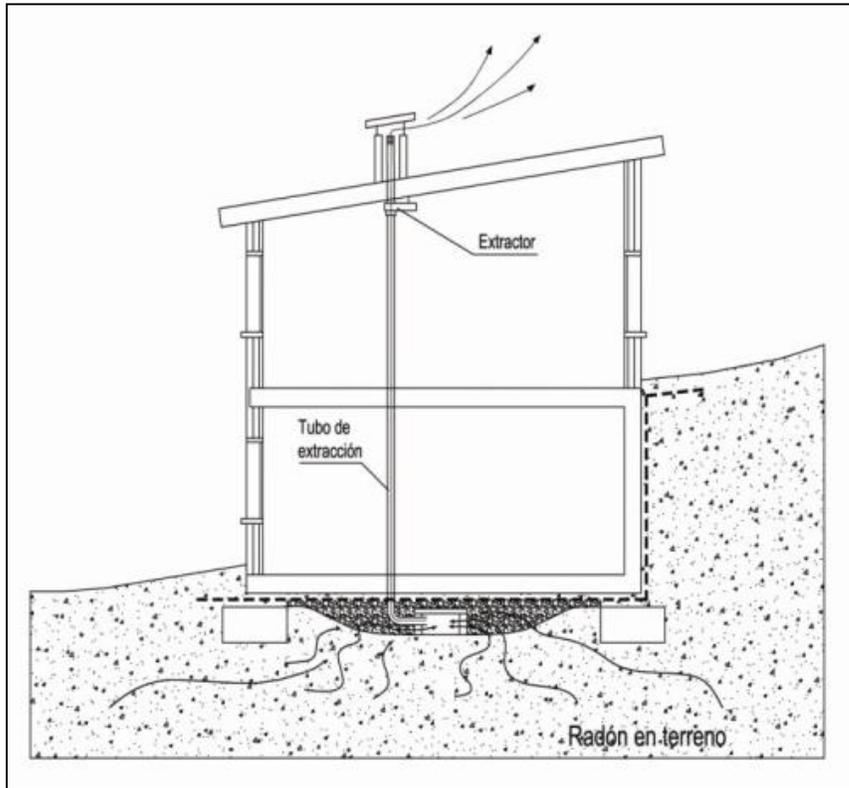
Sótano **39 385 Bq/m³**

1ª Planta **6 855 Bq/m³**

	Depresión asociada	Aumento de radón asociado	Aumento radón (%)
Descenso presión atm	3.000 Pa	90.000 Bq/m³	225 %
Viento	30 Pa	900 Bq/m³	2,3 %
Temperatura	3 Pa	90 Bq/m³	0,23 %
Lluvias	Aumento de flujo de radón. (Terreno seco bajo el módulo)		

Basadas en **3 estrategias de actuación**

Estrategias de remedio



Despresurización del Terreno

Evacuar el gas. Crear vías preferentes
(DRENAJE)

