

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

FACULTAD DE CIENCIAS

INGENIERÍA GEOLÓGICA



TRABAJO FIN DE CARRERA

**CARACTERIZACIÓN RADIOLÓGICA
DE LAS ROCAS ORNAMENTALES DE
CASTILLA Y LEÓN**

MARÍA MANTECA ÁLVAREZ

2011

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

INGENIERÍA GEOLÓGICA



TRABAJO FIN DE CARRERA

**CARACTERIZACIÓN RADIOLÓGICA
DE LAS ROCAS ORNAMENTALES DE
CASTILLA Y LEÓN**

Por:

MARÍA MANTECA ÁLVAREZ

Para la obtención del título de Ingeniero Geólogo

Tutora y Co-tutor del Proyecto:

MARÍA DOLORES PEREIRA GÓMEZ

LUIS JOSÉ PROENÇA DE FIGUEIREDO NEVES

2011

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Dña. María Dolores Pereira Gómez, Profesora Titular del Área de Petrología y Geoquímica del Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca.

D. Luis José Proença de Figueiredo Neves, Profesor Catedrático del Área de Mineralogía, Petrología y Geoquímica del departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Coimbra.

CERTIFICAN:

Que el Trabajo Fin de Carrera titulado “Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León” ha sido realizado bajo su tutela por Dña. María Manteca Álvarez.

Salamanca, a 7 de septiembre de 2011.

Dra. D. María Dolores Pereira Gómez.



Dr. D. Luis José Proença de Figueiredo Neves.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría agradecer a la Dra. Dña. María Dolores Pereira por todo su esfuerzo, dedicación, entrega y confianza en mí desde el primer día.

A mi co-tutor, Dr. D. Luis Figueiredo Neves por su disposición y explicación, ayudándome a entender parte del trabajo realizado en Coimbra.

A Carlos G. Neila por prestarme su tiempo para ayudarme y aportarme parte de los conocimientos para la elaboración de este trabajo.

Gracias a mi familia por su confianza y apoyo, estando a mi lado en los buenos y malos momentos.

A mis amigas/os y compañeros: gracias por vuestra amistad durante todos estos años espero teneros a mi lado durante mucho tiempo.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Este trabajo se ha realizado en el marco de trabajo del Grupo de Investigación Reconocido "Caracterización de Geomateriales", de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca.

Este trabajo se ha financiado con fondos del proyecto de la Junta de Castilla y León con referencia SA110A09.

“El éxito es ese viejo trío: habilidad, oportunidad y valentía”.

Charles Luckman

“El éxito siempre ha sido fácil de medir: es la distancia entre el punto de partida de una persona y su mayor logro”.

Michael Korda.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
2. RADIATIVIDAD	10
2.1 LA RADIATIVIDAD NATURAL	10
2.2 LA RADIATIVIDAD ARTIFICIAL	13
2.3 EL RADÓN	15
2.4 EFECTOS DE LA RADIACIÓN.	16
2.5 LEGISLACIÓN	17
3. LAS ROCAS NATURALES	21
3.1 NOMBRE CIENTÍFICO / NOMBRE COMERCIAL	21
3.2 TIPOS DE ROCAS.	21
3.3. EL SECTOR DE LA PIEDRA NATURAL.	25
4. ANTECEDENTES AL TRABAJO	31
5. MEDICIÓN DE RADÓN	35
5.1 MEDICIÓN DE RADÓN EN EL LABORATORIO	35
5.2 CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN INTERIORES. CAUSAS.	36
7. METODOLOGÍA DEL TRABAJO	40
7.1 EXHALACIÓN DE RADÓN AL AIRE	41
8. LAS ROCAS DEL ESTUDIO	45

8.1 SEDIMENTARIAS	47
8.1.1 ARENISCAS	47
8.1.2 CALIZAS.	55
8.1.3. CONGLOMERADO	60
8.2 METAMORFICAS.	62
8.2.1 CUARCITAS	62
8.2.2. FILITA DE BERNARDOS	64
8.2.3 GNEIS DE ZAMORA (PIEDRA DE SANABRIA)	64
8.3. IGNEAS (ROCAS GRANÍTICAS O GRANITOIDES)	66
9. RESULTADOS	80
9.1 ANÁLISIS QUÍMICO	80
9.2. EXHALACIÓN DE RADÓN AL AIRE	88
9.3 MEDICIÓN AMBIENTAL (ESCINTILÓMETRO)	94
9.4 DOSIS ESTIMADA DE ACUERDO AL MÉTODO DE LA NORMA TÉCNICA 112 DE LA UNIÓN EUROPEA	99
10. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	105
11. BIBLIOGRAFÍA	111

1. INTRODUCCIÓN

Castilla y León es una región que presenta una gran producción de roca natural, con posibilidad de abastecer tanto a mercados nacionales como internacionales.

Para la comercialización de estos materiales se hace necesaria una correcta caracterización de los mismos. Existen fichas técnicas muy completas de las características físico-mecánicas, mineralogía y clasificación petrológica pero no son muy fiables. Ésta es fundamental, pues de ella depende la caracterización petrológica de las rocas.

Las rocas emiten radiactividad natural y ésta está relacionada con la mineralogía, fundamentalmente de minerales accesorios. Nuestro objetivo será establecer su relación y determinar que elementos de la composición mineral influyen en el nivel de radiación emitida por la roca. Actualmente, existe una norma europea, la norma 112 de Protección Radiológica, donde se establecen unos principios de contenidos de radiactividad natural en todos los materiales de construcción, incluidas las rocas naturales. Aunque esta norma no es aún de obligado cumplimiento, algunos países europeos ya la están poniendo en marcha, incluyendo los datos radiológicos de sus rocas para facilitar su posterior exportación.

La correcta caracterización radiológica de las rocas naturales de Castilla y León facilitaría su comercialización dentro y fuera de nuestro país, y contribuiría a la protección de la salud tanto a trabajadores del sector como a la población en general, expuesta al efecto nocivo del radón procedente de las rocas empleadas en el edificio en el que habitan. Esta caracterización mineralógica y radiológica serán los objetivos fundamentales en este proyecto para determinar el correcto uso como materiales de construcción, acompañada por recomendaciones para la utilización de dichas rocas.

2. RADIATIVIDAD

2.1 LA RADIATIVIDAD NATURAL

Todos los seres vivos estamos expuestos a las radiaciones ionizantes presentes en el medio ambiente que habitamos. El 70% de la radiactividad total es de origen natural, el resto pertenece a radiaciones artificiales (Fig.2).

La medida de los niveles base de la radiactividad ambiental se fundamenta en la evolución de los radionucleidos naturales y artificiales. La dosis de radiación de fondo que absorbe ser humano proviene de las fuentes radiactivas naturales clasificadas en fuentes externas e internas.

Las fuentes de radiactividad natural externa pueden ser:

-De origen extraterrestre (Rayos cósmicos primarios): son radiaciones de alta energía (protones, partículas alfa, electrones, neutrinos y fotones) que provienen del espacio exterior y penetran en la atmosfera produciendo partículas secundarias y radiación electromagnética (radiación secundaria). La dosis anual debida a la radiación cósmica tiene un valor promedio de 15 % (Fig.1).

-De origen terrestre más importantes son: ^{40}K , ^{87}Rb y las dos series de elementos radiactivos del decaimiento del ^{238}U y ^{232}Th . Las principales fuentes de radiación recibidas provienen de los radionucleidos presentes en los suelos y rocas. El grado de radiactividad esta en función del tipo de roca, por ejemplo; las rocas graníticas son más radiactivas que las sedimentarias.

Las fuentes de radiactividad natural internas son: radionucleidos incorporados en el aire inhalado o ingeridos en los alimentos. Existen dos grupos de radionucleidos que entran a nuestro cuerpo por medio del aire inhalado e ingestión de alimentos:

- Cosmogénicos (^3H , ^7Be , ^{14}C y ^{22}Na) resultantes de la interacción de los rayos cósmicos con los componentes de la atmosfera.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

- Primordiales (series radiactivas del ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K y ^{87}Rb). Existentes en la tierra desde su formación a causa de sus largos periodos de semidesintegración.

Las fuentes internas se deben principalmente al gas radón (^{222}Rn , ^{220}Rn y sus hijas), siendo responsables de más de la mitad de la dosis efectiva total anual, que corresponde a 1,3mSv. La concentración de ^{222}Rn depende de las características geológicas locales y de su presencia en el aire exterior o interior de los edificios; siendo significativamente más alta en éste último ya que en el exterior puede dispersarse libremente. Por ello ha de prestarse una especial atención a este elemento dentro de las radiaciones naturales.

La intensidad de la radiación natural aumenta con la latitud, al estar afectada por el campo magnético terrestre y, en mayor grado, con la altitud del lugar, al disminuir el efecto blindaje que ejerce la atmósfera. Existen diversos lugares de la geografía terrestre que presentan valores 1000 veces más altos de la radiación natural de fondo, como Kerala y Tamil Nadu en India y lugares con valores 100 veces más altos como Guarapi, Poços de Caldas en Brasil (Mora, P. y Salazar, A. . 1995).

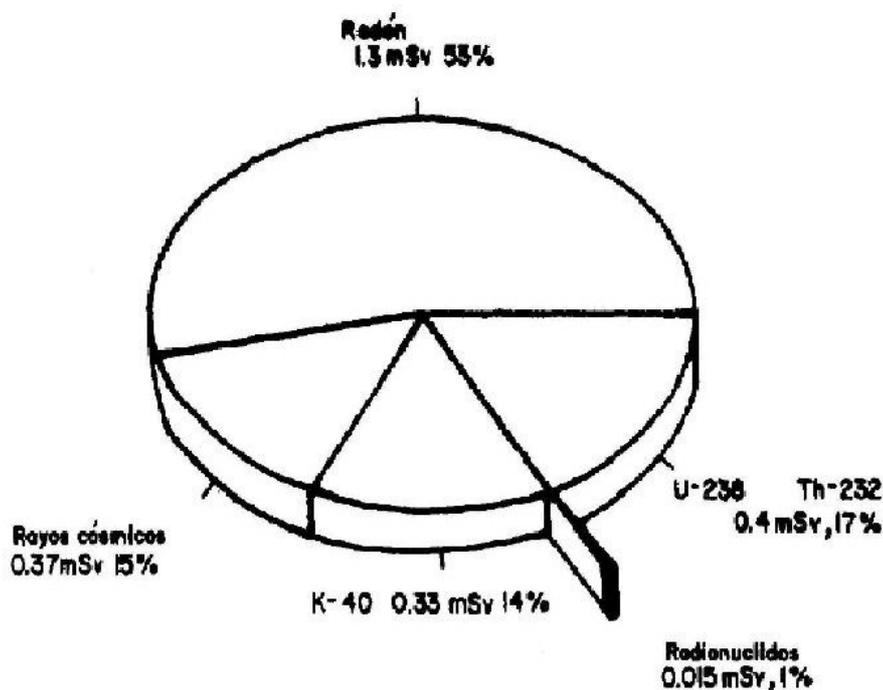


Fig.1. Componentes de la dosis anual de radiación natural recibida por la población mundial. (Mora, P. y Salazar, A. 1995).

La radiactividad natural ha sido y es actualmente la mayor contribuyente a la dosis promedio de la población, alcanzando un valor de 2,4 mSv /año como media mundial y oscilando en un rango típico comprendido entre 1 y 10 mSv /año. Los procesos de valoración de la radiactividad y técnicas de conteo son medios fundamentales para la adecuada monitorización de la radiación, ante accidentes radiológicos.

A pesar de todo lo dicho anteriormente el cuerpo humano posee mecanismos de protección y defensa contra cualquier factor externo que sea potencialmente peligroso, incluida la radiactividad. Estos mecanismos hacen que los efectos perjudiciales sobre el organismo para bajas dosis de radiación sean muy poco frecuentes.

- **UNIDADES DE MEDIDA UTILIZADAS.**

La unidad que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva es el Sievert (Sv) en el Sistema Internacional, está corregido por el daño biológico que producen las radiaciones. Un sievert equivale a un Gray (Gy), que es equivalente a un joule por kilogramo (J Kg^{-1}) pudiéndose medir la energía absorbida por un material. Esta unidad da un valor numérico con el que se pueden cuantificar los efectos producidos por las radiaciones ionizantes.

En protección radiológica es más frecuente hablar de la milésima parte de esta unidad, el miliSievert ($1 \text{ mSv} = 0,001 \text{ Sv}$) y de la millonésima parte de esta unidad, el microSievert ($1 \mu\text{Sv} = 0,000.001 \text{ Sv}$). Esta unidad es utilizada para medir diferentes magnitudes como la dosis equivalente, la dosis colectiva, la dosis ambiental o la dosis efectiva.

Se cumple la equivalencia $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy}$ para las radiaciones electromagnéticas (Rayos X y gamma) y los electrones, pero para otras radiaciones debe utilizarse un factor corrector: 20 para la radiación alfa, de 1 a 20 para neutrones,...) (ICRU).

La unidad que mide la radiactividad es el Becquerel (Bq) en el Sistema Internacional y corresponde a una desintegración atómica por segundo, (Def. de la International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU)). La cantidad media de radón por metro cúbico de aire en las casas de España es de 24 Bq, es decir, la cantidad de radón es tal que 24 átomos se desintegran cada segundo en cada metro cúbico de aire (CSN. 2010).

2.2 LA RADIATIVIDAD ARTIFICIAL

Las fuentes de radiactividad artificial que colaboran con la dosis de radiación que recibe la población se encuentran:

- Las exposiciones médicas
- El ciclo del combustible nuclear, incluyendo las operaciones de centrales nucleares.
- Las antiguas explosiones nucleares en atmósfera, causantes de contaminación a escala mundial.
- Accidentes nucleares que han provocado consecuencias ambientales. (Fig.2).

De los radionucleidos artificiales, el ^{137}Cs , por sus características especiales, es de gran importancia. Éste emite un rayo gamma de 661,6 KeV con un periodo físico de 30,2 años. Este radioisótopo se debe a la lluvia radiactiva inyectado en la estratósfera por pruebas de armas nucleares y accidente de Chernobyl (Mora, P. y Salazar, A. 1995). El transporte de este radioisótopo en la atmósfera es controlado por los procesos de mezcla atmosférica; las partículas grandes caen por la acción de la gravedad más rápido y de modo más concéntrico, ocurriendo lo contrario con las más pequeñas.

La dosis media de los trabajadores expuestos es del orden de 0,83 mSv. La dosis media para las personas que trabajan en centrales nucleares esta entre 1 y 2 mSv, para trabajadores que se encuentran en las instalaciones del ciclo de combustible es de 0,4 mSv y para el personal que trabaja en instalaciones radiactivas (medicas, industriales, de investigación, etc) es de 0,7mSv. El 98,65% de trabajadores reciben menos de 5mSv al año, siendo el límite autorizado de dosis del 25%. (CSN. 2010)

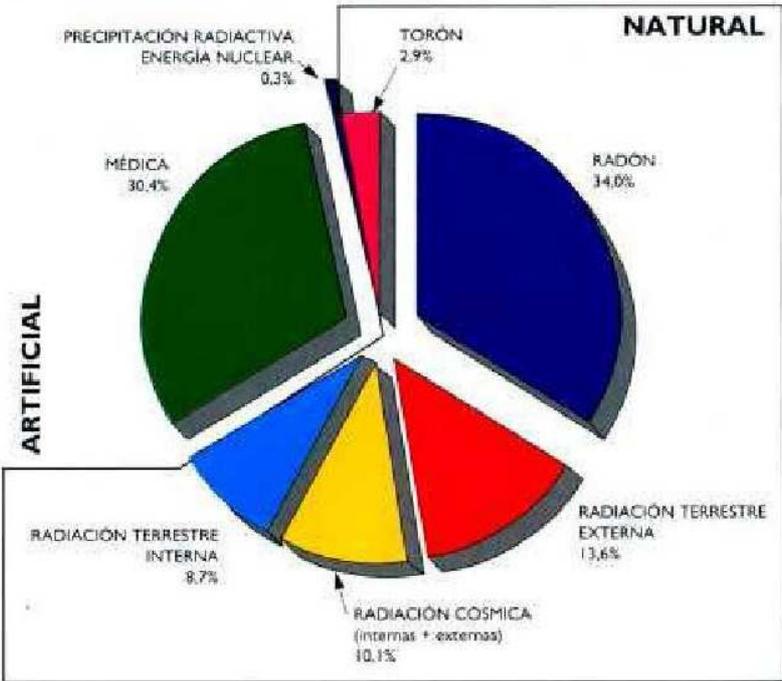


Fig. 2. Contribución de las distintas fuentes de exposición de origen natural y artificial a la dosis recibida por la población. (Quindós.1995)

2.3 EL RADÓN

Gas noble monoatómico radiactivo, incoloro, inoloro e insípido más pesado de la naturaleza presente en las rocas. Se conocen tres isótopos del radón: ^{222}Rn , ^{220}Rn y ^{219}Rn , denominados respectivamente radón, torón y actión, cada uno de ellos forma parte de una cadena radiactiva diferente. ^{222}Rn es el isótopo más estable del radón y un eslabón de la cadena radiactiva de ^{238}U (Fig. 3).

Debido a su estado puede fácilmente difundirse a través de diferentes medios (Coeficiente de difusión en el aire (D) = $1.10^{-1} \text{ cm}^2/\text{s}$) y absorbido por una gran variedad de sólidos (como el carbón activo).

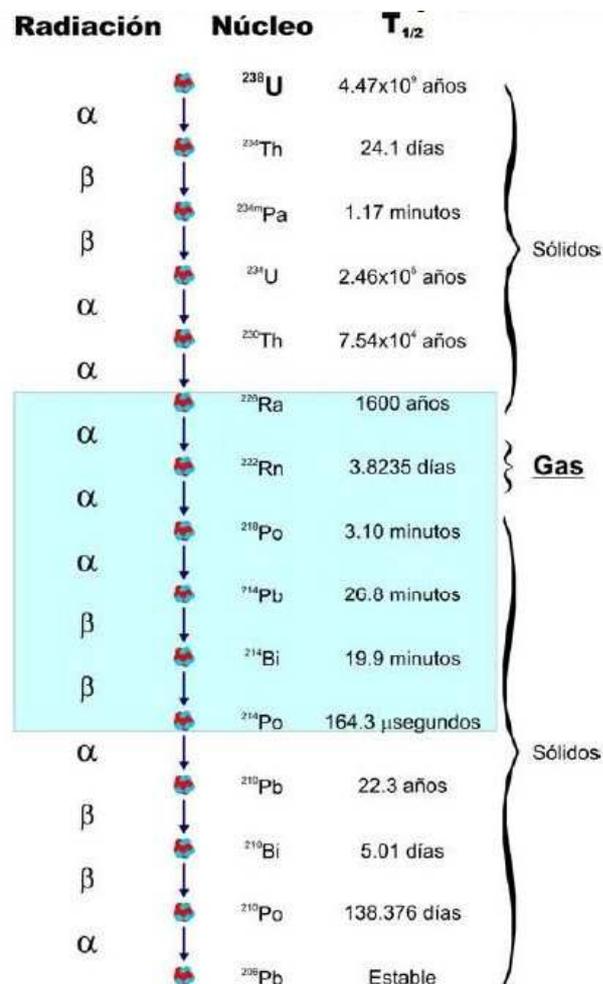


Fig.3. Esquema de desintegración del ^{238}U . En azul sección de la cadena de desintegración ^{226}Ra , ^{222}Rn e hijos de periodo corto (Llerena.2006).

En este caso dadas sus corta vidas medias, ^{222}Rn ($T_{1/2}=3,82$ días), las concentraciones de estos isótopos en el medio ambiente dependerá de la abundancia del sus padres y del periodo de desintegración de los mismos.

El ^{222}Rn constituye la mayor fuente de exposición a la radiación natural en humanos (50% del total de radiación natural) (Baeza et al.2003), es el hijo directo del ^{226}Ra a través de una desintegración alfa.

2.4 EFECTOS DE LA RADIACIÓN.

Cuando pasa a la atmósfera (fenómeno macroscópico conocido como “exhalación”) la desintegración del ^{222}Rn y ^{220}Rn produce isótopos de Po, Pb y Bi, así como Tl en el caso del ^{220}Rn . Estos metales pesados unidos a las partículas de polvo forman aerosoles radiactivos pudiendo ser inhalados. Son elementos emisores de partículas α en estado sólido, que se fijan al tejido pulmonar radiándolo. Los productos de desintegración del ^{222}Rn se pueden dividir en dos grupos:

-Los de vida media corta: ^{214}Pb , ^{214}Bi y ^{214}Po .

-Los de vida larga: ^{210}Po , ^{210}Pb y ^{210}Bi .

Dado que el elemento de mayor vida media del primer grupo tiene una $T_{1/2} = 27$ minutos, toda la secuencia de desintegración se puede completar antes de que los diferentes sistemas de limpieza presentes en el cuerpo humano los puedan eliminar (Amgarou, K, 2002). La energía cinética de las partículas emitidas se disipan en el seno de la materia celular, bien mediante la creación de iones y radicales libres, o bien rompiendo directamente moléculas clave (como la del ADN), circunstancia que puede acarrear problemas graves de salud (Barros-Dios J.M. et al 2002).

Por otra parte, el grupo de vida media larga contribuye poco a la exposición a la que se ven sometidos los pulmones, puesto que el primer nucleido, el ^{210}Pb , tiene una vida media de 22,3 años, con lo que tendrá una alta probabilidad de ser eliminado por el propio organismo antes de su desintegración. Una fracción pequeña del radón atraviesa los capilares sanguíneos,

incorporándose a la sangre, que lo distribuye por el organismo, pudiendo acumularse en el tejido adiposo (Garzón Ruipérez., 1992).

Puede asimilarse radón y sus descendientes, vía la ingestión del mismo, bien sea disuelto en agua, (en balnearios e incluso edificios particulares, las concentraciones de este gas en ambos medios están relacionados entre si (Soto J. et al. 1991), o bien a través del consumo de vegetales, y más notablemente en el tabaco (Misdaq M. A, Flata K. 2003).

La presencia de Rn en sistemas geológicos constituye una preocupación para los organismos oficiales de diversos países. Las mayores concentraciones de Rn, observadas en varios estudios, entre todas las variedades de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias que se encuentran en el planeta, los granitos, son los que tienen mayores valores de U. Un ejemplo es el estudio realizado de Tzortis et al 2003.

El Comité Científico de Naciones Unidas para los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR en sus siglas inglesas), es la entidad internacional más reconocida en relación con la evaluación de la contribución a las dosis de radiactividad que recibe la población debido a las diferentes fuentes de radiación existentes en el medio ambiente, cualquiera que sea su origen, y la estimación de los efectos atribuibles a la radiación ionizante. En apartados siguientes se contemplan las principales conclusiones de este comité.

2.5 LEGISLACIÓN

España no tiene una legislación específica que regule el uso de los materiales de construcción en función de su radiactividad natural. Sin embargo, la Unión Europea dispone de una serie de preceptos destinados a regular el uso de dichos materiales, dependiendo de su dosis de radiactividad. Esta serie de principios constituyen lo que se conoce actualmente como Norma 112 de principios de protección radiológica concerniente a la radiactividad natural de materiales de construcción (Radiological Protection Principles concernig the Natural Radioactivity of Building Materials).

