

Estudio del Impacto Radiológico de los Materiales de la Construcción en Argentina

Quintana, E.; Serdeiro, G.; Fernández, J.; Ciallella, H.

Autoridad Regulatoria Nuclear

Av. Del Libertador 8250 Ciudad de Bs. As. (1429) Argentina

equintan@cae.arn.gov.ar; guillermoserdeiro@cotecal.com.ar; jfernand@cae.arn.gov.ar;

hciallel@cae.arn.gov.ar

Resumen

Algunos países han establecido regulaciones específicas sobre el contenido de radiactividad de los materiales de la construcción (MC), mientras que otros están considerando si son necesarias regulaciones específicas. El propósito de limitar estos niveles de radiactividad, es restringir la exposición a la radiación debido al contenido natural o incrementado de los radionucleidos naturales.

Todos los materiales de uso para la construcción poseen cantidades variables de radionucleidos naturales. Los materiales derivados de las rocas y suelos contienen principalmente los radionucleidos de las cadenas naturales del U-238 y del Th-232 y el radionucleido K-40.

La Autoridad Regulatoria Nuclear está realizando estudios de la concentración de Ra-226, Th-232 y K-40 en diferentes MC con el propósito final de proveer recomendaciones que se apliquen para controlar los niveles de radiactividad de los mismos.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que restricciones sobre el uso de ciertos MC podrían tener importantes consecuencias económicas, ambientales o sociales tanto en el ámbito regional como nacional. Tales consecuencias deben ser evaluadas y consideradas junto con los niveles de radiactividad al establecer recomendaciones o regulaciones.

La exposición a la radiación proveniente de los MC puede ser dividida en externa e interna. La exposición externa es causada por irradiación gamma directa, proveniente del decaimiento radiactivo de los radionucleidos naturales. La irradiación interna es causada por la inhalación de Rn-222 (radón), Rn-220 (thorón) y su progenie. El radón es parte de la serie de decaimiento del uranio, que está presente en los MC. La mayor fuente de producción de radón es indudablemente el suelo, pero en algunos casos los MC pueden producir un relevante aporte. Estos también pueden ser una importante fuente de producción de thorón cuando contienen altas concentraciones de Thorio.

En este trabajo se presentan los resultados de las mediciones de Ra-226, Th-232 y K-40 realizadas en marcas líderes de cementos y yesos de origen nacional que se comercializan en todo el país, así como de arenas nacionales de distinta procedencia que se comercializan localmente. Los resultados se comparan con los obtenidos en otros países.

Las mediciones se realizaron por espectrometría gamma con un detector de GeHp de 60% de eficiencia relativa utilizando un recipiente plástico sellado. El Ra-226 se determinó a partir de la medición de las hijas del radón, Bi-214 y Pb-214. El Th-232 se determinó a partir de la medición del Ac-228 en equilibrio. El K-40 se midió en forma directa.

1. INTRODUCCIÓN

El ser humano vive constantemente expuesto a radiaciones ionizantes, provenientes de distintas fuentes de exposición. Alrededor del 87 % de ellas proviene de fuentes naturales, y el resto (13%) es derivada de acciones humanas como son por ejemplo, los aplicaciones médicas, lluvia radiactiva (fallout) y la industria nuclear [1].

De las fuentes naturales, el 47 % de la dosis efectiva anual proviene del gas radón y sus productos de decaimiento. El resto proviene de los rayos cósmicos, la radiación terrestre y los minerales que se encuentran en la corteza terrestre y en los alimentos [1].

Los materiales usados en la construcción que provienen de minerales de rocas o suelos contienen cierta cantidad de radionucleidos provenientes de cadenas naturales. Estos decaen en otros radionucleidos que pueden ser estables o inestables, emitiendo durante este proceso radiaciones ionizantes alfa, beta o gamma y que además pueden presentarse en forma simultanea. Las cadenas radiactivas más importantes son la del uranio (serie del uranio-238) y la del thorio (serie del thorio-232), que se suman a la presencia de potasio (potasio-40) [1]. La cadena que esté presente determinará la cantidad de radionucleidos y el tipo de radiación emitida por dichos elementos durante el proceso de decaimiento.

