



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

USO DE BARITA EN HORMIGONES COLADOS PARA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Adivas Alejandro Alvarez Raguay

Asesorado por el Ing. Bernardo Elías Garrido

Guatemala, septiembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**USO DE BARITA EN HORMIGONES COLADOS
PARA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ADIVAS ALEJANDRO ALVAREZ RAGUAY

ASESORADO POR EL ING. BERNARDO ELÍAS GARRIDO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

USO DE BARITA EN HORMIGONES COLADOS PARA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 5 de mayo de 2011.



Adivas Alejandro Alvarez Raguay

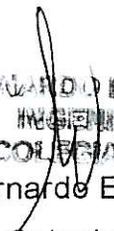
Guatemala 11 de junio 2013

Ingeniero:
Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador de Materiales de Construcción y Obras Civiles
Guatemala

Estimado Ingeniero:

Por medio de la presente me permito informarle que he asesorado el trabajo de tesis titulado "USO DE BARITA EN HORMIGONES COLADOS PARA PROTECCION RADIOLOGICA", del estudiante Adivas Alejandro Alvarez Raguay. He revisado la última versión de dicho proyecto y a mi juicio cumple con los objetivos planteados en sus inicios y con la calidad necesaria que exige un trabajo de tesis, por lo que manifiesto mi aceptación del mismo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente,


BERNARDO ELIAS GARRIDO
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO N.º 4810
Ing. Bernardo Elías Garrido
Colegiado No. 4810
Asesor



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil
28 de agosto de 2013

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **USO DE BARITA EN HORMIGONES COLADOS PARA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Adivas Alejandro Alvarez Raguay, quien contó con la asesoría del Ing. Bernardo Elías Garrido.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Guillermo Melini

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Bernardo Elías Garrido y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Adivas Alejandro Alvarez Raguay, titulado **USO DE BARITA EN HORMIGONES COLADOS PARA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre de 2013.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **USO DE BARITA EN HORMIGONES COLADOS PARA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA**, presentado por el estudiante universitario: **Adivas Alejandro Álvarez Raguay**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, septiembre de 2013

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el creador de la vida, por brindarnos su paz, gracia y misericordia.
Mi esposa	Paola Vanesa Granados Vásquez, por su amor, fidelidad, comprensión y apoyo incondicional para la finalización del proceso.
Mi hijo	Sebastian Alvarez Granados, a mi niño tan lindo, por ser mi razón de vivir y superación en la vida.
A mis padres	Alejandro Alvarez Ajin y Juana Raguay Gutiérrez, por su amor de padres, comprensión apoyo y consejos que me brindaron.
A mis suegros	Ernesto Granados y María Elena Vásquez, por sus sabios consejos, apoyo incondicional para la culminación de mi carrera.
A mi cuñada	Licda. en Derecho Jesica Fabiola Granados Vásquez, por su apoyo incondicional en el proceso para la culminación de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

**Paola Granados y
Sebastian Alvarez**

Los dos seres humanos, razón de mi lucha continua, por ser parte del proceso y su amor incondicional.

**Ing. Bernardo Elías
Garrido**

Por el apoyo incondicional para la finalización de la etapa de mi carrera, su valiosa participación en la revisión y aprobación de este trabajo.

**Ing. Guillermo Melini e
Ing. Gabriel Ordoñez**

Por su valiosa participación en la revisión y aprobación de este trabajo en el área de Materiales de Construcción.

**PROMISA S.A. (Planta
Procesadora de
Minerales (Barita))**

Por facilitar el material barita para ensayos técnicos y protección radiológica.

Facultad de Ingeniería

Por su enseñanza en la preparación profesional, a todos los docentes gracias.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa de estudios dedicada a la formación académica y profesional, gracias a la tricentaria, por siempre.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. LA BARITA Y SUS ORIGENES	1
1.1. Bario (Barium)	1
1.2. Ficha técnica	1
1.3. Propiedades	3
1.4. La barita.....	3
1.5. Principales usos	4
1.6. Reacción de bario en el medio ambiente.....	6
1.7. Efectos del bario sobre la salud.....	6
1.8. Características principales.....	7
1.8.1. Características físicas.....	7
1.8.2. Características químicas	8
1.8.3. Propiedades principales	8
1.8.3.1. Propiedades químicas	8
1.8.3.2. Propiedades físicas	9
1.9. Formación geológica	11
1.9.1. Geología regional	11
1.9.2. Geología local.....	12
1.9.3. Geología estructural	12

2.	FUENTES DE RADIACIÓN IONIZANTE	15
2.1.	Fuentes naturales	16
2.2.	Fuentes artificiales	17
2.3.	Radiaciones ionizantes	18
2.4.	Radiaciones electromagnéticas ionizantes	19
2.5.	Ley de Transformación Radiactiva	20
2.5.1.	Periodo de desintegración.....	21
2.5.2.	Magnitudes de aplicación en protección radiológica.....	21
2.5.2.1.	Dosis equivalente (HT).....	21
2.5.2.2.	Factores de ponderación de los tejidos (WT).....	21
2.5.2.3.	Dosis efectiva (E)	22
2.6.	Contaminación radiológica por equipo médico hospitalario	26
2.6.1.	Protección radiológica	26
2.7.	Las reglas de la protección radiológica	26
2.8.	Las normas internacionales de protección radiológica.....	28
3.	EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN	29
3.1.	Somáticos	30
3.2.	Fundamentos de la protección radiológica.....	31
3.2.1.	Sistema de protección radiológica.....	31
3.3.	Dosis proyectada y dosis evitada.....	34
3.4.	Actividades humanas y exposición a la radiación	36
3.4.1.	Tipos de exposición a la radiación	36
3.5.	Objetivos de la radiación radiológica.....	37
3.5.1.	Límites.....	37
3.5.2.	Niveles de referencia.....	38

