



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
CARRERA PROFESIONAL DE ESTOMATOLOGÍA

“EFICACIA DEL CONCRETO Y BARITINA COMO
ATENUADORES DE RAYOS X: UNA REVISIÓN DE LA
LITERATURA”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
SEGUNDA ESPECIALIDAD EN RADIOLOGÍA BUCAL Y
MAXILOFACIAL

Presentado por:


Fiorella Francesca Huañec Huillca (0000-0001-8859-7216)

Asesor:

Gustavo Adolfo Fiori Chíncaro (0000-0001-9273-8587)

Lima – Perú

2020

	Reglamento de Grados y Títulos	Código: SG-RE-001-V2	Emisión: junio 2015	Vigencia 25/06/15
---	--------------------------------	-------------------------	---------------------------	----------------------

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Lima, a los **13** días del mes de **ABRIL** del **2020**, siendo las.....21:10.....horas, con la asistencia del Jurado de Tesis, Presidido por el **DRA. ANGELA QUISPE SALCEDO**, los miembros del Jurado **MG. CARLOS ESPINOZA MONTES** y **MG. CINTHYA CHIPANA HERQUINIO**. El Asesor de la Tesis **MG. GUSTAVO FIORI CHINCARO**; la **C.D. FIORELLA FRANCESCA HUAÑEC HUILLCA**, autor de la tesis Titulada: **"EFICACIA DEL CONCRETO Y BARITINA COMO ATENUADORES DE RAYOS X: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA"** con el fin de optar el Título de Segunda Especialidad en **RADIOLOGÍA BUCAL Y MAXILOFACIAL**.

Concluida la exposición, se procedió a la evaluación y deliberación por parte del Jurado correspondiente, habiendo sido**APROBADO**..... con el calificativo de**MUY BUENO (DIECIOCHO)**.....

Se extiende la presente acta en tres originales y siendo las...21:33... horas, se da por concluido el Acto Académico de Sustentación.



Presidente
DRA. ANGELA QUISPE SALCEDO
DNI: 41900187



Miembro
MG. CARLOS ESPINOZA MONTES
DNI: 09298400



Miembro
MG. CINTHYA CHIPANA HERQUINIO
DNI: 42400735



Asesor
MG. GUSTAVO FIORI CHINCARO
DNI: 07845764

Dedicatoria

A Dios, quien como guía está presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fortaleza en los momentos de dificultad, permitiéndome llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi hijo Adrian, el mayor tesoro de mi vida por ser la fuente de mi esfuerzo, el que me impulsa a superarme cada día y ser una mejor persona.

A mis padres a quienes les debo todo lo que soy, por su apoyo incondicional, por cada día creer en mí y anhelar siempre lo mejor para mi vida.

Agradecimientos

Al Dr. Gustavo Fiori Chincaro por su valiosa asesoría en el proceso de realización de este artículo de investigación.

INDICE

	PÁG
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. METODOLOGIA	9
3. RAYOS X Y ATENUACION	10
4. BARITINA	12
5. CONCRETO SIMPLE	16
6. CONCLUSIONES	21
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

Tesis en formato artículo de revisión de literatura publicado Rev Cient Odontol
(Lima), Marzo, 2020

RESUMEN

El presente trabajo busca realizar una revisión de la literatura para dar a conocer al personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes las ventajas y propiedades que ofrecen el concreto simple y la baritina que justifiquen su aplicación como materiales de blindaje en el diseño y construcción de muros en áreas donde se utiliza rayos x de uso odontológico, ya que estos rayos al no ser utilizados de manera segura pueden traer efectos perjudiciales para la salud de las personas. Es así que en este trabajo también se describe las características generales de los rayos x que lo hacen nocivos para la salud de las personas laboralmente expuestas, así como del público en general, surgiendo en este punto el término de atenuación.

Se encontró poca información sobre el tema, por lo que se amplió la relación existente entre ambos materiales y su importancia para dar mejor información que pueda ser útil a todas las personas, concluyendo que ambos materiales tienen la capacidad de bloquear y reducir la intensidad de radiación ya que en el caso del concreto actúa como un absorbente para reducir los efectos biológicos de la radiación y la baritina funciona como blindaje basado en el coeficiente de atenuación por lo que ambos ofrecen una mayor resistencia y al ser aplicados en conjunto permitirá la mayor protección para aquellas personas que puedan estar expuesta a estos rayos ionizantes.

Palabras clave: Concreto, Baritina, Atenuación de la radiación, Rayos x, blindaje.