Las radiaciones que emiten los materiales de construcción se hallan dentro de las denominadas radiaciones naturales dado que los mismos poseen una concentración natural de radionucleidos, pero en ciertos casos el hombre modifica esta concentración durante el proceso de fabricación. Cuando los modifica, agrupa y utiliza para construir un espacio habitable, el fondo natural de exposición radiactiva se puede ver alterado por la incidencia de estos materiales que conforman dicho ambiente.

Materiales de construcción con altas concentraciones de radionucleidos naturales han sido usados en varios países. En algunos casos estos materiales fueron de origen natural (granitos o alumbres), y en otros casos fueron productos derivados de ciertos procesos industriales (yeso derivado de la industria del fosfato, rocas provenientes de la minería)[2, 3, 4, 5].

Estas radiaciones naturales no solo pueden afectar a los tejidos externos a causa de la exposición directa, sino que también la inhalación o ingestión de partículas que contienen radionucleidos o productos del decaimiento radiactivo de los mismos, pueden atacar a los tejidos sensibles en el interior del organismo.

Las radiaciones que emiten los radionucleidos presentes en los materiales usados en la construcción, pueden ocasionar dosis que son menores a la dosis efectiva anual proveniente de otras fuentes naturales, pero en ciertos ambientes habitables podría incrementarse el fondo natural radiactivo y por consiguiente las dosis absorbidas por las personas que habitan dicho ambiente serían mayores. Es por ello que es importante conocer cuales materiales de construcción podrían causar un aumento significativo de la concentración de radón en interiores y un aumento de la exposición gamma, y de ser necesario limitar su uso.

La Subgerencia de Control Ambiental de la Autoridad Regulatoria Nuclear ha comenzado estudios del contenido de los radionucleidos más significativos: Radio-226, Thorio-232 y Potasio-40 en diferentes materiales de la construcción y sucedáneos con el propósito final de

proveer recomendaciones que se apliquen para controlar los niveles de radiactividad de los mismos, cuando fuere necesario. El propósito de limitar estos niveles de radiactividad es restringir la exposición a la radiación debido al contenido natural o incrementado de estos radionucleidos naturales.

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de las concentraciones medidas de radionucleidos naturales en algunos de los materiales de la construcción usados en Argentina. Los resultados obtenidos se comparan con los reportados en otros países.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se recogieron y midieron muestras de materiales de la construcción utilizados en diferentes construcciones de la República Argentina, pertenecientes a marcas líderes de cemento portland normal y yeso de origen nacional que se comercializan en todo el país, así como de arenas nacionales de distinta procedencia que se comercializan localmente.

Los cementos provenían de tres empresas líderes en el mercado de la construcción, con plantas ubicadas en las provincias de Buenos Aires, Mendoza, Jujuy, Catamarca, San Juan, Neuquén, Santa Fe y Córdoba.

Los yesos pertenecían a seis diferentes marcas que provenían de variadas canteras del interior de país, principalmente de las provincias de San Luis y La Pampa.

Las arenas fueron extraídas del lecho del río Paraná Guazú, en las cercanías de la provincia de Entre Ríos, y en canteras ubicadas de las provincias de Salta y Catamarca.

La medición de la concentración de material radiactivo en las muestras de los materiales seleccionados se realizó utilizando la técnica de espectrometría gamma directa con un detector de GeHp coaxial (60% de eficiencia relativa). Esta es una técnica no destructiva que permite realizar los análisis con relativa rapidez, al no ser necesario realizar separaciones químicas.

Las muestras se acondicionaron mediante secado y molienda, y separación previa a la medición, con el objetivo de obtener en todos los casos un polvo uniforme con granulometría de partículas menor al mm. Las mismas se colocaron en recipientes plásticos, de 7cm de diámetro y 4cm de altura, siendo la masa utilizada de aproximadamente 150 g. Los recipientes una vez sellados se almacenaron durante un tiempo mayor a 21 días para permitir llegar al equilibrio a las hijas del radón y así poder medirlas. La geometría así calibrada se denominó geometría pote.