A continuación se recogen los puntos principales resumidos en G. Neila. 2008. incluidos en la norma 112. Estos describen las ideas principales sobre: la radiactividad natural en materiales de construcción y sus efectos, y dosis mínimas recomendables en edificios de

nueva y vieja construcción aplicables a países miembros de la Unión, en la cual se incluye España.

1) Todos los materiales de construcción contienen cantidades variables de nucleidos de radiactivos naturales. Los materiales derivados de rocas contienen cantidades radionucleidos naturales de las series del U y Th y del isótopo radiactivo del K.

2) La exposición a radiación de los materiales de construcción puede ser dividida en exposición interna y externa. La exposición externa es causada directamente por la radiación γ . La exposición interna es causada por inhalación de Rn. El Rn es parte de la serie de desintegración del U, el cual está presente en los materiales de construcción.

En muchos casos, la mayor parte del Rn en el interior de las plantas superiores de los edificios procede de los materiales de construcción.

3) Restringir el uso de ciertos materiales de construcción puede tener consecuencias económicas y sociales a nivel local y nacional. Dichas consecuencias, junto con los niveles nacionales de radiactividad natural de los materiales de construcción, deben ser asesoradas y consideradas estableciendo determinadas regulaciones.

4) El control en la radiactividad de los materiales de construcción puede estar basado en los siguientes criterios y principios radiológicos:

a) Los controles deben ser basados en criterios que son establecidos considerando las circunstancias nacionales. Dosis que superen 1mSv^{-1} deben ser aceptadas sólo en casos muy excepcionales donde los materiales fueron usados localmente. Es recomendable que los controles estén basados en una dosis en un rango de $0,3 - 1\text{ mSv}^{-1}$.

b) Nivel de exención. Los materiales de construcción deben estar exentos de todas las restricciones concernientes a su radiactividad si el máximo de radiación gamma responsable de la dosis anual efectiva de una persona tiene un valor de $0,3\text{ mSv}$. Este es el máximo de radiación gamma que es recibida en exteriores.

c) Criterio de dosis:
$$I = \frac{C_{Ra}}{300\text{ Bq/Kg}} + \frac{C_{Th}}{200\text{ Bq/Kg}} + \frac{C_K}{3000\text{ Bq/Kg}}$$

Donde C_{Ra} , C_{Th} , C_K representan la concentración de actividad de los elementos

radiactivos en el material de construcción. Dicha concentración de actividad I no debe exceder los siguientes valores en función del criterio de dosis y de la manera en que el material es usado en la construcción (Tabla 1).

Criterio de dosis	0,3 mSv⁻¹	1 mSv⁻¹
Materiales usados en amplias cantidades como el hormigón.	$I \leq 0,5$	$I \leq 1$
Materiales superficiales y otros de uso restringido: tejas, losas.	$I \leq 2$	$I \leq 6$

Tabla 1. Límite de concentración de actividad en función del criterio de dosis y del uso del material. (Norma 112: Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials).

5) Normalmente, las medidas de la concentración de actividad son necesarias sólo en el caso donde hay una razón específica para sospechar que el criterio de dosis de los controles puede ser excedida. Los países miembros deben requerir, como mínimo, la medición de los tipos de materiales que son generalmente sospechosos.

6) Las medidas de actividad de concentración en materiales de construcción deben ser realizadas con equipamiento apropiado cuya calibración haya sido aprobada y su calidad asegurada mediante programas.

7) Algunos materiales de construcción naturales usados tradicionalmente contienen radionucleidos naturales donde la dosis anual de 1 mSv puede ser excedida. Algunos de estos materiales pueden haber sido usados durante décadas o siglos. En estos casos, el uso de estos materiales debe ser analizado y debe incluir costes financieros y sociales

Cabe destacar el punto 3 relacionado con la importancia de las consecuencias a nivel económico y social si se restringe el uso de ciertos materiales que en la actualidad son ampliamente usados en España para la construcción, tanto en interiores como en las fachadas

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

exteriores de los edificios oficiales y particulares. Por ello, se hace necesaria una legislación que el análisis de aquellos materiales generalmente empleados y las posteriores medidas a tomar en relación con la dosis de radiación provocada por cada tipo de material.

3. LAS ROCAS NATURALES

Son aquellas rocas que tras etapas de transformación sus propiedades constitutivas permanecen constantes. Se extraen en piezas o bloques de diversos tamaños para su comercialización y utilización.

La roca ornamental; es una piedra natural que ha sido trabajada, cortada o desbastada, cuya superficie ha sido elaborada mecánicamente. Forman parte de este grupo las veintiséis tipos de muestra de roca que más adelante se describen.

Estos términos hoy en día se utilizan indistintamente para referirse a materiales nobles, pudiendo provocar confusión.

3.1 NOMBRE CIENTÍFICO / NOMBRE COMERCIAL

Las diferentes tipos de rocas que encontramos actualmente en el mercado tiene un nombre específico comercial que la diferencia de las otras variedades y que muchas veces es absolutamente diferente del nombre científico o petrológico utilizado para describir las características mineralógicas de la roca. Provocando el nombramiento erróneo de una variedad de roca y en el caso que tratamos, relacionado con la dosis de radiactividad que provoca la roca, esto puede tener consecuencias comerciales o sociales en un mercado que en algunos países supone una parte importante de la economía nacional. Un ejemplo de este caso, se sita en el trabajo de Tzortis et al., (2003) y posteriormente Anjos et al (2005).

3.2 TIPOS DE ROCAS.

Actualmente podemos encontrar en el mercado varios tipos de rocas que permiten su utilización o comercialización. Atendiendo al criterio de mayor interés comercial y económico, la piedra natural puede clasificarse en cuatro grupos reconocidos mundialmente: granitos, mármoles, pizarras, areniscas, cuarcitas y alabastros. No coincidiendo muchas veces la clasificación del mercado con el nombre científico.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

En Castilla y León según localización podemos encontrar: granitos en Segovia y Ávila, pizarras en Cabrera y Bierzo, areniscas y cuarcitas en Zamora, Salamanca, Burgos y Palencia entre muchas otras.

3.2.1 CARACTERISTICAS.

-ARENISCAS: Según la UNE-EN 12670.

a) Científicamente, roca sedimentaria compuesta por granos de cuarzo, feldespato, mica y pequeños fragmentos de rocas más antiguas con un cemento que puede ser silicatado, carbonatado, arcilloso de óxidos de hierro o mezcla de varios.

Podemos clasificar según Folk 1959 las areniscas según la naturaleza de sus minerales: Cuarzo arenitas ó Arenisca silíceas: Granos de sílice, Arenisca arcósica: Granos de feldespato. La cementación de los granos puede ser silícica, carbonatada o mixta. Recomendable para cantería las cuarzo arenitas de cementación silíceas.

b) Comercialmente, la arenisca es una piedra natural de textura arenosa con veteados o puntos ocasionales.

Ejemplos: Arenisca de Aguilar (Palencia), A. de Villamayor (Salamanca), A. del Duero (Soria); A. de Quintanar, A. Dorada Urbión o Arenisca Roja de San Adrián (Burgos).

-CALIZAS: Según la UNE-EN 12670.

Roca sedimentaria compuesta fundamentalmente de calcita y Carbonato amorfo CaCO_3 . Presentan texturas granulosas de grano muy fino y densidades desde porosas a muy densas.

Comercialmente son consideradas como mármoles. Siendo errónea el tratamiento mecánico de sus superficies dando un acabado pulido.

Ejemplos: Piedra de Campaspero (Valladolid), Piedra de Carcedo (Burgos) y Piedra de Hontoria (Burgos).

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

-CONGLOMERADO: Sedimento consolidado por partículas mayores de 2 mm. Se puede clasificar atendiendo a su composición (oligomícticos o polimícticos) o atendiendo al origen de sus clastos (extraformacionales o intraformacionales).

Ejemplo: Conglomerado de Ciudad Rodrigo.

-CUARCITA: Según la UNE-EN 12670.

Roca metamórfica formada fundamentalmente por cuarzo.

Proviene de la recristalización de areniscas a través de un proceso metamórfico, son duras, poco porosas y homogéneas, con altos valores de resistencia.

Ejemplos: Cuarcita de Bernardos (Segovia).

-FILITA: Roca que representa una gradación en el grado de metamorfismo entre la pizarra y el esquisto. Textura de grano muy fino, no visible a simple vista, pero sí al microscopio petrográfico, donde se pueden distinguir sus minerales más comunes: micas, principalmente moscovita, cuarzo, talco, albita y clorita, entre otros. Pueden llevar elementos de sulfuro de hierro o carbonato; los sulfuros de hierro al meteorizarse producen manchas de oxidación en las cubiertas, y los carbonatos al alterarse producen manchas blanquecinas sobre las superficies de exfoliación.

Aunque la filita parece similar a la pizarra, puede distinguirse con facilidad por su brillo satinado y tacto untuoso, semejante al del talco. Se laja fácilmente y es relativamente poco coherente y de color gris variable.

Utilizado para la impermeabilización de tejados, losas, adoquines, bordillos y otros productos a medida para la pavimentación y urbanización.

Ejemplo: Filita de Bernardos.

-GNEIS: Se denomina gneis a una roca metamórfica compuesta por los mismos minerales que el granito (cuarzo, feldespato y mica) pero con orientación definida en bandas, con capas alternas de minerales claros y oscuros. A veces presenta concreciones feldespáticas distribuidas con regularidad, denominándose en este caso gneis ocelado.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

El gneis se utiliza en construcción para hacer peldaños, adoquines y mampostería.

Ejemplo: Genis de Zamora o también llamada Piedra de Sanabria.

-LOS GRANITOS: Según la Según la UNE-EN 12670.

a) Científicamente: Roca plutónica con feldespato alcalino, cuarzo, pequeñas cantidades de plagioclasa, mica y otros minerales accesorios.

b) Comercialmente: Dentro del ámbito de la piedra natural entendemos por “granito” cualquier roca constituida por agregados cristalinos de varios minerales, que se explota en grandes bloques coherentes y homogéneos, y que pueden ser cortados, desbastados y/o pulidos.

Utilizada en decoración y construcción, las distintas aplicaciones dependerán de las características de la roca, siendo generalmente empleados para; sillerías y mampostería, pavimentos, revestimiento de fachadas tanto de interior como de exterior, bordillos y molduras, etc.

Ejemplo: Granito Los Santos.

3.3. EL SECTOR DE LA PIEDRA NATURAL.

La riqueza y calidad de los materiales procedentes de las canteras españolas, así como sus múltiples aplicaciones al mundo de la arquitectura y decoración, posicionan al sector como uno de los más competitivos del mercado mundial.

La piedra natural española ha conseguido posicionarse de manera notable en los mercados internacionales. La calidad y variedad de la producción española, la inversión en tecnología y el avance en investigación y desarrollo que realizan las empresas para introducir innovaciones en la elaboración de los productos, sitúan a este sector como uno de los más competitivos del mercado internacional (Tabla 2). Prueba de ello es España, que en este momento, es el cuarto productor y exportador mundial de piedra natural, tras China, Italia e India; siendo el principal productor mundial de pizarras, el segundo en mármoles y uno de los primeros en granitos y piedras de cantería.

PAIS	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Var. 08/09
China	18.600.000	20.600.000	21.000.000	22.000.000	22.500.000	22.000.000	23.000.000	4,5%
India	14.221.000	15.528.000	17.367.000	19.000.000	21.500.000	21.000.000	21.000.000	0,0%
Turquia	6.200.000	7.725.000	8.250.000	9.400.000	9.500.000	11.000.000	11.500.000	4,5%
Iran	10.000.000	10.400.000	10.493.000	11.045.000	11.100.000	11.000.000	11.000.000	0,0%
Italia	10.810.623	10.883.849	10.658.758	10.105.000	9.710.000	9.185.000	9.100.000	-0,9%
Brasil	6.000.000	6.400.000	6.900.000	7.521.000	7.970.000	7.980.000	7.500.000	-6,0%
España	7.625.000	7.830.000	7.987.000	8.300.000	8.220.000	7.700.000	7.200.000	-6,5%
Egipto	1.950.000	2.200.000	2.800.000	3.300.000	3.500.000	3.600.000	3.600.000	0,0%
Portugal	2.792.545	2.950.190	2.948.732	3.122.358	3.201.535	3.200.000	3.100.000	-3,1%
USA	1.340.000	1.460.000	1.360.000	1.850.000	1.920.000	1.800.000	1.830.000	1,7%
Grecia	2.100.000	2.100.000	2.100.000	2.200.000	2.000.000	1.800.000	1.500.000	-16,7%
Francia	1.231.500	1.189.020	1.200.480	1.214.600	1.200.000	1.200.000	1.100.000	-8,3%
Resto	3.765.963	7.364.332	4.556.191	5.439.125	5.530.438	5.328.825	5.380.895	1,0%
TOTAL	86.636.631	96.630.391	97.621.161	104.497.083	107.851.973	106.793.825	106.810.895	0,0%

Tabla.2. Evolución de la producción mundial de la piedra natural en bruto (2003-2009) (Informe sectorial de la piedra natural. Agosto 2010).

En general, la actividad económica mundial ha sufrido entre 2008 y 2009 un fuerte retroceso de magnitud variable dependiendo del país considerado; aunque en el 2010 se aprecia una tímida recuperación del PIB de los países más industrializados (Fig.4).

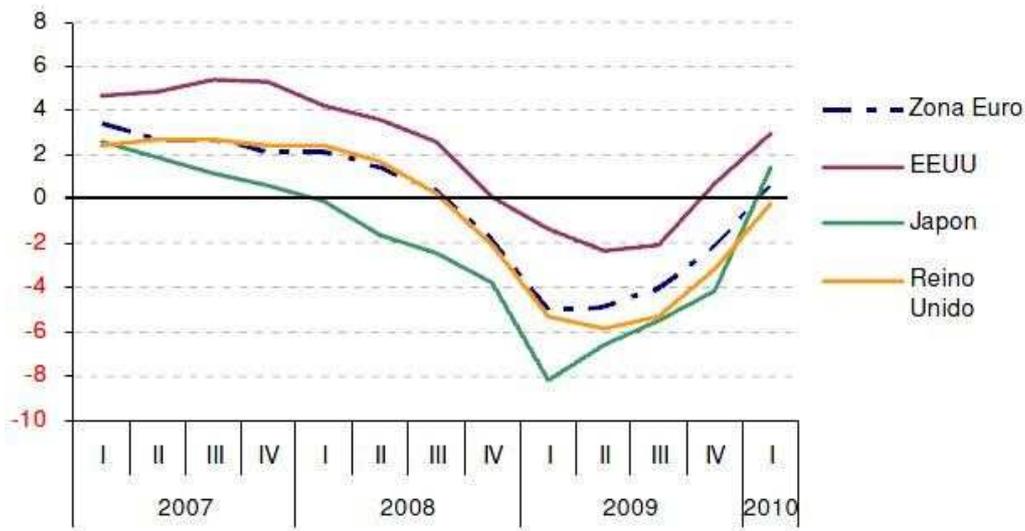


Fig.4. Gráfico tasa de variación interanual del PIB de las economías industrializadas. (Informe sectorial de la piedra natural. Agosto 2010).

La industria de la piedra natural española se encuentra localizada en puntos concretos de la geografía nacional (Fig.5) y normalmente en zonas de interior, para nuestro caso de estudio: Castilla y León (Fig.8). Otra característica que define al sector extractivo y elaborador es el tamaño de las empresas que lo componen; en su mayor parte se trata de empresas familiares de pocos trabajadores que explotan canteras de gran potencial (Fig.5) (Tabla.3).

Durante 2009 según datos de la Federación de la piedra Natural la producción de piedra en nuestro país ha alcanzado la cifra de 2.150 millones de euros, un 14% menos respecto al año anterior. El descenso se explica por la estrecha relación de esta industria con el sector de la construcción, actualmente en proceso de desaceleración. Por otro lado, las exportaciones, que constituyen un punto de apoyo importante para el sector, han representado 712,40 millones de euros en 2009, un 18% menos, sin embargo la balanza comercial continúa siendo positiva para España en 534,25 millones de euros (Informe Sectorial de la piedra natural en España 2009. Agosto 2010).

En Castilla y León este sector se fundamenta no solo en la extracción de la piedra, sino también, en su transformación, elaboración y comercialización. La industria auxiliar proporciona al sector los medios técnicos y materiales para realizar la extracción, la elaboración y la instalación. La tradición, alto grado de especialización y las exigencias de la

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

oferta internacional, configuran un sector muy exigente con la calidad, creación de una identidad propia y compromiso con la innovación como factor clave de futuro.

El sector de la piedra esta muy integrado en otros sectores de la economía española, como el de la construcción (revestimientos interiores, fachadas, tejados) que absorbe el 70 % de las ventas del sector quedando el resto orientado a otros usos como el arte funerario y decoración (Plan de Actuaciones del Sector de la Piedra Natural de Castilla y León. Mayo. 2009).

El sector de la Piedra Natural, tanto Nacional como en Castilla y León, presenta una situación de cierto estancamiento, agravada por la crisis del sector de la construcción y del sistema financiero.

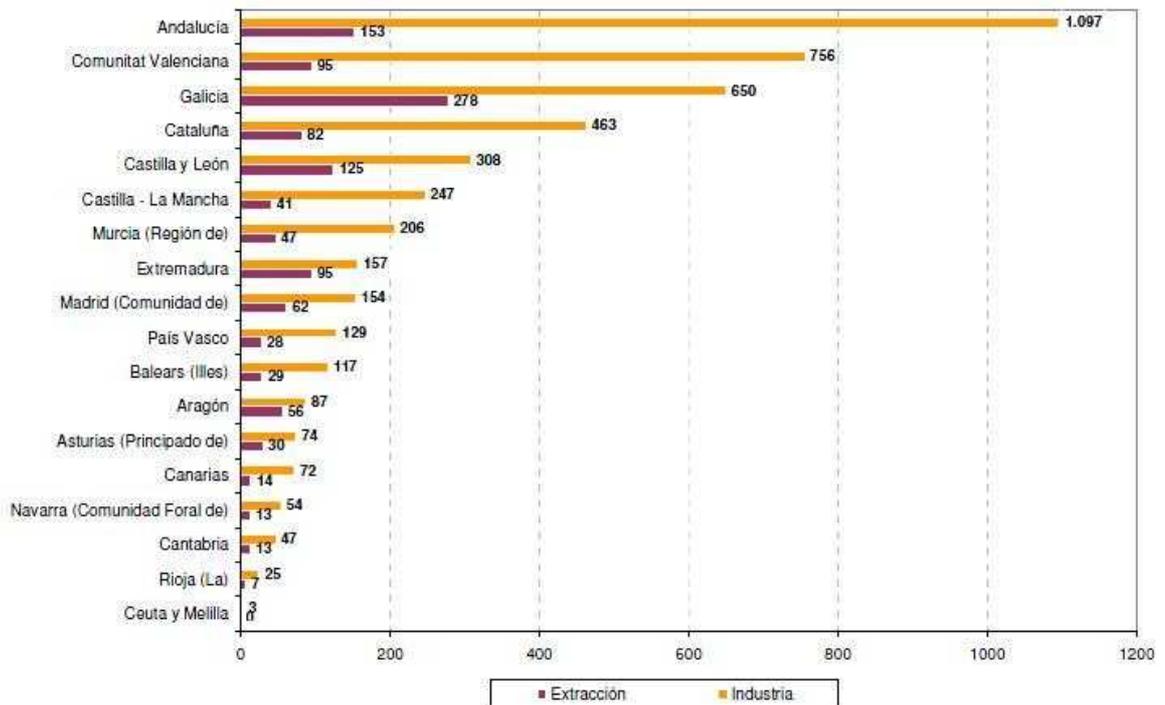


Fig.5. Distribución de las empresas del sector por CCAA en 2009. (Informe sectorial de la piedra natural. Agosto.2010).

Si atendemos al ranking de exportaciones medidas en volumen (Fig.6), la concentración de las exportaciones españolas es muy importante (el 92% de las exportaciones se concentra en cinco comunidades autónomas), siendo Castilla y León una de ellas acaparando el 8% de volumen de exportación.

Exportaciones de piedra natural en peso de las CCAA.2009.



Fig.6. Exportaciones de piedra natural en peso de la CCAA. 2009. (Informe sectorial de la piedra natural. Agosto 2010).

Distinguiendo entre los distintos materiales (Tabla 3), el mármol es el material que tiene un mayor peso exportador: el 48,3% del volumen y el 55,8% del peso de las exportaciones es de mármol; seguido de las pizarra con 254 millones de euros (35 % del total). Por último, se encuentra el granito, cuyas exportaciones ascienden a 114,1 millones de euros, o lo que es lo mismo, un 16,0% del total de exportaciones.

	Valor (millones €)	%	Peso (miles TN)	%
Mármol y calizas	344,18	48,3%	1.094,33	55,9%
Granito	114,05	16,0%	388,39	19,8%
Pizarras	254,18	35,7%	476,36	24,3%
Total	712,40	100,0%	1.959,08	100,0%

Tabla.3. Exportaciones de piedra natural por materiales. 2009 (Informe sectorial de la piedra natural. Agosto 2010).

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

En 2008 la producción española de pizarras representa el 85-90% del total mundial. De esta el 38% proviene de Castilla y León, representando este subsector minero de la pizarra el de mayor entidad en nuestra comunidad autónoma.

Otro subsector de gran peso dentro de la piedra natural española es el de las piedras de cantería, entre las que esta región cuenta con 59 de las 120 variedades comerciales y produce aproximadamente el 40% del total.

En cuanto a valores de producción son datos difíciles de cuantificar al tratarse de productos muy dispares los presentes en cada grupo de rocas. Quizás el más homogéneo sea el de las pizarras, al tratarse la gran mayoría de pizarras para cubiertas, aunque estas suelen comercializarse en varias categorías comerciales según calidades (Fig.7).

Aplicando un valor medio aproximado de unos 500 €/tpodemos hablar de un total de 175 M€ para este subsector. El empleo directo generado por la producción minera de las rocas ornamentales asciende a 2.804 personas de las que 640 corresponden al trabajo en cantera y el resto a los talleres de transformación. También en este campo destacan las pizarras con 388 y 1.837 empleos para ambas tareas, y, por tanto, en donde mayoritariamente se encuentran, León, presenta un mayor número de empleos que otras provincias 2.088 (Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León. 2008).