ABSTRACT

The present investigation seeks to carry out a review of the literature in order to inform personnel occupationally exposed to ionizing radiation of the advantages and properties offered by simple concrete and barite that justify their use as shielding materials in the design and construction of walls in areas where dental x-rays are used, since these rays, when not used safely, can bring about harmful effects on people's health. Thus, this paper also describes the general characteristics of x-rays that make them harmful to the health of occupationally exposed personnel, as well as the general public, and the term attenuation arises at this point. The research found little information on the subject, so the relationship between the two materials and their importance was expanded to give better information that can be useful to all people. Concluding that both materials have the ability to block and reduce the intensity of radiation since in the case of concrete it acts as an absorbent to reduce the biological effects of radiation and barite works as a shielding based on the attenuation coefficient so both offer greater resistance and when applied together will allow the greatest protection for those who may be exposed to these ionizing rays.

Keywords: Concrete, Barite, Radiation attenuation, X-rays, shielding.

INTRODUCCIÓN

La radiología a lo largo de su evolución ha logrado alcanzar beneficios significativos en el diagnóstico, sobre todo en el campo de la medicina en general, siempre y cuando se indique y se haga uso de manera adecuada, pero la exposición a la radiación ionizante sin hacer uso adecuado de las barreras de atenuación contra estos rayos pone en riesgo la salud de todas las personas. (1)

El blindaje contra la radiación de rayos X se fundamenta en el principio de atenuación, que se define como capacidad para bloquear o reducir la intensidad de radiación por medio de fotoemisión y la dispersión haciendo uso de barreras físicas de protección orientadas a la protección de las personas. (2)

Existen diversos organismos internacionales mundialmente reconocidos quienes son los encargados de la elaboración de las normas para el diseño del blindaje. En nuestro país también existen organizaciones que regulan, norman y fiscalizan la edificación adecuada de estas barreras, todo esto orientado al uso seguro de estos rayos. (3)

Es así que surge el uso de ciertos materiales para la construcción de estas barreras cuyas propiedades y características proporcionan blindaje como es el caso de la baritina. La baritina también llamada barita es considerada un mineral dentro del grupo de los no metales, inerte y no contaminante, cuya fórmula química es BaSO_4 y que además posee un alto peso específico (4.5 gr/cc), siendo esta peculiaridad el motivo por el cual se le atribuye su nombre, que proviene del vocablo griego baros cuyo significado es pesado. La baritina en el campo de la construcción es empleada como blindaje contra rayos x, incorporados en concretos de alta densidad lo que determinara el coeficiente de atenuación de la radiación para ser colocadas

alrededor de equipos de rayos x en hospitales y áreas donde se hace uso de radiación. (4)

Otro de los materiales utilizados para el blindaje de rayos x es el concreto simple también llamado hormigón en muchos otros países que es un material cuyas principales características son la fortaleza, durabilidad, relativamente económico de producir y sencillo de formar, en comparación con otros materiales de barrera, por lo que es ampliamente utilizado como material básico en obras de construcción, tales como hospitales médicos entre otros. El concreto es el resultado de la mezcla de cemento, agregados (que pueden ser grava, gravilla y arena), agua y en algunas ocasiones aditivos con el fin de modificar o mejorar sus propiedades. (5) (6)

Se determinó que al incorporar minerales pesados como en este caso la baritina a un hormigón convencional se obtendrá como resultado un concreto de alta densidad que se define como aquellos concretos con densidad superior a 3000 kg/m³, pudiendo alcanzar densidades entre 4000 y 4800 kg. /m³, por lo que ofrece una mayor resistencia en comparación a los concretos simples. (7)

Es así que toma importancia la necesidad de conocer de manera más profunda las características y propiedades de atenuación de la baritina y del concreto convencional desde el punto de vista de radio protección para ser empleada en el diseño de muros en instalaciones donde se emiten rayos x. (7)

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación literaria fue necesario la búsqueda bibliográfica de diversos artículos y trabajos de investigación entre los años 2004 al 2019 en las que se describen las características de los materiales como el concreto y baritina como medio de construcción para atenuar rayos x lo que representa un gran aporte para la bioseguridad. Para

ello fue necesario la búsqueda con las siguientes palabras claves y frases: concreto simple, la baritina, atenuación de la radiación, rayos x, radio protección y medio de construcción para atenuar rayos x.

RAYOS X Y ATENUACION

Los rayos x son un tipo de radiación de ondas electromagnéticas que a su vez son ionizantes, debido a que al interactuar con la materia produce la ionización de los átomos de esta, generándose así iones. (7) (8) La formación de rayos X es el producto del calentamiento de los filamentos de tungsteno que originan la formación de una nube de electrones, para luego ser expulsado a gran velocidad, impactando así en el punto focal del ánodo, que por lo general está confeccionado con elementos pesados como es el cobre, molibdeno y el wolframio, dando como resultado la generación de rayos X, es decir radiación característica y radiación por frenado. (8) (9)