El Radio-226 se determinó a partir de la medición de las hijas del radón, Bismuto-214 y Plomo-214, utilizando sus líneas de emisión de 609,3 keV (intensidad 46,1%) y 351,9 keV (intensidad 37,6%) respectivamente. El Thorio-232 se determinó a partir de la medición del Actinio-228 en equilibrio, utilizando su línea de emisión de 911,2 keV (intensidad 25,8%). El K-40 se midió en forma directa, utilizando la línea de emisión de 1460 keV (intensidad 11%) [6, 7].

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de las mediciones correspondientes a las concentraciones de radio-226, thorio-232 y potasio-40 se presentan en la Tabla. 1.

Tabla I: Concentración de ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K en cemento pórtland normal, yeso y arena de Argentina (% Incertidumbre con 1σ)

Muestra	^{226}Ra		^{232}Th		^{40}K	
	Actividad [Bq/kg]	Incertidumbre	Actividad [Bq/kg]	Incertidumbre	Actividad [Bq/kg]	Incertidumbre
Cemento A 1	29,8	5,4%	12,0	6,3%	223	5,2%
Cemento A 2	34,0	5,3%	13,9	6,2%	247	5,2%
Cemento A 3	12,4	5,8%	13,4	6,3%	220	5,2%
Cemento B 1	12,1	5,8%	12,9	6,2%	228	5,2%
Cemento B 2	20,1	5,5%	13,6	6,1%	199	5,2%
Cemento B 3	17,5	5,6%	14,1	6,2%	236	5,2%
Cemento C 1	6,7	6,0%	11,6	6,1%	226	5,2%
Cemento C 2	6,4	6,2%	12,1	6,2%	239	5,2%
Cemento C 3	7,8	6,1%	13,5	6,2%	242	5,2%
Yeso A 1	7,4	6,2%	8,5	6,9%	52,0	5,8%
Yeso A 2	9,5	6,0%	8,8	6,8%	59,7	5,7%
Yeso A 3	6,9	6,3%	6,7	7,5%	46,8	5,9%
Yeso B 1	1,6	7,6%	<2	---	8,1	6,8%
Yeso C 1	3,8	6,8%	<2	---	11,6	6,6%
Yeso D 1	4,2	6,8%	<2	---	<6	---
Yeso D 2	5,3	6,6%	<2	---	<6	---
Yeso E 1	6,7	6,4%	<2	---	6,7	7,0%
Yeso F 1	6,9	6,1%	5,3	7,3%	35,1	5,9%
Arena A 1	21,1	5,3%	29,9	5,4%	633	5,1%
Arena A 2	25,0	5,3%	39,9	5,4%	634	5,1%
Arena B 1	45,8	5,2%	90,0	5,1%	1168	5,0%
Arena C 1	5,1	6,4%	4,8	7,6%	93	5,4%
Arena C 2	3,7	6,6%	4,7	7,4%	85	5,4%

En la nomenclatura, tanto en el yeso como en el cemento se utilizaron las letras mayúsculas para la diferenciación de marcas y la numeración para diferenciar las muestras de una misma marca de cada material. El nomenclador A y B se utilizó para las distintas arenas de canteras y C para las arenas de río respectivamente.

La Unión Europea en el reporte Radiation Protection 112 [3] describe las concentraciones normales y máximas de Radio-226, Thorio-232 y Potasio-40 en distintos materiales de construcción utilizados en los países de la comunidad. No considera por separado la arena y el cemento portland, sino que considera el concreto, cuyos principales componentes son los primeramente mencionados, informando además sobre el yeso. Los valores se presentan en la Tabla 2:

Tabla II: Concentraciones de ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K indicadas en el Radiation Protection 112

Material	Concentraciones Normales [Bq/kg]			Concentraciones Máximas [Bq/kg]		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Concreto	40	30	400	240	190	1600
Yeso	10	10	80	70	100	200

La Autoridad de Protección Radiológica y Nuclear (STUK) de Finlandia publicó en la guía ST 12.2 [8] los niveles de acción dosimétricos y los índices de actividad para los materiales utilizados en la construcción de edificios y viviendas, entre otras regulaciones.