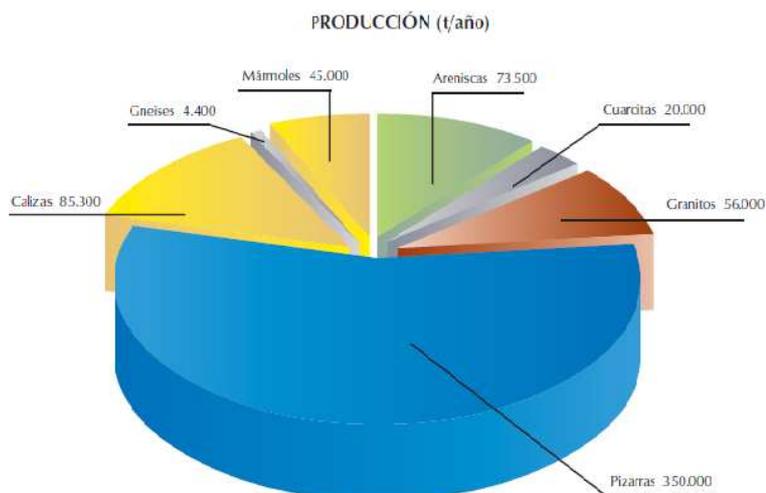


Fig.7. Producción (t/año) de las rocas en CyL. (La piedra natural en CyL. 2008. SIEMCALSA)

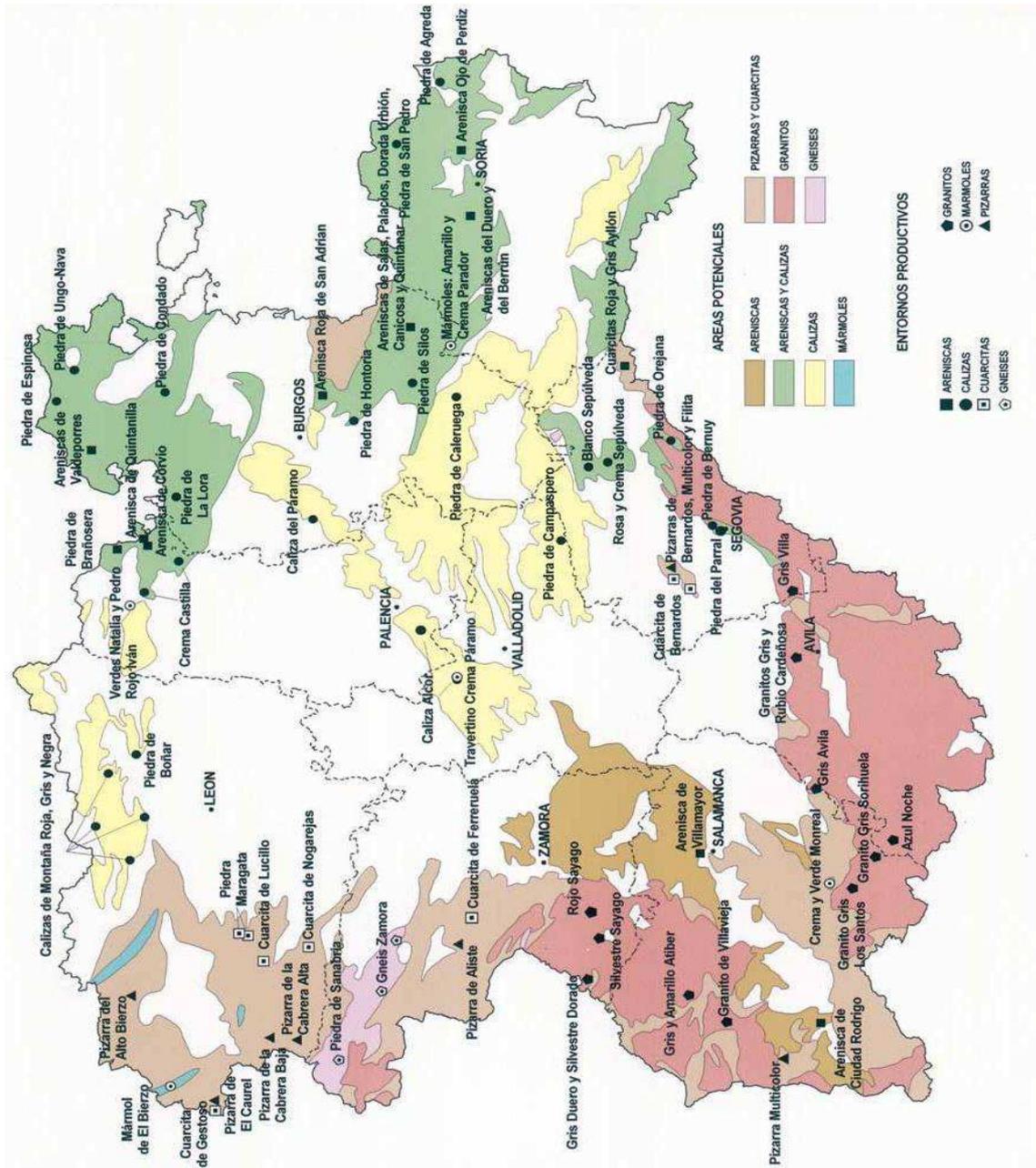


Fig. 8. Mapa de localización de rocas en Castilla y León. (La piedra natural en Castilla y León. SIEMCALSA. 2008).

4. ANTECEDENTES AL TRABAJO

Existen muy pocos estudios de radiactividad natural en materiales de construcción realizados en nuestro país, en concreto de las rocas naturales, por tanto presenta un corto historial en nuestro conocimiento. Es reciente uso del granito como material de revestimiento interior en determinadas construcciones.

A continuación, se hará un breve resumen de las publicaciones internacionales en las que se estudió la radiactividad natural en rocas ornamentales de diversos orígenes.

Higgy et al. (2000) realizaron un estudio con la intención de medir la radiactividad de algunos materiales de construcción egipcios usados en la construcción de paredes y suelos. Los materiales utilizados en la medición fueron cuatro tipos de ladrillos, tres tipos de tejas, dos tipos de cerámica y uno de mármol.

Tzortis et al. (2003) presentaron un trabajo que consistía en estudiar la medida de la radiación γ en rocas naturales comercializadas como recubrimiento, en concreto de granitos. Para llevar a cabo dichas medidas, utilizaron un espectrómetro de rayos γ de alta sensibilidad sobre un total de 28 muestras pertenecientes a diferentes tipos de granitos comerciales, de las cuales se obtuvo la concentración de actividad de Th, U y K en los granitos usados. Diversas muestras fueron erróneamente situadas en cuanto a sus lugares de procedencia, lo cual pudo provocar errores y fue discutido en trabajos posteriores. Hay que tener en cuenta que alguna de las rocas se ubicaba en Brasil, siendo éste el sexto país exportador del mundo de granito ornamental. La actividad resultante estaría en función de la proporción de los materiales estudiados que son usados en la construcción de la edificación. Este estudio revela la radiación obtenida para una utilización de los materiales en la edificación de un 100%, 50% y 25%.

Una de las principales conclusiones, fue que la utilización de un espectrómetro de rayos gamma de alta resolución es una herramienta sensible idónea para estudiar la radiactividad natural y determinar las concentraciones elementales y las tasas de radiación en varios tipos de rocas. Muchos de los granitos estudiados en su trabajo revelaban altos valores

de actividad y concentraciones de Th, U y K, los cuales contribuyen a aumentar la dosis de radiación en el aire en el interior de los edificios.

Anjos et al (2005) presentan un estudio bastante completo sobre una selección de muestras brasileñas y abre el camino al estudio de la protección radiológica cuando las rocas graníticas son usadas como baldosas o revestimientos interiores. El estudio realizado por los citados autores parte del principio de que las concentraciones de Th, U, y K de rocas graníticas están íntimamente relacionadas con su composición mineral y sus características petrológicas generales (Whitfield et al; 1959, Rogers and Ragland, 1961; Doverton and Prenskey, 1992), usando un detector NaI o espectrómetro de rayos gamma para determinar la concentración de radionucleidos naturales sobre las muestras seleccionadas. Evaluaron la tasa de dosis anual efectiva y la concentración de actividad γ para compararlas con los límites propuestos por el Comité Científico para los Efectos de la Radiación Atómica de las Naciones Unidas. Posteriormente, correlacionaron los contenidos de Th, U y K con las características mineralógicas de los granitos comerciales.

Las conclusiones principales del trabajo de los autores mencionados fue que los granitos brasileños estudiados no contienen minerales que puedan producir altos niveles de radiación cuando son usados como recubrimiento.

El – Hussein (2005) publica el primer estudio sobre la radiación natural cuyas medidas se realizan en habitaciones reales de edificios de viviendas. Este trabajo también es el primero que se basa en la concentración de Rn en las habitaciones interiores y de cómo la concentración de sus productos de desintegración es de 2 a 10 veces superior en el aire del interior de los edificios que en atmósfera libre. Se pretendía demostrar con esto que la alta concentración de estos radionucleidos en el aire del interior de los edificios, junto con largos períodos de exposición en estas habitaciones, hacen que los productos de desintegración del Rn sean un potencial riesgo para la salud.

Para la determinación de la concentración de gas Rn en el aire se usó un monitor de gas Rn idéntico a uno empleado y calibrado por Porstendörfer en 1980. Se observó que el decrecimiento de la fracción libre de Rn con el incremento de la concentración de partículas de aerosol era claro en la mayoría de las habitaciones.

La dosis límite que puede recibir una persona adulta está establecida en el documento publicado por UNCEAR.1982, donde también se establece el protocolo de medida de Rn.

Paulidou et al (2006) presentan un trabajo de 16 granitos, entre los cuales aparecen varios de procedencia española. Mediante un espectrómetro de rayos gamma se midió la radiactividad natural de las 16 muestras de granito. La actividad de ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , y ^{40}K fue comparada con otros materiales de construcción, así como con otros tipos de granitos usados en todo el mundo. Además de esto, correlacionaron el relativamente alto nivel de radiactividad natural observada en algunos granitos con sus constituyentes minerales radiactivos y su composición química.

Para evaluar el impacto radiológico de granitos usados como materiales de construcción, usaron como modelo de casa un paralelepípedo rectangular de 3x3x3 m sin puertas ni ventanas (UNSCEAR, 1993) y consideraron la dosis anual efectiva límite de 1mSv. Concluyeron que la dosis absorbida por la gente en viviendas fabricadas con los granitos examinados sería más alta que la dosis absorbida en viviendas fabricadas de materiales que no tuvieran en su composición el granito como material principal, excepto para el caso de los granitos que se desvían de la composición granítica, teniendo una composición diorítica y cuarzobroica.

En sus resultados se observó que la dosis anual efectiva excedía del límite de 1 mSv para 6 ejemplos. El alto nivel de radiactividad natural de (un tipo de granito) es atribuido al contenido de monazita. Este tipo de muestra contenía además otros minerales ricos en potasio (feldespato potásico, biotita y moscovita) al igual que zircón, apatito y fluorita, que podrían contener nucleidos radiactivos en su composición química.

No obstante, hay que tener en cuenta que los granitos citados se usan normalmente en pequeñas cantidades en la construcción de casas, lo cual no induce un nivel de actividad que exceda la dosis límite de 1mSv y^{-1} . El alto nivel de radiactividad de los granitos del estudio estaba conectado con la presencia de minerales ricos en potasio y accesorios como el apatito y hematites los cuales se encuentran con frecuencia en rocas graníticas.

Los estudios más recientes, en nuestro conocimiento, realizados sobre la radiactividad natural corresponden a rocas que no han sido sometidas a ningún proceso para su posterior

comercialización. Uno de estos estudios fue una medida de radionucleidos en rocas del Valle de Cervo en Piedmont (Italia) realizado por Sesana et al (2006). Para dicho trabajo, monitorizaron la radiación gamma en el plutón del Valle del Cervo para determinar el contenido de U y Th en los principales tipos de roca a lo largo de un complejo granítico, un complejo sienítico y un complejo monzonítico. Todas las muestras eran frescas y no presentaban marcas de fracturas rellenadas con minerales de U. Para todas las rocas analizadas, la actividad del U resultó ser mucho más alta que la del Th. El valor más bajo de concentración de radiactividad se encontró en rocas del complejo granítico y las rocas más activas resultaron ser las sienitas.

Lu y Zhang (2007), publicaron un estudio de la radiactividad natural en rocas del parque natural “Montañas Cuihua” en China. Estos autores midieron las concentraciones de radionucleidos naturales de ^{226}Ra , ^{232}Th , y ^{40}K mediante un detector NaI. El valor de la actividad equivalente de todas las muestras de roca resultó estar por debajo del límite de 370 Bq Kg^{-1} (UNSCEAR, 1982)

Existe un Trabajo fin de Carrera realizado por G. Neila. (2008), donde trata la radiactividad natural de cinco rocas graníticas y dos serpentinitas de origen Español y Portugués utilizadas como materiales de construcción.

5. MEDICIÓN DE RADÓN

5.1 MEDICIÓN DE RADÓN EN EL LABORATORIO

La medición de la concentración de radón presente en un ambiente determinado se basa en el recuento de partículas α emitidas por él y sus descendientes de vida corta. Existen varios métodos para medir la concentración de Rn en el aire y de sus descendientes pero pocos métodos se basan en la detección de rayos γ .

Pueden clasificarse las técnicas como activas o pasivas según se emplee o no aire forzado para la captación de la muestra y en función del tiempo de muestreo (segundos, minutos, días o meses) distinguimos métodos instantáneos, métodos de lectura continua y métodos integrados, siendo los más utilizados porque permiten obtener información sobre concentraciones promedio durante días, semanas o meses. Los equipos y dispositivos utilizados con más frecuencia para las mediciones de radón y de sus descendientes son:

a) *Células de centelleo*; en forma de botella para recoger muestras de aire que se analizan posteriormente en el laboratorio

b) *Detectores sólidos de trazas*; sobre ellos quedan impresas la trazas debidas a la radiación α emitida por el radón y sus descendientes después de un tiempo largo de exposición

c) *Detectores de carbón activo*; absorbe gases para captar el radón existente en el aire de las habitaciones.

La concentración de radón se expresa en Bq / m³

Otras técnicas usadas para la detección:

- Emulsión nuclear.
- Absorción.
- Escintilación sólida.

- Escintilación líquida.
- Espectrometría gamma.
- Monitorización beta.
- Detectores de restos nucleares sólidos.
- Electroscopio.
- Cámara de ionización.
- Detectores de barrido superficial.
- Fosforescencia termoluminiscente.

5.2 CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN INTERIORES. CAUSAS.

Aunque el radón ha estado presente en el aire de nuestras casas desde siempre, su concentración se ha visto incrementada por la construcción cada vez más hermética para conseguir un ahorro energético.

Los típicos materiales naturales por contenido de Rn son los granitos (Fig.9); aunque es posible encontrar abundancia de uranio en rocas de diferentes tipos, usadas localmente como materiales de construcción, siendo uno de los orígenes del Rn en el interior de los edificios.

TIPO DE ROCA	U ²³⁸ (ppm)	Th ²³² (ppm)
BASÁLTICAS	1.0	4.0
GRANITOS	5.0	12.0
ARCILLAS	3.7	11.0
ARENAS	0.5	1.7
SUELOS	1.0	6.0
ULTRABÁSICAS	0.001	0.004

Fig.9. Contenido de Th y U (ppm) para cada tipo de roca. (Quindós.1995).

La medición de rayos γ en paredes es una manera fácil para localizar o identificar éstas como potencial emisor de Rn en una casa. La ventana de energía del detector de rayos γ debe ser entre 50 keV y 3 MeV. Si la intensidad de radiación γ excede de $0,25 \mu\text{Sv h}^{-1}$ para una pared, ésta es una importante fuente de Rn. Aunque no significa que la concentración de Rn en el aire en el interior del edificio sea significativa. Al ser el Rn un gas el reemplazamiento del aire influye en la concentración por tanto, la ventilación es un factor importante a tener en cuenta en una construcción.

En general los materiales de construcción que pueden emitir gas Rn suelen estar en pequeñas cantidades dentro de los edificios, siendo la masa total muy pequeña para considerarla fuente efectiva de Rn.

La exposición al radón ocurre mayormente, por su inhalación en recintos deficientemente ventilados, ya que éste al ser un gas se mueve libremente por las fisuras de las rocas o fisuras generalmente mineralizadas (proceso a nivel microscópico llamado “emanación”). En casas con escasa ventilación, las condiciones meteorológicas exteriores hacen que el grado de ventilación del interior sea cambiante. Una presión negativa o un gradiente de presión pueden existir en alguna parte de la casa. Los sistemas de combustión necesitan aire fresco, lo que normalmente se traduce en un descenso de la presión del aire en la casa. Los movimientos convectivos de aire es la principal razón para estas variaciones.

Pueden existir variaciones estacionales de los niveles de Rn en el interior de los edificios. La exhalación de Rn del interior de los materiales de construcción incrementa en la época de verano, cuando la temperatura general del edificio es más alta que en épocas invernales (Stranden et al., 1984).

Referente a los productos del Rn, la humedad relativa de los interiores contribuye a la densidad de aerosol y eleva los productos del Rn en el aire interior. Los cambios de humedad de una estación a otra modifican la concentración de Rn.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

El origen o la fuente del Rn suponen la característica más básica e importante a la hora de definir los procesos de mitigación de los niveles de Rn en los interiores (Fig.10).



Fig.10. Posibles puntos de entrada de gas Rn en edificaciones. (Llerena.2006)

El Rn actúa en cada casa de modo diferente de acuerdo a sus características por tanto no podemos generalizar.

6. OBJETIVOS

En este trabajo se contemplan dos objetivos fundamentales:

1) Realizar una caracterización radiológica de las rocas ornamentales de uso común en Castilla y León. Se pretende con ello determinar la dosis efectiva de radiación que pueden provocar estas rocas, utilizadas en distinta localización, sobre las personas y determinar su correcto uso como materiales de construcción.

2) Establecer una relación entre la radiactividad natural de la roca y su mineralogía. Se pretende determinar con este análisis qué elementos de la composición mineral de la roca influyen en el nivel de radiación que es emitida por dicha roca.

El mayor obstáculo que se puede presentar para obtención de estos objetivos y la elaboración de análisis y ensayos es que partimos de unos conocimientos escasos en un campo poco estudiado, en el que existe poca o ninguna difusión en nuestro país.

7. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El primer paso ha consistido en la realización de una selección de rocas comercialmente empleadas como material de construcción en Castilla y León, registradas en el Libro de la Piedra.2001, elaborado por SIEMCALSA. Dichas muestras se extrajeron directamente de las canteras o se solicitaron a los proveedores de este tipo de materiales. Las muestras utilizadas en este estudio están compuestas por siete areniscas, cuatro calizas, un conglomerado, dos cuarcitas, una filita, un gneis y nueve granitos.

En este trabajo se ha seguido el procedimiento realizado por G. Neila. 2008 para la obtención de las tasas de emanación de radón de las veintiséis muestras en el aire; previamente sometidas a diferentes ensayos en laboratorio. Una vez obtenidas dichas medidas, se procedió a determinar las correspondientes estimaciones de la dosis de radiactividad por inhalación de Rn que producirían estas rocas en diferentes situaciones para determinar su correcta utilización como material de construcción. Esta estimación se realizó según lo establecido en la Norma 112 de Protección Radiológica de la Unión Europea.

También se procedió a un análisis químico de las rocas para intentar determinar la correspondencia de elementos radiactivos presentes en las muestras (U, Th y K) con las consiguientes tasas de emanación de Rn.

Los estudios radiológicos “in situ” se llevaron a cabo con determinación de radiación gamma de fondo, viendo las posibles anomalías. En esta misma fase se recogieron datos de U, Th y K mediante un espectrómetro portátil de rayos gamma.

Para evitar la posible presencia de materia orgánica las muestras de rocas fueron lavadas, posteriormente molidas y tamizadas hasta alcanzar un tamaño de grano inferior a 4 mm de donde separamos una parte de tamaño inferior a 1 mm. Obtenidas las muestras molidas fueron sometidas a los diferentes ensayos de laboratorio en la Universidad de Salamanca y en la Universidad de Coimbra.

7.1 EXHALACIÓN DE RADÓN AL AIRE

Para la determinación de la cantidad de Rn en el aire se separó 1 kg de material de tamaño inferior a 4 mm de cada muestra que fue depositado en recipientes de plástico, los cuales fueron etiquetados con el correspondiente nombre comercial de la roca a la que pertenece la muestra (Fig.11). Estos recipientes fueron introducidos en una estufa para secar la muestra y así eliminar la mayor cantidad posible de humedad presente en la roca.



Fig.11. Recipiente preparado para ser introducido en el contenedor.

Una vez secas las muestras fueron introducidas en unos recipientes metálicos junto con una cierta cantidad de sílica para controlar la humedad. Estos recipientes metálicos tienen una capacidad de 12 litros y están homologados para el uso o transporte de sustancias peligrosas.

Los recipientes fueron sellados y se utilizó cinta de aluminio para tapar todos los posibles huecos o juntas por donde pudiera escapar el Rn y así garantizar que el contenedor queda herméticamente cerrado. Dicho contenedor lleva incorporadas unas válvulas en la parte superior que se conectan al instrumental y así medir la concentración de radón en el interior del contenedor.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Las muestras permanecen en los contenedores durante un período mínimo de 21 días para que se establezca el Ra contenido en la muestra con el Rn contenido en el aire (Fig. 12). Esto se realiza de esta manera porque si realizáramos la medida a las 12 ó 48 horas de haber introducido la muestra, obtendríamos una recta dependiendo del material a partir de la cual se podría obtener los resultados mediante ecuaciones, pero el problema que se presenta en esta situación son las variaciones que experimenta el Rn con la presión y la temperatura e incluso con la variación gravitatoria terrestre que modifica los resultados obtenidos. Se ha observado que durante las horas en las que el sol permanece en su cenit, éste ejerce una fuerza de atracción ligeramente anormal sobre la tierra pero que es capaz de atraer o mover la inmensa mayoría de los átomos de Rn. La concentración de Rn también es afectada por los cambios de humedad, presión y temperatura, lo cual modifica las medidas de un día para otro pues en el laboratorio se puede controlar la temperatura y/o la humedad pero no la presión del aire.



Fig.12. Contenedores sellados y etiquetados para su almacenamiento.

Una vez transcurridos 48 días, se conectaron las válvulas de los contenedores al detector de Rn. Para medir la concentración de gas Rn se usó un equipo con cámara de ionización Alphaguard 2000 Pro, de Genitron Instruments ® con calibración certificada. La determinación de la concentración de Rn fue efectuada a partir del procedimiento establecido por el fabricante del equipo (Gonçalves et al (2006)) (Fig.13).



Fig.13. Instrumental preparado para realizar la medición de gas Rn en los contenedores.

El gas producido dentro del contenedor fue extraído con ayuda de una bomba con un caudal controlado de 1 l/min. y conducido a través de un circuito apropiado hasta la cámara de ionización donde fue medida su concentración. Dicha cámara está conectada a un ordenador donde se registra las medidas tomadas en intervalos de tiempos de 10 minutos. Los 10 primeros minutos son para que se estabilice la medida y una vez estabilizada medimos la media de cada período, con una duración total de cada ensayo de aproximadamente dos horas para cada muestra (Fig. 14).

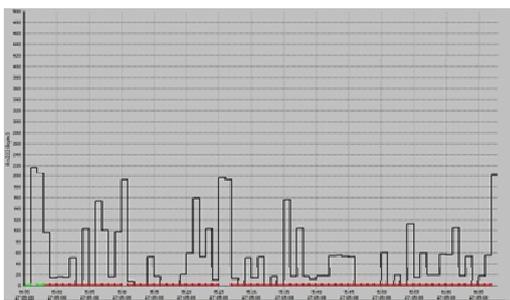


Fig.14. Gráfica que se obtiene como resultado del ensayo.

Una vez obtenida la concentración de gas Rn en el aire, determinamos la tasa de emanación de radón aplicando la ecuación:

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

$$C = \frac{C_f \times V}{W} \times \lambda$$

Donde:

C = Tasa de emanación de gas Rn (Bq. Kg. h⁻¹).

C_f = Concentración de gas Rn medida al final de período de acumulación (Bq /m³).

V = Volumen del contenedor (m³).

W = Peso de la muestra (Kg.).

λ = constante de desintegración del Rn (h⁻¹) = 0,00755 h⁻¹.