La radiación por frenado, es la que se utiliza en radiodiagnóstico, corresponde del 1 al 3% de radiación generada, es producto de la descompensación y pérdida súbita de la velocidad del electrón con carga negativa, debido a la acción del campo eléctrico del núcleo el cual tiene carga positiva, atrayéndolo de esta manera, dando como resultado que el electrón varíe su recorrido original perdiendo de esta manera su energía cinética. Una fracción de la energía cinética perdida por el electrón en este proceso da lugar a la formación de radiación electromagnética de alta energía. La radiación característica corresponde al mayor porcentaje de radiación que pasa a convertirse en calor. (8) (9)

Por otra parte, este tipo de radiación es el producto de la colisión de dos electrones donde el primero se desplaza de forma acelerada en dirección al segundo electrón perteneciente al ánodo que a su vez se localiza próximo al núcleo, trayendo como consecuencia la expulsión

de este último donde rápidamente será sustituido por el electrón acelerado ocupando su lugar generándose energía en forma de calor. (8) (9)

La interrelación entre rayos x y materia se puede producir por diferentes fenómenos que los fotones de los rayos x pueden experimentar, en relación a su poder de penetración y a la forma de interaccionar con la materia entre estos tenemos: A) Efecto de transferencia, es la interacción de la materia con el fotón el cual lo atraviesa en forma de radiación directa. B) Efecto de absorción, se refiere a la donación de toda la energía del fotón a la materia para luego desaparecer. C) Dispersión, el fotón de rayos X emerge de la materia en forma de radiación secundaria, esto producto de la pérdida de su energía debido a la desviación en su dirección. (10)

La **atenuación** está definida como la disminución del número de fotones incidentes del rayo X cuando penetran en un medio material. El poder atenuante de un material va a depender de la naturaleza de la sustancia del medio, es decir su número atómico, densidad, espesor y de las características de la radiación. (10)

Por medio de tres procesos básicos es que se produce la interacción de los fotones con la materia, estos son: interrelación fotoeléctrica, el efecto Compton y finalmente la formación de pares. La interacción fotoeléctrica es la que se produce entre el átomo de la materia y el fotón, donde este último consume toda su energía con el propósito de remover un electrón de la órbita más cercana al núcleo y dotarla de energía cinética. (8)

Es en ese momento donde se produce el llamado efecto dominó como consecuencia de la inestabilidad de la órbita, ya que un electrón será reemplazado por otro electrón de una órbita superior, es así como se genera la radiación que es una forma de energía. Las imágenes radiográficas de alta calidad están en relación al efecto fotoeléctrico ya que este efecto no

dará lugar a la formación de radiación dispersa, además contribuye en el mejoramiento del contraste de los diferentes tejidos biológicos.

Por otra parte, los fotones al incrementar su energía reducen la probabilidad de ser absorbidos por efecto fotoeléctrico, dando como resultado la disminución del contraste de los tejidos. El efecto fotoeléctrico no es atractivo cuando se hace referencia a la dosis y radio protección del paciente, ya que todos los fotones que incidan en tejidos liberaran energía siendo asimilados por el paciente. (8)

Es así que surge el termino denominado: Efectos biológicos de la radiación ionizante que se refiere a las consecuencias no deseadas producto del paso de la radiación a través de un medio biológico donde se pueden producir alteraciones en la estructura y/o función de las células, estos efectos biológicos estarán en relación a la dosis y al tiempo en que esa dosis es absorbida. (11)

Los efectos producidos por la radiación sobre las células pueden ser estocásticos o determinísticos. El primero se define como la posibilidad de q algún efecto se produzca en relación a la dosis donde el nivel de gravedad no depende de la dosis, mientras que el efecto determinístico es aquel cuya severidad y frecuencia varían en relación a la dosis. Las células pueden verse seriamente afectadas como consecuencia a la exposición de radiación ionizante pudiendo causar alteración en su ADN o daños más severos que las podría conducir a la muerte. (12)

BARITINA

La baritina conocida también como sulfato de bario, espato pesado o barita ($BaSO_4$) es un mineral derivado del bario extraído mediante un proceso de minería, siendo una de sus principales características ser un mineral no toxico. Es muy común y se encuentra por lo

general junto a la calcita y el cuarzo, y en la naturaleza se encuentran como conglomerados cristalinos de colores variados. Su peso específico varia de 4.3 a 4.6 gramos por cada centímetro cubico (gr/cc). En su estado natural posee muchas características como ser un material químicamente inerte, de dispersión sencilla, alta resistencia al calor y a la corrosión, en cuanto al brillo puede ser intensificado con ácido sulfúrico por medio del blanqueamiento, y su dureza varía de 2.5 a 3.5 en la escala de Mohs. (13)

La escala de Mohs es una escala de dureza definida por el geólogo alemán Friedrich Mohs la cual se basa en la resistencia que ofrecen ciertos minerales al rayado a través de la capacidad de un material más duro para rayar un material más blando. (14)