4.	LEY PARA EL CONTROL, USO Y APLICACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES.....	39
4.1.	Artículos aplicados para la protección radiológica dentro del área de la República de Guatemala	40
4.2.	Transporte de material radiactivo	41
5.	PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	45
5.1.	Técnicas básicas de protección.....	45
5.2.	Procedimientos operacionales para disminuir los riesgos a la radiación externa	45
5.3.	Manejo de parámetro tiempo.....	46
5.4.	Manejo del parámetro distancia.....	47
5.5.	Blindaje entre las personas y fuente de radiación	49
5.5.1.	Blindajes para fuente emisora alfa.....	49
5.5.2.	Blindajes para emisora beta	50
5.6.	Blindajes para fuentes emisoras de radiación gamma	51
6.	CÁLCULO DE BLINDAJE PARA RAYOS X.....	55
6.1.	Conceptos básicos en el cálculo de blindajes	57
6.1.1.	Tipos de radiación	57
6.2.	Clasificación de zonas y factores de uso y ocupación para el cálculo de blindajes.....	58
6.2.1.	Clasificación de zonas	58
6.3.	Factores de uso y ocupación.....	59
6.3.1.	Factor de uso (U).....	59
6.3.2.	Factor de ocupación (T).....	59
6.3.3.	Límites de exposición semanal.....	60
6.4.	Blindaje para la radiación directa.....	60

6.4.1.	Factor geométrico	62
6.4.2.	Factor de acumulación	62
6.5.	Blindaje para la radiación dispersa	64
6.6.	Materiales blindantes	65
6.6.1.	Selección de materiales	65
7.	PLANO DE ZONAS Y SEÑALIZACIÓN DE ÁREAS	67
7.1.	Diseño de accesos	67
7.2.	Accesos para personas	67
7.2.1.	Acceso principal	67
7.2.2.	Accesos secundarios	69
7.2.3.	Acceso para materiales, equipos y herramientas....	69
7.2.4.	Riesgo con equipo médico	69
7.3.	Requisitos mínimos de recursos humanos.....	72
7.3.1.	Accesorios generales de protección física	73
7.4.	Equipo de protección personal	73
7.4.1.	Protectores de ojos	73
7.4.2.	Protección de pie.....	73
7.4.3.	Protección de manos.....	74
7.4.4.	Protección de oídos.....	74
7.4.5.	Protección para la cara y cuerpo.....	74
7.5.	Seguridad radiológica.....	75
8.	HORMIGÓN BARÍTICO	77
8.1.	Desarrollo experimental	77
8.2.	Aplicaciones del hormigón de alta densidad	79
8.3.	Dosificaciones más comunes.....	80
8.4.	Materiales.....	80
8.4.1.	Agua.....	81

8.4.2.	Agregados	81
8.4.3.	Cemento	82
9.	CONTROL DE CALIDAD Y OTRAS ESPECIFICACIONES.....	83
9.1.	Control de calidad.....	83
9.2.	Otras especificaciones usuales	83
9.3.	Práctica de campo	84
9.4.	Informe de mediciones	86
10.	MUESTRAS DE MATERIAL BARITA PARA ENSAYOS CORRESPONDIENTES.....	89
10.1.	Ensayos efectuados y resultados obtenidos.....	91
10.2.	Resultados obtenidos	93
11.	DISEÑO DE MEZCLA PARA HORMIGÓN BARÍTICO.....	101
11.1.	Propiedades de la pasta	101
11.2.	Control de calidad.....	101
11.3.	Resultados obtenidos de ensayos realizados.....	102
11.4.	Calculo de diseño de mezcla para concreto	103
	CONCLUSIONES	107
	RECOMENDACIONES.....	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	111
	APÉNDICES	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Barita recubierta de óxidos.....	10
2.	Crecimiento de barita	10
3.	Partícula alfa	19
4.	Partículas beta	19
5.	Dosímetro.....	24
6.	Exposiciones externas	37
7.	Rotulo parte posterior del vehículo.....	42
8.	Piezas contaminadas con rayos gamma.....	43
9.	Vista principal de señalización en vehículo	43
10.	Blindajes para radiación gamma	52
11.	Tipos de zonas de contaminación.....	58
12.	Cuadro de blindaje radiación directa.....	61
13.	Factores de iluminación	63
14.	Planta de sala de rayos “X”	68
15.	Plano de zonas de riesgos de contaminación	72
16.	Símbolo trébol de tres hojas.....	76
17.	Asentamiento	84
18.	Bloque de concreto tradicional en medición.....	87
19.	Bloque con concreto barítico en medición.....	88
20.	Hoja de seguridad y técnica “promisa”	90
21.	Barita donado por promisa	92
22.	Granulometría agregado fino	93
23.	Granulometría agregado grueso	94