8. LAS ROCAS DEL ESTUDIO

El conjunto de rocas que a continuación se muestra y describe, está formado por rocas sedimentarias donde podemos encontrar ocho areniscas, cuatro calizas y un conglomerado. En las metamórficas; dos cuarcitas, una filita y un gneis. Mientras que en el grupo de las ígneas encontraremos nueve granitoides. La localización de las diferentes variedades se muestra en el mapa (Figura.15). Los números exponenciales presentes en cada roca corresponden a la situación y localización en el mapa de variedades de roca ornamental de Castilla y León (Fig.16).

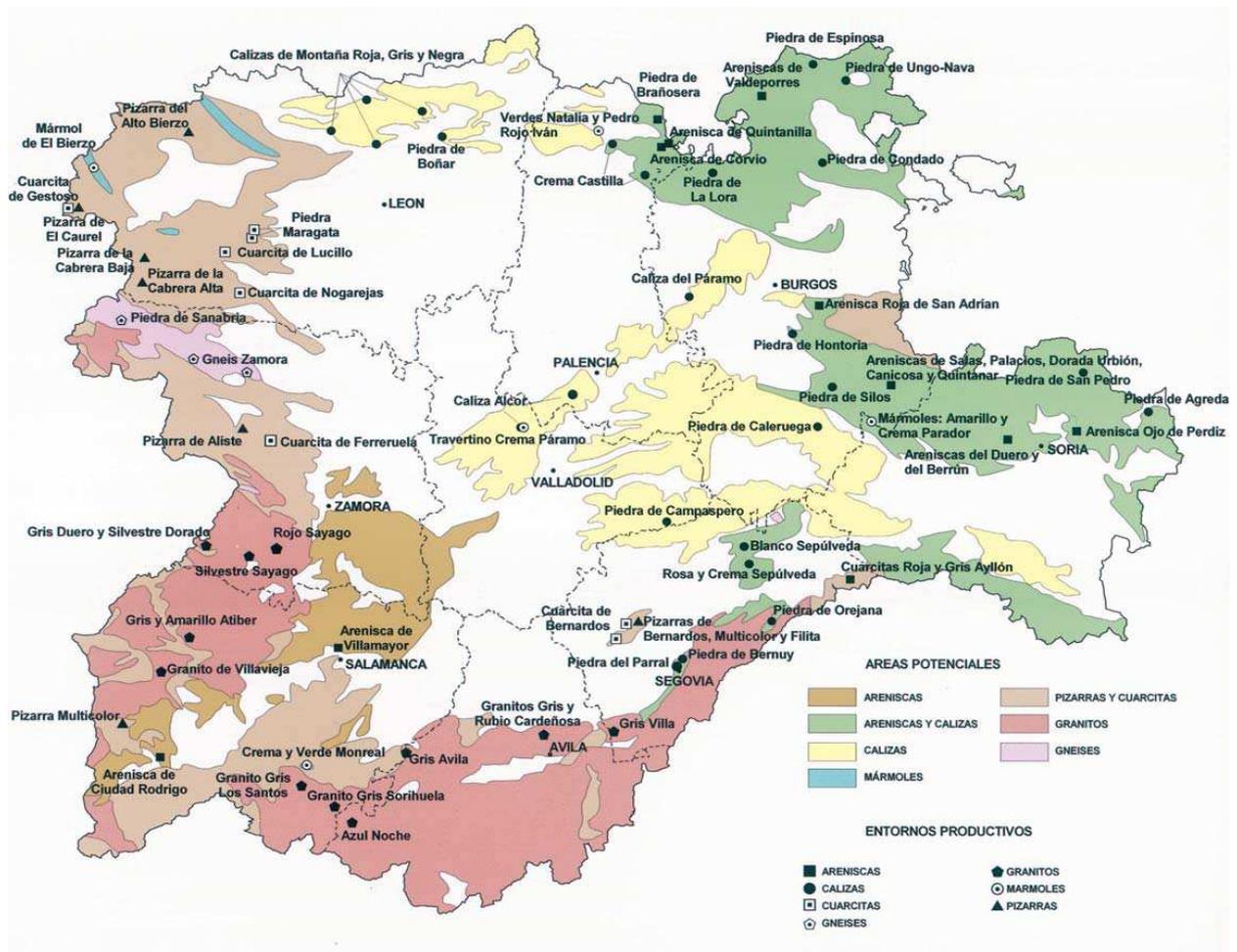


Fig.15. Mapa de localización de las diferentes procedencias de las rocas del estudio. (La piedra natural en Castilla y León. 2008. SIEMCALSA).

VARIETADES DE ROCAS ORNAMENTALES DE CASTILLA Y LEÓN

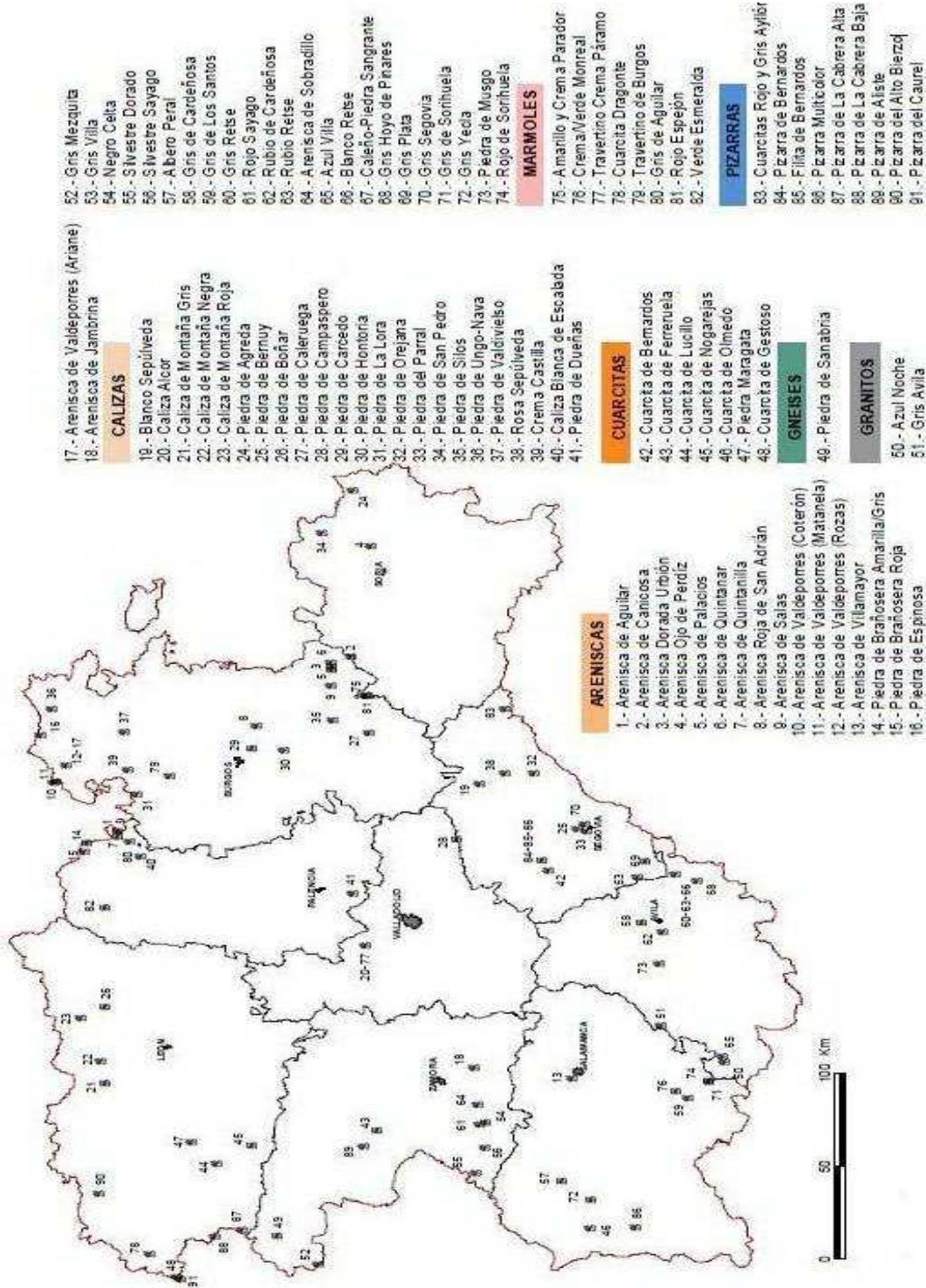


Fig. 16. Mapa de Castilla y León. Variedades de rocas ornamentales en Castilla y León. (La piedra en Castilla y León. SIEMCALSA. 2002).

Cabe advertir que la selección de imágenes que aquí se presentan, han sido obtenidas del muestrario de rocas que se encuentra en la 1º planta del pasillo de la Facultad de Ciencias, contrastándose en la medida de lo posible con trabajo de campo realizado fundamentalmente en la localidad de Zamora y Salamanca. Otras son obtenidas de: La Piedra Natural de Castilla y León realizado por Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León, Catálogo EXCAL (Exportaciones de Castilla y León). Natural Stone Castilla y León. Spain y empresas encargadas de la extracción y elaboración de la piedra natural.

8.1 SEDIMENTARIAS

8.1.1 ARENISCAS

8.1.1.1 ARENISCA DE ZAMORA



Fig.17. Muestra Arenisca de Zamora.



Fig.18. Muro Parque de San Martín. Zamora

8.1.1.2 ARENISCA DE JAMBRINA¹⁸ (ZAMORA)

En una cantera situada en las proximidades de Jambrina (Zamora) se obtiene, de forma discontinua una arenisca limosa de grano fino y otra arcósica de grano fino-grueso, de tonos jaspeados ocres y rojizos que recuerdan mucho a la Arenisca de Villamayor (Fig.19). Los niveles productivos pertenecen a los detríticos Eo-Oligocenos de SO de la cuenca del Duero.



Fig.19. Muestra Arenisca de Jambrina.

Minerales principales: cuarzo, feldespato y mica

Se utiliza para la edificación de fachadas mediante placas gruesas y sillares, con terminación superficial raspada y elaboración de elementos mas trabajados. Sus acabados pueden ser cortado y apiconado (Fig.20).



Fig.20. Fachada Universidad de Obras Públicas de Zamora.

8.1.1.3 ARENISCA DE QUINTANAR ⁶

Esta constituida por granos de cuarzo de tamaño medio-fino, con escasas cantidades de feldespatos alterados, moscovitas y minerales opacos. Los granos están trabajados con cuarzo secundario y arcillas, en proporciones mínimas (Fig.21).



Fig.21. Muestra de la arenisca de Quintanar.

Esta arenisca de tonos cremas y ocre claros pertenece a unos niveles que alternan con otros mas conglomeráticos o arcillosos, constituyendo el grupo Urbión en facies Weald del cretácico inferior.

Se obtiene en una cantera emplazada al oeste de Quintanilla de la Sierra (Burgos) de donde se trasladan los bloques al taller de la empresa en el polígono industrial de Quintanar.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Se elabora todo tipo de piezas: sillares, aplacados, columnas, chimeneas, balaustres, dinteles...etc.

En otra cantera de una localidad próxima, la misma empresa esta comenzando a explotar una arenisca similar denominada Arenisca del Duero.

Los acabados que se le pueden dar a la piedra son: cortado, abujardado, escafilado y apomazado.

8.1.1.4 ARENISCA QUINTANAR BEIGE

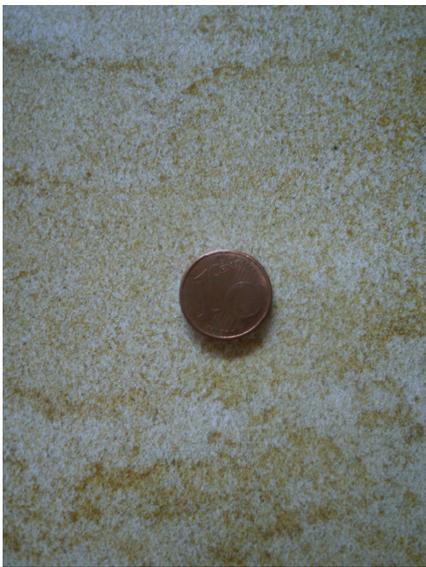


Fig.22. Muestra arenisca Quintanar Beige.(Natural Stone)

8.1.1.5 ARENISCA DEL DUERO



Fig.23.Muestra arenisca del Duero (Natural Stone).



Fig.24. Muestra arenisca Duero (Muestrario Facultad Ciencias).

8.1.1.6. ARENISCA ROJA DE SAN ADRIAN⁸

Se trata de una roca dura de grano fino-medio y tonos grandes marrones con acusado bandeado. Petrológicamente se clasifica como una litoarenita feldespática (Fig.25).



Fig.25. Muestra arenisca roja de San Adrián.

Su constituyente fundamental es el cuarzo, al que acompañan restos de feldespatos, moscovita y ox hidróxidos de hierro.

Aparece en bancos métricos alternando con otros pelíticos que junto con los conglomeráticos constituyen la serie detrítica de Buntsandstein (Triásico inferior)

La cantera de explotación de reciente apertura esta situada al norte de San Adrián de Juarros (Burgos).

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Al ser una roca de gran consistencia puede utilizarse para cualquier pieza de cantería destinada a placas, sillares, dinteles...etc. proporcionando a la construcción una tonalidad muy característica no exenta de originalidad en ocasiones asemejándose al veteado de la madera. Sus acabados pueden ser: cortado y abujardado (Fig.26).



Fig.26.Muestra arenisca roja de San Adrián. (Acabados: Apomazado y Abujardado).

8.1.1.7. ARENISCA SIERRA DEMANDA.

Enclavada en la Sierra de la Demanda entre la zona de los pinares de Burgos y Soria en Palacios de la Sierra se extrae este tipo de arenisca. Ésta puede distinguirse de la arenisca Sierra de Palacios por su veteado de color beige o crema anaranjado. Debido a su parecido pueden crear confusión.



Fig.27.a) Muestra de la arenisca Sierra Demanda. (Areniscas Sierra de Palacios, S. L)



Fig.27.b) Cantera Sierra de la Demanda. (Areniscas Sierra de la Demanda, S. L)

8.1.1.8. ARENISCA DE PALACIOS⁵

Es una arenisca de tonos cremas y marrones, de grano medio –fino, constituida casi exclusivamente por granos de cuarzo. Petrológicamente se clasifica como una Subarcosa. Presenta pequeñas cantidades de feldespatos alterados a arcillas y aun menores de moscovita, minerales opacos y ox hidróxidos de hierro. Estos granos están cohesionados con ligeras cantidades de arcilla y cuarzo secundario (Fig.28).



Fig.28. Muestra arenisca de Palacios.

Se explota en dos canteras próximas, al NE de Palacios de Sierra (Burgos), (Fig.29) emplazadas en un nivel de areniscas que junto con otros conglomeráticos y arcillosos,

configuran el potente conjunto detrítico del grupo urbión en facies Weald del cretácico inferior.



Fig.29. Cantera al NE de Palacios de la Sierra (Burgos).

Su transformación tiene lugar en dos talleres situados en Palacios de Sierra.

Estas areniscas se han utilizado en la construcción local desde hace siglos en forma de cualquier pieza de cantería como pueden ser placas, sillares y dinteles. Son materiales muy indicados para vivienda unifamiliar y aplacado de edificios, terminaciones superficiales rústicas (Fig.30).

Los acabados que se le pueden dar son cortado, abujardado y escafilado.



Fig.30.Placas de arenisca de Palacios. (Areniscas de Palacios. S. L)

8.1.2 CALIZAS.

8.1.2.1. PIEDRA DE CAMPASPERO²⁸

Corresponde a la llamada Caliza del Páramo, que es una caliza compacta blanca grisácea, algo oquerosa, de edad Turolense y situada en el centro de la Cuenca del Duero.

Esta roca se clasifica como una micrita fosilífera (Dismicrita) (Mudstone) que contiene algunos gasterópodos y characeas. Su origen sedimentario estaría en zonas marginales de sistemas lacustres carbonatados muy someros, sometidos a drásticos cambios de nivel de agua (Fig.31).



Fig.31.Muestra caliza de Campaspero. (Acabado: Oqueroso).

Actualmente se explota en banco subhorizontal superficial de esta piedra varias canteras situadas al sur de Campaspero (Valladolid). En la antigüedad también se extrajeron piedras similares en otras localidades próximas a Valladolid y Palencia, cuyo testimonio son los innumerables monumentos de estas ciudades con ellas construidos.

Además de las abundantes construcciones de todo tipo y amueblamiento urbano, la capital castellano-leonesa posee un rico patrimonio monumental construido con estas calizas: San Pablo, Catedral, N^a. S^a. de la Antigua (Fig.32), San Gregorio, etc.

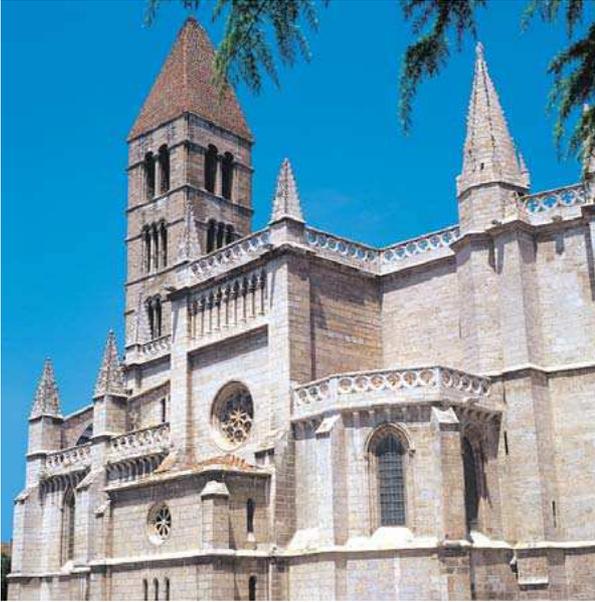


Fig.32. N^ª. S^a. Antigua. Valladolid.

En los distintos talleres de transformación se elaboran tablas y todo tipo de piezas como balaustres, columnas, molduras, sillares, placas, etc. con terminaciones superficiales fundamentalmente rústicas (Fig.33).



Fig.33.Capitel piedra Campaspero. Valladolid.

Los acabados que se le pueden dar a esta caliza son abujardado, cortado, serrado, apiconado o partido, aunque también admite hasta el apomazado. Por todo ello, podemos decir que es indicada para recubrimientos de edificios, ornamentación y construcción de fachadas, interiorismo, amueblamiento urbano, etc.

8.1.2.2. PIEDRA DE SILOS³⁵

Es una dolomía calcárea (Dolomicrosparita) algo pelítica de grano muy fino, no recrystalizada de textura sacaroidea, de tono ocre-beige. Su edad es Maastrichtiense (Fig.34).



Fig.34. Muestra caliza de Silos

El banco subhorizontal, de unos 2 m, sin apenas recubrimiento se explota en unas canteras próximas a unas históricas situadas al NO de Santo Domingo de Silos (Burgos) (Fig.35). Allí se cortan mediante rozadora de brazo, unos buenos bloques que son elaborados mayoritariamente en Burgos, en el taller de piedra y mármoles S. L. Una mínima parte se transforma “in situ” en las proximidades de la cantera. Sus acabados pueden ser apomazado, cortado y abujardado.



Fig.35. Parque de bloques en Snt. Domingo de Silos. Burgos.

Esta piedra es de trabajo fácil permitiendo cualquier pieza, en forma de tabla o de labra, dando lugar a aplacados, sillares, columnas, esquinas, escudos, etc. Su mejor ejemplo es el claustro del monasterio de Santo Domingo de Silos.

8.1.2.3. CALIZA DE HONTORIA³⁰

Esta piedra caliza blanca, muy pura, masiva, homogénea y de muy fino aspecto sacaroideo se clasifica como una caliza packstone (Bioesparita) muy pura que contiene algunos fósiles (equinodermos, miliolidos y rudistas). Es de origen sedimentario y pertenece a las facies rudistas.



Fig.36. Muestra de la caliza de Hontoria. (Acabado: Apomazado)

Existe una explotación subterránea de 5m de potencia dispuesto subhorizontalmente en donde se obtienen bloques muy regulares de tamaño medio en varios frentes de extracción. Los bloques en su mayoría son trasladados desde aquí al sur de Hontoria de la cantera (Burgos) al taller de aserrado y transformación que la empresa tiene en Burgos (Fig.37).



Fig.37. Cantera subterránea de caliza. Burgos.

Esta cantera junto con otras más próximas actualmente inactivas, proporcionan la piedra que desde la época de los romanos viene contribuyendo a la construcción de numerosos edificios nobles y monumentales. Sirven de ejemplo los más representantes de la capital burgalesa: catedral, arco de Snt. María, casa de cordón, etc. (Fig.38). Son un aval de resistencia ante las heladas, con posibilidades arquitectónicas y artísticas. Se confeccionan cualquier tipo de piezas de cantería como son sillares, dinteles, tablas, escudos o columnas con motivos tallados.

Sus acabados son sobre todo serrado, cortado, abujardado, apiconado y otros que confieren el aspecto rustico y noble buscado. Es destinada esta caliza para el amueblamiento urbano, decoración interior y exterior de locales sobre saltando recubrimiento y remate de fachadas.



Fig.38. Catedral de Burgos.

8.1.3. CONGLOMERADO

8.1.3.1. ESPEJÓN⁸¹ (CALIZA)

En la localidad de Espejón (Soria) se está probando la extracción de una piedra explotada y usada en los siglos XVI, XVII y XVIII en distintos monumentos de interés histórico artístico, es un conglomerado con cemento calcítico. Con cantos de variado colorido con tonos amarillentos y rojizos predominantes (Fig.39). Los cantos, matriz y cemento están bien cristalizados admitiendo un acabado pulido.

Su futuro de momento se desconoce aunque se utiliza para recubrimientos y elementos ornamentales en construcciones y elementos arquitectónicos.



Fig.39. Muestra del conglomerado Espejón.
<http://wzar.unizar.es/invest/grupos/arbotante/espejon.html> (última visita a la página el 6 de Septiembre, 2011).

8.1.3.2. ARENISCA DE CIUDAD RODRIGO*

Comercialmente denominada como arenisca, realmente es un conglomerado* por las características dimensionales de sus clastos (Fig.40).



Fig.40. Muestra arenisca de Ciudad Rodrigo.

8.2 METAMORFICAS.

8.2.1 CUARCITAS

8.2.1.1. CUARCITA DE FERRERUELA⁴³

Es un material muy duro constituido casi exclusivamente por cuarzo, de colores grises y óxidos. Se clasifica petrológicamente como una ortocuarcita (Fig.41).



Fig.41. Muestra de cuarcita de Ferreruela.

Se explota la capa de la cuarcita armonicaza (Ordovícico inf.) al sur de Ferreruela de Tábara (Zamora). Las lajas se clasifican y comercializan irregularmente por grosores de 1 a 8cm, o como tochos o tacos para mampostería. Se utiliza para recubrir fachadas o espacios públicos y levantamiento de muros con tacos. El acabado que más se le da es el lajado.

8.2.1.2. CUARCITA DE BERNARDOS⁴²

También llamada Cuarcita Segovia o Cuarcita Cobre Bernardos. Esta cuarcita algo esquistosa, explotada al sur de Domingo García (Segovia) en las cercanías de Bernardos, es una roca metamórfica dura y lajosa, de tonos óxidos, grises y rojizos (Fig.42).



Fig.42. Domingo García. Segovia.

Esta constituida básicamente por granos finos de cuarzo y micas, con fuerte orientación que favorece al lajado. Pertenece a las capas de domingo garcía del periodo ordovícico, conformada a partir de sedimentos arenisco-arcillosos (Fig43).