Barreras

Reforzar la estanquidad

Ventilación

Dilución + sobre-presión

+ efectividad -

DESPRESURIZACIÓN DE TERRENO

CAPTACIÓN

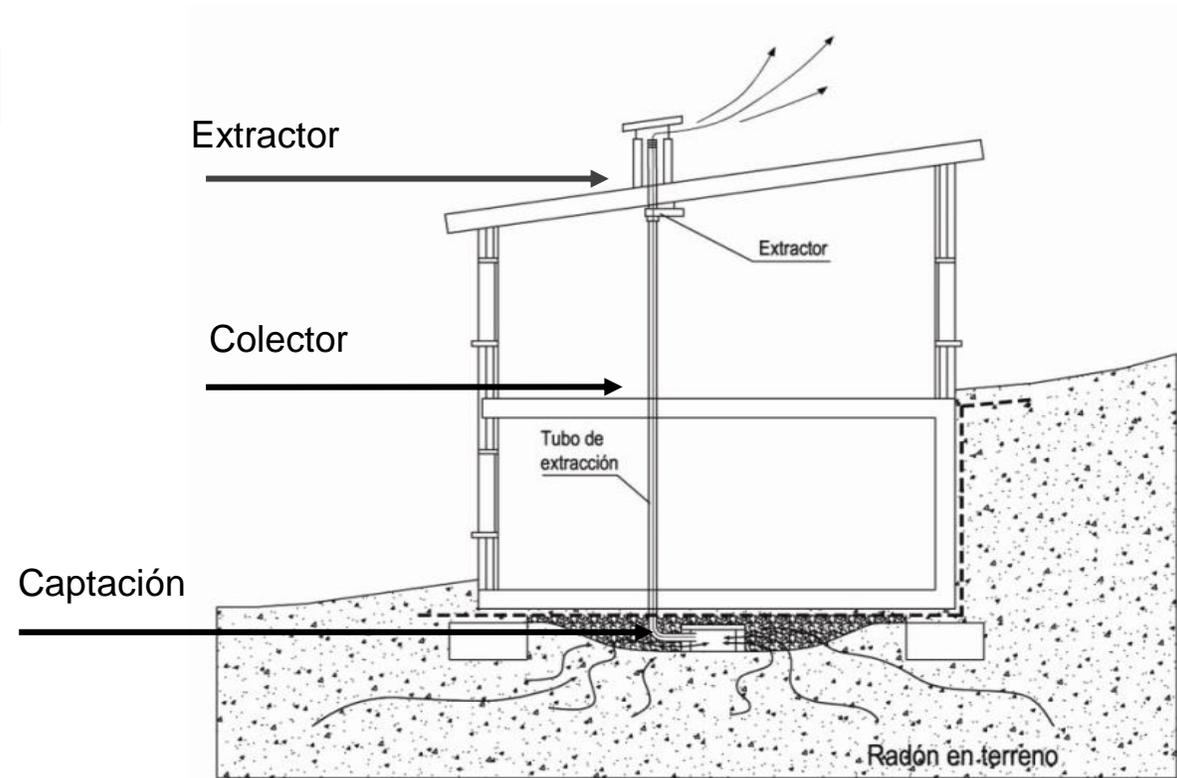
- Extracción por arquetas
- Extracción desde el terreno circundante
- Extracción por cámara de forjado sanitario
- Extracción por tubos "Dren" o sistemas similares