24.	Ensayo de abrasión	95
25.	Determinación de reactividad potencial	96
26.	Gráfico determinación de reactividad potencial	97
27.	Sulfato de sodio de agregado fino	98
28.	Sulfato de sodio de agregado grueso	99
29.	Resistencia de cilindros de concreto.....	100
30.	Prueba de asentamiento	102
31.	Esquema de cilindro para ensayo.....	103

TABLAS

I.	Control de calidad	12
II.	Factores de ponderación de los tejidos	23
III.	Límites anuales de dosis	35
IV.	Identificación de tipos de zonas de riesgos por colores.....	59
V.	Informe de mediciones.....	87
VI.	Resultados Obtenidos CII, USAC	102

GLOSARIO

Desecho radiactivo	Cualquier sustancia radiactiva, materia que la contenga o contaminado por dicha sustancia que habiendo sido utilizado con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales, industriales u otros, sea desechado.
Dosimetría	Técnica para medir las radiaciones absorbidas por una persona, un objeto o un medio físico específico expuesto a las radiaciones ionizantes, en un periodo determinado de tiempo.
Dosis absorbida	Es la energía transmitida a la materia por la radiación ionizante por unidad de masa del material irradiado, en un punto de interés.
Energía nuclear	Energía liberada en las reacciones o transiciones nucleares, sean naturales o inducidas. Para los efectos de esta ley, los términos energía atómica y energía nuclear se consideran equivalentes.

Exposición

Es la suma de las cargas eléctricas de todos los iones de un mismo signo producidos en el aire, dividida por la masa de un volumen de aire considerado, cuando todos los electrones liberados por radiación electromagnética en dicho volumen son completamente detenidos en aire.

Historial dosimétrico

Conjunto de documentos que acreditan la dosis recibida por una persona expuesta a las radiaciones ionizantes durante su desempeño laboral o por cualquier otra causa.

Hormigón

Es un material compuesto empleado en construcción formado esencialmente por un aglomerante al que se añade: partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos, también conocido como concreto.

Instalación radiactiva

Recinto o dependencia habilitada para producir, tratar, investigar, manipular, almacenar o utilizar sustancias radiactivas u operar equipos generadores de radiaciones ionizantes.

Irradiar

Someter, a las personas, objetos o medios físicos específicos a la acción de las radiaciones ionizantes.

Licencia	Permiso escrito, otorgado por la Dirección para instalar u operar equipos generadores de radiaciones ionizantes, o para producir, usar, manipular, aplicar, transportar, comercializar, importar, exportar o tratar sustancias radiactivas en la forma y condiciones que se establecen en esta Ley y sus disposiciones reglamentarias.
Radiación ionizante	Propagación de energía de naturaleza corpuscular o electromagnética, que en la interacción con la materia produce ionización, directa o indirectamente.
Radioisótopos	Los isótopos de los elementos naturales o artificiales que emiten radiaciones ionizantes.
Rendimiento	Medida de la exposición por unidad de tiempo, o de la dosis absorbida por unidad de tiempo, en un punto determinado del haz de radiación producido por un aparato generador de radiaciones ionizantes.
Sustancia radiactiva	Cualquier sustancia que tenga una actividad específica mayor de dos milésimas de microcurio por gramo o su equivalente en otras unidades de medida.

RESUMEN

En Guatemala, el uso de las radiaciones ionizantes es bastante generalizado, ya que existen aplicaciones en medicina (con fines de radiodiagnóstico y radioterapia). De igual manera se realiza la importación, exportación y comercialización de fuentes y equipos generadores de radiaciones ionizantes.

Por tal motivo es necesario controlar eficientemente dichas prácticas, mediante un reglamento de protección radiológica, para que las exposiciones a trabajadores y personas del público no involucren riesgos significativos a la salud humana y cumplan con los principios básicos de la protección radiológica.

Los riesgos potenciales para la salud se deben esencialmente a la interacción de la radiación ionizante (fuera de control) con la materia biológica causando efectos determinísticos.

El reglamento propuesto contribuye a mejorar la seguridad radiológica durante el desarrollo de las prácticas que involucran exposición a las radiaciones ionizantes en el territorio nacional.

La Ley para el control, uso y aplicación de radioisótopos y radiaciones ionizantes (Decreto Ley No. 11-86), es la Dirección General de Energía, el ente encargado de velar por el correcto y normal funcionamiento de todas las actividades relacionadas al control, uso y aplicación de radioisótopos y radiaciones ionizantes en condiciones normales y en casos de emergencia nacional, dentro del territorio nacional.

La protección radiológica es una disciplina científico-técnica que tiene como finalidad la protección de las personas y del medio ambiente frente a los riesgos derivados de la utilización de las radiaciones naturales, ya sean procedentes de fuentes radiactivas o bien de generadores de radiaciones ionizantes.

Por lo que se impone la regulación y el control de las sustancias radiactivas naturales y artificiales y la implantación de las primeras normas legales de protección radiológica.

