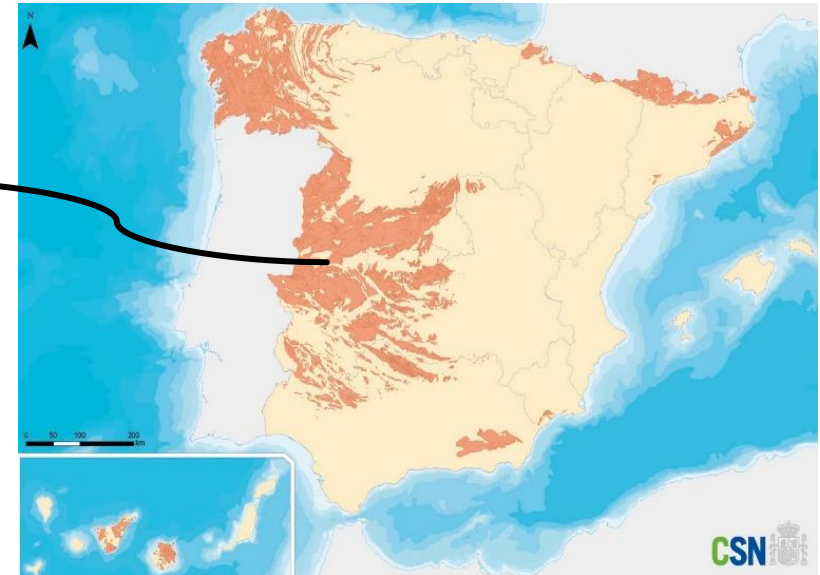


JORNADA PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN EN EDIFICIOS

CONCENTRACIONES DE RADÓN EN SUELOS Y VIVIENDAS DEL NORTE DE EXTREMADURA Y COSTES DE EJECUCIÓN DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS



^{222}Rn



JORGE GARCÍA PANIAGUA

Arquitecto Técnico Junta de Extremadura
Doctor por la Universidad de Extremadura

FEBRERO 2021

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN SUELOS

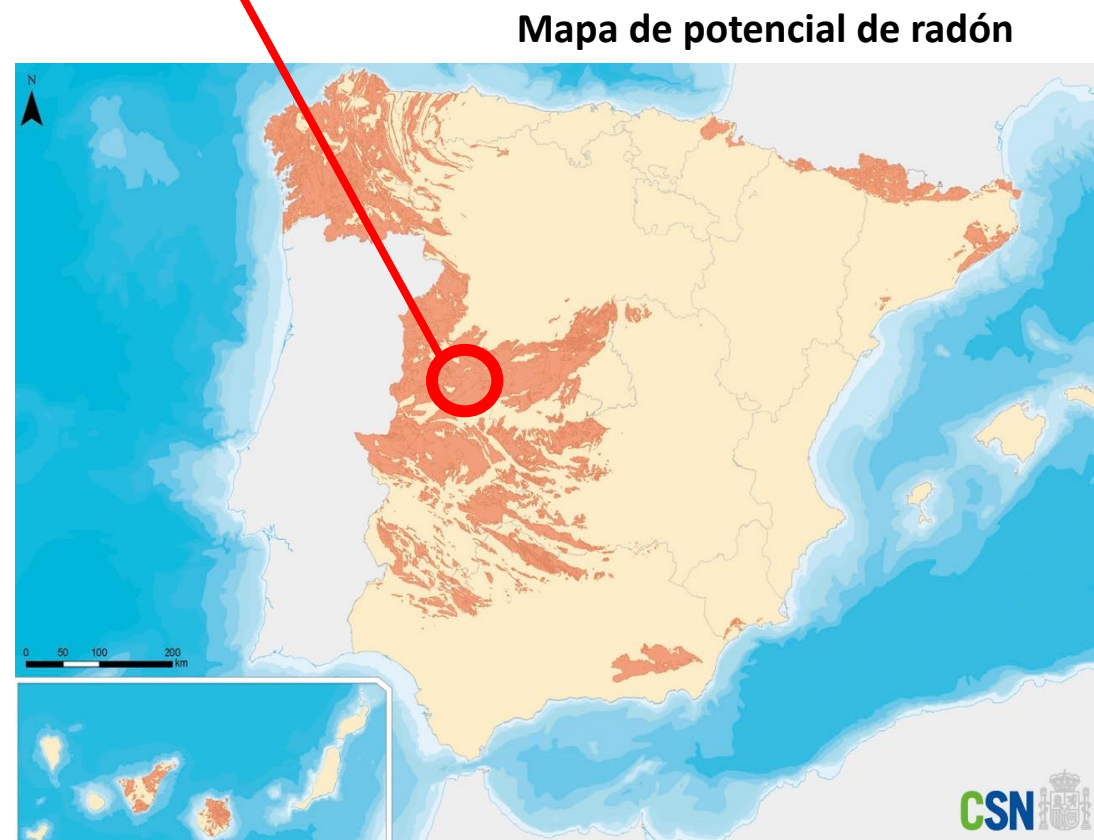
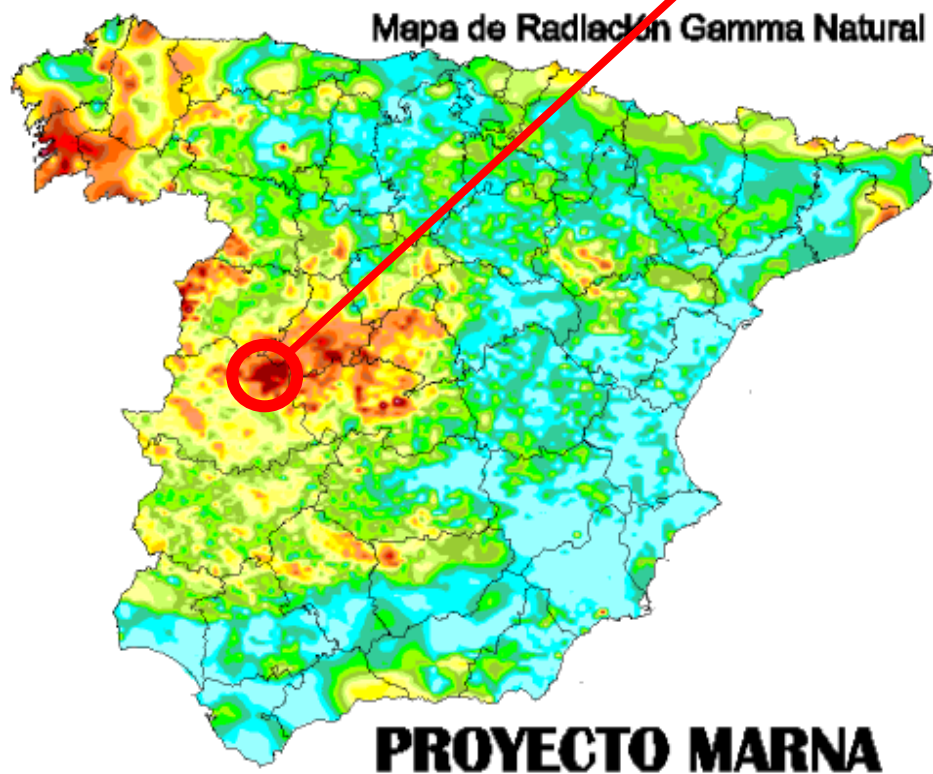
CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN INTERIOR DE VIVIENDAS