En la actualidad en Argentina no existe legislación específica ni limitaciones de la concentración de estos radionucleidos en los materiales de construcción, ya sean nacionales o importados. Sin embargo resulta importante comparar estos resultados con los obtenidos de países donde si hay una legislación vigente impuesta a partir de años de investigación.

Las muestras analizadas de nuestro país arrojan como resultado favorable que las concentraciones Radio-226, Thorio-232 y potasio-40, se encuentran dentro de los valores standard informados por la U.E. sin obtener resultados que sobrepasen los máximos fijados por la misma.

Diversos países han informados valores de concentración de radionucleidos en cementos y arenas. En el anexo B “Fuentes Naturales de Radiación” del informe del UNSCEAR (1977) se introducen los valores mostrados en la Tabla 3.

Tabla III. Concentración de ^{40}K , ^{226}Ra y ^{232}Th en materiales de construcción (Bq/kg)

Material	Origen	Nro. Muestras	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
Hormigón	R. F. Alemania	69	555	66.6	62.9
Hormigón pesado	Suecia	15	703	48.1	85.1
Hormigón celular sin agregado de alúmbres	Suecia	22	333	55.5	70.3
Hormigón pesado	URSS	87	555	33.3	29.6
Hormigón ligero	URSS	16	518	74	33.3
Hormigón	Reino Unido	5	518	74	29.6
Cemento	R. F. Alemania	19	192.4	44.4	44.4
Cemento	Suecia	8	233.1	55.5	55.5
Cemento	URSS	7	222	44.4	44.4
Grava y arena	R. F. Alemania	50	259	14.8	18.5
Arena natural y residuos arenosos	URSS	32	262.7	23.31	18.5

Algunos de los trabajos más recientes [2, 4, 5] informan resultados de Australia, Israel e Irlanda, que se presentan respectivamente en las Tablas IV, V y VI.

Tabla IV. Radiactividad Natural de materiales de construcción típicos de viviendas de Australia

Material	Cantidad Muestras	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	Rango	Promedio
Arena	3	3.7	40.7	44.4	66.6 – 74	70.3
Cemento Pórtland	7	51.8	48.1	11.,7	77.7 – 181.3	114.7
Yeso	4	< 3.7	11.1	< 3.7	3.7– 25.9	14.8
Concreto	5	14.8	40.7	199.8	55.5 – 103.6	85.1
Arenas de Zirconio	3	2249.6	503.2	325.6	1727.9– 3703.7	2989.6
Arenas rojas	1	48.1	388.5	51.8	-	606.8

Tabla V. Valores radioactividad específica de materiales disponibles en Israel

Material	²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)
Cemento Pórtland (grado 250)	60.2	65.5	801.1
Cemento Pórtland (grado 300)	42.9	47.7	870.1
Concreto (agregado de cenizas)	24.9	11.8	63.9
Concreto ligero	24.5	8.2	73.5
Concreto	18.1	5.2	51.3
Concreto Aireado	9.5	6.2	96.5
Revestimiento Pórtland (grado 250)	66.3	39.2	138.1
Revestimiento Pórtland (grado 300)	48.2	19.6	139.6
Yeso blanco	10.5	5.9	51.4
Arena de Caliza	12.1	4.1	51.1
Arena de Cuarzo	3.1	3.7	90.9