Por lo que se propone un hormigón de alta densidad con propiedades diferentes a los concretos tradicionales, que su función es brindar protección en salas médicas donde se proyectan radiaciones ionizantes, que funciona con base en un mineral que proviene del bario llamada barita, al formarse un concreto barítico es fundamental el espesor de fundición de los muros para eliminar la contaminación radiológica en el área de aplicación.

OBJETIVOS

General

Proporcionar información sobre un hormigón que cuenta con propiedades y características distintas a los tradicionales para proporcionar blindaje en muros para salas médicas de aplicación radiológica.

Específicos

1. Dar a conocer definiciones necesarias para comprender la necesidad de la aplicación del concreto barítico para blindajes en muros de protección.
2. Evidenciar las características del mineral barita como un material para considerarse como agregado para un concreto.
3. Dar a conocer el nivel de riesgos en salas radiológicas y sus consecuencias.
4. Evidenciar por medio de mediciones con dosímetro el nivel de protección que generan los muros construidos con barita.

INTRODUCCIÓN

En el trabajo de graduación se recomiendan los requisitos técnicos generales aplicables a las fases de diseño, construcción, pruebas de aceptación y funcionamiento de las instalaciones médicas de rayos X para diagnóstico, encaminados a que en cada una de las citadas fases se incorporen los criterios de seguridad nuclear, garantía de calidad y protección radiológica, necesarios para obtener una optimización de todas ellas.

En las instalaciones médicas de rayos X para radiodiagnóstico, se utilizan las radiaciones ionizantes para obtener beneficios para la sociedad con el mínimo detrimento radiológico para las personas. Para reducir este detrimento a valores aceptables, los criterios y las medidas de seguridad nuclear y de protección radiológica han de aplicarse en las siguientes fases como, en el diseño, fabricación y correcto funcionamiento de los equipos de rayos X, en las instalaciones, diseñándose correctamente las salas, su distribución, colocación de los equipos, zonas a proteger, blindajes y en las pruebas de aceptación y establecimiento de programas de garantía de calidad, orientados a reducir las exposiciones y optimizar cada uno de los aspectos de la práctica radiológica de manera imprescindible de la calidad necesaria, con las dosis tan baja como se practicable.

El diseño y construcción de una instalación de rayos X con fines de diagnóstico médico, han de ir orientadas a proteger a las personas, de modo que la dosis equivalente de radiación que reciba el personal profesionalmente expuesto, los pacientes y los miembros del público sean tan pequeña lo razonablemente posible.

El hormigón de alta densidad se define convencionalmente como aquellos hormigones con densidad superior a 3 000 Kg./m³. En su confección se emplean minerales pesados, alcanzándose densidades entre 4 000 y 4 800 Kg./m³.

La resistencia de estos hormigones es algo superior a la de los hormigones tradicionales de igual razón agua/cemento, no es un material nuevo, se ha empleado durante muchos años como contrapeso en puentes levadizos y de más aplicaciones en la industria de la construcción.

El hormigón pesado se ha utilizado generalmente para blindar estructuras y proteger a frente a la radiación en centros nucleares, salas de radiología de hospitales, aceleradores de partículas, etc.

Su principal uso ha sido de escudo protector contra las radiaciones, la capacitación de estas radiaciones depende del tipo de emisión que se trate, pudiendo indicarse que en las ondas de corta longitud (rayos X, rayos gama), se necesita la interposición de un elemento de la mayor densidad posible, para lo cual los hormigones pesados de cualquier tipo proveen una solución económica al permitir el espesor de la pantalla de protección.

1. LA BARITA Y SUS ORIGENES

1.1. Bario (Barium)

El bario es un mineral no metálico, inerte, no tóxico, blando, dúctil, maleable y altamente reactivo y no se encuentra en estado puro porque reacciona rápidamente con otros elementos de la naturaleza, es tan activo químicamente que reacciona con la mayoría de los no metales. Los trozos recién cortados tienen una apariencia gris-blanca lustrosa, pero el color va de transparente al blanco, pasando por rosa pálido, plateado, azul, amarillo y rojo amarillento, dependiendo de las impurezas que contenga.

1.2. Ficha técnica

- Nombre de la roca, piedra o mineral barita
Del griego *barys*, que significa pesado, en alusión a su elevado peso específico.
- Tipo básico
Minerales
- Grupo
Sulfuros
- Sistema cristalino / estructura
Rómbico u ortorrómbico

- **Composición química**
Conocida como óxido de bario, combinado con el ácido sulfúrico se encuentra en la naturaleza formando la baritina BaSO_4 sulfato de bario, llamado también espato pesado.
- **Formación u origen**
Frecuentemente su origen es hidrotermal, de temperatura media o baja, acompañando como ganga a diversos sulfuros, puede formarse en ambientes sedimentarios en acumulaciones de poca importancia, es un mineral ampliamente difundido.
- **Dureza**
3 - 3,5
- **Textura**
Tabular, prismático, fibroso, granular, lamelar, estalactítico
- **Densidad**
Es muy relativa entre 4,3 – 4,6
- **Color**
Incolora, blanca, amarilla, rojiza, marrón, azul, dependiendo de las impurezas que contenga.
- **Brillo**
Vítreo o nacarado

1.3. Propiedades

El bario es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es Ba y su número atómico es 56, metal alcalinotérreo; el bario es el 18º elemento más común, ocupando una parte de 2% de la corteza terrestre, su masa atómica es 137,34, su punto de fusión está a 725 °C, su punto de ebullición a 1,640 °C, y su densidad relativa es 3,5.