El bario, del cual deriva la baritina tiene propiedades químicas similares al calcio solo que posee mayor reactividad, es uno de los metales alcalinotérreos más estables, cuyo símbolo es Ba, número atómico 56, peso atómico 137.3, no se encuentra en estado puro debido a que reacciona rápidamente con otros elementos del medio ambiente por eso existe como compuestos divalentes, así como la baritina, carbonato de bario y cloruro de bario. El bario al encontrarse dentro del grupo de los metales es vulnerable a la oxidación cuando es expuesto medio ambiente formándose oxido y peróxido de vario, además al interactuar con alcohol o agua puede producir gas hidrogeno. (7)(15)(16)

Haciendo referencia a sus **características físicas** de la barita se observan como cristales de forma tubular, aunque también se pueden presentar de diversas formas, como láminas de conformación poco fina y es muy similar al mármol blanco y terroso. Su coloración es diversa pudiendo ser blanco, blanco amarillento, gris, azul, rojo, café, café oscuro, transparente a translúcido u opaco y entre sus propiedades físicas se menciona que su punto de ebullición y de fusión es de 1140 °c y 850 °c respectivamente, con una densidad de 3,5 g/ml. (7)(17)

Las **características químicas** permiten que los elementos del grupo dos de la tabla periódica, así como el estroncio y el calcio se relacionan de forma muy íntima con los compuestos de bario. A medida del incremento en peso atómico que experimentan estos elementos alcalinotérreos como también son conocidos, se produce el aumento de la capacidad de los hidróxidos para disolverse y al mismo tiempo el peso específico del metal se incrementa, por el contrario, la capacidad de solubilidad disminuye en los nitratos, sulfatos y haluros. (7) Esta condición favorece su principal característica de atenuación, pues debido a su asociación con otros elementos puede obtener un peso atómico determinado, lo que hace que se le incluya dentro de los elementos con características de atenuación y/o barrera para el paso de emisiones de radiaciones.

La localización de la baritina es muy abundante, encontrándose prácticamente en toda la superficie terrestre, es así que ocupa el puesto número 18 haciendo referencia a la cantidad en relación a otros minerales. En muchos lugares del mundo hacen uso de las utilidades de este mineral, y en promedio son 7000 los yacimientos distribuidos alrededor del mundo. En el año 2005 China fue el líder mundial en la producción de baritina alcanzando el 53 % de producción a nivel mundial, seguida por India con el 13% de la producción, Estados Unidos con el 6%, Irán con el 4% entre otros. (18) (19)

En Latinoamérica uno de los países que registra producción de baritina es el Perú donde se ha determinado la ubicación de 61 yacimientos de baritina, los cuales están distribuidos en las diferentes regiones del país ,como son: Junín, Lima, Pasco, La Libertad, Lambayeque, Huánuco y Huancavelica los cuales tienen un origen hidrotermal, asociado a vulcanismo tipo submarino, donde las regiones que destacan por su producción son Huánuco y Junín, con una producción nacional de baritina del 91%, la cual está dirigida al mercado interno y externo. Latinoamérica es el principal destino de esta producción en un 90%, siendo Ecuador

el principal comprador. En el Perú el consumo está cubierto en más del 95% por la producción interna. (20)

Una de las principales causas que genera interés en cuanto a utilidad de la baritina es su peso, una forma para poder identificarla es compararla con una piedra que cumpla con las mismas especificaciones y composición parecida, obteniendo como resultado que el peso de la baritina será 5 veces más que la piedra, por lo que es de gran utilidad en diversos campos. (18) Se estima que en promedio el 95% de la producción de baritina a nivel mundial se emplea en la perforación de pozos petroleros formando barros o lodos de perforación, es así que la producción de baritina dependerá de los proyectos de exploración de esta industria. El 5% sobrante está destinado a la industria de la pintura para automóviles, a ser utilizado como medio de barrera en salas de rayos x por su alto poder de absorción de radiaciones, y es usado también como ya se mencionó para la elaboración de estructuras de concreto de alta densidad. (21)

Además, también la baritina en su estado natural es empleada en el campo químico para la elaboración de otros derivados que contribuyen en formar parte de la elaboración de cristales y vidrios ópticos como también para mejorar la blancura en la industria del papel. En el campo de la medicina es empleado como medio de contraste en la evaluación radiográfica del tracto gastrointestinal, también como material de relleno en la fabricación de yeso ortopédico y en algunos fármacos para alargar el tiempo límite de vencimiento. (7) (10) (20)

La aplicación de la baritina para la formación de concreto de alta densidad en el campo de la construcción es relativamente reciente como consecuencia del desarrollo de la energía nuclear, además este tipo de concreto supone un ahorro económico en comparación con los concretos simples ya que estos requerirán de un mayor espesor para cumplir la misma protección. Las construcciones en las que se han hecho uso de este tipo de concreto son muy pocas y específicas

lo q nos muestra el grado de desconocimiento sobre el uso de la baritina para la obtención de los conglomerados necesarios para su producción. (22)