Fig.43. Muestra Cuarcita de Bernardos.

Con el lajado natural y manual complementario se obtienen planchones y lajas de distintas dimensiones tras previa clasificación.

El colorido acabado superficial por lajado contribuye a su actual gran utilización en recubrimientos, mampostería y solados de exteriores e interiores de edificios y locales. Material llamativo que encaja en muchas construcciones de moderno diseño.

8.2.2. FILITA DE BERNARDOS⁸⁵

También Filita Gris Bernardos o Filita gris Cordillera. De color gris oscuro bandeado y algo verdoso (Fig.44). Pertenece a las capas de Santa María, del complejo esquisto grauvaquico.



Fig.44. Muestra Filita de Bernardos.

Se trata de una filita de los niveles mas cuarcíticos y de menor foliación de las canteras de pizarra de bernardos. Se consiguen losas que dan origen a tablas que admiten un buen pulido y de este modo se comercializa principalmente. También se le puede dar un acabado serrado o lajado. Sus piezas en forma de tablas, placas y baldosas son destinadas al recubrimiento urbano y revestimiento tanto exterior como interior en mampostería y chimeneas.

8.2.3 GNEIS DE ZAMORA (PIEDRA DE SANABRIA)⁴⁹

En las comarcas de zamoranas de Sanabria y la Carballeda la construcción rural esta edificada básicamente mediante la utilización de materiales provenientes de la formación Ollo e sapo (Cámbrico).

En prefacio se ha abierto recientemente una cantera para explotar un gneis de grano fino medio de tono general gris verdoso con jaspeados marrones.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Esta constituida por cuarzo, plagioclasa, biotita, clorita, moscovita, feldespato potásico y otros. Petrológicamente se clasifica como un gneis milonítico (Fig.45).



Fig.45. Muestra Gneis de Zamora o Piedra de Sanabria.

Se extraen lajas y tacos de distintos tañamos, grosores y formas. Al ser una roca de aspecto rustico se utiliza con terminaciones de lajado, abujardado, partido o cortado y muchas veces con formas geométricas no demasiado regulares imitación de la edificación tradicional (Fig.46). También se elaboran piezas como sillares y esquinas.



Fig.46. Muestra de mampostería gneis de Zamora.

8.3. IGNEAS (ROCAS GRANÍTICAS O GRANITOIDES)

8.3.1. GRANITO GRIS LOS SANTOS⁵⁹

El granito Gris Los Santos se explota en el término municipal de Los Santos, al Suroeste de la provincia de Salamanca. Es un Granito de grano medio – grueso, de textura porfídica. Petrológicamente se clasifica como un monzogranito cordierítico o granodiorita. Es de color gris claro y aflora en grandes masas, poco diaclasadas, que permiten la extracción de grandes bloques (Fig.47).



Fig.47. Extracción de Granito en el municipio de Los Santos.

En el pasado, este granito se elaboraba en gran medida de forma artesanal, a pie de cantera. Hoy en día se utiliza maquinaria moderna de corte, como sierras e hilo diamantado para producir adoquines, bordillos, bancos, y otros productos.

Dadas las características físico - mecánicas de esta roca, se utiliza fundamentalmente para pavimentado de calles y plazas y amueblamiento urbano. No es aconsejable su utilización como tableros pulidos, debido a que las biotitas tienden a alterarse y a dar cercos de óxidos de hierro. Además, la cordierita está altamente cloritizada y no respondería a un pulido homogéneo.



Fig.48. Muestra del granito gris de los Santos.

Minerales principales: Cuarzo, feldespato potásico y feldespato cálcico (plagioclasa).

Minerales accesorios: Moscovita, biotita, cordierita y minerales opacos.

Secundarios: Clorita derivada de la alteración de la biotita y la cordierita.

El granito de Los Santos se comercializa como superficies terminadas con corte con disco, partido o Abujardado (Fig.48). También se aplica el flameado, que consiste en aplicar una llama a 45° C de inclinación hasta alcanzar temperaturas de unos 2.800 ° C. Se produce un estallido de algunos minerales, sobre todo del cuarzo, que proporciona un aspecto rústico al granito, así como propiedades antideslizantes por efecto de la rugosidad adquirida.

8.3.2. GRANITO ALBERO ALMENDRA CLARO⁵⁷

Es un granito de dos micas de grano medio prácticamente equigranular y color gris muy claro con ligero tono marfil crema. La cantera se encuentra en las cercanías de Peralejos de abajo (Salamanca) de donde se extraen bloques de tamaño medio que luego son transformados en el taller situado a escasa distancia. Pertenece al grupo de los leucogranitos de feldespato alcalino de la penillanura salmantino-zamorana (Fig.49).



Fig.49.Muestra de Albero Almendra Claro.

Las piezas extraídas de zonas menos superficiales son más compactas y admiten hasta las últimas fases de abrasión superficial, incluido el pulido. La mayoría de la producción se destina a piezas cortadas y de ornamentación, con terminaciones de corte de disco o abujardado principalmente. El destino de este producto suele ser las fachadas de viviendas unifamiliares y la ornamentación urbana, plazas, restauraciones, chimeneas, etc. (Fig.50). Al ser un granito de color calido y superficie poco cristalina esta especialmente indicado para las restauraciones de edificios antiguos.



Fig.50.Revestimiento fachada. Edificio Obras Públicas. Zamora.

8.3.3. SILVESTRE SAYAGO⁵⁶ O SAYAGO CLARO.

En Pasariegos (Zamora) se extrae en una cantera un leucogranito de dos micas de grano medio grueso y color gris muy claro homogéneo. Su clasificación petrográfica es de un Sienogranito de dos micas de grano medio.



Fig.51.Muestra Silvestre Sayago claro.

Se trata de una facies muy común en la penillanura salmantina-zamorana. Está compuesto por:

Minerales Principales: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa (Albita –oligoclasa)

Minerales Accesorios: biotita, moscovita y circón

Minerales Secundarios: Clorita.

Parte de los bloques se transforman en el taller de Zamora principalmente para su corte en piezas de cualquier grosor con terminaciones de corte, abujardado, flameado y apomazado. Otros son aserrados en distintos talleres para obtención de tablas.

Por tanto sus utilizaciones son muy amplias: fachadas, baldosas, mobiliario urbano, en bloques para placas, dinteles, bordillos, esquinas... (Fig.52).



Fig.52.Bancos en el paseo de la Universidad de Zamora.

Otra cantera hoy inactiva explotó hasta poco tiempo un granito similar en Villamayor de Cadozos (Zamora) al que denominaban Amarillo-blanco Ibérico.

8.3.4. RUBIO CARDEÑOSA⁶²

Como su nombre indica, es una roca de color crema pálido-amarillento debido a su ligera alteración mineral propia de un granito extraído de niveles poco profundos. Su clasificación petrográfica es de un Leucogranito de grano fino o medio uniforme de dos micas (Fig.53). En las proximidades de Cardeñosa (Ávila) al sur y SO de esta localidad hay varias canteras con frentes de reducidas dimensiones en los cuales se extrae este material en forma de pequeños bloques que después son despiezados.

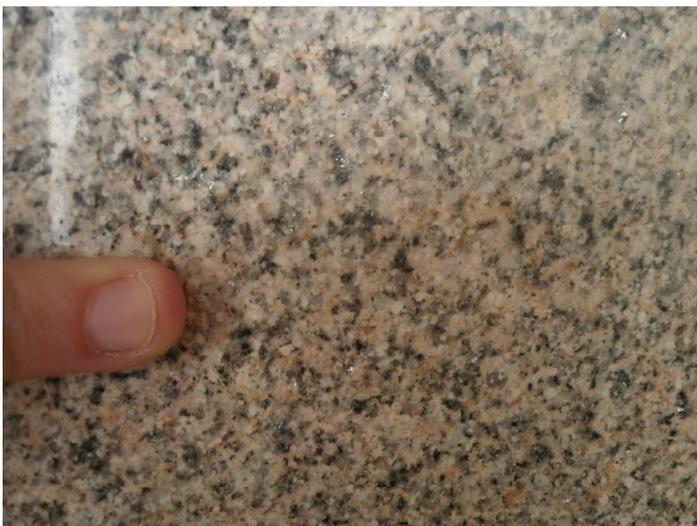


Fig.53.Muestra rubio Cardeñosa.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Minerales principales: cuarzo, feldespatos potásico, plagioclasa (Oligoclasa ácida)

Minerales accesorios: turmalina, apatito, biotita, circón y moscovita.

Minerales secundarios: clorita, sericita y epidota.

Se confeccionan distintas piezas, como dinteles, sillarejos, encache, chimeneas y baldosas con terminaciones rústicas. Al ser una roca muy cálida se utiliza en fachadas de viviendas combinada con cualquier otro material. Su aspecto asemeja algunas calizas y areniscas.

Indicado para usos apuntados, piezas de ornamentación, amueblado urbano y mampostería.

Los acabados que admite esta roca son: partido, cortado, abujardado, escafilado y pulido por su grado de compactación, aunque este último no se ha comercializado hasta ahora debido al tamaño no demasiado grande de los bloques que se extraen y estructura de las empresas productoras. Su producción aumentó mucho en los últimos años debido a su demanda.

8.3.5. SILVESTRE DORADO⁵⁵ O SAYAGO RUBIO.

Su clasificación petrográfica es de un granito de dos micas de grano fino uniforme. De color gris claro crema que se obtiene en una cantería situada al sur de Fornillos de Fermoselle (Zamora). Geológicamente pertenece al grupo de los leucogranitos de feldespato alcalino de la penillanura salmantino-zamorana (Fig.54).



Fig.54.Muestra Silvestre Dorado o Sayago Rubio.

Minerales principales: cuarzo, feldespatos potásico y plagioclasa.

Minerales accesorios: moscovita, biotita y apatito y opacos.

Minerales secundarios: sericita.

La explotación consiste en frentes emplazados en una montaña muy masiva de roca homogénea y escasamente diaclasada. Se está empezando a extraer de zonas más profundas donde la tonalidad es más clara y mejora el grado de resistencia a los ensayos mecánicos.

Los acabados que ofrece este granito son: cortado, serrado, abujardado, flameado y pulido (Fig.55). Actualmente se utiliza en bloques para tablas y piezas de labra con finalidad en revestimientos de fachadas (Fig.56). Parte de los bloques (los mayores) son vendidos y el resto se transforman en el taller de Piedranova (Zamora).



Fig.55.Muestra Silvestre Dorado o Sayago Rubio.



Fig.56.Fachada Hotel II Infantas. Zamora.

8.3.6. AZUL NOCHE⁵⁰

Es un granito heterogéneo de anatexia de color gris oscuro ligeramente azulado con presencia de megacristales feldespáticos algo más claros. El tamaño de grano varía de medio a grueso (Fig.57).



Fig.57.Muestra Azul Noche.

Petrológicamente se trata de un monzogranito tardío de grano grueso de la zona meridional de la unidad centro ibérica, en el sistema central. Está compuesto:

Minerales principales: cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa.

Minerales accesorios: biotita, cantidades menores de moscovita, cordierita y fibrolita

Minerales secundarios: clorita.

La explotación esta situada al sur de Junciana (Ávila) en una gran masa rocosa poco diaclasada. Los grandes bloques obtenidos se cortan en tablas que admiten cualquier terminación superficial, destacando el pulido que confiere un brillo resaltando su textura y color oscuro. Sus acabados también pueden ser serrado, abujardado y cortado.

Su utilización comprende todo el abanico de posibilidades desde pavimentos a recubrimientos tanto exteriores como de interiores, ornamentación, amueblamiento urbano y hasta el mercado funerario. Por su tonalidad oscura combina muy bien con otros granitos más claros.

8.3.7. ROJO SAYAGO⁶¹

El granito Rojo Sayago se explota en diversas canteras que se encuentran en Piñuel (Zamora). Esta roca se extrae en la cantera y se traslada en bloques a Los Santos (Salamanca), donde se elabora todo tipo de material de cantería.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Petrológicamente se trata de un episienita, de color rojo, de grano grueso, porfídica debido a la presencia de grandes cristales de feldespato potásico.

Estas rocas, afloran rodeadas de rocas básicas e intermedias que podrían ser el origen de la episienitización de un granito original. Además, la episienitización parece estar ligada a un proceso de deformación muy fuerte que afecta a la roca y que es muy evidente en las maclas de la plagioclasa (Fig58).



Fig.58. Muestra de granito Rojo Sayago.

Minerales principales: Feldespato potásico, feldespato cálcico (plagioclasa) y biotita.

Minerales accesorios: Cordierita, moscovita.

Secundarios: Clorita, carbonatos y sericita.

Debido a sus características, esta roca se utiliza con terminación rústica, aplicando acabados como el abujardado. No se aconseja su pulido porque, si bien resalta más su color rojo, la fuerte alteración de las biotitas a cloritas puede dar lugar a que con el tiempo éstas se pierdan, dejando huecos en su lugar (Fig.59).



Fig.59. Escaleras Restaurante Sancho II (Zamora).

Se utiliza mayormente para amueblamiento urbano: desde placas, adoquines y tablas.

Es frecuente su utilización en combinación con granitos grises (Fig.60).

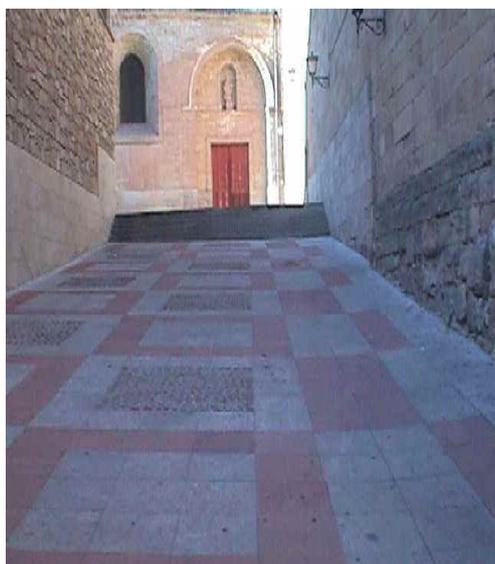


Fig.60. Losas de Granito Rojo Sayago casco histórico de Salamanca.

8.3.8. GRANITO GRIS VILLA⁵³

Desde su clasificación petrográfica se trata de un granito biotítico-granodiorita de grano medio uniforme y color gris medio (Fig.61).



Fig.61. Muestra granito gris Villa.

El aspecto general es el de una roca granuda constituida por:

Minerales principales: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita y anfíbol

Minerales accesorios: cordierita, moscovita, fibrolita, circon y apatito.

Minerales secundarios: clorita y sericita.

Se extrae en una cantera tipo piscina emplazada en una ladera poco inclinada y muy masiva del sur de Villacastin (Segovia) en donde se cortan bloques de grandes dimensiones. Geológicamente es un área del noroeste del sistema central (Fig.62).



Fig.62.Cantera de Villacastín (Segovia).

El aserradero de transformación se encuentra en Villacastín en donde se obtienen tableros que luego son elaborados superficialmente. Es un material que admite cualquier terminación, si bien los mas utilizados son pulido y abujardado, también cabe destacar serrado y flameado.

Desde hace años se ha utilizado en la construcción regional de edificios de variada entidad que muestran su calidad y resistencia al paso del tiempo y así como su disposición a variados trabajos.

8.3.9. GRIS SORIHUELA⁷¹

Granito biotítico-granodiorita, de grano medio porfídico y color gris claro (Fig.63).



Fig.63.Muestra Gris Sorihuela.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Se explota esporádicamente en alguna pequeña cantera próxima Sorihuela (Salamanca) de donde se extraen pequeños bloques y piezas de labra como bordillos y losas. Su destino es el pavimentado de plazas y aceras.

Minerales principales: cuarzo, feldespatos potásico, plagioclasa y biotita.

Minerales accesorios: Sillimanita, moscovita, apatito, circón y opacos

Minerales secundarios: Clorita y sericita.

9. RESULTADOS

9.1 ANÁLISIS QUÍMICO

El análisis químico se ha realizado mediante un ICP – MS, en el Servicio de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca. Se determinaron todos los elementos mayores y trazas. A continuación se realizó una correlación entre los elementos mayores y trazas con la Exhalación de Rn y U presente en cada tipo de roca, con lo que se observó que no había ninguna correlación. Por ello, utilizaremos sólo los elementos radiogénicos necesarios para obtener nuestros resultados de radioactividad, es decir: Th, U y K₂O cuyos límites de detección son (Tabla. 4).

Elemento	Th (ppm)	U (ppm)	K (%)
Límite de detección	0,5	0,5	0,10

Tabla.4. Límites de detección de los elementos analizados.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

LITOLOGÍA	MUESTRAS	K2O (%)	U (ppm)	Th (ppm)
ARENISCAS	Zamora	1,46	0,8	1,9
	Quitánar	1,87	1,7	1,9
	Quintánar Beige	1,28	0,7	2,2
	Duero	2,2	1,8	5,3
	Zamora (Jambrina)	1,69	0	5,2
	Rojo San Adrián	2,89	2,2	6,2
	Sierra Demanda	1,58	1,8	1,5
	Sierra Palacios	1,47	0,8	1,1
CALIZAS	Campaspero	0,16	1,3	1,4
	Piedra de Silos	0	0,9	0
	Hontoria	0	0	0,3
	Espejón	0	0,5	0,7
CONGLOMERADO	Ciudad Rodrigo	1,96	2,8	6,3
CUARCITAS	Ferreruela	0,54	2,1	10,2
	Bernardos	0,52	1	3,4
FILITA	Bernardos	3,92	4,5	16,1
GNEIS	Zamora (Piedra de Sanabria)	5,48	6,3	16,9
GRANITOS	Gris los Santos	4,33	6,1	17,7
	Albero Almendra Claro	4,13	4,6	6,9
	Silvestre Sayago	4,96	2,4	2,8
	Rubio Cardeñosa	4,63	3,2	2,9
	Silvestre Dorado (Fornillos)	5,15	9,6	13,1
	Azul Noche	3,68	4,8	12,5
	Rojo Sayago	7,18	4,3	21,2
	Gris Villa	3,55	5,2	16,9
	Gris Sorihuela	3,83	6,1	15,6

Tabla.5. Resultados obtenidos del análisis químico para los elementos Th, U y K.

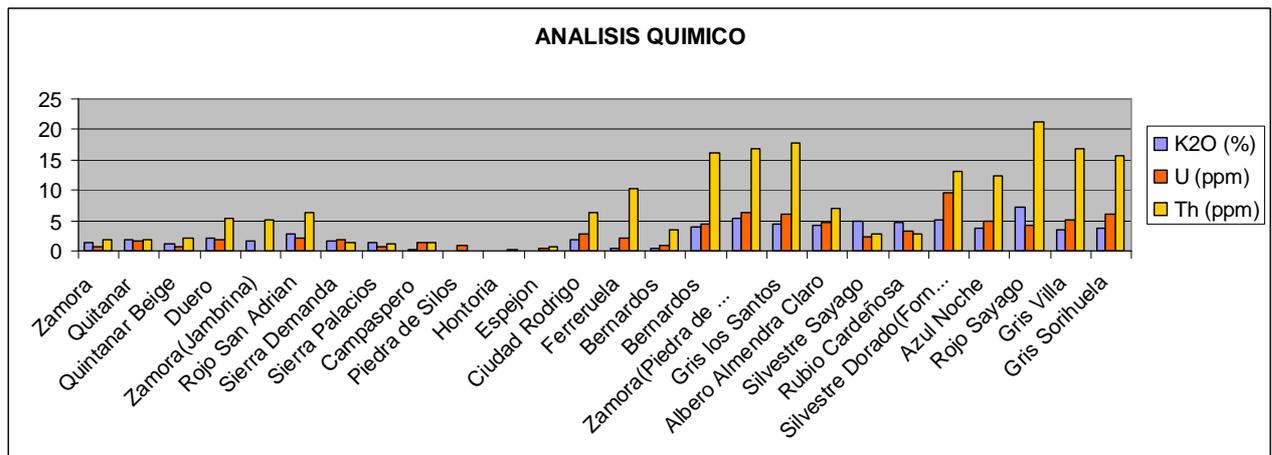


Fig.64. Resultados obtenidos en el análisis químico para los elementos K, U y Th.

En los resultados obtenidos del análisis químico realizado (Tabla.5 y Fig. 64), las areniscas, calizas, conglomerado y cuarcitas mostraron valores muy bajos de K₂O con valores comprendidos entre 0-2 % exceptuando la arenisca roja de San Adrián que dio un valor aproximado a 3. El rango de valores más destacables de K₂O como era de esperar fueron de la filita, gneis y rocas graníticas con valores comprendidos entre 3-8% destacando como cabía esperar el Rojo Sayago con un valor de 7,18%.

Caso parecido pasa con el U en las areniscas, calizas, conglomerado y cuarcitas con un rango de valores de 0-3 ppm. Para la filita, gneis y las rocas graníticas los valores son mayores entre 4-10 ppm destacando Silvestre Dorado con un valor de 9,6 ppm. Con valores más bajos al resto se encuentran Silvestre Sayago y Rubio Cardeñosa.

El contenido en Th presente en las areniscas, calizas, conglomerado y cuarcitas es de 0-6 ppm destacando la cuarcita de Ferreruela con un valor de 10,2 ppm. Filita, gneis y rocas graníticas presentan valores más altos de Th entre 10-21 ppm siendo Albero Almendra Claro, Silvestre yago y Rubio Cardeñosa de menor rango.

En las (Figuras 65, 66 y 67) se ha representado gráficamente cada uno de los elementos radiogénicos K, U y Th respectivamente, presentes en las rocas para mejor visualización.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

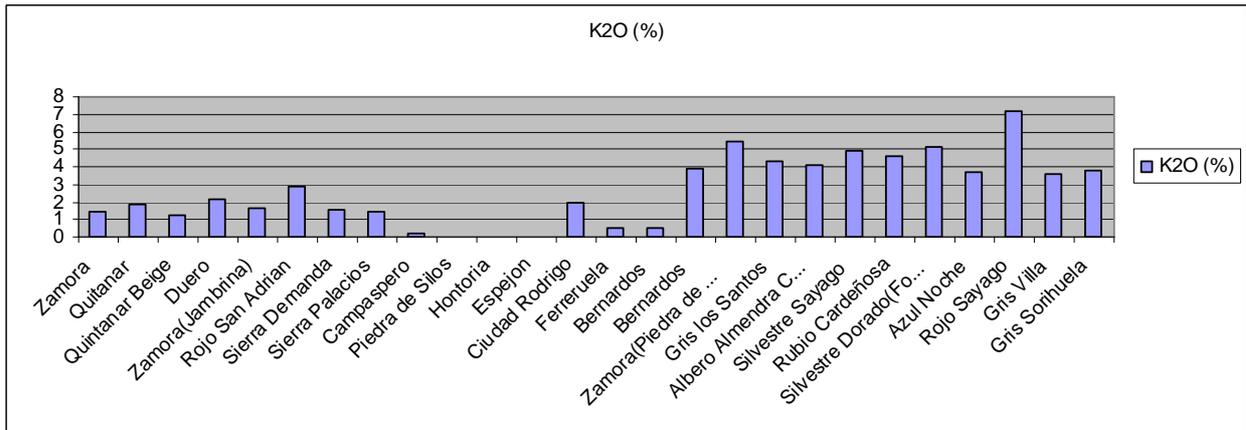


Fig.65. Resultados del análisis químico para el K.