Es un elemento blando, plateado y altamente reactivo en donde se encuentra en un 0,04%; el elemento reacciona intensamente con el agua y se corroe rápidamente en aire húmedo de hecho es tan reactivo que sólo existe en la naturaleza como compuesto, los compuestos de bario se obtienen de la minería y por conversión de dos minerales de bario.

El bario es un mineral no metálico, inerte, no tóxico, blando, dúctil, maleable y altamente reactivo, y no se encuentra en estado puro porque reacciona rápidamente con otros elementos de la naturaleza, es tan activo químicamente que reacciona con la mayoría de los no metales. Los trozos recién cortados tienen una apariencia gris-blanca lustrosa; pero el color va de transparente al blanco, pasando por rosa pálido, plateado, azul, amarillo y rojo amarillento, dependiendo de las impurezas que contenga.

1.4. La barita

La baritina o barita, del griego *barys pesado*, palabra que también dio origen al bario, químicamente es el sulfato de bario, es un mineral muy común aparece frecuentemente junto con la calcita y el cuarzo, los cristales son generalmente tabulares paralelos a la base, si los tabulares son divergentes forman lo que se llama *rosas de barita*.

La barita es un sulfato de bario natural usado para incrementar la densidad de los fluidos de perforación, usualmente estandarizado a una densidad de 4,2 gr/cm³.

Se encuentra en la naturaleza como masas cristalinas de color blanco, verdosas, grisáceas o rojizas. La celestita (SrSO₄) tiene la misma estructura de cristales que la barita y sus formas; los dos cristales son indistinguibles por métodos ordinarios, pero una prueba a la flama puede distinguirlos: al exponer el polvo de los cristales al fuego, el color de la llama confirmará la identidad del cristal, si ésta es verde pálido es baritina, si es roja es celestita.

Los polvos de barita natural son químicamente inertes, de fácil dispersabilidad, baja abrasión y excelente resistencia contra el calor y la corrosión, tienen baja absorción de aceite, actúan como agente texturizante en pinturas sin el riesgo de dañar su esplendor.

1.5. Principales usos

Principalmente se utiliza en la industria del petróleo ya que al ser mezclada la barita no produce chispas, esto permite que en las perforaciones petroleras no haya riesgos de explosión por las fricciones o por bolsas de gas.

Además se utiliza en las siguientes ramas:

- **Química**

Los usos del carbonato de bario, se clasifican como sigue,

- Materia prima para la producción de otros compuestos de bario.

- Medio de purificación para la eliminación de todos los sulfatos de soluciones acuosas.
- Fundente en los trabajos cerámicos.
- Ingrediente en la fabricación de vidrios ópticos y cristalería fina.

- Medicina
Como medio opaco se emplea en el examen tracto-gastrointestinal con rayos X, para la reflexión de los intestinos y del estómago. Como relleno para yeso (ortopédico) y en algunos medicamentos para extender el tiempo límite(caducidad).

- Construcción
Para la elaboración de hormigón pesado.

- Industria del papel
Se utiliza como relleno de la cartulina blanca y el papel de recubrimiento, mejora la blancura y el porcentaje de cobertura.

- Pinturas
Finalmente molida, blanqueada y tratada como relleno se utiliza en pinturas para dar cuerpo al pigmento, controla la viscosidad de la pintura para hacer productos de color brillante y lograr buena estabilidad.

- Vidrio
Parcialmente triturada, se consume en los hornos para reducir el punto de fusión del vidrio.

1.6. Reacción de bario en el medio ambiente

El bario entra al aire cuando se minan, refinan y manufacturan compuestos de bario y cuando se quema carbón o petróleo, el tiempo que el bario permanecerá en el aire, el suelo, el agua o los sedimentos dependerá de la forma de bario que se ha liberado; los compuestos de bario, por ejemplo el sulfato o carbonato de bario que no se disuelven muy bien en agua, pueden permanecer en el ambiente mucho tiempo.

Los compuestos de bario, por ejemplo el cloruro, nitrato o hidróxido de bario, que se disuelven fácilmente en agua, no permanecen mucho tiempo en el ambiente en estas formas.

1.7. Efectos del bario sobre la salud

Los efectos sobre la salud de los diferentes compuestos de bario dependen de la solubilidad del compuesto en agua o en el contenido estomacal, los compuestos de bario que no se disuelven muy bien, por ejemplo:

- El sulfato de bario; generalmente no es perjudicial.

La ingestión durante un período breve de cantidades de bario más altas que las que ocurren normalmente en los alimentos y el agua puede producir vómitos, calambres estomacales, diarrea, dificultad para respirar, aumento o disminución de la presión sanguínea, adormecimiento de la cara y debilidad muscular.

Además, puede alterar el ritmo cardíaco y producir parálisis y posiblemente la muerte.

1.8. Características principales

El bario es un elemento metálico que es químicamente similar al calcio, pero más reactivo.