Tabla VI. Concentraciones de actividad en materiales de construcción irlandeses

Numero de Muestra	Material	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
24	Cemento	47.2	15.1	251.8
25	Cemento	26.9	14.5	74.2
26	Cemento	106.9	3.3	65.7
27	Concreto	18.3	8.5	168.5
28	Concreto	25.7	8.7	183
29	Concreto	22.5	6.2	118.5
30	Concreto	25.7	17.2	1099.8
31	Concreto	24.7	43.4	96
32	Concreto	67.5	5.8	37.3
33	Concreto	23.6	4	19
34	Concreto	23.3	2.6	16.2
35	Yeso	25.2	5.4	119.7
36	Yeso	22.9	6.4	130.5
37	Yeso	27.9	10.6	175.4
38	Yeso	1.8	< 1	15.1
39	Yeso	12.2	3	254.3
40	Yeso	18.4	82	259.2
41	Yeso	29.2	7.2	148.4
42	Yeso	15.2	5.7	126.8
43	Yeso	23.5	4.5	83.7
44	Yeso	23.8	7.3	140.6
47	Arena	8	10.3	443.3
48	Arena	20.2	23.5	550.2
49	Arena	9	< 1	12.1

Se puede observar que los valores medidos en Argentina presentan una variabilidad similar a la informada por los trabajos arriba mencionados.

La enorme cantidad de estudios realizados en diversos países evidencia el interés de determinar el factor de incidencia de los materiales de construcción en la dosis que recibe la población, a fin de evitar los materiales en los cuales las concentraciones de radionucleido naturales, en especial el radio, puedan exceder niveles considerados aceptables. Los controles deben estar basados sobre los niveles que estén por encima de las exposiciones típicas que recibe el ser humano en un ambiente construido y su variación normal.

La medición de radio es especialmente recomendable en materiales que puedan considerarse de “riesgo”, como son las escorias y las cenizas. Ello ayudaría a evitar acciones de remediación posteriores en viviendas una vez construidas, que serían más costosas y complicadas.

4. CONCLUSIONES

La mayoría de los países que han adoptado recomendaciones o regulaciones lo hacen en base a un criterio de aumento de la dosis natural y en ningún caso se aceptan valores que excedan 1 mSv.

Los estudios que lleva a cabo la Autoridad Regulatoria Nuclear argentina son preliminares y deben continuarse en el tiempo para obtener un conjunto de datos mayores en los mismos materiales analizados y extenderse a otros materiales naturales y subproductos industriales utilizados como agregados. Para establecer futuras recomendaciones o regulaciones, se debe tener en cuenta que restricciones sobre el uso de ciertos materiales podrían ocasionar consecuencias económicas, ambientales y sociales tanto en el ámbito regional como nacional. Tales consecuencias deben ser evaluadas y consideradas.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la colaboración de la Lic. Bibiana Fraire en la elaboración del presente trabajo.

REFERENCIAS

1. United Nations, *Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation. Sources and Effects Of Ionizing Radiation*, Vol 1, United Nations Publication, New York, USA (2000).
2. J.Beretka & P.J.Mathew “ Natural Radioactivity of Australian Building Materials, Industrial Wastes and by products”, *Health Physics*, **Vol. 48 N°1**, p. 87-95, (1985).
3. European Commission, “Radiological protection principle concerning the natural radioactivity of building materials” *Radiation Protection 112*, European Commission, Brussels, Belgium (1999b)
4. K.Kovler, G.Haquin, V.Manasherov, E.Ne’eman, N.Lavi “ Natural radionuclide in building materials available in Israel”, *Building and Environmental*, **Vol. 37p.** 534 537, (2002).
5. E.M.Lee, G.Menezes & E.C.Finch “ Natural Radioactivity in Building Materials in the Republic of Ireland”, *Health Physics*, **Vol. 86 N°4**, p. 378 383, (2004).
6. Página del National Nuclear Data Center, Brookhaven, <http://www.nndc.bnl.gov/ensdf> (2006)
7. Página del LawrenceBerkeley Laboratory, <http://ie.lbl.gov/toi.html> (2006)
8. STUK, “The Radioactivity of Building Materials and Ash”, **Guide ST 12.2**, Helsinki, Finland (2003).