COSTES DE EJECUCIÓN DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS

ÁMBITO TERRITORIAL DEL ESTUDIO

INTRODUCCIÓN

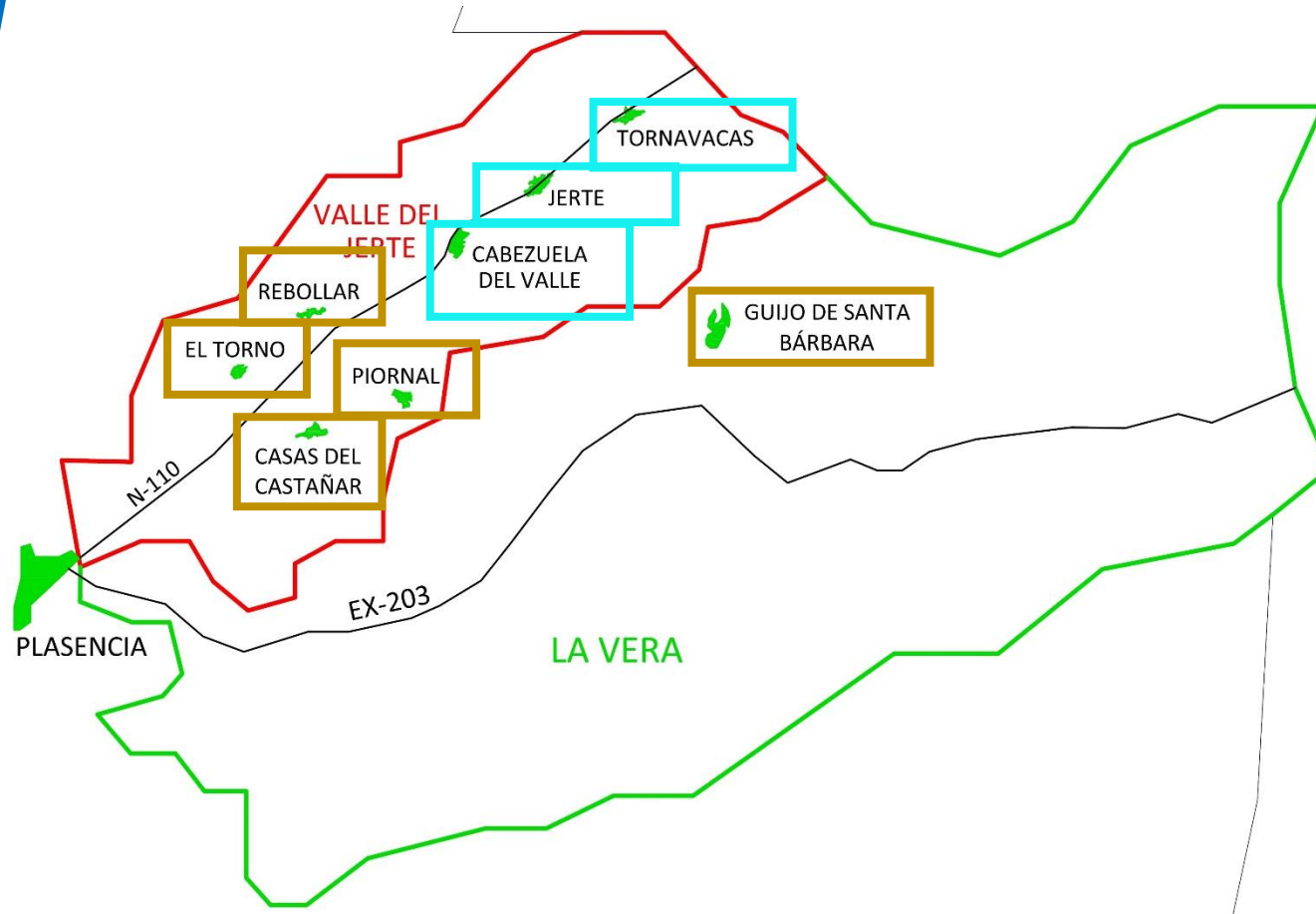
Comarcas del Valle del Jerte y la Vera



ÁMBITO TERRITORIAL DEL ESTUDIO

INTRODUCCIÓN

Situación de los municipios estudiados en las comarcas del Valle del Jerte y la Vera



Diferente Composición Geológica



Granítica

**Combinación de Granítica
y Sedimentaria**

ÁMBITO TIPOLOGICO

INTRODUCCIÓN

Vivienda unifamiliar

→ **71 ± 17 (SD) %** con un rango entre el 44% y el 95%.

Evolución de la arquitectura en las comarcas del valle del Jerte y la Vera

Arquitectura tradicional

Arquitectura de
transición

Arquitectura Actual

1700 a 1940

1940 a 1980

1980 a Actualidad



METODOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

De cada municipio



METODOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

De cada suelo

Exhalación de ^{222}Rn desde los suelos

Concentración de ^{222}Rn en el interior de los suelos

Contenido radiactivo de los suelos mediante el análisis por espectrometría gamma

Tasa de dosis por irradiación externa

METODOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

De cada vivienda

En una estancia
de la planta más
próxima al suelo

- **Concentración del radón**
- Tasa de dosis por irradiación externa
- Determinación espectrométrica gamma *in situ* del contenido radiactivo de las paredes y del suelo
- Características constructivas y arquitectónicas

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN SUELOS

CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN INTERIOR DE VIVIENDAS

COSTES DE EJECUCIÓN DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS

PREDICCIÓN DE RADÓN EN INTERIORES – OTROS PAISES

RADÓN EN SUELOS

Fuente: El mapa predictivo de exposición al radón en España. 2013. CSN

Alemania

Variables Permeabilidad del terreno
²²²Rn a 1m. de profundidad

Permeabilidad (m²)	CRn* (kBq m ⁻³)				
	≤10	10–30	30–100	100–500	>500
10 ⁻¹⁶ < k ≤ 10 ⁻¹⁴	1	1	2	3	6
10 ⁻¹⁴ < k ≤ 10 ⁻¹²	1	2	3	4	6
10 ⁻¹² < k ≤ 10 ⁻¹⁰	1	3	4	5	6

República Checa

Variables Permeabilidad del terreno
²²²Rn a 0,80m. de profundidad

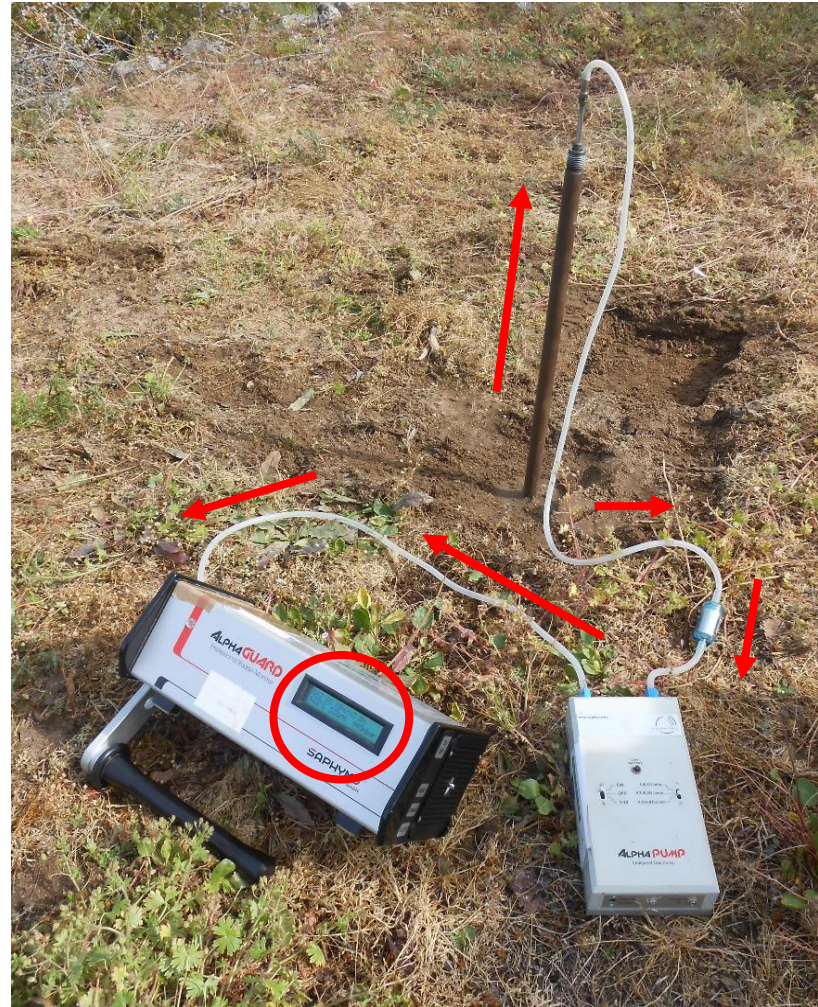
CRn* (kBq m ⁻³)			
Permeabilidad baja < 4.10 ⁻¹³ m²	Permeabilidad media 4.10 ⁻¹³ - 4.10 ⁻¹² m²	Permeabilidad alta > 4.10 ⁻¹² m²	Categoría riesgo
<30	<20	<10	Baja
30–100	20–70	10–30	Media
>100	>70	>30	Alta