Este metal se oxida con mucha facilidad cuando es expuesto al aire y es altamente reactivo con el agua o el alcohol, que produce gas hidrógeno, se quema con el aire o el oxígeno, no sólo produce el óxido de bario, sino también el peróxido.

1.8.1. Características físicas

Cristales comúnmente tabulares, también en forma globular, fibrosa o laminar, penachuda; burdamente laminada, parecida al mármol blanco y terroso, colores algunas veces en bandas como en la estalagmita.

Tiene un crucero perfecto, fractura irregular, quebradiza; lustre vítreo, tirando a resinoso, algunas veces perlina. Su raya es blanca, su color es muy variado: blanco, blanco amarillento, gris, azul, rojo o café, café oscuro; transparente a translúcido a opaco.

La barita es el más común de los minerales que contienen bario; ocurre a veces en grandes cantidades como vetas o capas; también como mineral de ganga en varias vetas minerales en cristales y grupos de cristales.

Generalmente está asociada con minerales de plomo, cobre, fierro, zinc, plata, níquel, cobalto, manganeso, etc.

1.8.2. Características químicas

Los compuestos de bario muestran estrechas relaciones con los compuestos de los otros metales alcalinotérreos, calcio y estroncio, a medida que aumenta el peso atómico desde el calcio al bario, aumenta el peso específico del metal y las solubilidades de los hidróxidos, mientras disminuye en los haluros, nitratos y sulfatos.

Las solubilidades de las sales de bario son típicas del grupo alcalinotérreo: son bastante solubles en acetato, cloruro, bromuro, yoduro y nitrato; insolubles en carbonato, cromato, fluoruro, oxalato, fosfato y sulfato.

Todas las sales se hacen más solubles en mayor o menor grado a medida que disminuye el PH exceptuando al sulfato de bario, se disuelven parcialmente en ácido carbónico y por completo en ácido clorhídrico o nítrico, el sulfato es sumamente insoluble y sirve para la determinación del ión bario, la diferencia en solubilidad entre el sulfato y carbonato es la base para el considerable uso que tiene este último en la industria cerámica.

1.8.3. Propiedades principales

Las propiedades se dividen en químicas y físicas, para el estudio del mineral barita, las cuales son:

1.8.3.1. Propiedades químicas

Reacciona con el cobre y se oxida rápidamente en agua, el elemento es tan reactivo que no existe en estado libre en la naturaleza, siempre se encuentra formando compuestos con hidrúricos, aunque también, se presenta

en forma de férricos o azufres no solubles en agua, algunos de sus compuestos se consideran diamantes.

1.8.3.2. Propiedades físicas

- Punto de Ebullición: 1140 °C punto de fusión: 850 °C
- Densidad: 3,5 g/ml
- Color: plateado plor
- Inodoro aspecto: sólido, frágil y blando

La barita es un sulfato de bario natural usado para incrementar la densidad de los fluidos de perforación, usualmente estandarizado a una densidad de 4,2 gr/cm³.

Se encuentra en la naturaleza como masas cristalinas de color blanco, verdosas, grisáceas o rojizas, los polvos de barita natural son químicamente inertes, de fácil dispersabilidad, baja abrasión y excelente resistencia contra el calor y la corrosión.

A continuación se presentanalgunos ejemplares de material barita.

Figura 1. **Barita recubierta de óxidos**



Fuente: <http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/sulfatos/barita.html/2010>. Consulta: 12 de enero de 2013.

Figura 2. **Crecimiento de barita**



Fuente:<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/sulfatos/barita.htm/2010>. Consulta:12 de enero de 2013.

1.9. Formación geológica

En general se puede considerar que las baritas suelen dar cristales tabulares y la celestina prismáticos y por tanto de mayor belleza.

Las baritas suelen aparecer asociadas a sulfuros y óxidos de hierro y manganeso en yacimientos hidrotermales, mientras que las celestinas aparecen con mayor frecuencia, asociadas a rocas sedimentarias.

Frecuentemente su origen es hidrotermal, de temperatura media o baja, acompañando como ganga a diversos sulfuros, puede formarse en ambientes sedimentarios en acumulaciones de poca importancia.

La formación geológica se clasifica así:

1.9.1. Geología regional

Los yacimientos minerales de barita localizados dentro de los lotes mineros, son cuerpos estratiformes cuyo origen seguramente es exhalativo sedimentarios, suponiendo que el sulfato de bario se depositó a lo largo de las fracturas y fisuras en el fondo del océano de la era geológica paleozoica, para ser después distribuido horizontalmente por corrientes marinas profundas.

La presencia de fósiles en el mineral barita sugiere reemplazamiento de carbonato por sulfato de bario.

1.9.2. Geología local

La barita se presenta en los cuerpos estratiformes con una textura micro cristalino de color gris claro a gris oscuro, en forma de nódulos y rosetas con textura cristalina radial color negro, existente también, módulos con textura micro cristalino en estructuras concéntricas.

De acuerdo a sus propiedades físicas y calidad se establecieron cuatro categorías de mineral, basado en el control de calidad de operación – planta.