COLECTOR

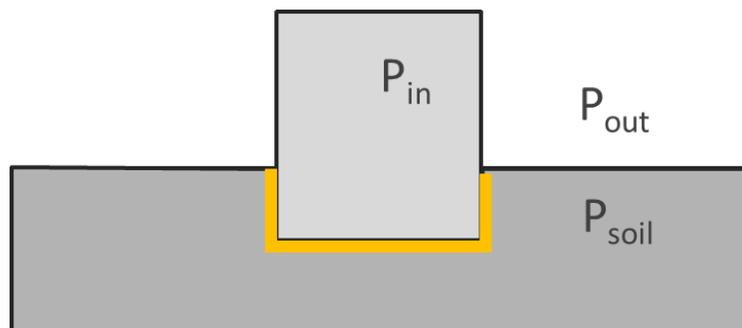
- A cubierta
- A fachada

EXTRACTOR

- Cuando se necesite según efectividad



Objetivo de despresurización



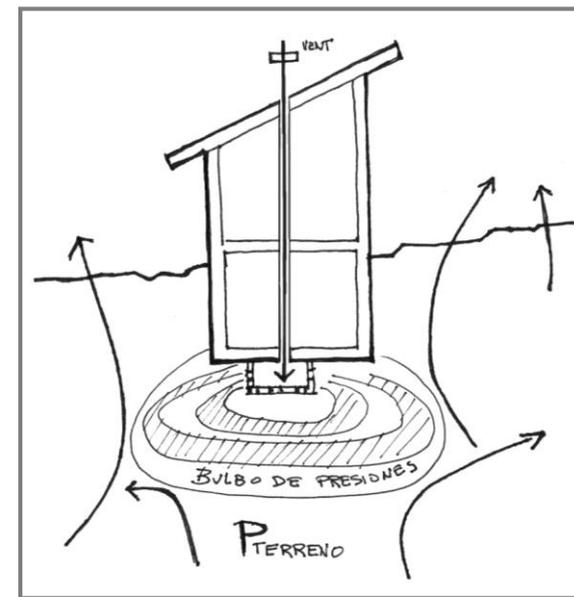
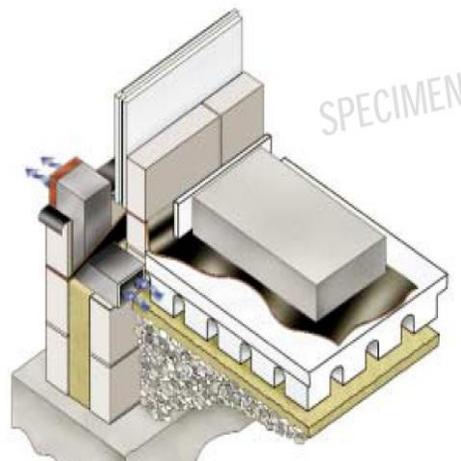
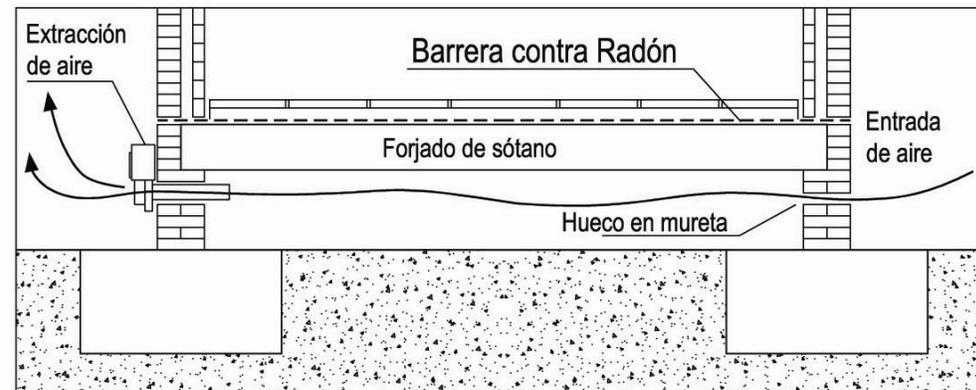
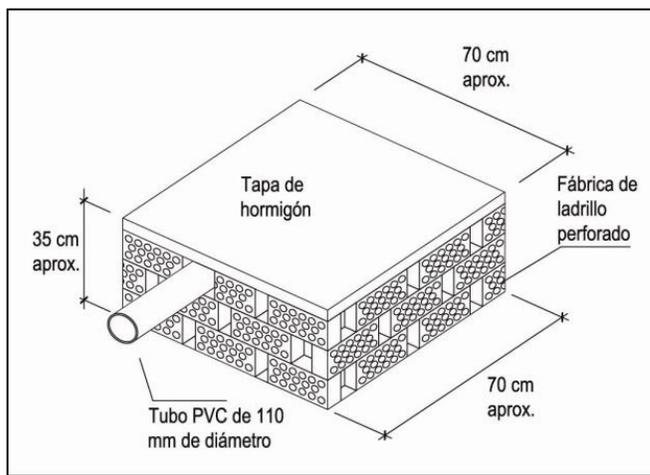
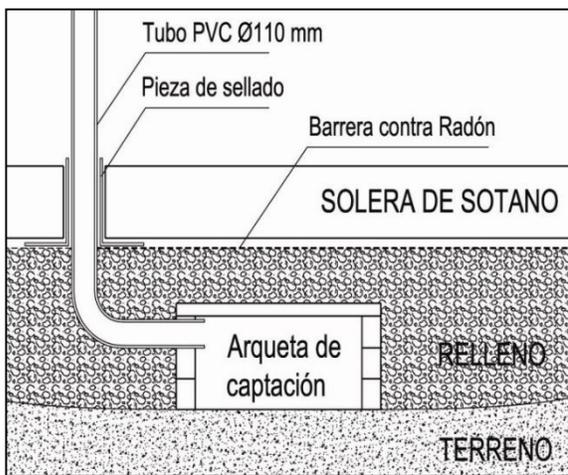
- Condiciones normales:
 $P_{in} < P_{soil}$: 2-5Pa (stack effect + ventilación)
- Reducir $P_{soil} < P_{in}$

Valor de garantía: (-5, -10) Pa

Parámetros a controlar en el diseño:

- Permeabilidad terrenos
- Asiento en Terreno Natural o Grava
- Barreras de cementación
- Estanquidad de la losa.
Permeabilidad equivalente

ELEMENTOS DE CAPTACIÓN



ELEMENTOS DE CAPTACIÓN



SISTEMAS DE BARRERAS

Función:

Evitar el paso de radón. Requisitos:

- Impermeables frente al paso del gas radón.
Bajo coeficiente de difusión →
- Resistencias mecánicas y Durabilidad:
Garantizar la estanquidad. Mallas