INSTRUMENTACIÓN Y TOMA DE DATOS

RADÓN EN SUELOS

Medida de la concentración de ^{222}Rn en el suelo

Alphaguard



CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN EN SUELOS

RADÓN EN SUELOS

Ejemplo de medidas de ^{222}Rn en el suelo de un municipio Granítico



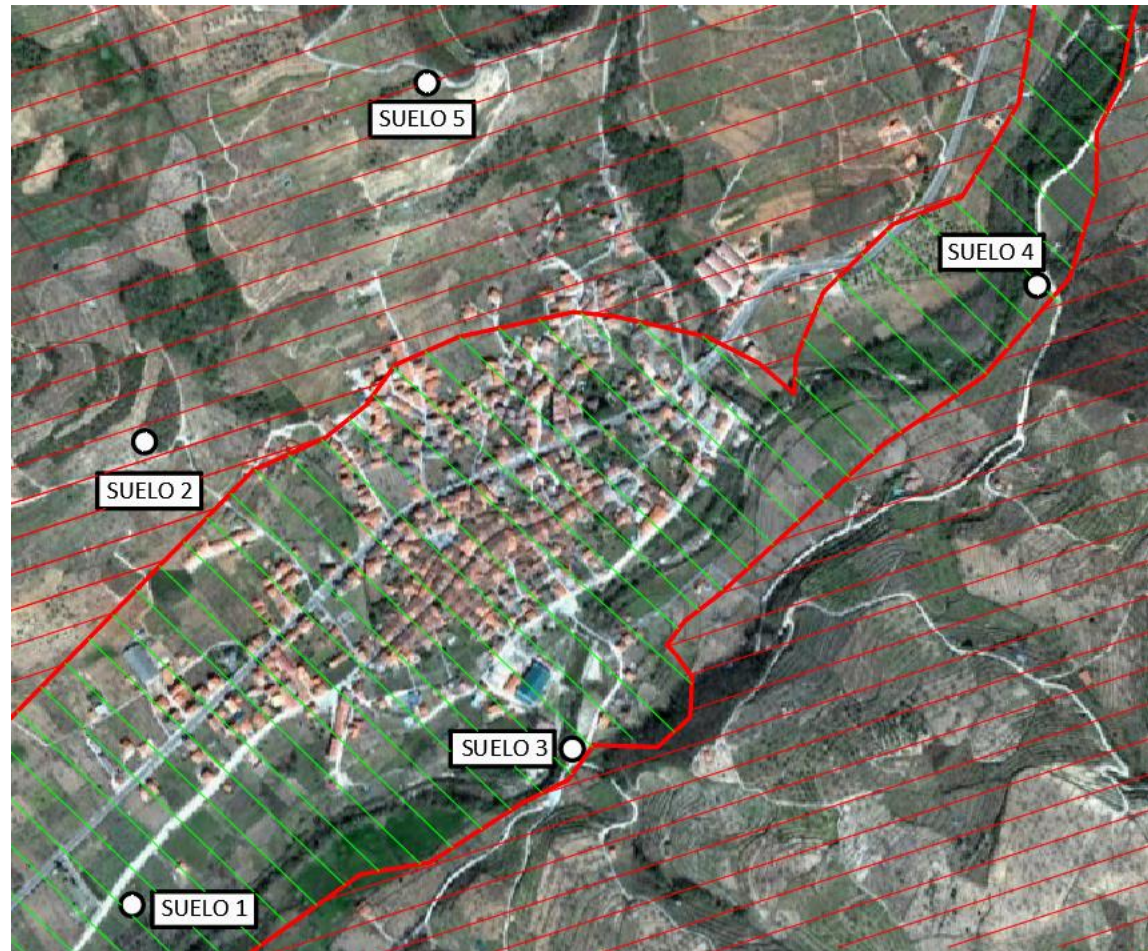
Casas del Castañar

Suelo	Prof. (cm)	^{222}Rn (Bq/m ³)
1	26	279.000
2	32	115.000
3	60	155.000
4	46	106.000
5	50	116.000

CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN EN SUELOS

RADÓN EN SUELOS

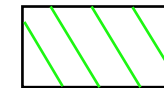
Ejemplo de medidas de ^{222}Rn en el suelo de un municipio Granítico - Sedimentario



Jerte



Granítico



Sedimentario

Suelo	Prof. (cm)	^{222}Rn (Bq/m ³)
1	50	43.000
2	50	147.000
3	25	16.000
4	30	25.000
5	50	192.000

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN SUELOS

CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN INTERIOR DE VIVIENDAS

COSTES DE EJECUCIÓN DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS

METODOLOGÍA PARA LAS MEDIDAS DE RADÓN EN INTERIORES

RADÓN EN VIVIENDAS

Viviendas estudiadas

Medida de radón durante 48h.

Vivienda unifamiliar de Plasencia

Vivienda de referencia

^{222}Rn

Durante 48h.

Para valorar la influencia que las variables meteorológicas tienen sobre los valores temporalmente puntuales de ^{222}Rn

Durante un año completo

Para valorar la influencia que las variaciones estacionales puedan tener en la **estimación de la concentración media anual**

INSTRUMENTACIÓN Y TOMA DE DATOS

RADÓN EN VIVIENDAS

Medida de la concentración de ^{222}Rn en el interior

Cánister de carbón activo



Electretes en configuración cerrada

Tipos de electretes



Corto plazo (ST)



Largo plazo (LT)

Tipos de Cámaras



Cámara estándar (S)



Cámara de bajo volumen (L-OO)