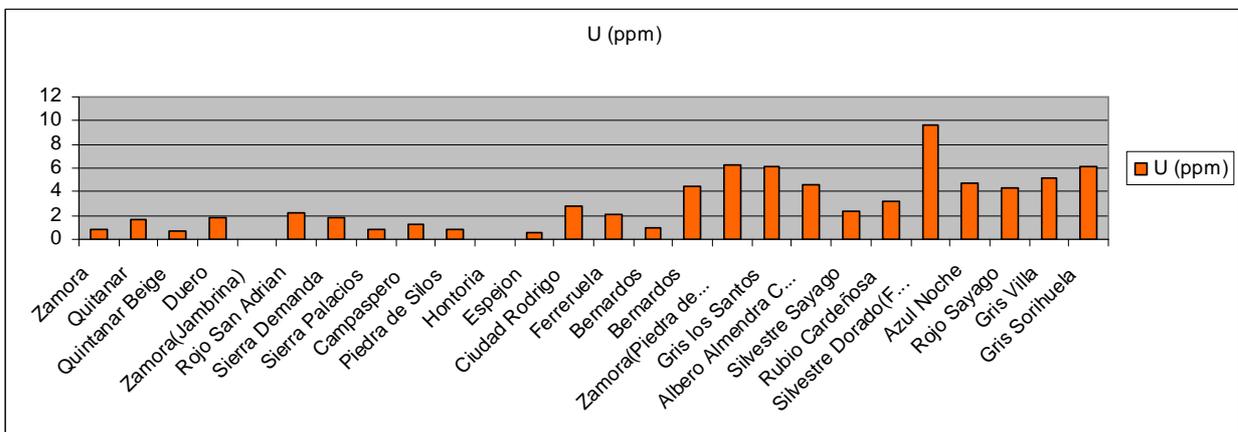


Fig.66. Resultados del análisis químico para el U.

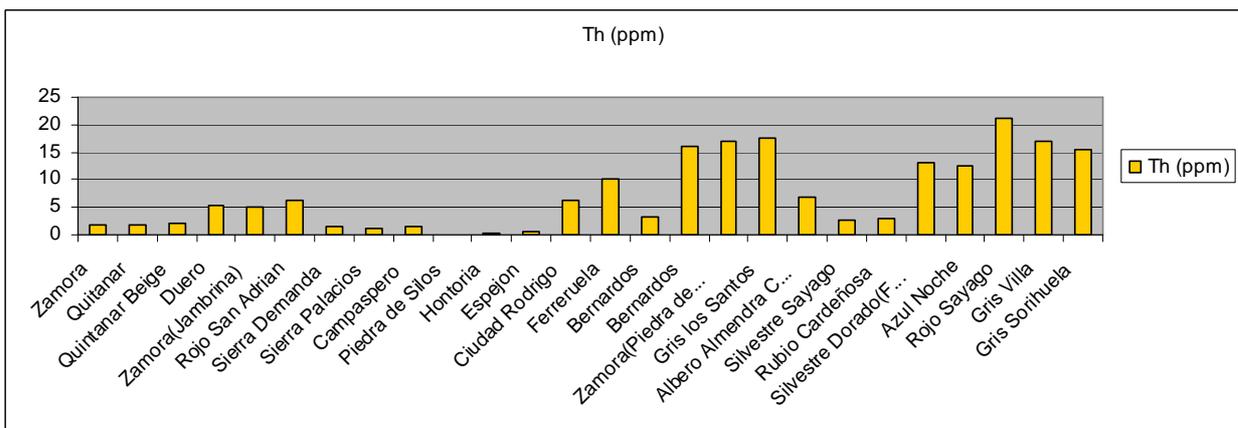


Fig.67. Resultados del análisis químico para el Th.

En conclusión, las rocas a tener más en cuenta por el contenido de U y Th (ppm) son la filita de Bernardos y gneis de Zamora. Atendiendo a las rocas graníticas se encuentran el gris los Santos, Silvestre Dorado, Azul noche, rojo Sayago, gris Villa y gris Sorihuela, destacando el Rojo Sayago previamente dicho y Silvestre Dorado para un contenido de Th (ppm).

9.1.1 ANALISIS ESTADÍSTICO DEL ANALISIS QUÍMICO

En el análisis estadístico se ha calculado la media, desviación estándar, máximo y mínimo de cada una de las litologías (Tabla 7 y 8) para compararlos con los valores promedios de la corteza (Tabla 6), viendo si hay diferencias significativas o por el contrario, se encuentran dentro de lo normal establecido.

Principales Elementos Naturales Radiactivos Concentración promedio de la Corteza.	
K (%)	2,8
U (ppm)	2,8
Th (ppm)	10,7

Tabla.6. Concentración promedio de elementos radiactivos en la corteza (Taylor, S. R. y Mc Lennan, S. M. 1985).

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

LITOLOGÍA	MUESTRAS	K2O (%)	U (ppm)	Th (ppm)
ARENISCA	Zamora	1,46	0,8	1,9
	Quintanar	1,87	1,7	1,9
	Quintanar Beige	1,28	0,7	2,2
	Duero	2,2	1,8	5,3
	Zamora(Jambrina)	1,69	0	5,2
	Rojo San Adrián	2,89	2,2	6,2
	Sierra Demanda	1,58	1,8	1,5
	Sierra Palacios	1,47	0,8	1,1
	Media	1,80	1,23	3,16
	Desviación Estándar	0,52	0,75	2,04
	Máximo	2,89	2,2	6,2
	Mínimo	1,28	0	1,1
CALIZA	Campaspero	0,16	1,3	1,4
	Piedra de Silos	0	0,9	0
	Hontoria	0	0	0,3
	Espejón	0	0,5	0,7
	Media	0,04	0,68	0,6
	Desviación Estándar	0,08	0,56	0,61
	Máximo	0,16	1,3	1,4
	Mínimo	0	0	0
CONGLOMERADO	Ciudad Rodrigo	1,96	2,8	6,3
CUARCITA	Ferreruela	0,54	2,1	10,2
	Bernardos	0,52	1	3,4
	Media	0,53	1,55	6,8
	Desviación Estándar	0,01	0,78	4,81
	Máximo	0,54	2,1	10,2
	Mínimo	0,52	1	3,4
FILITA	Bernardos	3,92	4,5	16,1
GNEIS	Zamora(Piedra de Sanabria)	5,48	6,3	16,9
GRANITO	Gris los Santos	4,33	6,1	17,7
	Albero Almendra Claro	4,13	4,6	6,9
	Silvestre Sayago	4,96	2,4	2,8
	Rubio Cardeñosa	4,63	3,2	2,9
	Silvestre Dorado(Fornillos)	5,15	9,6	13,1
	Azul Noche	3,68	4,8	12,5
	Rojo Sayago	7,18	4,3	21,2
	Gris Villa	3,55	5,2	16,9
	Gris Sorihuela	3,83	6,1	15,6
	Media	4,60	5,14	12,18
	Desviación Estándar	1,11	2,07	6,60
	Máximo	7,18	9,6	21,2
	Mínimo	3,55	2,4	2,8

Tabla.7. Valores de K, U y Th según la litología y medidas estadísticas.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Las areniscas, calizas, conglomerados y cuarcitas presentan valores de K₂O, U y Th por debajo de los valores promedio de la corteza salvo la arenisca rojo San Adrián que presenta un valor de K₂O de 2,89%, el conglomerado de ciudad Rodrigo con un valor de Uranio de 2,8 ppm algo mayor al promedio de la corteza. La media de cada radionucleido según la litología es también inferior.

No podemos decir lo mismo de la filita, gneis y rocas graníticas, cuyos valores de K₂O, U y Th son bastante mas altos, unos mas que otros, comparándolos con la media de la corteza y resto de litologías. Los valores medios de cada uno de los radionucleidos doblan los valores medios de la corteza exceptuando en contenido de Th.

Cabe destacar la muestra Rojo Sayago que triplica la cantidad de K y Th, y el comúnmente conocido como granito Silvestre Dorado que triplica la cantidad de U en comparación con los valores medios existentes en la corteza.

Las desviaciones estándar de las litologías muestra que el contenido de K₂O muestra una desviación mucho menor que U y Th porque sus valores están mas cerca de la media.

TIPOS DE ROCAS	MEDIDAS ESTADISTICAS	K ₂ O (%)	U (ppm)	Th (ppm)
ARENISCA	Media	1,81	1,23	3,16
	Desviación Estándar	0,52	0,75	2,04
	Máximo	2,89	2,2	6,2
	Mínimo	1,28	0	1,1
CALIZA	Media	0,04	0,68	0,6
	Desviación Estándar	0,08	0,56	0,61
	Máximo	0,16	1,3	1,4
	Mínimo	0	0	0
CUARCITA	Media	0,53	1,55	6,8
	Desviación Estándar	0,01	0,78	4,81
	Máximo	0,54	2,1	10,2
	Mínimo	0,52	1	3,4
GRANITO	Media	4,60	5,14	12,18
	Desviación Estándar	1,11	2,07	6,60
	Máximo	7,18	9,6	21,2
	Mínimo	3,55	2,4	2,8

Tabla.8. Valores de media, desviación estándar, máximo y mínimo según litología.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

La siguiente (Tabla 9) resalta los valores más altos de cada uno los radionucleidos para su mejor visualización y comprensión de la anterior descripción.

LITOLOGÍA	MUESTRAS	K2O (%)	U (ppm)	Th (ppm)
ARENISCA	Zamora	1,46	0,8	1,9
	Quintanar	1,87	1,7	1,9
	Quintanar Beige	1,28	0,7	2,2
	Duero	2,2	1,8	5,3
	Zamora(Jambrina)	1,69	0	5,2
	Rojo San Adrián	2,89	2,2	6,2
	Sierra Demanda	1,58	1,8	1,5
	Sierra Palacios	1,47	0,8	1,1
	Media	1,81	1,23	3,16
	Desviación Estándar	0,52	0,75	2,04
	Máximo	2,89	2,2	6,2
	Mínimo	1,28	0	1,1
CALIZA	Campaspero	0,16	1,3	1,4
	Piedra de Silos	0	0,9	0
	Hontoria	0	0	0,3
	Espejón	0	0,5	0,7
	Media	0,04	0,66	0,6
	Desviación Estándar	0,08	0,56	0,61
	Máximo	0,16	1,3	1,4
	Mínimo	0	0	0
CONGLOMERADO	Ciudad Rodrigo	1,96	2,8	6,3
CUARCITA	Ferreruela	0,54	2,1	10,2
	Bernardos	0,52	1	3,4
	Media	0,53	1,55	6,8
	Desviación Estándar	0,01	0,78	4,81
	Máximo	0,54	2,1	10,2
	Mínimo	0,52	1	3,4
FILITA	Bernardos	3,92	4,5	16,1
GNEIS	Zamora(Piedra de Sanabria)	5,48	6,3	16,9
GRANITO	Gris los Santos	4,33	6,1	17,7
	Albero Almendra Claro	4,13	4,6	6,9
	Silvestre Sayago	4,96	2,4	2,8
	Rubio Cardeñosa	4,63	3,2	2,9
	Silvestre Dorado (Fornillos)	5,15	9,6	13,1
	Azul Noche	3,68	4,8	12,5
	Rojo Sayago	7,18	4,3	21,2
	Gris Villa	3,55	5,2	16,9
	Gris Sorihuela	3,83	6,1	15,6
	Media	4,60	5,14	12,18
	Desviación Estándar	1,11	2,07	6,60
	Máximo	7,18	9,6	21,2
	Mínimo	3,55	2,4	2,8

Tabla.9. Valores de K, U y Th según la litología y medidas estadísticas.

9.2. EXHALACIÓN DE RADÓN AL AIRE

Para la realización de este ensayo se utilizaron las muestras de rocas naturales españolas de 1Kg. Una vez reducidas las muestras de rocas a un tamaño inferior a 4 mm, se colocaron en unos contenedores impermeables al radón donde se almacenaron durante más de 21 días hasta asegurar el equilibrio radiogénico. Transcurrido este período se conectó el contenedor a un detector de Rn donde se realizó la medida de la concentración de Rn en el interior del contenedor (Tabla 10).

MUESTRAS	EXHALACIÓN [Bq. Kg. h⁻¹]
Zamora	0,026
Arenisca Quintanar	0,043
Quintanar Beige	0,020
Duero	0,001
Arenisca Zamora	0,014
Rojo San Adrián	0,008
Sierra Demanda	0,004
Sierra Palacios	0,016
Campaspero	0,022
Silos	0,012
Hontoria	0,013
Espejón	0,003
Ciudad Rodrigo	0,023
Ferreruela	0,029
Cuarcita de Bernardos	0,031
Filita de Bernardos	0,039
Gneis Zamora	0,172
Los Santos	0,070
Albero Almendra Claro	0,017
Silvestre Sayago	0,071
Cardeñosa	0,082
Silvestre Duero	0,033
Azul Noche	0,013
Rojo Sayago	0,203
Granito Gris Villa	0,033
Sorihuela	0,020

Tabla.10. Resultados de los análisis de concentración de Rn en el aire.

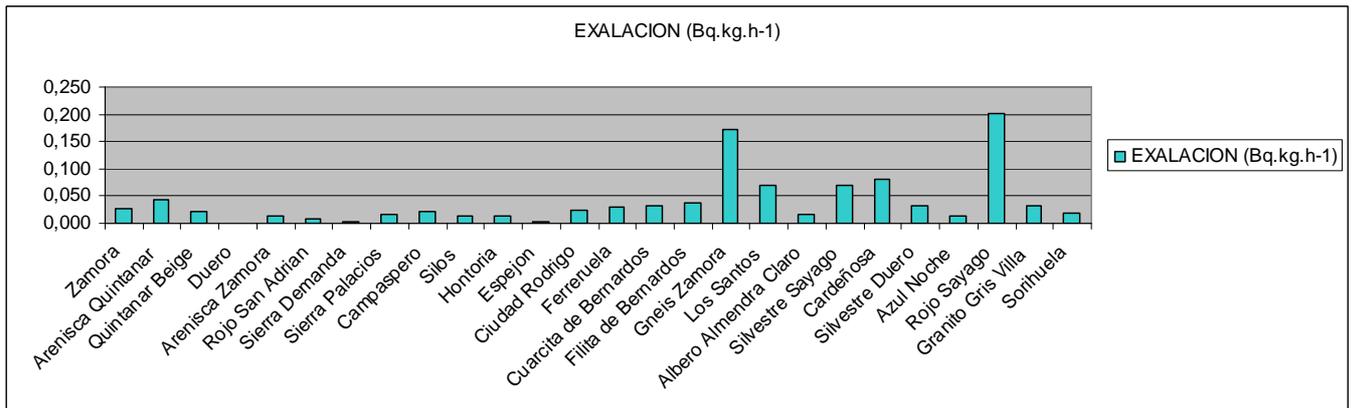


Fig.68. Tasa de exhalación de Rn.

Las medidas realizadas por el detector se reciben en el ordenador en tiempo real, dando como resultado una gráfica que varía ligeramente dependiendo de la muestra. Para determinar la tasa de emanación de Rn se utiliza la media de todos los valores obtenidos en el ensayo (Fig.68).

Los valores más altos de Rn son emitidos por la muestra comercialmente conocida como Rojo Sayago 0,203 y gneis de Zamora 0,173 (Bq. Kg. h-1). Seguido del granito Cardeñosa con un valor de 0,082, Silvestre Sayago de 0,071 y los Santos con 0,070 (Bq. Kg. h-1).

9.2.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN EXHALACIÓN DE Rn EN EL AÍRE.

En el análisis estadístico para exhalación de Rn en el aire he calculado la media, desviación estándar, máximo y mínimo de cada una de las litologías (Tabla 13) para compararlos con el valor promedio de U en la corteza (Tabla 11) y con la exhalación de Rn del granito Rojo Sayago y granito Los Santos tipo 1 con composición típica del granito y tipo 2 con grandes inclusiones de feldespato y enclaves o schliesen, estudiados en “Radiactividad Natural en Materiales de Construcción” G. Neila. 2008 (Tabla 12) viendo así, las posibles diferencias significativas o no con nuestro tipo de rocas.

Principales Elementos Naturales Radiactivos. Concentración promedio de la Corteza.	
K (%)	2,8
U (ppm)	2,8
Th (ppm)	10,7

Tabla.11. Concentración promedio de elementos radiactivos en la corteza (Taylor, S. R. y Mc Lennan, S.M. 1985).

Exhalación de Rn (Bq. Kg. h⁻¹)	
Gris Los Santos tipo 1 y 2	0,090/0,060
Rojo Sayago	0,1

Tabla.12. Exhalación de Rn (G. Neila. 2008).

LITOLOGÍA	MUESTRAS	EXHALACIÓN (Bq. Kg. h ⁻¹)	U (ppm)
ARENISCA	Zamora	0,026	0,8
	Arenisca Quintanar	0,043	1,7
	Quintanar Beige	0,020	0,7
	Duero	0,001	1,8
	Arenisca Zamora	0,014	0,0
	Rojo San Adrián	0,008	2,2
	Sierra Demanda	0,004	1,8
	Sierra Palacios	0,016	0,8
	Media	0,017	1,225
	Desviación Estándar	0,014	0,754
	Máximo	0,043	2,200
	Mínimo	0,001	0,000
	CALIZA	Campaspero	0,022
Silos		0,012	0,9
Hontoria		0,013	0,0
Espejón		0,003	0,5
Media		0,012	0,675
Desviación Estándar		0,008	0,556
Máximo		0,022	1,300
Mínimo		0,003	0,000
CONGLOMERADO	Ciudad Rodrigo	0,023	2,8
CUARCITA	Ferreruela	0,029	2,1
	Cuarcita de Bernardos	0,031	1,0
	Media	0,030	1,550
	Desviación Estándar	0,001	0,778
	Máximo	0,031	2,100
	Mínimo	0,029	1,000
FILITA	Filita de Bernardos	0,039	4,5
GNEIS	Gneis Zamora	0,172	6,3
GRANITO	Los Santos	0,070	6,1
	Albero Almendra Claro	0,017	4,6
	Silvestre Sayago	0,071	2,4
	Cardeñosa	0,082	3,2
	Silvestre Duero	0,033	9,6
	Azul Noche	0,013	4,8
	Rojo Sayago	0,203	4,3
	Granito Gris Villa	0,033	5,2
	Sorihuela	0,020	6,1
	Media	0,060	5,144
	Desviación Estándar	0,059	2,065
	Máximo	0,203	9,600
	Mínimo	0,013	2,400

Tabla.13. Exhalación de Rn y U según la litología y datos estadísticos.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Según queda reflejado en (Tabla 13 y 14) las areniscas, calizas y cuarcitas muestran valores inferiores al promedio de la corteza, contenido en U menor de 2,8 ppm. El conglomerado de ciudad Rodrigo iguala su valor. Filita, Gneis y rocas graníticas superan el valor promedio de la corteza duplicándose y triplicándose, como por ejemplo gneis de Zamora con 6,3 ppm. y Silvestre Duero con 9,6 ppm.

Respecto a la exhalación de Rn las areniscas, calizas, conglomerado y cuarcita presentan valores muy bajos comparados con las rocas de estudio de G. Neila. 2008 (Tabla 12). Por el contrario, el Gneis de Zamora, granito Los Santos, Silvestre Sayago, Cardeñosa y Rojo Sayago superan esos valores. Éste ultimo destaca entre las demás rocas por su máximo valor de exhalación $0,203 \text{ Bq.Kg.h}^{-1}$.

Las desviaciones estándar de las litologías muestra en el contenido de Rn una desviación mucho menor que U porque sus valores están mas cerca del valor medio.

La desviación estándar es alta en todos los casos, (exceptuando cuarcitas, pero son sólo dos muestras). Esto significa que los valores de la exhalación muestran una gran variabilidad en cada una de las litologías. Su explicación es que está relacionado en parte, a las variaciones en la concentración de U y en parte con la forma en que esta distribuido el U en los minerales de la roca.

LITOLOGÍA	MEDIDAS ESTADÍSTICAS	EXHALACIÓN (Bq. Kg. h ⁻¹)	U (ppm)
ARENISCA	Media	0,017	1,225
	Desviación estándar	0,014	0,754
	Máximo	0,043	2,200
	Mínimo	0,001	0,000
CALIZA	Media	0,012	0,675
	Desviación estándar	0,008	0,556
	Máximo	0,022	1,300
	Mínimo	0,003	0,000
CUARCITA	Media	0,030	1,550
	Desviación estándar	0,001	0,778
	Máximo	0,031	2,100
	Mínimo	0,029	1,000
GRANITO	Media	0,060	5,144
	Desviación estándar	0,059	2,065
	Máximo	0,203	9,600
	Mínimo	0,013	2,400

Tabla.14. Valores de media, desviación estándar, máximo y mínimo según litologías.

La (Tabla 15) resalta los valores más altos de cada uno los radionucleidos para su mejor visualización y comprensión de la anterior descripción.

LITOLÓGÍAS	MUESTRAS	EXHALACIÓN (Bq.Kg.h ⁻¹)	U (ppm)
ARENISCAS	Zamora	0,026	0,8
	Arenisca Quintanar	0,043	1,7
	Quintanar Beige	0,020	0,7
	Duero	0,001	1,8
	Arenisca Zamora	0,014	0,0
	Rojo San Adrián	0,008	2,2
	Sierra Demanda	0,004	1,8
	Sierra Palacios	0,016	0,8
	Media	0,017	1,225
	Desviación estándar	0,014	0,754
	Máximo	0,043	2,200
	Mínimo	0,001	0,000
CALIZAS	Campaspero	0,022	1,3
	Silos	0,012	0,9
	Hontoria	0,013	0,0
	Espejón	0,003	0,5
	Media	0,012	0,675
	Desviación estándar	0,008	0,556
	Máximo	0,022	1,300
	Mínimo	0,003	0,000
CONGLOMERADO	Ciudad Rodrigo	0,023	2,8
CUARCITAS	Ferreruela	0,029	2,1
	Cuarcita de Bernardos	0,031	1,0
	Media	0,030	1,550
	Desviación estándar	0,001	0,778
	Máximo	0,031	2,100
	Mínimo	0,029	1,000
FILITA	Filita de Bernardos	0,039	4,5
GNEIS	Gneis Zamora	0,172	6,3
GRANITOS	Los Santos	0,070	6,1
	Albero Almendra Claro	0,017	4,6
	Silvestre Sayago	0,071	2,4
	Cardeñosa	0,082	3,2
	Silvestre Duero	0,033	9,6
	Azul Noche	0,013	4,8
	Rojo Sayago	0,203	4,3
	Granito Gris Villa	0,033	5,2
	Sorihuela	0,020	6,1
	Media	0,060	5,144
	Desviación estándar	0,059	2,065
	Máximo	0,203	9,600
	Mínimo	0,013	2,400

Tabla.15. Exhalación de Rn y U según la litología y medidas estadísticas.

9.3 MEDICIÓN AMBIENTAL (ESCINTILÓMETRO)

Los datos de (Tabla 17) fueron con obtenidos con el espectrómetro portátil de rayos gamma en el muestrario de rocas que se encuentra en la 1º planta del pasillo de la Facultad de Ciencias. El espectrómetro detecta la radiación gamma que emiten las rocas, impactos de radiación gamma que el detector resiste en cada segundo. También detecta y da el valor de energía de radiación gamma característica de cada elemento según un límite de detección dependiendo de cada radionucleido (Tabla16).