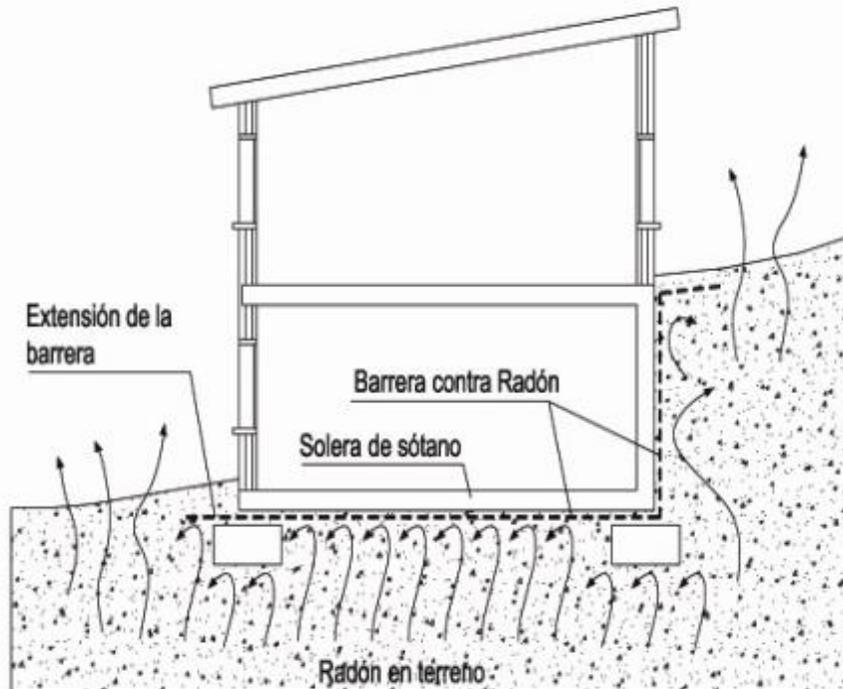
Condición CTE

- $D < 1.10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ y $d > 2\text{mm}$
- Continua

Si no, cálculo:

$$E = 3 \cdot 10^5 \lambda l / \sinh(d/l)$$

$$E_{\text{lim}} = C_d \cdot (Q/A)$$



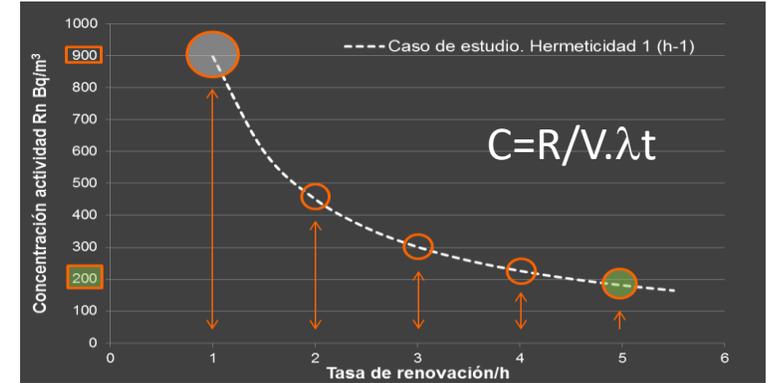
SISTEMAS DE VENTILACION

Basados en 2 mecanismos:

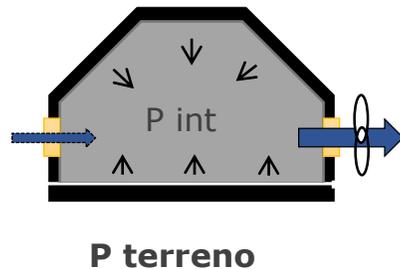
1. Dilución del gas por intercambio de aire con el exterior.

Aire exterior (10-20 Bq/m³)
Aire interior (>100 Bq/m³)

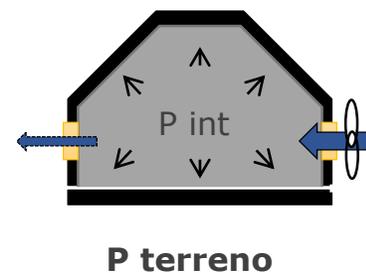
Mezcla ↓ concentración



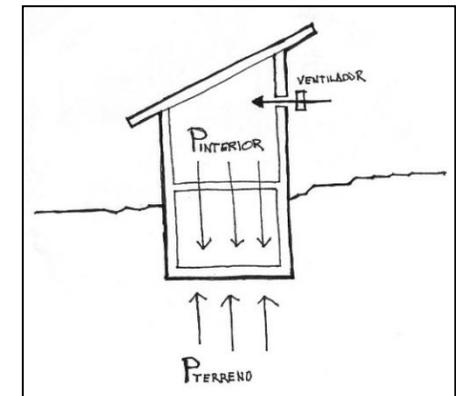
2. Modificación del estado de presiones.