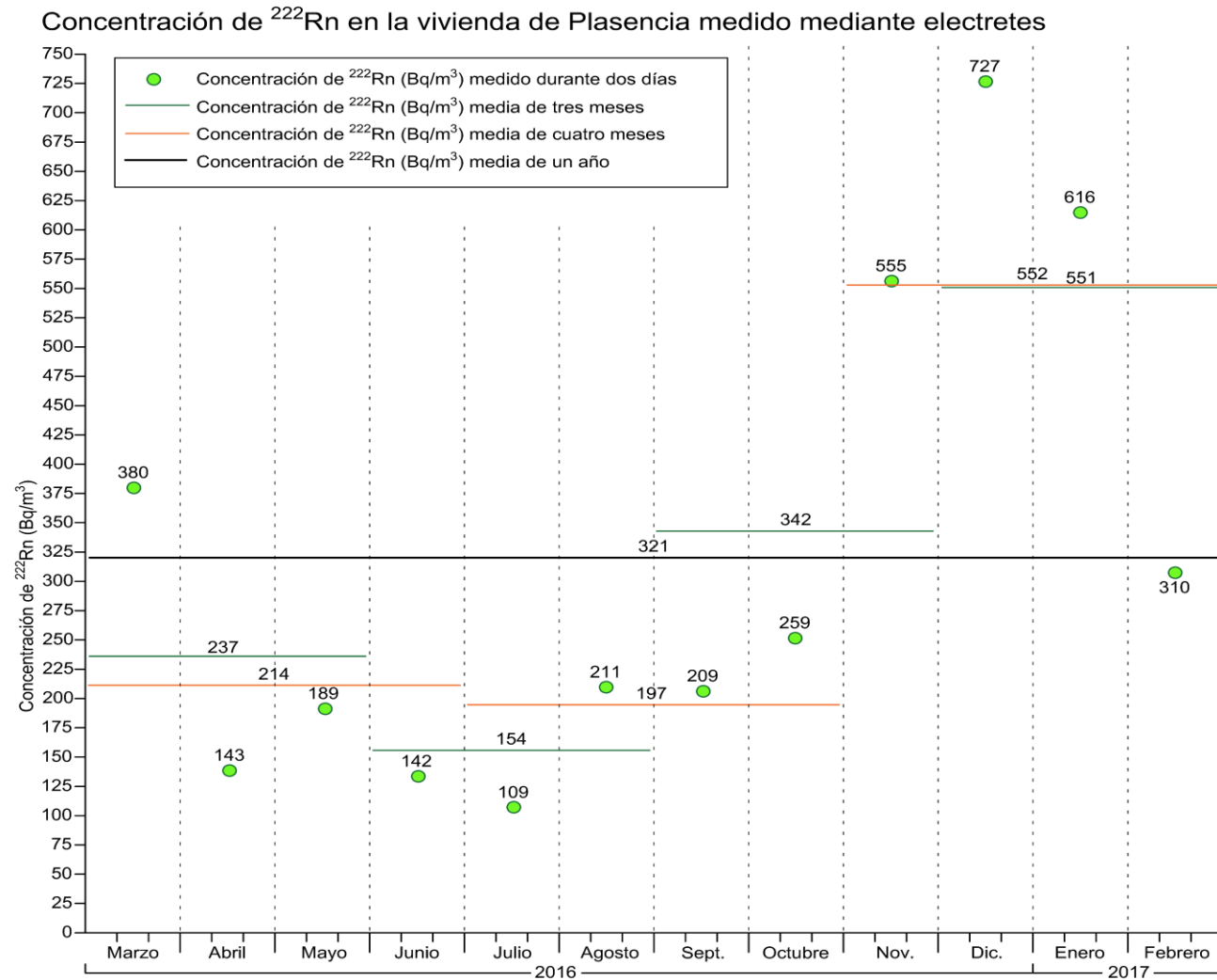
Alphaguard



CONCENTRACIONES DE GAS RADÓN EN EL INTERIOR DE LAS VIVIENDAS

RADÓN EN VIVIENDAS

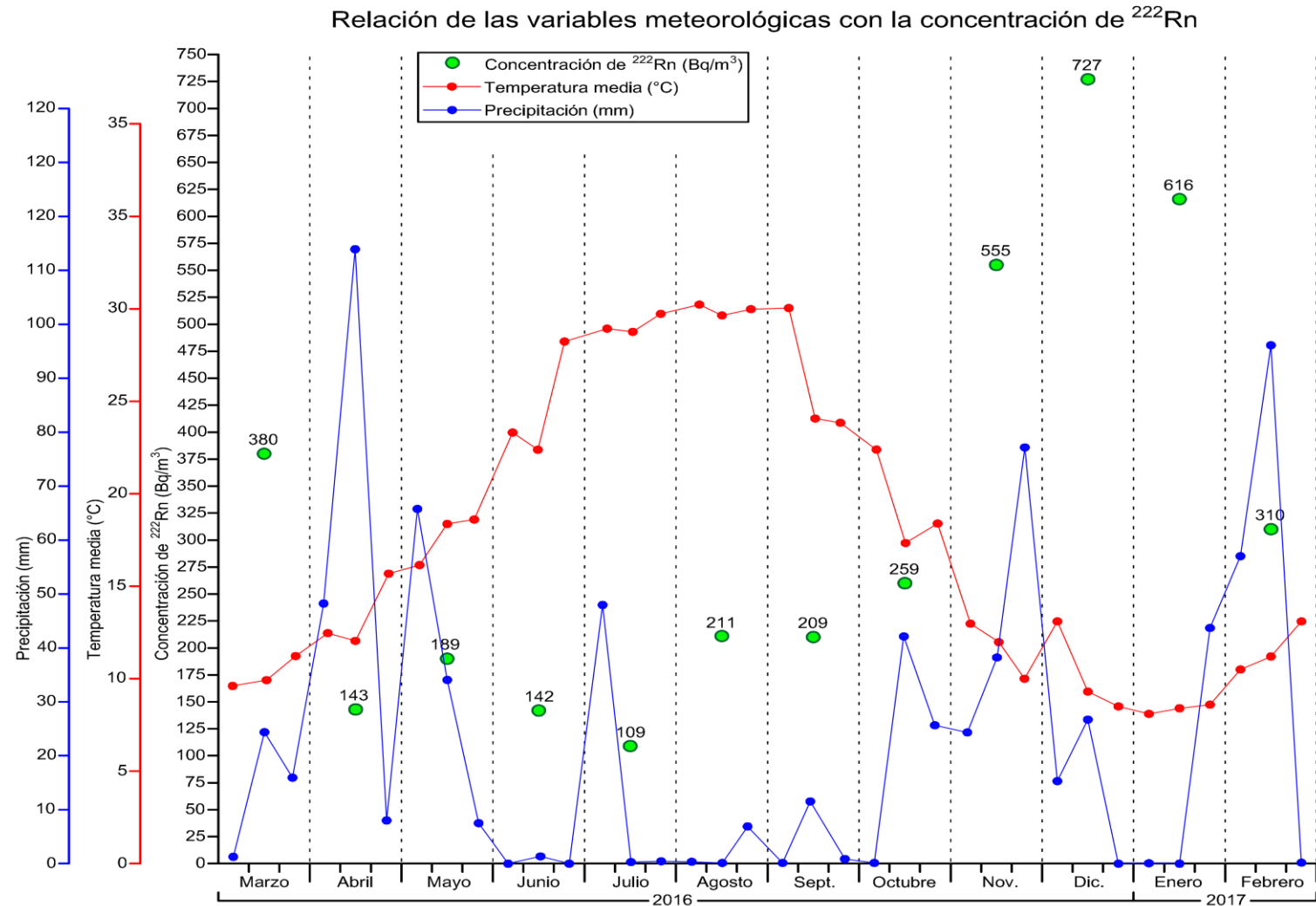
Amplitud temporal de la medida



CONCENTRACIONES DE GAS RADÓN EN EL INTERIOR DE LAS VIVIENDAS

RADÓN EN VIVIENDAS

Análisis de la variabilidad estacional de radón en la vivienda de Plasencia



CONCENTRACIONES DE GAS RADÓN EN EL INTERIOR DE LAS VIVIENDAS

RADÓN EN VIVIENDAS

Resultados de las medidas puntuales de concentración de radón

Vivienda	Fecha medida	Año de construc.	^{222}Rn en los distintos Pueblos (Bq/m^3)	^{222}Rn en Plasencia (Bq/m^3)
Piornal 1	15/05/2014	1820	156 ± 18	177 ± 18
Piornal 2	01/05/2014	1955	253 ± 16	252 ± 14
Piornal 3	29/05/2014	2009	908 ± 55	216 ± 12
El Torno 1	27/06/2014	1850	212 ± 16	273 ± 16
El Torno 2	12/06/2014	1997	459 ± 29	233 ± 15
El Torno 3	10/07/2014	2007	302 ± 19	127 ± 7
Casas del Castañar 1	19/02/2015	1780	45 ± 7	327 ± 21
Casas del Castañar 2	27/11/2014	1930	628 ± 44	992 ± 55
Casas del Castañar 3	05/02/2015	2007	1585 ± 430	438 ± 28
Rebollar 1	19/03/2015	1750 *	535 ± 129	253 ± 16
Rebollar 2	05/03/2015	1895	110 ± 9	357 ± 24
Rebollar 3	16/04/2015	2014	892 ± 45	293 ± 15
Jerte 1	14/04/2016	1815 *	426 ± 43	143 ± 8
Jerte 2	31/03/2016	1981	47 ± 3	342 ± 18
Jerte 3	17/03/2016	1994	105 ± 6	380 ± 19
Cabezuela del Valle 1	28/04/2016	1775	220 ± 13	281 ± 15
Cabezuela del Valle 2	24/05/2016	1998	197 ± 11	144 ± 7
Cabezuela del Valle 3	12/05/2016	2010	275 ± 15	189 ± 10
Tornavacas 1	21/06/2016	1729	206 ± 11	142 ± 8
Tornavacas 2	05/07/2016	1990	340 ± 18	180 ± 10
Tornavacas 3	07/06/2016	1997	2413 ± 125	168 ± 9
Guijo Sta. Bárbara 1	02/08/2016	1840	112 ± 7	125 ± 8
Guijo Sta. Bárbara 2	02/08/2016	1975	204 ± 13	125 ± 8
Guijo Sta. Bárbara 3	02/08/2016	2000	355 ± 21	125 ± 8

Concentraciones de radón altas



Rango de valores entre 45 y
 $2413 \text{ Bq}/\text{m}^3$

Valor medio de todas las
medidas realizadas durante el
periodo de dos días



Superior a **$300 \text{ Bq}/\text{m}^3$**

CONCENTRACIONES DE GAS RADÓN EN EL INTERIOR DE LAS VIVIENDAS

RADÓN EN VIVIENDAS

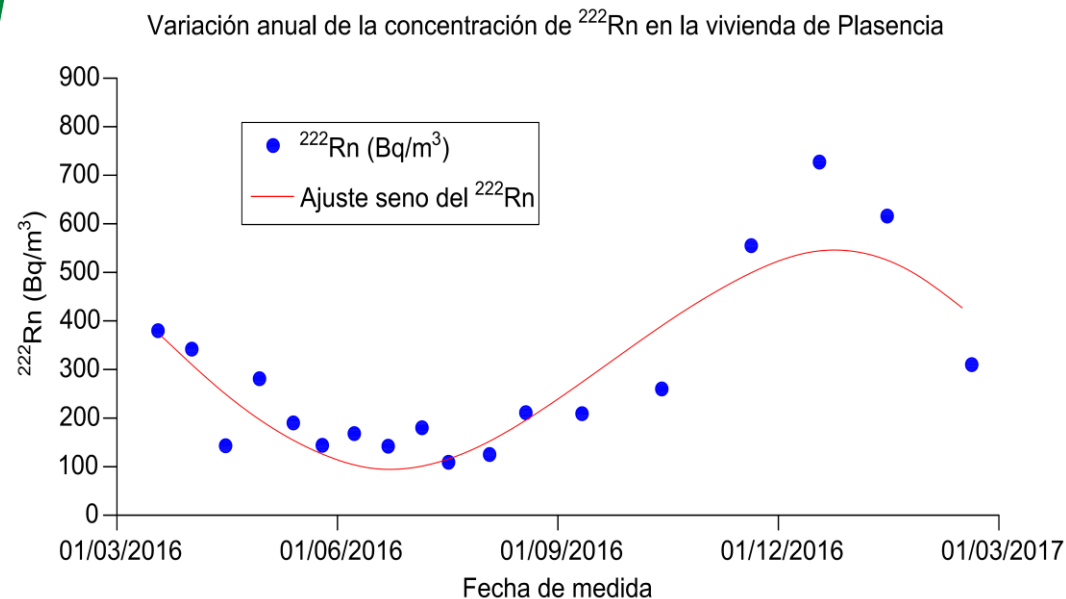
Modelo de variación estacional de la concentración de radón en Plasencia

$$Rn(t) = Rn(anual) + A \cdot \sin \frac{2\pi}{T} (t - t_0)$$

→ Concentración de radón en el instante t en Bq/m³



Concentración anual de radón en el interior de la vivienda de referencia resultó ser de **332 ± 24 Bq/m³**