El nivel de protección que ofrece es la misma al de una lámina de plomo al ser empleada en las proporciones adecuadas, es así que una lámina de plomo de 1mm equivale a 2cm de aplanado con baritina y 1.5mm a 3 cm respectivamente la cual debe ser aplicada en muros que tengan una superficie firme capaces de soportar a la baritina esto debido a su peso específico que supera los estándares de materiales de construcción, la altura mínima que se considera es de 2.1m sobre el nivel del piso, además es posible colocarla en techos y pisos esto valorando la ubicación del área como en casos de estar en un primer piso o de colindar con otras áreas inferiores o superiores. (23)

CONCRETO SIMPLE

En muchos casos los propios muros de las instalaciones donde se hace uso de radiación ionizante pueden proporcionar un blindaje significativo pudiendo sustituir la función de otros materiales, este es el caso de los muros de concreto con ladrillo macizo. (24)

El concreto es la mezcla de cemento, piedra, arena gruesa y agua, donde se produce una reacción química entre el agua y el cemento generando el endurecimiento de esta. La resistencia que se indique en los planos de estructuras determinara la cantidad de cada material utilizado en la mezcla. El concreto tiene dos etapas básicas: cuando está fresco y cuando ya se ha endurecido. (25)

El concreto es un material económico y adaptable a cualquier diseño de construcción, este material puede actuar como un absorbente para reducir los efectos biológicos de la radiación siempre y cuando presenten una fuerza y densidad aceptable para que pueda cumplir como atenuante de los rayos x. (26) (27)

Para ello debe cumplir con un conjunto de requisitos como son la aplicación de las proporciones establecidas para la mezcla, así como también debe poder mantener su integridad estructural y efectividad como escudo biológico. (15)

La atenuación de los rayos x depende de la densidad del material de blindaje; se dice que un material de escudo denso con un mayor número atómico es un mejor atenuador de rayos x, el concreto al aumentar su densidad mediante la adición de materiales pesados adquiere un efecto importante en la supresión de estos rayos, lo que conduce a que los muros de áreas de radiación sean más delgados. (16) (24) (28)

El cemento es uno de los elementos que forma parte del concreto el cual es un material fabricado por cocción a elevadas temperaturas, de una materia prima que pueda estar compuesta de una mezcla de caliza, arcilla y otros minerales o simplemente de caliza, al adicionarle 5% de yeso favorece su fraguado. El proceso de fabricación se inicia con la selección de la materia prima en canteras para proceder con su extracción, esta materia prima es finamente molida y mezclada, para luego proceder a su calentamiento hasta lograr la fusión de estos elementos, este proceso generalmente se logra en hornos giratorios de gran tamaño a temperaturas entre los 1400 a 1450°C de donde finalmente se obtiene el Clinker que no es más que la fundición parcial del material, el Clinker una vez enfriado pasa por un proceso de molienda para ser convertido en un fino polvo y es en ese momento donde toma el nombre de cemento. El fraguado del cemento es gracias al yeso que es incorporado en una pequeña proporción durante el proceso de molienda mientras que los demás agregados pueden ser obtenidos de canteras que son explotaciones por lo general a cielo abierto de las que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridos. (29)

Para efectos del uso del concreto como barrera de protección para salas de rayos x, la norma técnica del instituto peruano de energía nuclear (IPEN) menciona que la utilización del concreto como estructura de blindaje, puede ser utilizado en paredes de concreto con un

espesor mínimo de 15 cm., sin embargo no se determina las características de ese espacio, no teniendo claro si la fabricación debe incluir un tipo determinado de ladrillos (para el caso de su uso, sea tipo sólido o con formato de huecos) u otro tipo de estructura (piedras, armado de fierros, madera, etc.), esto independiente del revestimiento que lleva esta pared, incluso no se menciona las características de esta capa (grosor, tipo de concreto, tipo de cemento, tipo de mezcla, etc.)

Un trabajo de investigación realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en Lima-Perú titulada “Atenuación de los rayos x para diagnóstico empleando placas de concreto normal y pesado con baritina “, el cual fue desarrollado por Gonzales Robles en el año 2010, concluyo que para poder calcular el espesor del blindaje en concreto simple (densidad 2.3 - 2.4 g/cm³) para construcciones, se aplica lo establecido en el reporte número 147 del Consejo Nacional de Protección Radiológica y Medidas (NCRP 147). (3)

Para ese trabajo se elaboraron dos tipos de placas, una de concreto normal y la otra de mortero con baritina, definiéndose mortero como una mezcla de arena fina, agua y cemento, ambas placas para diferentes espesores las cuales fueron sometidas a disparos de rayos x de un equipo aplicando un valor de 100 kv y un detector para calcular el número de rayos ionizantes capaces de atravesar las placas de concreto normal y mortero con baritina.