ΔP (Terreno-Interior) NEGATIVO. Depresión



ΔP (Terreno-Interior) POSITIVO. Presurización



Para EDIFICIOS NUEVOS

Aplicación del CTE. Documento Básico HS6. (2019)
Guías de apoyo a la Rehabilitación frente a radón

Según clasificación de riesgo:

Zona I: 200-300 Bq/m³

- Percentil 90 (200-300 Bq/m³)
- Tejido urbano > 5% ocupación en zona

Solución

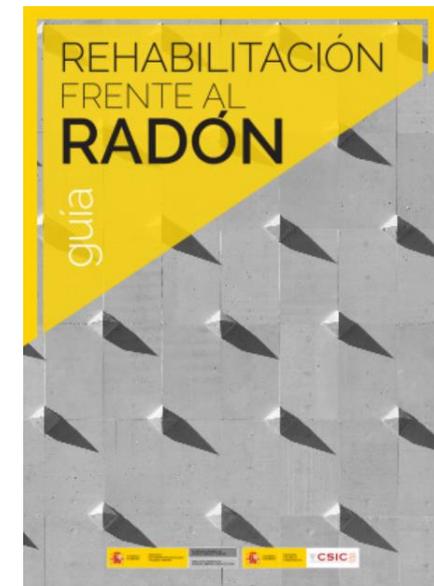
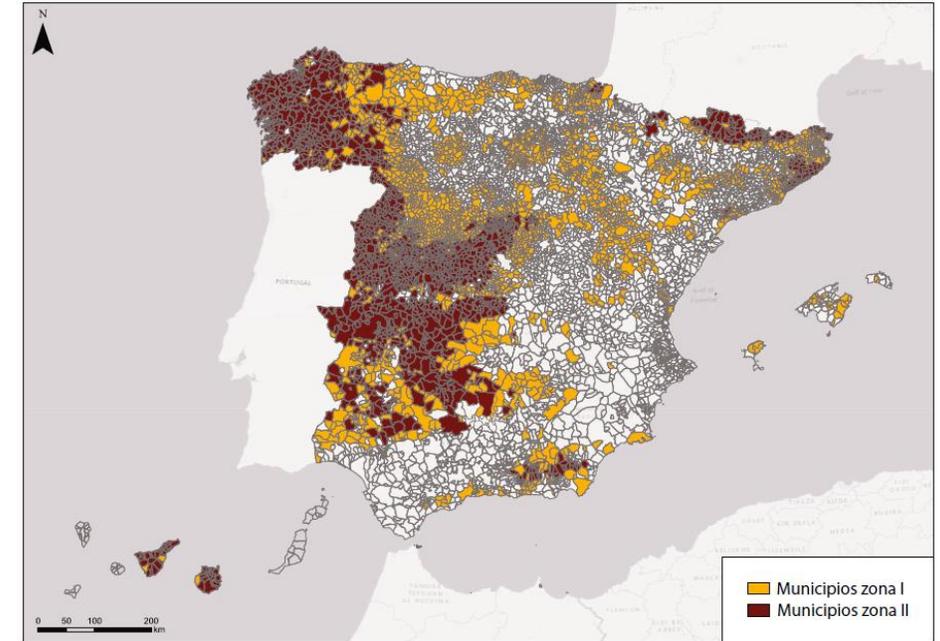
Barreas ó Espacio de contención ventilado

Zona II: > 300 Bq/m³

- Percentil 90 (> 300 Bq/m³)
- Tejido urbano > 5% ocupación en zona

Solución

Barreas + Espacio de contención ventilado o despresurización en terreno



Para EDIFICIOS EXISTENTES

Complejidad de aplicación de técnicas. Especialmente la Técnica de **DESPRESURIZACIÓN**

Casos documentados de fallos en la aplicación. Sistemas ineficaces. Falta de confianza

Se necesitan estudios

- Permeabilidad terrenos. Conectividad.
- Barreras de cementación. Obstáculos
- Estanquidad de la losa. Fugas