La concentración de radón en su interior varía entre 110 - 730 Bq/m³

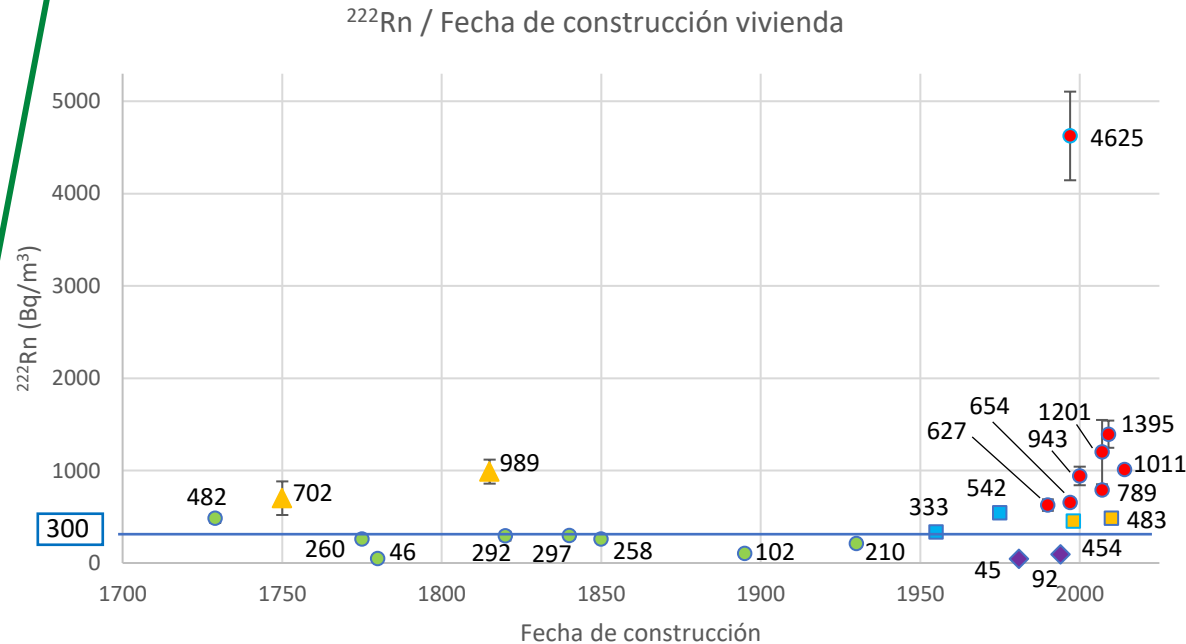


Un máximo en invierno y un mínimo en verano

CONCENTRACIONES DE GAS RADÓN EN EL INTERIOR DE LAS VIVIENDAS

RADÓN EN VIVIENDAS

Evolución de la concentración de radón con el tipo del arquitectónico



Vivienda en suelo granítico, construida entre 1700 y 1940, no rehabilitada	●
Vivienda en suelo granítico, construida entre 1700 y 1940, rehabilitada (rehabilitación integral de envolvente en 1986, solo hay una vivienda en este tipo)	▲
Vivienda en suelo granítico, construida entre 1940 y 1980, no rehabilitada	■
Vivienda en suelo granítico, próximo a suelo sedimentario, construida entre 1980 y 2014, no rehabilitada.	◆
Vivienda en suelo sedimentario, construida entre 1980 y 2014, no rehabilitada.	◆
Vivienda en suelo granítico, construida entre 1980 y 2014, no rehabilitada.	●

Viviendas en zonas graníticas

Radón en su interior es mayor cuanto más reciente es la fecha de su construcción

Viviendas construidas entre 1700 y 1940 con envolvente rehabilitada

Radón en su interior muy superior que los existentes en viviendas construidas en ese intervalo de tiempo

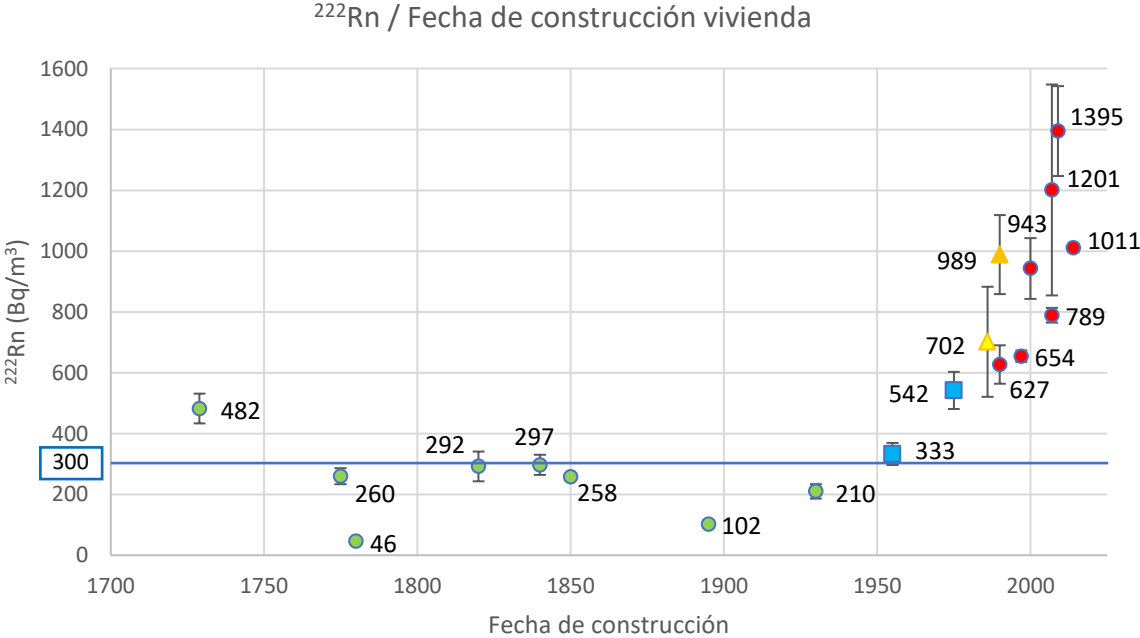
Viviendas construidas a partir de 1980 en suelos sedimentarios

Radón en su interior menor que en las construidas en fechas similares en zonas graníticas

CONCENTRACIONES DE GAS RADÓN EN EL INTERIOR DE LAS VIVIENDAS

RADÓN EN VIVIENDAS

Evolución de la concentración de radón con el tipo del arquitectónico



Viviendas construidas entre 1700 y 1940

No siguen un orden lógico, estando principalmente condicionadas por el grado de ventilación existente en dichas viviendas

Viviendas construidas entre 1700 y 1940 con envolvente rehabilitada

Se integran perfectamente con las viviendas nuevas construidas en fechas próximas a la que se hicieron tales rehabilitaciones

CONCLUSIONES

RADÓN EN VIVIENDAS

Las características constructivas condicionan notablemente



La **concentración de ^{222}Rn** en el interior de las viviendas



Viviendas actuales poseen las **mayores** concentraciones registradas en cada municipio

La rehabilitación de la envolvente llevada a cabo en algunas viviendas catalogadas como tradicionales incrementa significativamente los niveles de ^{222}Rn en dichas viviendas

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN SUELOS

CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN INTERIOR DE VIVIENDAS

COSTES DE EJECUCIÓN DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS

ESTUDIO CONSTRUCTIVO MEDIDAS EXISTENTES PROTECCIÓN FRENTE RADÓN

COSTE EJECUCIÓN
MEDIDAS CORRECTORAS

Medidas de protección elegidas para el análisis

Tesis Doctoral
Borja Frutos Vázquez

Estudio sobre la efectividad y la viabilidad de distintas soluciones constructivas para reducir la concentración de gas radón en edificaciones