Con los datos obtenidos de la prueba experimental se elaboró una curva para el calcular espesores de mortero con baritina, que al ser comparado con la norma peruana que se basa en el reporte NCRP 147 y las tablas del NIST, se concluyó que estas cumplen hasta un determinado valor, espesor de 1.8 cm para la relación concreto/baritina=1/4 (densidad 3.20 g/cm³) y de 1.9 cm para la relación C/B=1/6 (densidad 3.30 g/cm³). Para realizar el cálculo de espesores de mortero con baritina (densidad 3.20 - 3.30 g/cm³) se debe emplear las curvas obtenidas en esa investigación. (3)

Un ejemplo donde se hizo uso del concreto de alta densidad, fue en la construcción de las salas de rayos X en el “Hospital Regional de Lambayeque” en Perú, cuyas especificaciones técnicas de arquitectura del proyecto fueron concluidas por el Gobierno Regional de esa jurisdicción. Se realizó la aplicación en muros y cielo raso de 26 salas de un revestimiento con mortero y barita, el cual fue usado como sustituyente del agregado fino.

Las especificaciones de este revestimiento se realizó usando 3 capas: primero una capa base para lo cual se realizó un revestimiento de 1 cm de espesor cuya proporción de mezcla fue 1:4 correspondiente a cemento: arena, la segunda corresponde a la capa aislante de radiación para lo cual se empleó la proporción 1: 1: 4 correspondiente a cemento: arena: baritina, el espesor no será menor de 2 cm y la capa final se realizó con una proporción 1:5 correspondiente a cemento: arena fina de 1cm de espesor como máximo, todo esto se elaboró de una forma conveniente para lograr obtener una superficie óptimamente terminada. (30)

El consejo de seguridad nuclear en Madrid – España elaboró una tabla referida a la equivalencia en plomo de materiales como el ladrillo de arcilla y concreto más baritina como se muestra. (23) tabla N° 1

Tabla N° 1 Equivalencia en plomo de materiales como el ladrillo de arcilla y concreto más baritina

Material	Densidad del material (kg.m-3)	Espesor del material (mm)	Equivalente en mm de plomo según los KV aplicados			
			50	75	100	150
Ladrillo de arcilla	1600	100	0.6	0.8	0.9	0.8
		200	1.4	1.7	1.9	1.7
		300	2.2	2.7	3.1	2.6
		400	-	3.8	4.5	3.7
		500	-	-	-	4.8
Concreto más baritina	3200	10	0.9	1.5	1.8	0.9
		20	1.8	2.7	3.3	1.8
		25	2.3	3.3	4.0	2.2
		50	-	-	-	4.3
		75	-	-	-	5.9
		100	-	-	-	-
		125	-	-	-	-

Fuente: El consejo de seguridad nuclear en Madrid – España.

CONCLUSIONES

1. Los efectos nocivos que pueden causar los rayos X en el organismo humano se fundamenta en el principio de atenuación, la cual depende del material de blindaje y de la longitud de onda de los rayos. Por medio de la atenuación se deberá bloquear o limitar la exposición de radiación a niveles aceptables, haciendo uso de barreras físicas orientadas a la protección de las personas.
2. Entre las características y formas de uso de la baritina como elemento de atenuación contra rayos x encontramos que es un material químicamente inerte, de dispersión sencilla, alta resistencia al calor y a la corrosión, el cual es vulnerable a la oxidación cuando este es expuesto al medio ambiente en el que se puede formar oxido y peróxido de vario. Su color es muy variado con un punto de ebullición y de fusión de 1140 °c y 850 °c respectivamente, con una densidad de 3,5 g/ml.

Las características químicas permiten el aumento de la capacidad de los hidróxidos para disolverse y al mismo tiempo el peso específico del metal se incrementa, por el contrario, la capacidad de solubilidad disminuye en los nitratos, sulfatos. Esta condición favorece su principal característica de atenuación, pues debido a su asociación con otros elementos puede obtener un peso atómico determinado, lo que hace que se le incluya dentro de los elementos con características de atenuación y/o barrera para el paso de emisiones de radiaciones.

3. En cuanto a las características del concreto se encuentra que es un material económico y adaptable a cualquier diseño de construcción por lo tanto actúa como un absorbente para reducir los efectos biológicos de la radiación siempre y cuando presenten una fuerza y densidad aceptable para que pueda cumplir como atenuante de los rayos x.
4. El concreto más la baritina puede ser usado como blindaje en muros de áreas donde se hace

uso de rayo x ya que ambos materiales son empleados como blindaje contra rayos x, basado en el coeficiente de atenuación, pudiendo alcanzar densidades entre 4000 y 4800 kg. /m³, por lo que ofrece una mayor resistencia en comparación a los concretos simples, además que tendrá un menor grosor que los muros de concreto simple cumpliendo la misma función.