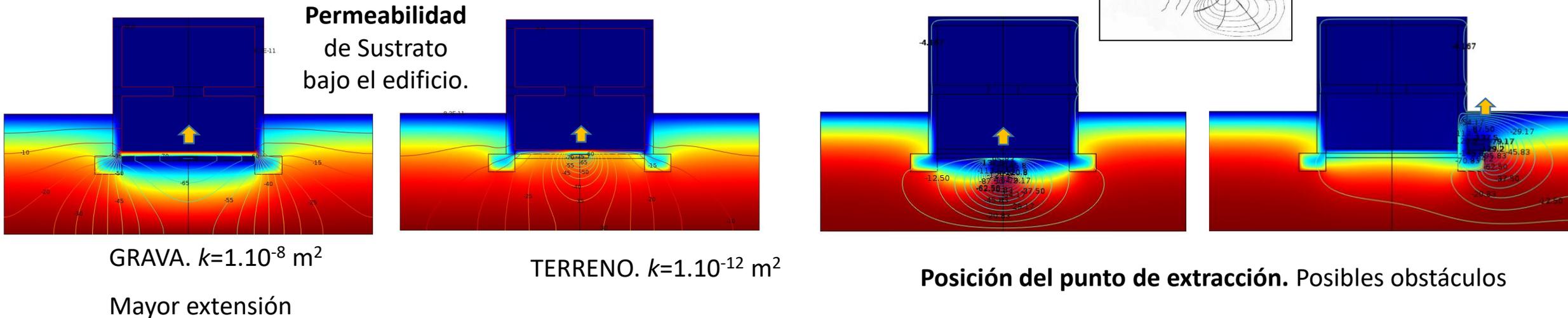
para obtener los parámetros de diseño

- Nº puntos de captación
- Ubicación
- Potencias de succión

Ejemplos



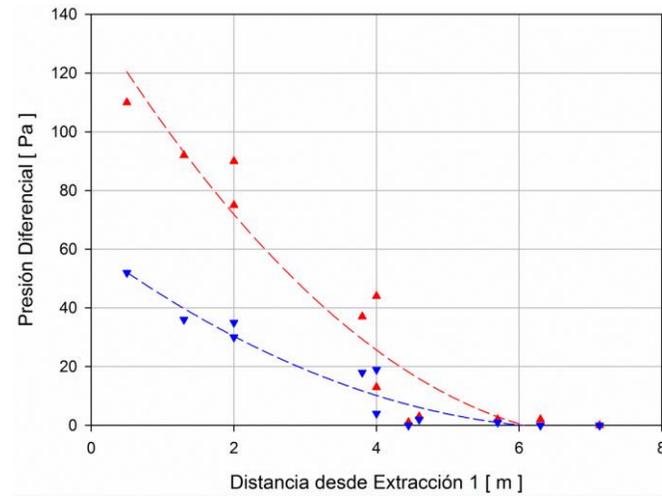
Uso de moldes CFD para optimizar



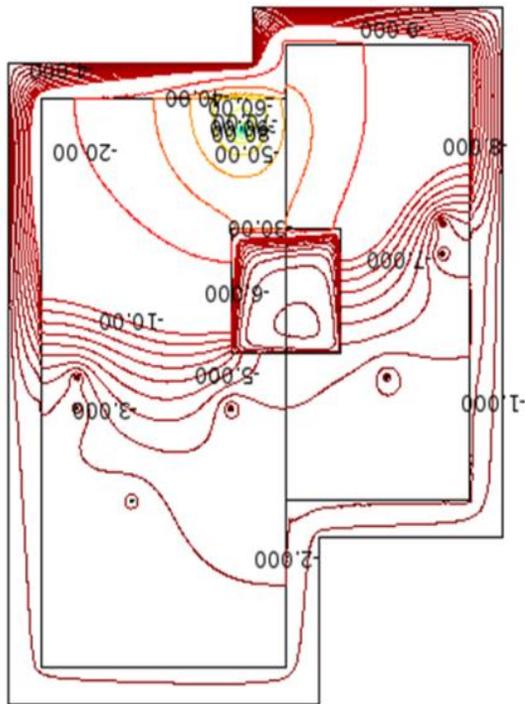
Estudios previos - Edif. Construidos



Permeabilidades del sistema



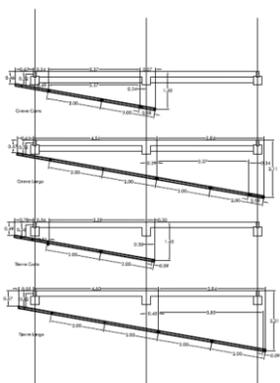
Inspección capas bajo suelo



Inspección de fuentes puntuales



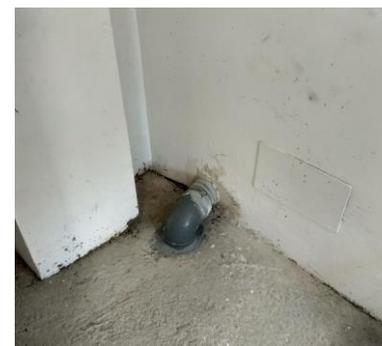
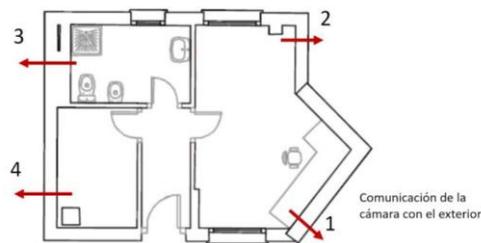
Desarrollo para intervenciones por el exterior. *Proy. PerfoRA*



Extracciones lineales insertadas desde el exterior de la edificación. Tuberías perforadas

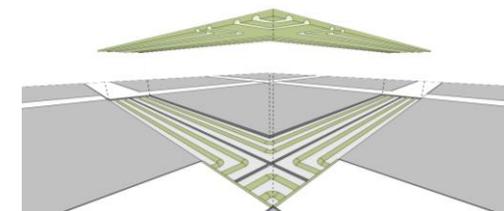
Soleras ventiladas

Proyecto Radon_Flow



Pastas porosas de evacuación.

Proyecto Radon_Flow

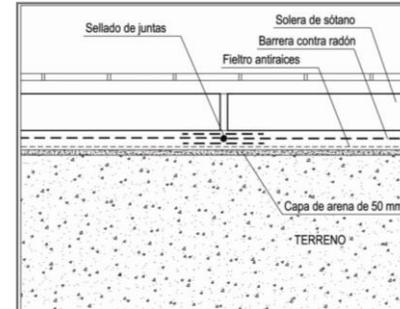
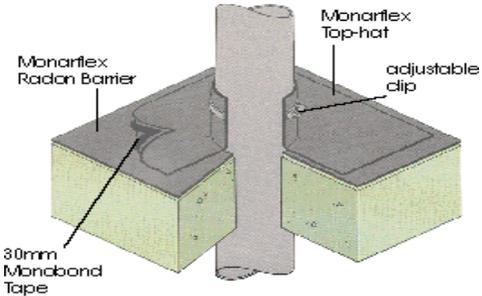


En barreras

desarrollo industrial



Tratamiento encuentros y puntos singulares



Solapes

Materiales. Estancos frente a radón – Durables - Resistentes



Certificaciones

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE POLÍTICA TERRITORIAL Y URBANISMO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ESPAÑA