Módulo experimental de vivienda, de 25m² de superficie construida en planta baja, en el término municipal de Saélices el Chico (Salamanca)

Extracción

Barrera

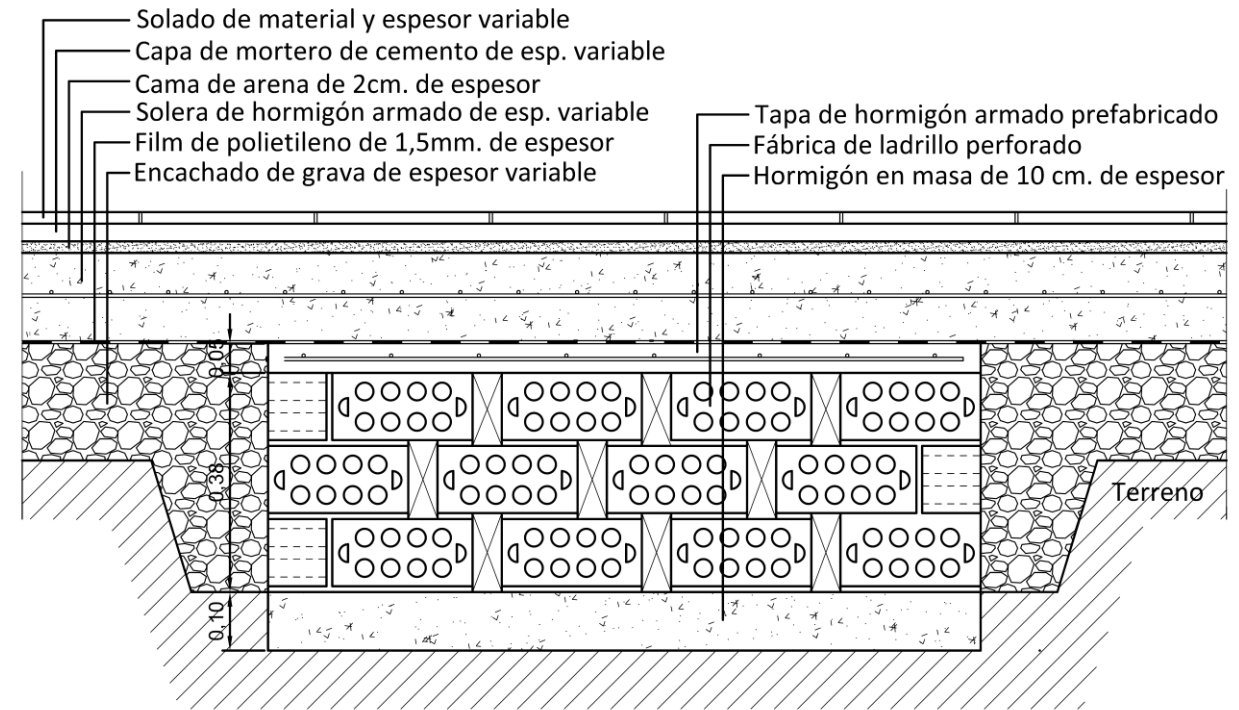
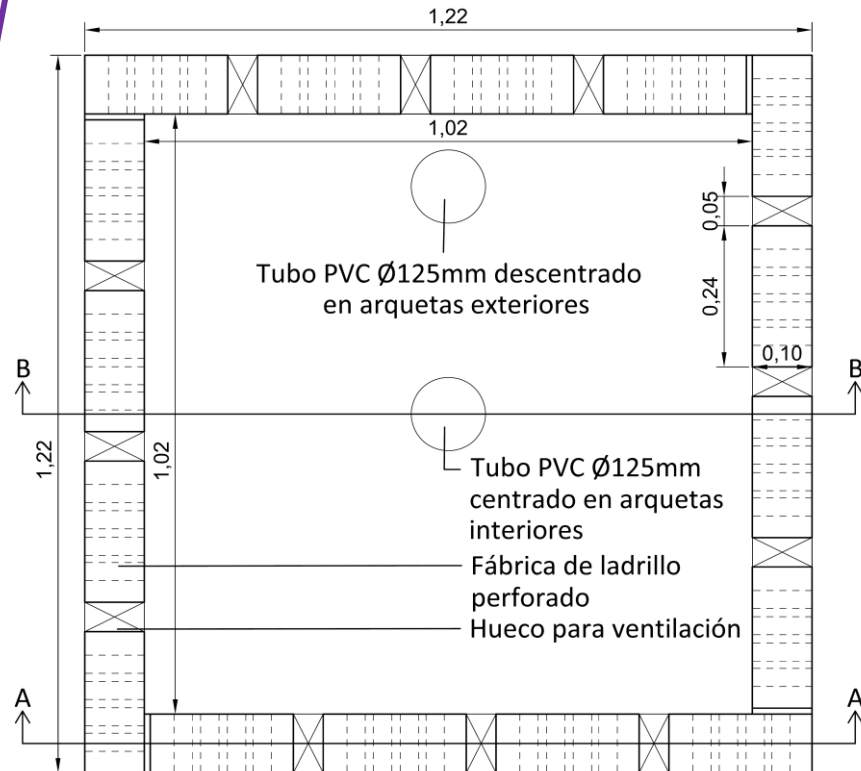
EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL RADÓN EN LA PLANTA MÁS PRÓXIMA AL SUELO	
Medida de protección frente al radón	Efectividad (%)
Extracción natural por arquetas enterradas interiores	96
Extracción forzada por arquetas enterradas interiores	99
Presurización forzada por arquetas enterradas interiores	99
Extracción forzada por arquetas enterradas exteriores	99
Membrana elastomérica como barrera anti radón	96

ESTUDIO CONSTRUCTIVO MEDIDAS EXISTENTES PROTECCIÓN FRENTE RADÓN

COSTE EJECUCIÓN
MEDIDAS CORRECTORAS

Medidas de protección por extracción de gas radón

Componentes básicos y ejecución en viviendas nuevas y existentes



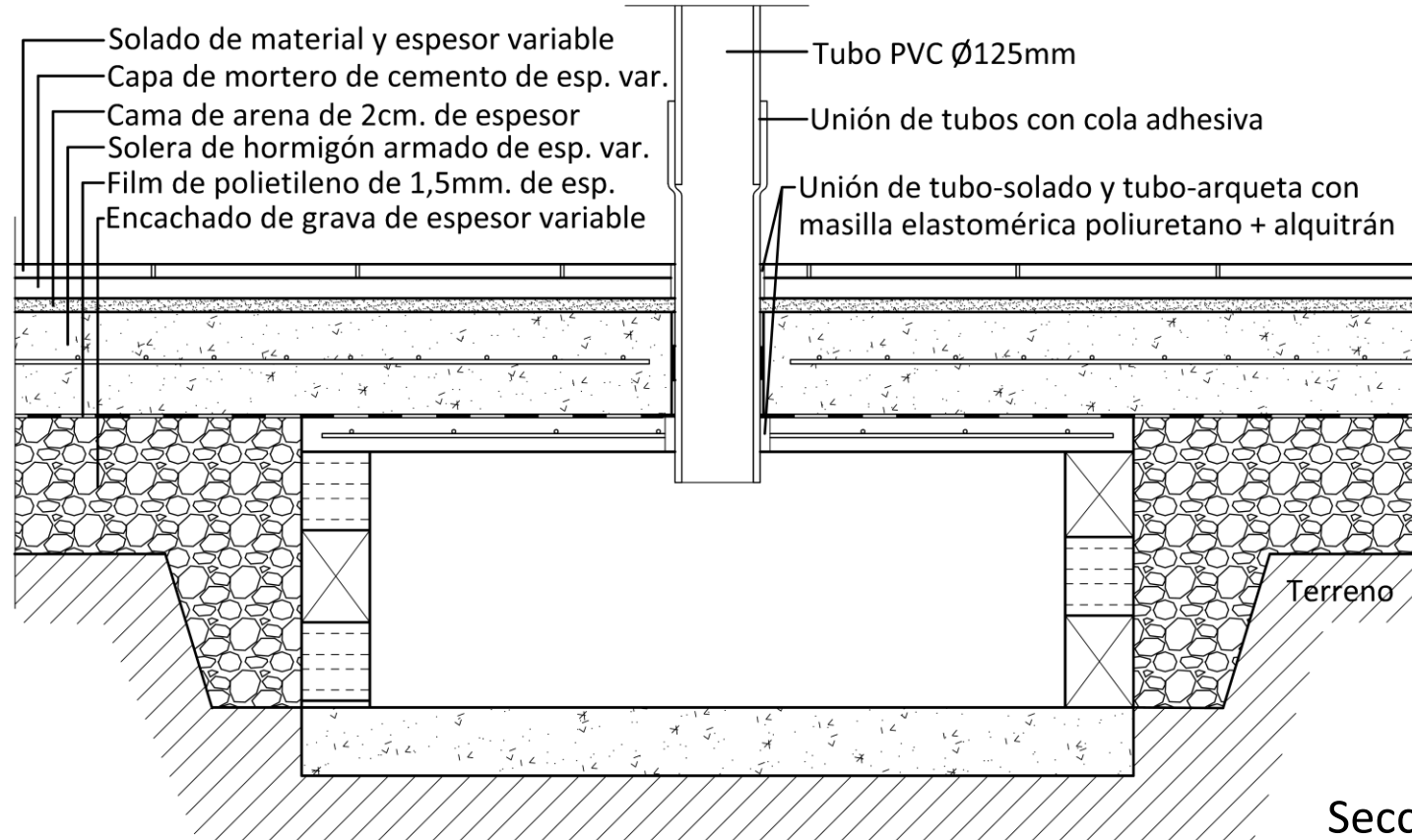
Sección A-A'