Tabla I. **Control de calidad**

Barita masiva de alta densidad	> (4,23 gr./cc.)
Barita masiva de media densidad	(4,00 a 4,22 gr./cc.)
Barita de baja densidad	(3,99 a 3,32gr./cc.)
Barita marginal	(3,32 a 3,19 gr./cc.)

Fuente: elaboración propia.

1.9.3. Geología estructural

La formación sedimentaria se encuentra intensamente plegada y dislocada, alcanzándose a observar en la parte norte de la zona, una tendencia a un arreglo estratégico con rumbos, los lugares se caracterizan por sus estructuras geológicas que han dado lugar a la formación de valles y sierras, cuyas orientaciones predominantes son noreste-sureste y este-oeste.

Existe un gran número de fallas normales e inversas, así como de pliegues anticlinales y sinclinales que siguen la orientación de las sierras, las

estructuras ígneas se encuentran diseminadas en las partes principales de las ciudades y están constituidas por cuerpos intrusivos y derrames de lava.

2. FUENTES DE RADIACIÓN IONIZANTE

La radiactividad consiste en la transformación espontánea de los núcleos, esto implica la redistribución de los componentes del núcleo tendiendo a buscar una estructura más estable.

Esto es posible mediante la emisión de partículas o radiación electromagnética (fotones gamma) buscando así su estado de mínima energía, los nucleídos que se transforman espontáneamente son conocidos como radio nucleídos o radionúclidos, las cuales pueden ser naturales o artificiales.

Son aquellas radiaciones con energía suficiente para ionizar la materia, extrayendo los electrones de sus estados ligados al átomo.

Existen otros procesos de emisión de energía, por ejemplo:

- Una lámpara.
- Un calentador (llamado radiador precisamente por radiar calor o radiación infrarroja).
- O la emisión de radio ondas en radiodifusión que reciben el nombre genérico de radiaciones.

Las radiaciones ionizantes pueden provenir de sustancias radiactivas, que emiten dichas radiaciones de forma espontánea, o de generadores artificiales, tales como:

- Los generadores de rayos X.
- Los aceleradores de partículas.

- Las procedentes de fuentes de radiaciones ionizantes que se encuentran en la corteza terráquea de forma natural, pueden clasificarse como compuesta por partículas alfa, beta, rayos gamma o rayos X.

También, se pueden producir fotones ionizantes cuando una partícula cargada que posee una energía cinética dada, es acelerada (ya sea de forma positiva o negativa), produciendo radiación de frenado, también llamada *bremsstrahlung*, o de radiación sincrotrón por ejemplo (hacer incidir electrones acelerados por una diferencia de potencial sobre un medio denso como tungsteno, plomo o hierro es el mecanismo habitual para producir rayos X).

Otras radiaciones ionizantes naturales pueden ser los neutrones o los muones, como los sentidos del ser humano no pueden sentir la radiación, existe una serie de instrumentos que pueden medir su potencia, la radiación ionizante se mide en dosis de radiación que el cuerpo humano recibe. Estas dosis de radiación se miden actualmente en milisievert (mSv) o antiguamente en rem, con una equivalencia de $1 \text{ rem} = 10 \text{ mSv}$.

Las radiaciones ionizantes interaccionan con la materia viva, produciendo diversos efectos, los cuales se dividen en:

2.1. Fuentes naturales

Están dadas esencialmente, por los rayos cósmicos y por los elementos radiactivos naturales presentes en la naturaleza, en el aire, suelo y alimentos.

Estas fuentes originan el fondo natural de exposición de la población a las radiaciones ionizantes.

La mayor parte de la radiación recibida por la población del mundo proviene de las fuentes naturales, la exposición a la mayoría de ellas es ineludible, en toda la historia de la tierra, la radiación ha caído sobre la superficie desde el espacio exterior y surge de los materiales radiactivos en su corteza.

El hombre es irradiado de dos maneras:

- Las sustancias radiactivas pueden permanecer fuera del cuerpo e irradiarlo desde el exterior o externamente.
- Ellos pueden ser inhalados con el aire o ingeridos con los alimentos o el agua y así irradiar al individuo desde adentro o internamente.

Algunas dosis pueden ser consecuencia del estilo de vida de los individuos como: el uso de materiales de construcción especiales para las casas, cocinas a gas, aislamiento para las casas e inclusive viajes aéreos pueden incrementar la exposición del hombre a la radiación natural.

La radiación por su naturaleza misma es nociva para la vida; a bajas dosis ellas pueden dar comienzo a una cadena de eventos particulares conocidos, producen cáncer o daño genético, a altas dosis ella puede matar las células, dañar los órganos y causar muerte rápida.

2.2. Fuentes artificiales

Son las fuentes generadoras producidas por el hombre, que se han ido incorporando en casi todas las actividades del quehacer humano. Ejemplos:

- Equipos de Rx diagnóstico (médico, dental, veterinario, industrial).

- Equipos de radioterapia, reactores nucleares de potencia y de investigación, medidores nucleares industriales (densímetros nucleares), etc.

La necesidad de establecer normas de protección contra los efectos biológicos perjudiciales por las radiaciones ionizantes, se les hizo patente a los pocos meses de descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895 y el comienzo con trabajos con elementos radioactivos, como consecuencia de trabajos con radiaciones algunos operadores en este campo, comenzaron a manifestar efectos nocivos en su salud.