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

CSIC

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA
C/ BARRIO DE ARCA 1, 28002 MADRID
TEL: 91 549 30 00
FAX: 91 549 30 01
WWW.ICC-CSIC.ES

DIC

DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA: N.º 675/23

Área genérica/uso previsto: **Sistema de impermeabilización y barrera frente al radón para estructuras enterradas**

Nombre comercial: **SikaProof® A+ y SikaProof® P1201**

Beneficiario: **SIKA S.A.U.**

Sede social: **Ctra. de Fuencarral, 72
28108 Alcobendas Madrid, España**

Lugar de fabricación: **Sika Manufacturing AG
Industriestrasse – 6060 Sarnen - Switzerland**

Validez. Desde: **16 de marzo de 2023**
Hasta: **16 de marzo de 2028**
(Condicionada a seguimiento anual)

Este Documento consta de 21 páginas

MEMBRO DE:
UNIÓN EUROPEA PARA LA EVALUACIÓN DE LA IDONEIDAD TÉCNICA
UNION EUROPÉENNE POUR L'AGREMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION
EUROPEAN UNION OF AGREEMENT
EUROPAISCHE UNION FÜR DAS ABGEBEN IN BAUWESEN

UEAcc

Publicación emitida por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Prohibida su reproducción sin autorización.

En Ventilación

Estudios y protocolos para el ajustar caudales.

Estanquidad.