ESTUDIO CONSTRUCTIVO MEDIDAS EXISTENTES PROTECCIÓN FRENTE RADÓN

COSTE EJECUCIÓN
MEDIDAS CORRECTORAS

Medidas de protección por extracción de gas radón

Componentes básicos y ejecución en viviendas nuevas y existentes

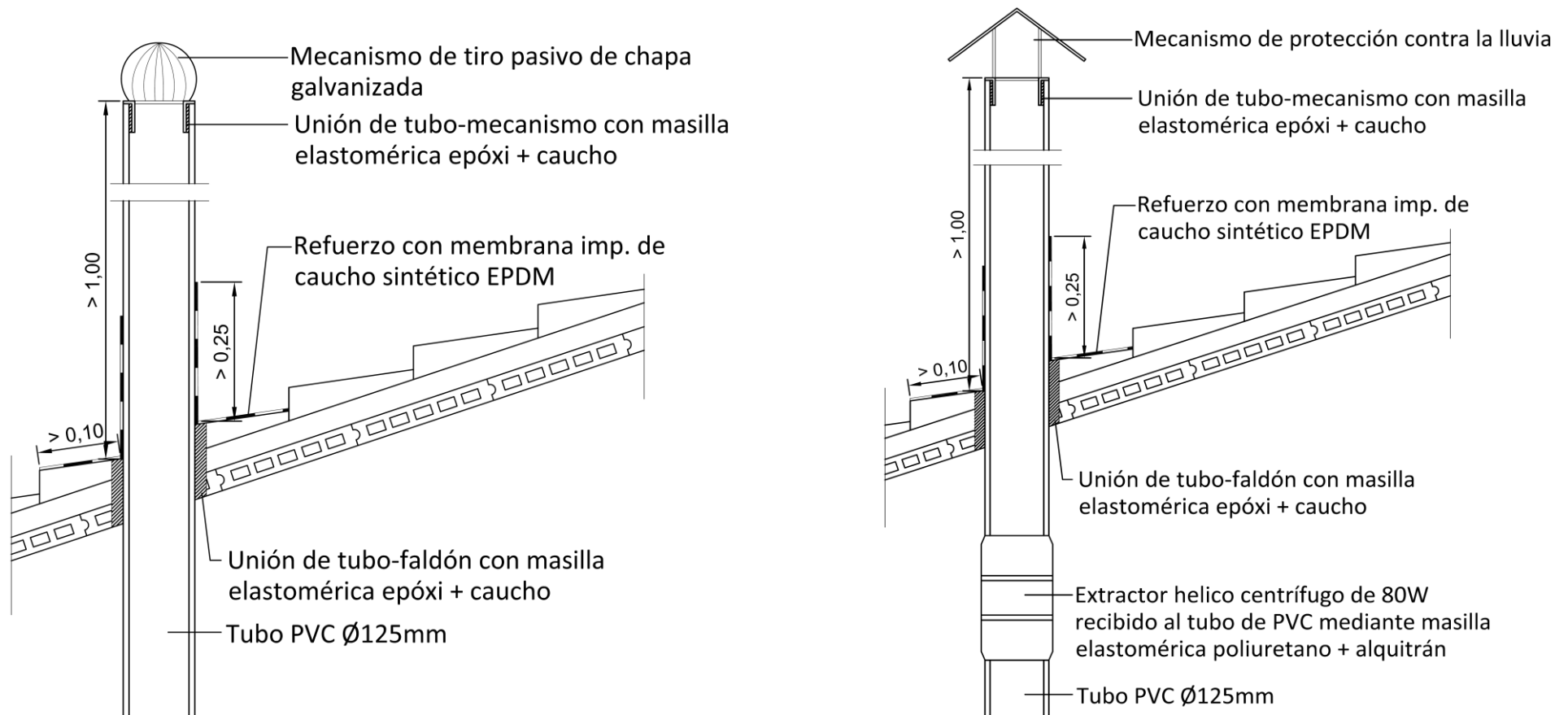


ESTUDIO CONSTRUCTIVO MEDIDAS EXISTENTES PROTECCIÓN FRENTE RADÓN

COSTE EJECUCIÓN
MEDIDAS CORRECTORAS

Medidas de protección por extracción de gas radón

Componentes básicos y ejecución en viviendas nuevas y existentes



ESTUDIO CONSTRUCTIVO MEDIDAS EXISTENTES PROTECCIÓN FRENTE RADÓN

COSTE EJECUCIÓN
MEDIDAS CORRECTORAS

Medida de protección por barrera frente al gas radón

Base de funcionamiento y ejecución en viviendas nuevas y existentes

- Membrana elastomérica de poliuretano a base de poliol e isocianato
- Se proyecta en líquido por capas de 1mm cada una
- Cataliza y solidifica creando una membrana continua **(sin juntas)** de un espesor medio de 3mm
- Es impermeable al paso del gas



ANÁLISIS ECONÓMICO MEDIDAS EXISTENTES PROTECCIÓN FRENTE RADÓN

COSTE EJECUCIÓN
MEDIDAS CORRECTORAS

Precios unitarios de unidades de obra de medidas de protección frente al radón

Elaboración de base de precios para el máximo número de posibilidades

A: Arqueta de captación tipo SUMP

B: Conducto de conexión arqueta-exterior

- B.1: Conducto de PVC
- B.2: Emparchado de conducto de PVC

C: Mecanismo de tiro pasivo/extractor mecánico

- C.1: Mecanismo de tiro pasivo
- C.2: Extractor mecánico

D: Membrana elastomérica

E: Demolición

- D.1: Demolición de pavimento
- D.2: Demolición de alicatado
- D.3: Demolición de solera de hormigón
- D.4: Demolición de entrevigado de forjado
- D.5: Demolición de cubierta
- D.6: Levantado de rodapiés
- D.7: Picado de revestimiento continuo
- D.8: Retirada de film/encachado de grava

F: Reconstrucción

- F.1: Reconstrucción de solado
- F.2: Reconstrucción de rodapiés
- F.3: Reconstrucción de alicatado
- F.4: Reconstrucción de solera de hormigón armado
- F.5: Reconstrucción de revestimiento continuo
- F.5: Reconstrucción de impermeabilización
- F.6: Reconstrucción encuentro tubo PVC - cubierta

G: Gestión de residuos

- G.1: Retirada de tierras
- G.2: Retirada de residuos áridos y piedras

H: Seguridad y salud

- H.1: Equipos de protección individual
- H.2: Protecciones colectivas
- H.3: Medicina preventiva y primeros auxilios
- H.4: Señalización

I: Control de calidad

ANÁLISIS ECONÓMICO MEDIDAS EXISTENTES PROTECCIÓN FRENTE RADÓN

COSTE EJECUCIÓN
MEDIDAS CORRECTORAS

Presupuesto de Ejecución Material de medidas de protección frente al radón

Elección de viviendas para aplicación teórica de medidas de protección

IDENTIFICACIÓN DE VIVIENDAS ELEGIDAS PARA REALIZAR EL PEM DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL RADÓN				
Identificación	Año de construcción	Concentración de ^{222}Rn media anual (Bq/m^3)	Superficie útil en planta de la estancia analizada (m^2)	Nº de plantas
Vivienda 3 - Piornal	2009	1395 ± 46	70,15	3
Vivienda 2 – El Torno	1997	654 ± 19	56,55	3
Vivienda 3 – El Torno	2007	789 ± 24	94,24	2
Vivienda 3 - Rebollar	2014	1011 ± 8	28,58	3
Vivienda 3 – Cab. Valle	2010	483 ± 7	69,08	3
Vivienda 2 - Tornavacas	1990	627 ± 9	80,16	3
Vivienda 3 - Tornavacas	1997	4625 ± 36	39,18	4