Elemento	Th (MeV)	U (MeV)	K (MeV)
Límite de detección	2,6	1,76	1,46

Tabla.16. Límites de detección de los radionucleidos.

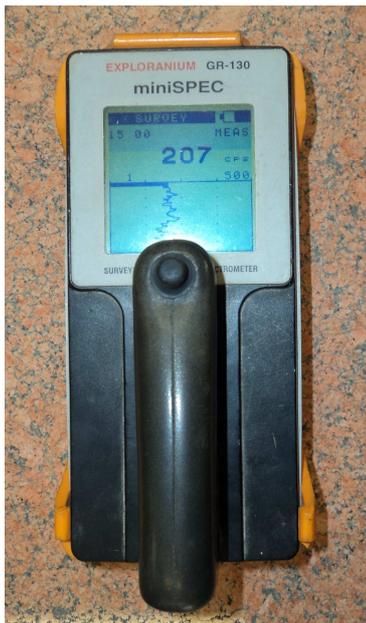


Fig.69. Surveying Gamma Ray Spectrometer (Escintilómetro).

De este modo obtenemos los valores de K_2O , Th, U y la radiación gamma que procede de cada una de las rocas de estudio. Los valores de la tabla son medias de tres valores tomados dejando un periodo de separación entre ellas de 1 minuto y 40 segundos. La medición fue hecha en el interior y exterior del edificio para ver su variación.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

LITOLOGÍA	MUESTRAS	INTERIOR (count per second)			EXTERIOR (count per second)		
		K2O	U	Th	K2O	U	Th
		(%)	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)
ARENISCAS	Zamora						
	Quintanar	167(Abujardado)					
		167(Apomazado)					
	Quintanar Beige						
	Duero	166(Apomazado)					
		171(Abujardado)					
	Zamora(Jambrina)						
	Rojo San Adrián	149					
	130						
Sierra Demanda							
Sierra Palacios							
CALIZAS	Campaspero	141(Apomazado)			140		
		149(Oquerosa)			135		
		142(Abujardada)			139		
					142		
	Piedra de Silos	145					
	Hontoria	150					
Espejón							
CONGLOMERADO	Ciudad Rodrigo						
CUARCITAS	Ferreruela						
	Bernardos	187			210		
	196						
FILITA	Bernardos	184/186(Pulida)					
		187(Abujardada)					
		187(Apomazada)					
GNEIS	Zamora(Piedra de Sanabria)	213					
GRANITOS	Gris los Santos	211/217			242		
	Albero Almendra Claro						
	Silvestre Sayago	1,8	11,25	11,5			
		243			245		
	Rubio Cardeñosa	174(Abujardado)			205		
		187(Pulido)					
	Silvestre Dorado(Fornillos)						
	Azul Noche	207(Flameado)					
		199(Pulido)					
	Rojo Sayago	2,9	5,6	12,1	4,5	9,63	16,1
		215			343		
	Gris Villa	202(Pulido)			269		
	205(Abujardado)						
Gris Sorihuela	190(Flameado)						
	194(Abujardado)						

Tabla.17. Valores de radiación gamma y radionucleidos.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Para ser representativa la radiación gamma los valores deben tener una diferencia mayor o igual a 10 cuentas por segundo entre los valores obtenidos para una misma muestra. En general comparando los valores recogidos la diferencia se hace casi inapreciable, solamente superan esa diferencia la arenisca rojo de San Adrián, caliza de Campaspero, cuarcita de Bernardos y las rocas graníticas presentes en la tabla exceptuando Silvestre Sayago, Azul noche y gris Sorihuela, siendo la diferencia mas representativa en el Rojo Sayago con un valor de 128 c/s.

A pesar de todo, esta técnica es poco representativa y eficaz ya que se debería tomar los datos “in situ”. Exagera los valores de Uranio (observación realizada en previos trabajos donde se vio que comparando los análisis químicos y de campo existía un error). Se obtuvo un factor empírico experimental para aproximar el valor a la realidad, dicho factor es 1,5.

LITOLOGÍA	MUESTRAS	INTERIOR (count per second)			EXTERIOR (count per second)		
		K2O	U	Th	K2O (%)	U (ppm)	Th (ppm)
		(%)	(ppm)	(ppm)			
GRANITOS	Silvestre Sayago	1,8	11,25/1,5=7,5	11,5			
	Rojo Sayago	2,9	5,6/1,5=3,73	12,1	4,5	9,63/1,5=6,42	16,1

Tabla.18. Valores de K, U y Th detectados por el espectrómetro gamma.

Principales Elementos Naturales Radiactivos. Concentración promedio de la Corteza.	
K (%)	2,8
U (ppm)	2,8
Th (ppm)	10,7

Tabla.19. Concentración promedio de elementos radiactivos en la corteza (Taylor, S.R. y McLennam, S. M. 1985)

Comparando los valores de elementos radiactivos naturales K, U y Th detectados en Silvestre Sayago y Rojo Sayago, vemos que Silvestre Sayago tiene un porcentaje de K inferior a la concentración promedio de la corteza, haciéndose superior el U y Th en el interior. Sin embargo Rojo Sayago presenta en todos sus elementos cifras superiores a la concentración promedio de la corteza (Tabla 18 y 19).

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

En la (Tabla 20) se muestran en amarillo las litologías con diferencia de tomas >10c/s, siendo mas representativas.

LITOLOGÍA	MUESTRAS	INTERIOR (count per second)	EXTERIOR (count per second)	Diferencia > 10c/s	
ARENISCAS	Quintanar	167(Abujardado)			
		167(Apomazado)			
	Duero	166(Apomazado)			
		171(Abujardado)			
	Rojo San Adrián	149			19
130					
CALIZAS	Campaspero	141(Apomazado)	140		
		149(Oquerosa)	135	14	
		142(Abujardado)	139		
			142		
	Piedra de Silos	145			
Hontoria	150				
CUARCITA	Bernardos	187	210	14	
		196		23	
FILITA	Bernardos	184/186(Pulida)			
		187(Abujardado)			
		187(Apomazada)			
GNEIS	Zamora	213			
GRANITOS	Gris los Santos	211/217	242	31-25	
	Silvestre Sayago	243	245		
	Rubio Cardeñosa	174(Abujardado)	205	13	31
		187(Pulido)			18
	Azul Noche	207(Flameado)			
		199(Pulido)			
	Rojo Sayago	215*	343*	* = 128	
	Gris Villa	202(Pulido)	269	64	
		205(Abujardado)		67	
	Gris Sorihuela	190(Flameado)			
194(Abujardado)					

Tabla.20. Valores de radiación gamma cuya diferencia es > 10c/s.

La radiación que emiten las rocas y detecta el espectrómetro es muy poco eficaz y exacta debido, a la diferencia de grosor entre placas y distancia entre ellas; escasa. Pudiendo haberse contaminado la información recogida por el espectrómetro (Fig. 70).



Fig.70. Surveying Gamma Ray Spectrometer (Escintilómetro).

9.4 DOSIS ESTIMADA DE ACUERDO AL MÉTODO DE LA NORMA TÉCNICA 112 DE LA UNIÓN EUROPEA

Según el método propuesto en el documento de la unión Europea “Protección Radiológica 112”, se calculara la dosis estimada para diversos entornos donde se han utilizado las rocas como materiales de construcción. Al no existir información referente a la actividad de Ra, estimaremos este parámetro con el contenido de uranio de las rocas, asumiendo el equilibrio secular.

Diferentes escenarios pueden ser modelados para una habitación estándar, en función del uso de la roca en suelos, techos y paredes (C1), suelos y paredes (C2), sólo suelo (C3) y materiales superficiales –e.g. rocas en paredes con un espesor inferior a 3 cm (C4), y el valor de dosis ($\text{mSv}\cdot\text{y}^{-1}$) resultante del uso de los materiales geológicos puede ser determinado.

Un parámetro fue así mismo propuesto en este documento como un indicador del grado de producción de radiación ionizante (I), y es representado en la tabla (Tabla.21). Los valores superiores a 1 indican que la roca debe ser usada con restricciones.

MUESTRA	Tasa dosis en interiores (nanoGy.h)				Dosis efectiva en interiores (mSv)				Exceso de dosis efectiva (mSv)				Índice I
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	
Albero Almendra Claro	170,0	121,9	43,2	21,2	0,8	0,6	0,2	0,1	0,6	0,4	0,0	-0,1	0,69
Quintanar	67,2	48,1	17,0	8,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,2	-0,2	0,27
Zamora(Jambrina)	58,8	41,8	14,8	7,2	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	0,25
Azul Noche	187,8	134,5	47,8	23,5	0,9	0,7	0,2	0,1	0,7	0,4	0,0	-0,1	0,77
Campaspero	24,4	17,6	6,3	3,1	0,1	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,10
Rubio Cardenosa	146,8	105,1	37,1	18,1	0,7	0,5	0,2	0,1	0,5	0,3	-0,1	-0,2	0,60
Ciudad Rodrigo	101,2	72,5	25,8	12,7	0,5	0,4	0,1	0,1	0,3	0,1	-0,1	-0,2	0,42
Duero	90,4	64,7	22,9	11,2	0,4	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	-0,1	-0,2	0,37
Espejón	8,8	6,4	2,3	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,03
Ferreruela	80,8	57,8	20,7	10,3	0,4	0,3	0,1	0,1	0,2	0,0	-0,1	-0,2	0,34
Bernardos	205,5	147,0	52,3	25,7	1,0	0,7	0,3	0,1	0,8	0,5	0,0	-0,1	0,86
Zamora(Piedra de Sanabria)	262,4	187,8	66,7	32,8	1,3	0,9	0,3	0,2	1,0	0,7	0,1	-0,1	1,08
Gris Villa	209,3	149,8	53,3	26,3	1,0	0,7	0,3	0,1	0,8	0,5	0,0	-0,1	0,87
Hontoria	1,3	1,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,01
Gris los Santos	239,5	171,5	61,0	30,0	1,2	0,8	0,3	0,1	0,9	0,6	0,1	-0,1	0,99
Quintanar Beige	44,7	32,0	11,3	5,5	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	0,19
Rojo San Adrián	113,5	81,2	28,8	14,1	0,6	0,4	0,1	0,1	0,3	0,2	-0,1	-0,2	0,47
Rojo Sayago	294,7	210,4	74,6	36,6	1,4	1,0	0,4	0,2	1,2	0,8	0,1	-0,1	1,24
Sierra Demanda	60,4	43,3	15,4	7,5	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,2	0,24
Sierra Palacios	44,9	32,1	11,4	5,5	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	0,18
Piedra de Silos	10,2	7,4	2,7	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,04
Silvestre Dorado(Fornillos)	276,0	198,2	70,4	34,7	1,4	1,0	0,3	0,2	1,1	0,7	0,1	-0,1	1,11
Silvestre Sayago	144,2	103,1	36,4	17,7	0,7	0,5	0,2	0,1	0,5	0,3	-0,1	-0,2	0,59
Gris Sorihuela	219,6	157,3	56,0	27,6	1,1	0,8	0,3	0,1	0,8	0,5	0,0	-0,1	0,90
Bernardos	37,5	26,8	9,6	4,7	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	0,16
Zamora	48,3	34,5	12,2	6,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	0,20

Tabla.21. Valores de la dosis obtenida para diferentes escenarios y grado de producción de radiación ionizante.

MUESTRA	Exceso de dosis efectiva (mSv)				Índice I
	C1	C2	C3	C4	
Albero Almendra Claro	0,6	0,4	0,0	-0,1	0,69
Quintanar	0,1	0,0	-0,2	-0,2	0,27
Zamora(Jambrina)	0,0	0,0	-0,2	-0,2	0,25
Azul Noche	0,7	0,4	0,0	-0,1	0,77
Campaspero	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,10
Rubio Cardeñosa	0,5	0,3	-0,1	-0,2	0,60
Ciudad Rodrigo	0,3	0,1	-0,1	-0,2	0,42
Duero	0,2	0,1	-0,1	-0,2	0,37
Espejón	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,03
Ferreruela	0,2	0,0	-0,1	-0,2	0,34
Bernardos	0,8	0,5	0,0	-0,1	0,86
Zamora(Piedra de Sanabria)	1,0	0,7	0,1	-0,1	1,08
Gris Villa	0,8	0,5	0,0	-0,1	0,87
Hontoria	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,01
Gris los Santos	0,9	0,6	0,1	-0,1	0,99
Quintanar Beige	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	0,19
Rojo San Adrian	0,3	0,2	-0,1	-0,2	0,47
Rojo Sayago	1,2	0,8	0,1	-0,1	1,24
Sierra Demanda	0,1	0,1	0,0	-0,2	0,24
Sierra Palacios	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	0,18
Piedra de Silos	1,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,04
Silvestre Dorado(Fornillos)	1,1	0,7	0,1	-0,1	1,11
Silvestre Sayago	0,5	0,3	-0,1	-0,2	0,59
Gris Sorihuela	0,8	0,5	0,0	-0,1	0,90
Bernardos	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	0,16
Zamora	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	0,20

Tabla.22. Valores de Exceso de dosis efectiva (mSv) e Índice I de las rocas de estudio. Los valores menores o iguales a 1 indican que la contribución de Rn no es representativa.

Del análisis de la (Tabla 21 y 22) se puede observar que las rocas sedimentarias como las metamórficas exceptuando el gneis de Zamora no producen prácticamente alguna radiación, exceptuando la caliza de Silos para el escenario C1 que presenta un valor de 1,1 por lo que no es aconsejable el revestimiento total de una habitación con este tipo de roca ornamental. El resto de rocas si son usadas extensamente como materiales de construcción probablemente ayuden a reducir el nivel de radiación en el interior de las casas, funcionando como un escudo ante la radiación del exterior.

MUESTRA	Exceso de dosis efectiva (mSv)				Índice I
	C1	C2	C3	C4	
Zamora(Piedra de Sanabria)	1,0	0,7	0,1	-0,1	1,08
Gris Villa	0,8	0,5	0,0	-0,1	0,87
Gris los Santos	0,9	0,6	0,1	-0,1	0,99
Rojo Sayago	1,2	0,8	0,1	-0,1	1,24
Silvestre Dorado(Fornillos)	1,1	0,7	0,1	-0,1	1,11
Silvestre Sayago	0,5	0,3	-0,1	-0,2	0,59
Gris Sorihuela	0,8	0,5	0,0	-0,1	0,90
Albero Almendra Claro	0,6	0,4	0,0	-0,1	0,69
Azul Noche	0,7	0,4	0,0	-0,1	0,77

Tabla.23. Exceso de dosis efectiva correspondiente al gneis de Zamora y rocas graníticas.

Concretamente las rocas graníticas muestran un amplio rango de valores, y tres facies deben ser usadas con restricciones: Rojo Sayago, Silvestre Dorado y gneis de Zamora cuyos valores 1,2 y 1,1 para las graníticas respectivamente y 1 para el gneis. Los tres superan el máximo de dosis límite de 1 mSv por año recomendado por la UE en el escenario C1. No superada en el resto de escenarios C2, C3 y C4; siendo la contribución de Rn en éste ultimo no representativa y en C3 para el granito Silvestre Sayago, por sus valores < 1 (Tabla. 23 y Fig.71).

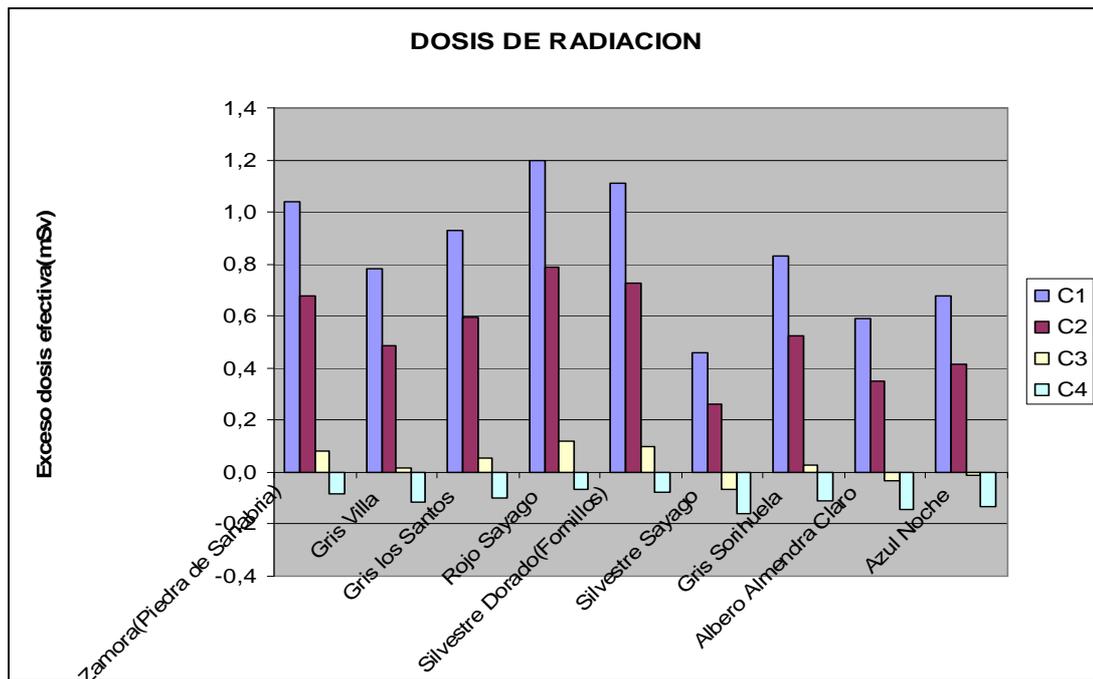


Fig.71. Representación donde se puede observar como el Gneis de Zamora, Rojo Sayago y Silvestre Dorado superan el valor límite de 1 mSv en el escenario C1.

Sin embargo la radiación ionizante (I) para estas tres rocas supera el límite permitido siendo sus valores de 1,24 para el granito rojo Sayago, 1,11 para Silvestre Dorado y 1,08 para el gneis de Zamora. Por lo que para estos tres tipos de roca ornamental su uso en construcción, quedara limitado. Siendo su uso aconsejable en revestimientos de exterior y en revestimientos de interior deberá ser intercalada con otro tipo de roca siendo aconsejable su mayor ventilación para evitar la concentración y exposición al gas Rn (Fig.72).

De cualquier manera, considerando que los resultados representados aquí están basados en ambos casos, en un único análisis y en condiciones extremas sin ventilación, consideramos que deben ser llevados a cabo más trabajos con la intención de confirmar los niveles de riesgo asociados con estas dos variedades de granito y gneis comercial.

Tenemos que tener en cuenta que estas variedades se usan en la mayoría de los casos en ambientes de exterior, con lo que la influencia en la salud humana es prácticamente nula en cualquier caso.

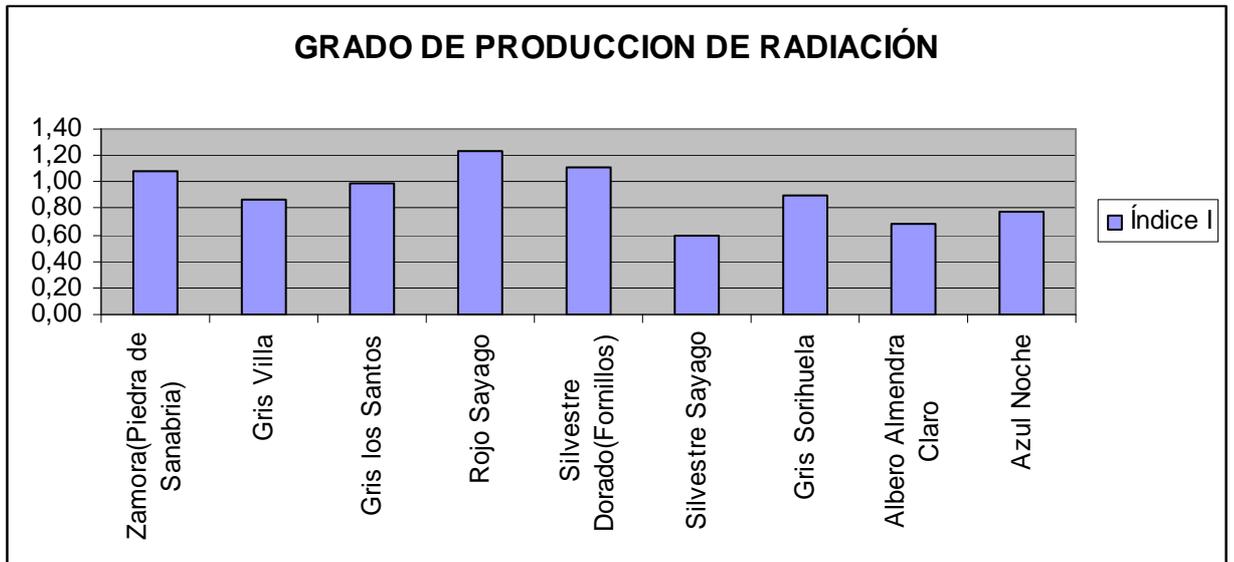


Fig.72. Parámetro de radiación ionizante de las diferentes muestras y donde el granito Rojo Sayago, Silvestre Dorado y el Gneis de Zamora presentan los valores mas altos superando el valor máximo de 1 en ambos casos.

10. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Si presentamos en un diagrama de dispersión la tasa de exhalación de Rn frente al contenido de U de las 26 tipos de muestras de rocas, podemos observar que el contenido de U es el principal factor que controla la exhalación de Rn, con alguna variabilidad resultante de la actuación de otros factores (Fig.73).

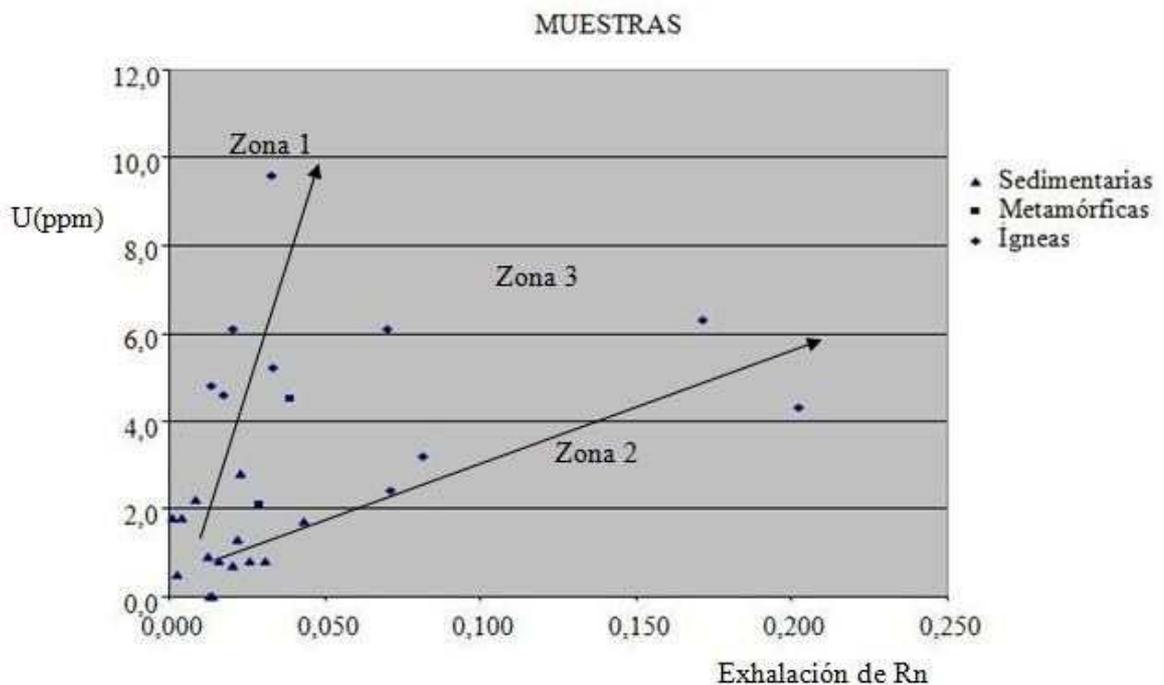


Fig.73. Tasa de exhalación de Rn frente al contenido de uranio de todas las muestras.