Contribución del Autor: C. D. Fiorella Francesca Huañec Huillca, ha participado en la elaboración del artículo, la recolección de la información, la redacción y aprobación de la versión final y el Mg. Gustavo Fiori Chincaro ha participado como asesor y aprobación de la versión final.

Fuente de financiamiento: Autofinanciado.

Conflicto de Intereses: La autora declara no tener ningún tipo de conflicto de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ludlow J, Davies Ludlow L, White S. Patient risk related to common dental radiographic examinations. 13912371243rd ed. Assoc. JAD, editor.; 2008.
2. Akkurt I, Basyigit C, Kilincarslan S, Mavi B. Apantallamiento de radiación de los hormigones que contienen diferentes agregados. 282153157th ed.: Cem horm Compos; 2006.
3. Gonzales J. Atenuación de los rayos X para diagnostico empleando placas de concreto normal y pesado con baritina. [Online].; Lima (Perú): UNI; 2010. [acceso 2019 Octubre 15. Disponible por: https://www.researchgate.net/publication/267751536_ATENUACION_DE_LOS_RAYOS_X_PARA_DIAGNOSTICO_EMPLEANDO_PLACAS_DE_CONCRETO_NORMAL_Y_PESADO_CON_BARITINA.
4. Romero W. <http://repositorio.undac.edu.pe>. [Online]. Carrion del distrito de Yanacancha Provincia de Pasco; 2018 [acceso 2019 Octubre 19. Disponible por:: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/331/1/T026_48288706_T.pdf.
5. Sakr K EHE. Efecto de las altas temperaturas o fuego en las propiedades del hormigón de peso pesado. [Online].; 2005 [acceso 2019 Diciembre 10. Disponible por:: https://translate.google.com.pe/translate?hl=es-419&sl=en&u=https://www.researchgate.net/publication/222927130_Effect_of_high_temperature_or_fire_on_heavy_weight_concrete_properties&prev=search.
6. Yura Mdcc. Edición 2014, tomo N°001, pag.14. [Online].; 2014. Disponible por: <http://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/2018/09/manual-de-construccion.pdf>.

7. Álvarez A. Uso de baritina en hormigones colados para protección radiológica. Guatemala: Universidad de San Carlos; 2013. [Online].; 2013 [acceso 2019 Diciembre 10. Disponible por: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3610_C.pdf.
8. Alcaraz M. Bases físicas y biológicas del radiodiagnóstico médico. 2a ed. España: Universidad de Murcia Servicio de publicaciones. [Online].; 2003 [acceso 2019 Diciembre 10. Disponible por:: https://books.google.com.pe/books?id=mtQkRFUmhgsC&printsec=frontcover&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
9. Almeida J. Caracterização de argamassas de barita como blindagens contra a radiação X e determinação experimental dos coeficientes de atenuação desses materiais. [tesis], Ouro Preto-Brazil: Universidade Federal de Ouro Preto. [Online].; 2014 [acceso 2019 Diciembre 10. Disponible por:: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/5674>.
10. Miñano A, Patiño. Elaboración de agregados con barita para el diseño de concretos de alta densidad que atenúen los rayos ionizantes. [tesis], Lima-Perú: Universidad San Martín de Porres. [Online].; 2015. [acceso 2019 Diciembre 11. Disponible por:: www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/handle/usmp/2066/minano_patino.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
11. Fuentes L, Felipe S, Valencia V. Efectos biológicos de los Rayo-X en la práctica de Estomatología. Rev haban cienc méd.. [Online].; 2015; 14(3): 337-347. [acceso 2019 Diciembre 11. Disponible por:: scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2015000300011.
12. Núñez M. Efectos biológicos de las radiaciones – Dosimetría. Uruguay: Escuela

- Universitaria de Tecnología Médica Comité de Tecnólogos de ALASBIMN. [Online].; 2008 [acceso 2019 Diciembre 11. Disponible por:: https://www.alasbimn.net/comites/tecnologos/material/Efectos_biologicos_de_las_radiaciones.pdf.
13. Samarin A. Use of Concrete as a Biological Shield from Ionising Radiation. Energy and Environmental Engineering. [Online].; 2013; 1(2):90-97. [acceso 2019 Diciembre 11. Disponible por:: <https://pdfs.semanticscholar.org/de86/8184b4ca4bfc12c865e83b5e0aab639dbce3.pdf>.
14. Moreno H, Ibañez S. La Escala de Mohs Dureza de los Minerales. España: Universidad Politécnica de Valencia. [Online].; 2018.. Disponible por:: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105177/Moreno%3BIbañez%20-%20La%20Escala%20de%20Mohs%3A%20Dureza%20de%20los%20Minerales.pdf?sequence=1>.
15. compuestos-USEPA Rtdby. (US Environmental Protection Agency). [Online].; 2005 [acceso 2019 Diciembre 11. Disponible por:: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs24.pdf.
16. Oskarsson A, Nordberg G, Fowler B, Nordberg M. Manual de Toxicología de los Metales. Vol. II: Metales específicos, Elsevier, Londres. [Online].; 2015, pp. 625 – 634. [acceso 2019 Diciembre 11. Disponible por:: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs24.pdf.
17. Miras A, Galan E. Distribución, características generales y aplicaciones de la Barita del suroeste español. Boletín Geológico y Minero. [Online].; 1992; 103(5):893-900. [acceso 2019 Diciembre 10. Disponible por::

https://www.researchgate.net/publication/297500761_Distribution_general_characteristics_and_applications_of_barite_in_Badajoz_and_Sevilla_southwest_Spain.