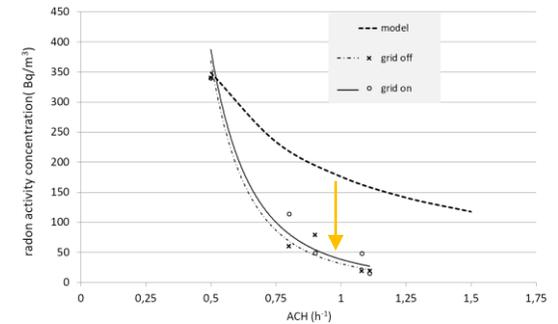
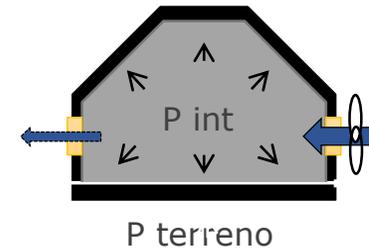
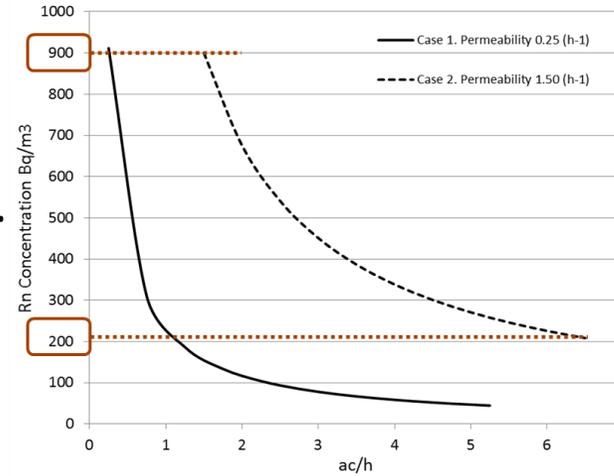
Tasas de entrada

Estudios de alternativas:

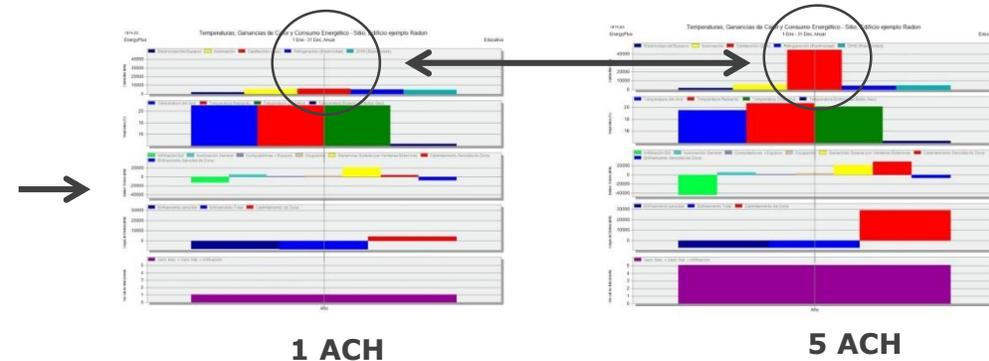
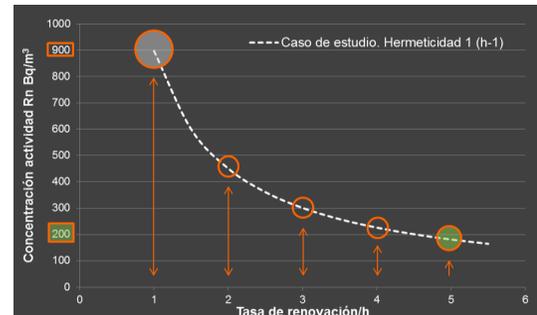
Vent. Natural. f(vientos,stack)

Forzada Balanceada, Extracción, **presurización**

Diseño de red. Desplazamiento.



Estudios de repercusión en eficiencia energética.



Conclusiones y perspectivas

Necesidad de **conexión**:

investigación



empresas mitigación

- **Formación a empresas** de construcción en técnicas de mitigación. Capacitación. Certificados
- **Empresas registradas por comunidades** →
- Adecuación de **herramientas de ayuda al diseño (proyectistas)**

Desarrollo de **soluciones aptas para rehabilitación.**

- Sistemas **prefabricados y kit** para sistemas de Despresurización.
- Soleras ventiladas
- Hormigones y morteros de reparación con bajo coeficiente de difusión



Desarrollo de **soluciones para edificios históricos. Intervención sujeta a protección patrimonial**

.....**y seguir**..... en el ámbito constructivo llevamos poco tiempo

Muchas gracias!