En el gráfico (Fig.73) están diferenciadas las distintas rocas de modo que las rocas ígneas dan valores mas altos de gas Rn y U representadas por rombos. Las rocas sedimentarias y metamórficas por triángulos y cuadrados respectivamente, dando valores de gas Rn y U mas bajos. Todo ello es debido a la mineralogía de cada una de las rocas. El granito Rojo Sayago presenta la tasa de exhalación más alta de todos los granitos, pero con menor contenido en U. Una explicación para este hecho es que el U esta predominantemente relacionado con los minerales accesorios. La baja concentración de U dentro del mineral cabe pensar que la estructura del mineral puede estar fracturada dejando salir así gas Rn.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

Vemos en la (Fig.73) tres zonas o fases diferenciadas por las rectas de calibrado, una con mayor pendiente que otra.

La 1º zona o fase representada por la sucesión de puntos de mayor pendiente, podemos interpretarla como fase lenta, donde la concentración de U es alta y la exhalación de Rn es baja. Mineralógicamente esto es debido a la presencia de U concentrado dentro del mineral, el gas Rn no sale porque el mineral no está fracturado o alterado y no deja salir el gas.

La 2º zona o fase rápida viene representada por la recta de calibrado de menor pendiente donde, para una pequeña variación en la concentración de U existe una mayor exhalación de Rn debido a la forma en que se encuentran los minerales. Un claro ejemplo es el granito Rojo Sayago, al estar fracturado o alterado dejan escapar el Rn y la concentración de U es mínima.

La 3º zona o fase simultánea, los minerales se encuentran en ambas condiciones es decir, ocurren ambos procesos.

La (Tabla 24) se centra en los resultados obtenidos del gneis de Zamora y rocas graníticas, debido a sus valores representativamente más altos de U y exhalación de Rn que en el resto de rocas. Siendo problemáticas en su utilización por emisión de radiactividad.

MUESTRAS	EXHALACION (Bq.kg.h-1)	U (ppm)
Gneis Zamora	0,172	6,3
Los Santos	0,070	6,1
Albero Almendra Claro	0,017	4,6
Silvestre Sayago	0,071	2,4
Cardeñosa	0,082	3,2
Silvestre Duero	0,033	9,6
Azul Noche	0,013	4,8
Rojo Sayago	0,203	4,3
Granito Gris Villa	0,033	5,2
Sorihuela	0,020	6,1

Tabla.24. Resultados de la tasa de exhalación de Rn y Uranio en el aire para rocas graníticas y el gneis de Zamora.

Las (Fig.74, 75 y 76) representan gráficamente los resultados de exhalación de Rn y U por separado de las rocas graníticas y el gneis de Zamora.

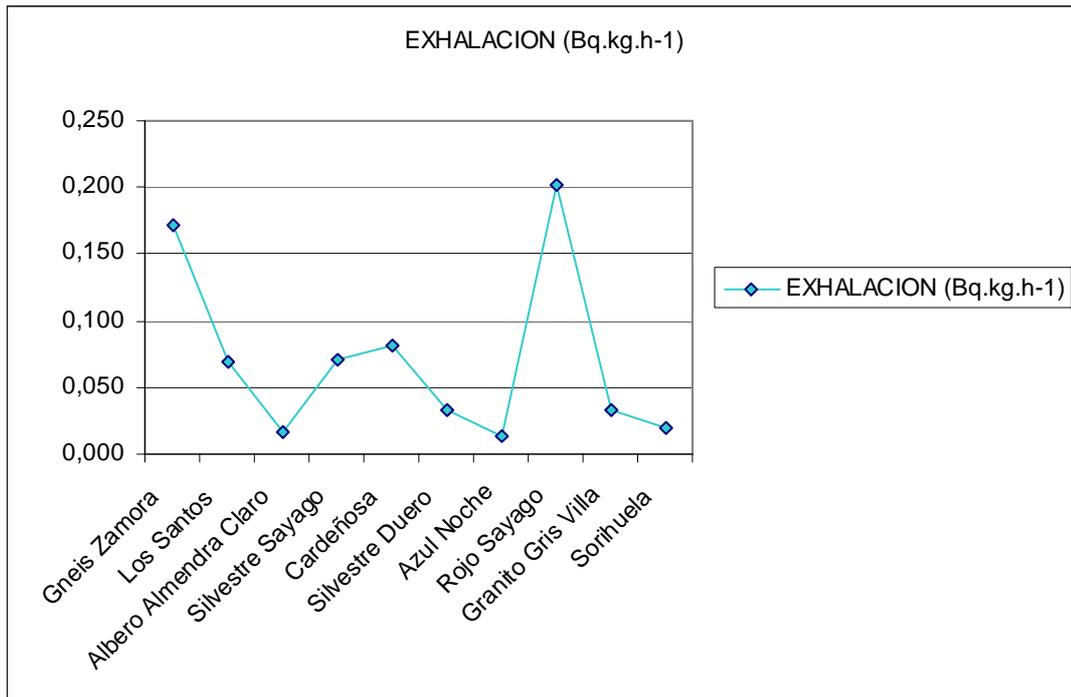


Fig. 74. Tasa de Exhalación de Rn. Donde se ha representado los resultados más significativos pertenecientes, al gneis de Zamora y rocas graníticas.

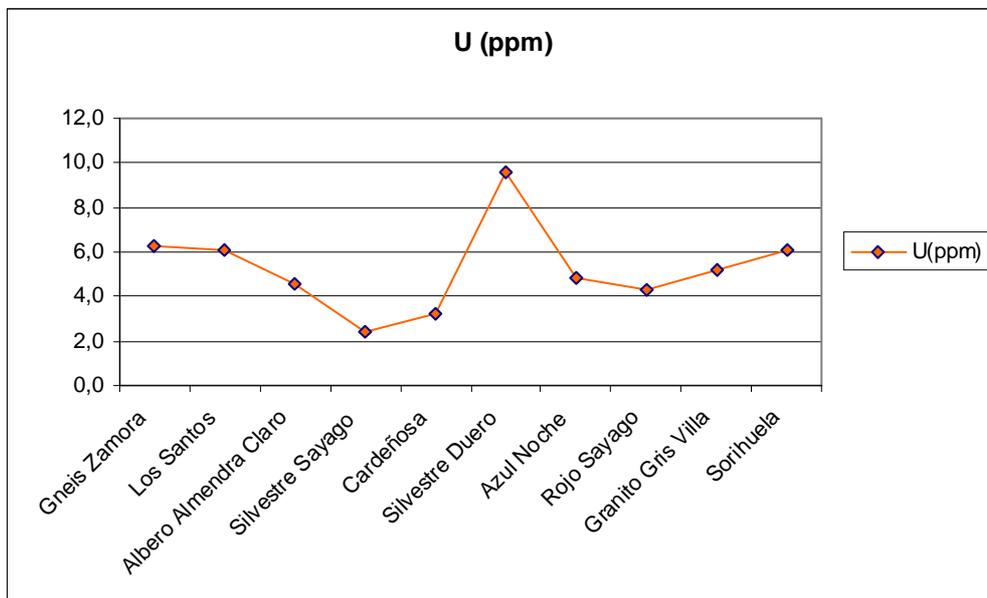


Fig.75. Contenido U en (ppm). Representación de los resultados más significativos; gneis de Zamora y rocas graníticas.

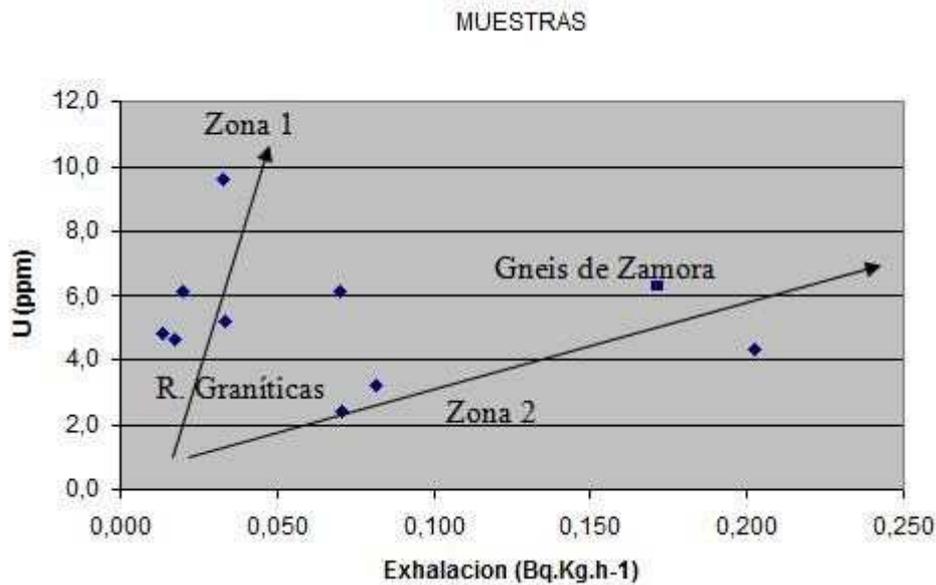


Fig.76. Tasa de exhalación de Rn y Uranio para rocas graníticas y gneis. Representación reducida de (Fig.73).

A la vista de todos los análisis descritos en el apartado de Resultados, podemos deducir que las rocas graníticas junto con alguna metamórfica, emiten por sus características mineralógicas niveles más altos de gas Rn, superando en algún caso el máximo de dosis límite de 1 mSv por año recomendado por la UE (Gneis de Zamora, Rojo Sayago y Silvestre Dorado), siendo en general de menor importancia los niveles de emisión de Rn en rocas sedimentarias y en las metamórficas.

Comparando los resultados obtenidos en los distintos procesos: Análisis Químico, de Exhalación de Rn y correspondientes datos estadísticos, y Medición Ambiental, se puede afirmar que éste último es el menos fiable ya que da valores alejados a los demás métodos, únicamente son orientativos pero no exactos.

El contenido de U (dominantemente relacionado con los minerales accesorios) es el principal factor que controla la exhalación de Rn, con alguna variabilidad. Emitirá mas o menos gas Rn en función de que el mineral esté más o menos fracturado. No obstante, sería conveniente utilizar otras técnicas como por ejemplo, el método “Fission Track” (Fig.77) para determinar y confirmar los resultados obtenidos y ver la homogeneidad de las rocas, siendo

interesante para cartografiar la acumulación de partículas radiactivas. Dicha técnica no ha sido utilizada en este trabajo debido al coste económico y su poco desarrollo.

“Fission Track” se utiliza para saber la concentración de uranio y datación de las rocas mediante la descomposición ^{238}U y ^{235}U por la emisión de partículas alfa y beta. Durante este proceso, fragmentos de fisión son expulsados dañando la estructura del cristal en las inmediaciones del original átomo de U. Mediante el uso de agentes de ataque adecuado, estas pistas se pueden ampliar hasta que son visibles con un microscopio óptico.



Fig.77. Fission Track

La densidad de la pista (huellas fósiles) da una medida de la cantidad de número de átomos de ^{238}U que se han deteriorado desde la formación de los minerales (o el momento en que la temperatura cayó por debajo de la temperatura de hibridación), (Fig.78). Tres minerales son utilizados habitualmente de fecha en el método de fisión-Track: apatito, titanita y circón.

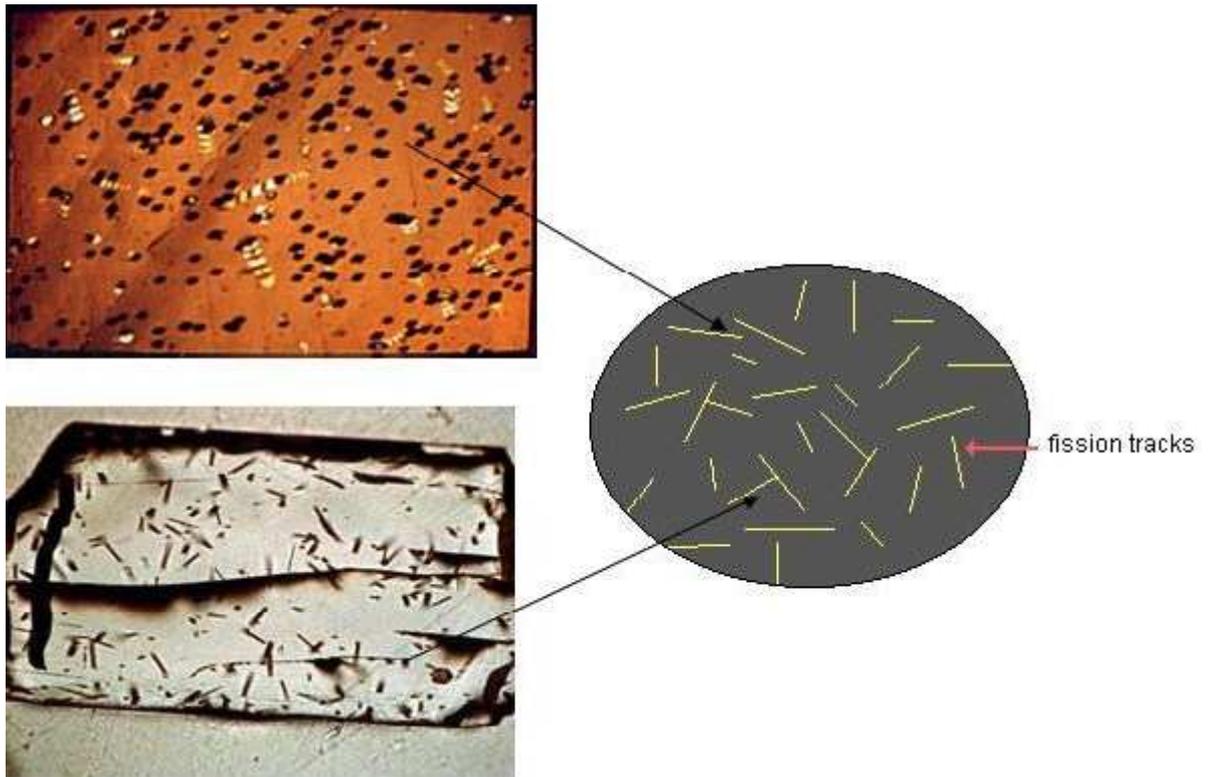


Fig.78. (Imagen superior izquierda).Superficie de un detector externo de mica bajo luz reflejada. Muestra intersecciones de la pista y alrededor interferencia de algunas huellas oblicuas (<http://bullard.esc.cam.ac.uk/~hobro>). (Imagen inferior). Fisión espontánea en cristal de apatito (<http://www.geotrack.com>),

Mediante este método se podría ver claramente donde se encuentra el U en el mineral, si la estructura cristalina esta fragmentada o no, pudiendo emanar gas Rn.

11. BIBLIOGRAFÍA

AMGAROU, K. (2002). Long-term measurements of indoor radon and its progeny in the presence of thoron using nuclear track detectors: a novel approach. PhD Thesis. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona, Spain.

ANJOS, R.M., VEIGA, R., SOARES, T., SANTOS, A.M.A., AGUIAR, J.G., FRASCÁ, M.H.B.O., BRAGE, J.A.P., UZÊDA, D., MANGIA, L., FACURE, A., MOSQUERA, B., CARVALHO, C., GOMES, P.R.S. (2005): Natural radionuclide distribution in Brazilian commercial granites. *Radiation measurements* 39. 245 – 253.

Areniscas Sierra de Palacios, S. L (Burgos). Extracción y Elaboración de piedra arenisca. (www.areniscasdepalacios.com).

Asociación de Productores de Piedra Natural de Castilla y León. PINACAL.

BAEZA A., NAVARRO E., ROLDAN C., FERRERO J.L., JUANES D., CORBACHO J.A., GUILLEN F.J.(2003). Indoor radon levels in buildings in the Autonomous Community of Extremadura (Spain). *Radiation Protection Dosimetry*, 103 (3), 263-268.

BARROS-DIOS J.M., BARREIRO M. A., RUANO-RAVIRA A., FIGUEIRAS, A.(2002). Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: A population-based case-control study. *American Journal of Epidemiology*, 156(6), 548-555.

BERENGUER SUBILS, M. J. Indoor air quality: Radon. In *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*. 4^o Edición. Ginebra.

Catálogo EXCAL (Exportaciones de Castilla y León). Natural Stone Castilla y León. Spain.

Consejo de Seguridad Nacional, (2010). Dosis de Radiación. SDB-04.07.

DOVENTON, J.H., PRENSKY, S.E., (1992): Geological applications of wireline logs: a synopsis of developments and trends. *Log Anal.* 33 (3), 286 – 303.

EL – HUSSEIN, A. (2004): A study on natural radiation exposure in different realistic living rooms. J. Environ. Radioactivity 79, 355 – 367.

European Commission, Radiation Protection 112. Radiological protection Principles concerning the natural radioactivity of building materials, Office for official publications of the European Communities, Luxembourg (2000).

GARCÍA DE LOS RÍOS, J.I. y BÁEZ MEZQUITA, J.M. (2001): La Piedra en Castilla y León. Ed. Junta de Castilla y León.

GARCÍA DE LOS RÍOS COBO, J. I., BÁEZ MEZQUITA, J. M., JIMÉNEZ BENAYAS, S. (2002). La piedra en Castilla y León.

GARZÓN RUIPÉREZ L. (1992): Radón y sus riesgos. 1º Ed. Oviedo, España. Universidad de Oviedo. Servicio de Publicaciones.

Goetrack International. (2004). (<http://www.geotrack.com.au/afta-overview.htm>).

GONZALEZ NEILA, C. (2008): Radiactividad Natural en Materiales de Construcción. Proyecto Fín de Carrera. Universidad de Salamanca.

Hnos. Juanes Olalla, S. C. Areniscas Sierra de la Demanda. Palacios de la Sierra. (Burgos) (www.areniscasdelademanda.es).

HIGGY, R.H., EL – TAHAWY, M.S., ABDEL – FATTAH, A.T., AL – AKABAWY, U.A. (2000): Radionuclide content of building materials and associated gamma dose rates in Egyptian dwellings. J. Environ. Radioactivity 50, 253 – 261.

ICRU. International Commission on Radiation Units and measurements.

Instituto Tecnológico de la Construcción. AIDICO. Informe sectorial de la piedra natural 2009. Agosto 2010. Proyecto de vigilancia sectorial del Observatorio de la piedra natural (OMPN).

Instituto Tecnológico de la Construcción (2007): Comercio exterior del sector de la piedra natural en España. <http://www.aidico.es/> (última visita Junio 2008)

JAMES, W. D. HOBRO. Academic Research Page Bullard Laboratories, Department of Earth Sciences, University of Cambridge. (<http://bullard.esc.cam.ac.uk/~hobro/>).

LU, X., ZHANG, X. (2007): Natural radioactivity measurements in rock samples of Cuihua mountain national geological park, China. Oxford Journals. Mathematics & Physical Sciences & Medicine. Radiation Protection Dosimetry

LLERENA CRISTOBO, J.J (2006). Medición de la concentración de Rn222 en el interior de edificios. Universidad de Santiago de Compostela. Facultad de Físicas.

MISDAQ M.A., FLATA K. (2003). Radon and daughters in cigarette smoke measured with SSNTD and corresponding committed equivalent dose to respiratory tract. Radiation Measurements, 37, 31-38.

MORA, P. y SALAZAR, A. (1995). Niveles de radiactividad en tres regiones de costa Rica. Universidad de Costa Rica. Ciencia y Tecnología, No 1,2 .79-95 p.

NELSON EBY, G. Department of Environmental, Earth, & Atmospheric Sciences. University of Massachusetts Lowell. (http://faculty.uml.edu/nelson_eby.htm).

OECD, 1979. Organization for Economic Cooperation and Development Exposure to Radiation from the Natural Radioactivity in Building Materials. Paris.

PEREIRA, M.D., JOVER, F. y BLANCO, F. (2005): Geología on the Rocks: Un paseo geológico por la hostelería de Salamanca. Kafka nº 4, 15-34.

PAVLIDOU, S., KORONEOS, A., PAPASTEFANOU, C., CHRISTOFIDES, G., STOULOS, S., VAVELIDES, M. (2004): Natural radioactivity of granites used as building materials. J. Environ. Radioactivity 89, 48 – 60.

Plan de Actuaciones del Sector de la piedra natural de Castilla y León. (26 Mayo 2009). SIEMCALSA.

PORSTENDÖRFER, J., WICKE, A., SCHRAUB, A., 1980: Methods for a continuous registration of radon, thoron, and their decay products indoors and outdoors. Natural

Radiation Environment III. CONF – 780422, vol. 2. U.S. Department of Energy, Washington, D.C., pp. 1293 – 1307.

QUINDÓS PONCELA, L. S (1995). Rn un gas radiactivo de origen natural en tu casa. Centro de seguridad nuclear. Universidad de Cantabria.

RocMáquina (2007): La piedra natural de España. Directorio profesional 19ª edición

ROGERS, J.J.W., RAGLAND, P.C., (1961): Variation of thorium and uranium in selected granitic rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta* 25, 99 – 109.

SESANA, L., FUMAGALLI, M., CARNEVALE, M., POLA, G., FACCHINI, U., COLOMBO, A., TUNESI, A., DE CAPITANI, L., RUSCONI, R. (2006): Natural radionuclides in the rocks of the Valle del Cervo Pluton in Piedmont. *Oxford Journals. Mathematics & Physical Sciences & Medicine. Radiation Protection Dosimetry*. Volume 118, Number 3, 337 – 344.

Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León. (2008) SIEMCALSA. La piedra Natural en Castilla y León.

SOTO J., DELGADO M. T., FERNANDEZ P., GÓMEZ J., QUINDÓS L. S. (1991). Niveles de ²²²Rn en el balneario de Las Caldas de Besaya (Cantabria). *Revista de Sanidad e Higiene Pública*, 1(65), 71-75.

STRANDEN, E., KOLSTAD, A.K., (1984): Radon exhalation from the ground; Method of measurements and preliminary results. *The Science of the Total Environment*, Volume 45, October 1985, 165-17.

TAYLOR, S.R. e Mc LENNAN, S.M. (1985) - The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Scientific Publ., Oxford, 312p.

TZORTZIS, M., TSERTOS, H., CHRISTOFIDES, S., CHRISTODOULIDES, G. (2003): Gamma radiation measurements and dose rates in commercially – used natural tiling rocks (granites). *J. Environ. Radioactivity* 70, 223 – 235.

UNE-EN 12670:2003. Terminología de piedra natural.

Caracterización Radiológica de las Rocas Ornamentales de Castilla y León.

UNSCEAR, 1979. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.

UNSCEAR, 1982. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.

UNSCEAR, 1993. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.

WHITFIELD, J.M., ROGERS, J.J.W., ADAMS, J.A.S., (1959): The relationship between the petrology and the thorium and uranium contents of some granitic rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta* 17, 248 – 271.