18. Minerales y Rocas Revista [Online]. Disponible por: <https://www.mineralesyrocas.com/baritina/>.
19. Díaz A, Amesquita M, Zedano J, Acosta H. Síntesis geológica, mercado y perspectivas de los minerales de baritina, boratos, sales y azufre en el Perú. [Online].; 2006. Disponible por: <https://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/170670/S%C3%8DNTESIS+GEOL%C3%93GICA,+MERCADO+Y+PERSPECTIVAS+DE+LOS+MINERALES+DE+BARITINA,+BORATOS,+SALES+Y+AZUFRE+EN+EL+PER%C3%9A/80efb1bb-7237-4b5b-be03-0fa40db16cc7>.
20. Amesquita J. Síntesis geológica, mercado y perspectivas de los minerales de baritina, boratos, sales y azufre en el Perú; 2006. [Online].; 2006 [acceso 2019 Noviembre 19. Disponible por: <https://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/170670/S%C3%8DNTESIS+GEOL%C3%93GICA,+MERCADO+Y+PERSPECTIVAS+DE+LOS+MINERALES+DE+BARITINA,+BORATOS,+SALES+Y+AZUFRE+EN+EL+PER%C3%9A/80efb1bb-7237-4b5b-be03-0fa40db16cc7>.
21. minero Dgdd. Perfil de mercado de la barita. [Online].; 2014 [acceso 2020 Enero 10. Disponible por: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/5568/pm_barita_2014.pdf.
22. Martínez L. Monografias.com. [Online].; 2019 [acceso 2020 Enero 11. Disponible por: <https://www.monografias.com/docs115/hormigon-pesado-blindaje/hormigon-pesado->

[blindaje.shtml.](#)

23. León B. Leonbarita.com. [Online].; 2019 [acceso 2020 Enero 12. Disponible por::

<https://www.leonbarita.com/barita/>.

24. seguridad. CdSNGd. Aspectos técnicos de seguridad y protección radiológica de instalaciones médicas de rayos X para diagnóstico. [Online].; 1990 [acceso 2019

Diciembre 10. Disponible por:: <http://piramidenormativa.sne.es/Repositorio/CSN/GSG-05.11%20Aspectos%20tecnicos%20de%20seguridad%20y%20proteccion%20radiologica%20de%20instalaciones%20medicas%20de%20rayos%20X%20para%20diagnostico%20OCR.pdf>.

25. Aceros A. Manual del maestro constructor. [Online].; 2019 [acceso 2020 Enero 10.

Disponible por:: <http://www.acerosarequipa.com/manual-del-maestro-constructor/materiales-de-construccion/concreto.html>.

26. Mahmound A. Improving X-Ray Radiation Resistance Of Concrete Used In Radio-Diagnostic Centers. [tesis], Islamabad-Pakistán: The Islamic University-Gaza Faculty of

Engineering. [Online].; 2015 [acceso 2020 Enero 15. Disponible por:: <https://library.iugaza.edu.ps/thesis/117006.pdf>.

27. Rezaei Ochbelagh AS. Investigation of gamma-ray shielding properties of concrete containing different percentages of lead. Applied Radiation and Isotopes. [Online].;

2012; 70(10):2282-2286. [acceso 2020 Enero 12. Disponible por:: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969804312003855?via%3Dihub>.

28. Abdelnabi A, Odi H, Mohammad H, Mobark. The effect of replacements 30% for each concrete component by iron filling in concrete on attenuation properties. American

Research Thoughts. [Online].; 2015; 2(1):3034-3045. [acceso 2019 Diciembre 10.

Disponible

por::

https://www.researchgate.net/publication/308963387_THE_EFFECT_OF_REPLACEMENTS_30_FOR_EACH_CONCRETE_COMPONENT_BY_IRON_FILLING_IN_CONCRETE_ON_ATTENUATION_PROPERTIES.

29. Napa L. Estudio de las Propiedades Físicas del Concreto Pesado con Agregado Grueso de Baritina y Cemento Pórtland Tipo I. Trabajo de Investigación. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Investigación ; 2002.
30. Mondragón K. Comparación entre el concreto convencional y el concreto con barita en polvo como sustituyente del agregado fino. Trabajo de Grado. Pimentel-Perú: Universidad Señor de Sipan; , Investigación ; 2016.