Concentración media anual por encima de los $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$ recomendados por la DIRECTIVA 2013/59

Estancia analizada ocupa la mayor parte de la superficie de la planta baja

Viviendas cuyo año de construcción es posterior o igual a 1990

ANÁLISIS ECONÓMICO MEDIDAS EXISTENTES PROTECCIÓN FRENTE RADÓN

COSTE EJECUCIÓN
MEDIDAS CORRECTORAS

Presupuesto de Ejecución Material de medidas de protección frente al radón

Resumen del PEM de las medidas de protección en las viviendas elegidas

RESUMEN DEL PEM (€)					
Vivienda	Nueva/exist.	Medida de protección frente al radón			
		Ext. Nat. Ara. Int.	Ext/presur. For. Ara. int.	Ext. Forz. ara. Ext.	Barrera protección
Viv. 3 - Piornal	Nueva	2747,27	3220,25	2676,11	2508,24
	Existente	4437,90	5171,97	3364,31	5416,85
Viv. 2 – El Torno	Nueva	2679,42	3151,40	-	2420,13
	Existente	4382,05	5116,12	-	5113,45
Viv. 3 – El Torno	Nueva	2986,98	3617,62	3074,56	4323,41
	Existente	4291,79	5270,55	3422,68	8200,15
Viv. 3 - Rebollar	Nueva	2098,18	2413,50	-	1074,59
	Existente	3276,01	3765,39	-	2198,64
Viv. 3 – Cab. Valle	Nueva	2772,61	3245,59	-	2827,83
	Existente	4534,68	5268,75	-	6029,17
Viv. 2 - Tornavacas	Nueva	3427,90	4058,54	-	3085,77
	Existente	4971,01	5949,77	-	6586,87
Viv. 3 - Tornavacas	Nueva	2341,89	2657,21	2186,80	1639,62
	Existente	3515,25	4004,63	2360,86	3428,07

PEM para viviendas existentes más elevado que para viviendas nuevas

La medida de protección por extracción forzada por arquetas enterradas exteriores no se puede ejecutar en todas las viviendas

De las medidas de protección por extracción de gas radón en viviendas nuevas, la menos económica es la de extracción/presurización forzada por arquetas enterradas interiores

ANÁLISIS ECONÓMICO MEDIDAS EXISTENTES PROTECCIÓN FRENTE RADÓN

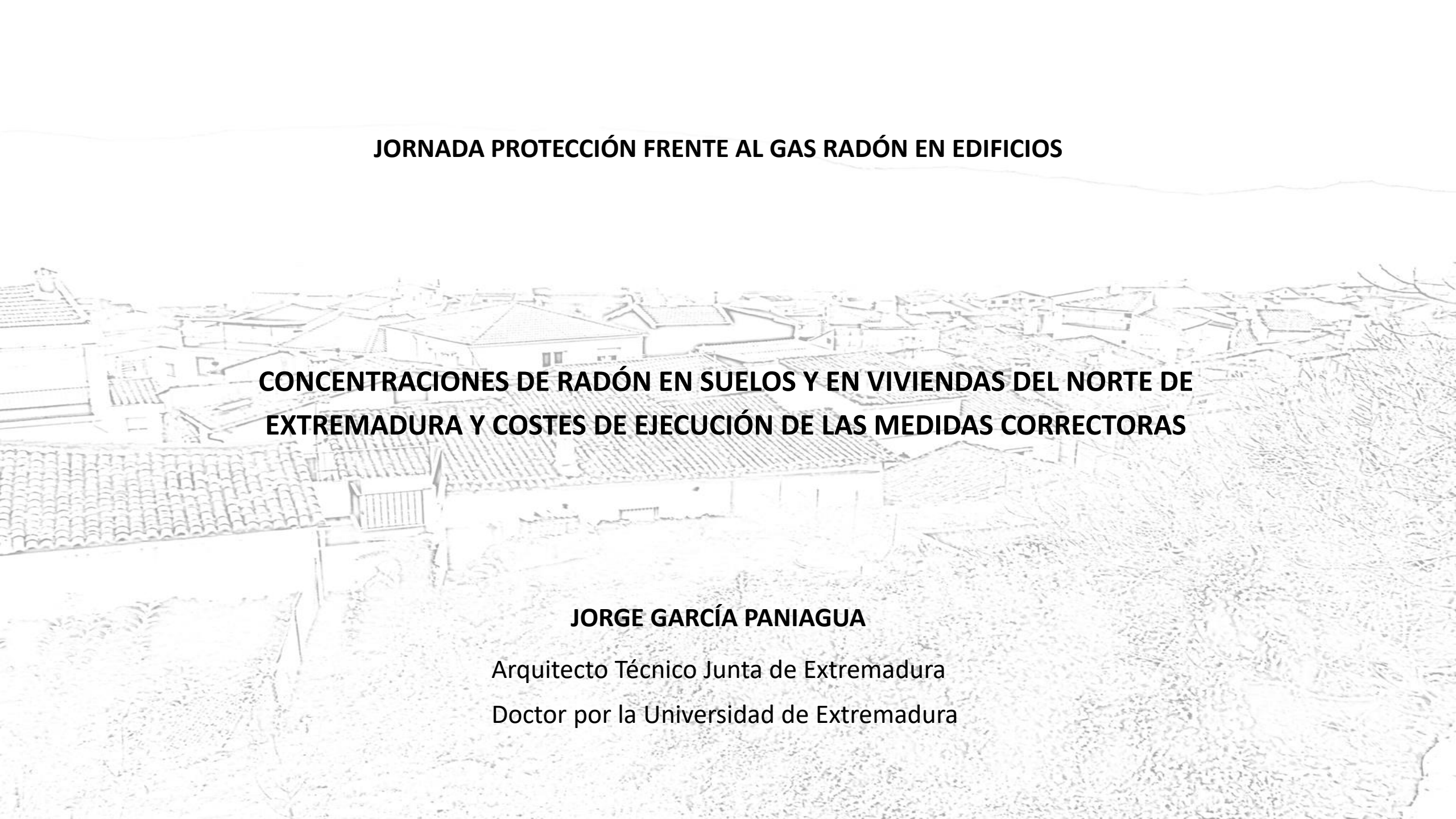
COSTE EJECUCIÓN
MEDIDAS CORRECTORAS

Presupuesto de Ejecución Material de medidas de protección frente al radón

Repercusión del PEM de las medidas de protección respecto del PEM total

REPERCUSIÓN (%) DEL PEM DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN RESPECTO DEL PEM TOTAL						
Vivienda	PEM total de la vivienda (€)	Nueva/exist.	Medida de protección frente al radón			
			Ext. Nat. Arq. Int.	Ext/presur. For. Arq. int.	Ext. Forz. arq. Ext.	Barrera protección
Viv. 3 - Piornal	105.575,40	Nueva	2,60	3,05	2,53	2,37
		Existente	4,20	4,89	3,18	5,13
Viv. 2 – El Torno	122.291,50	Nueva	2,19	2,57	-	1,97
		Existente	3,58	4,18	-	4,18
Viv. 3 – El Torno	95.897,65	Nueva	3,11	3,77	3,20	4,50
		Existente	4,47	5,49	3,56	8,55
Viv. 3 - Rebollar	62.905,34	Nueva	3,33	3,83	-	1,70
		Existente	5,20	5,98	-	3,49
Viv. 3 – Cab. Valle	98.537,04	Nueva	2,81	3,29	-	2,86
		Existente	4,60	5,34	-	6,11
Viv. 2 - Tornavacas	138.127,81	Nueva	2,48	2,93	-	2,23
		Existente	3,59	4,30	-	4,76
Viv. 3 - Tornavacas	114.813,24	Nueva	2,04	2,31	1,90	1,43
		Existente	3,06	3,48	2,05	2,98

2,70 ± 0,52 (SD) % para viviendas nuevas y del 4,46 ± 0,83 (SD) % para existentes



JORNADA PROTECCIÓN FRENTE AL GAS RADÓN EN EDIFICIOS

**CONCENTRACIONES DE RADÓN EN SUELOS Y EN VIVIENDAS DEL NORTE DE
EXTREMADURA Y COSTES DE EJECUCIÓN DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS**

JORGE GARCÍA PANIAGUA

Arquitecto Técnico Junta de Extremadura

Doctor por la Universidad de Extremadura