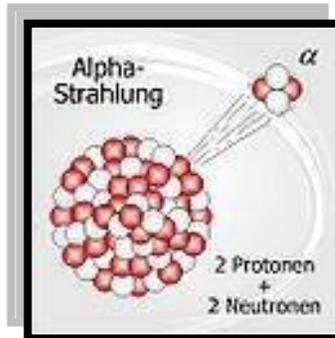
Muchas tienen aplicación en otros campos de la ciencia, por lo que la forma y precisión con se establecen las definiciones reflejan esta variedad de aplicaciones, esto implica que para comprender los mecanismos a través de los cuales, se producen los múltiples efectos que la radiación ionizante puede inducir en los organismos vivos y su relación con las magnitudes básicas utilizadas en protección radiológica, por ejemplo:

- Los seres humanos han estado expuestos a la radiación proveniente de fuentes naturales desde la creación, estas fuentes incluyen el suelo en el que se vive, el aire que se respira, los alimentos que se ingieren, además de radiación que llega desde el espacio exterior.
- También se tienen elementos radiactivos naturales que forman parte del propio cuerpo humano.

2.3. Radiaciones ionizantes

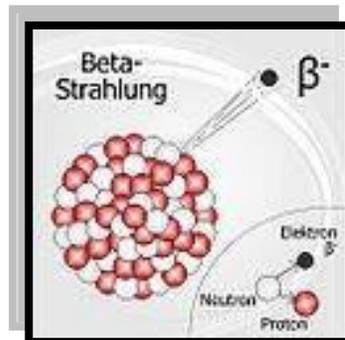
A continuación se observan partículas alfa, beta.

Figura 3. **Partícula alfa**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_nuclear/2010. Consulta: 15 de enero de 2013.

Figura 4. **Partículas beta**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_nuclear/2010. Consulta: 15 de enero de 2013.

2.4. Radiaciones electromagnéticas ionizantes

- Rayos X
- Rayos gamma

Cada una de ellas tienen sus características particulares e interactúan con la materia de diferentes maneras; no se van a detallar por encontrarse fuera de los objetivos, basta decir, que todo este grupo de radiaciones tiene como

denominador común, que cuando interactúan con los átomos de cualquier materia pueden producir en estos, el fenómeno de excitación y/o ionización; de manera general, las radiaciones corpusculares y tienen muy poco alcance o nivel de penetración, pero poseen un gran poder de ionización; lo contrario sucede con los rayos X, que tienen menos poder de ionización pero tienen un gran alcance y nivel de penetración.

Los neutrones tienen a su vez, un gran alcance y también un gran nivel de ionización. De los tipos de radiaciones ionizantes señalados, los Rx se pueden generar por un mecanismo eléctrico como es el caso del tubo generador de Rx pero el resto, solamente se pueden generar por un mecanismo radiactivo o nuclear, es decir, solo pueden obtenerse a través de fuentes radiactivas y/o por reacciones nucleares.

2.5. Ley de Transformación Radiactiva

Si se tiene una cantidad dada de masa de una sustancia radiactiva puede comprobarse que:

- La intensidad de emisión de radiación y por lo tanto de transformación nuclear es proporcional a la masa.
- La intensidad decrece con el transcurso del tiempo, puede ser lenta o rápidamente, esto depende del radio nucleído observado, cada uno tiene su propio ritmo de desintegración.

2.5.1. Periodo de desintegración

Como base en la expresión hallada para la actividad de una sustancia radiactiva en función del tiempo, se identifica que dicha actividad decrece de forma exponencial con el transcurso del tiempo.

De acuerdo con esta ley y como resultado del análisis experimental, se encontró que el tiempo necesario para la actividad decrezca una fracción dada es constante y particular cada radio nucleído.

2.5.2. Magnitudes de aplicación en protección radiológica

Tienen en cuenta el tipo y energía de la radiación incidente sobre el cuerpo humano y la radio sensibilidad de los diferentes órganos y tejidos.

2.5.2.1. Dosis equivalente (HT)

Lo que realmente interesa en protección radiológica es la dosis absorbida en todo el tejido u órgano (y no en un punto determinado) ponderada con respecto a la calidad de la radiación, el factor de ponderación utilizado para este fin se conoce ahora como factor de ponderación de la radiación WR y se selecciona en función del tipo de energía de la radiación incidente sobre el cuerpo, esta dosis absorbida ponderada se denomina dosis equivalente en un tejido u órgano.

2.5.2.2. Factores de ponderación de los tejidos (WT)

La relación entre la probabilidad de aparición de los efectos estocásticos y la dosis equivalente, también, depende del órgano o tejido irradiado; por lo tanto resulta apropiado definir otra magnitud derivada de la dosis equivalente en diferentes órganos o tejidos, de forma tal que se pueda correlacionar con el efecto estocástico total.

El factor para ponderar la dosis equivalente en un tejido u órgano se llama factor de ponderación del tejido y representa la contribución relativa de ese órgano y/o tejido del detrimento total resultante de la irradiación uniforme en todo el cuerpo.

2.5.2.3. Dosis efectiva (E)

Se define como la suma de la dosis equivalente en tejido multiplicado cada una por el factor de ponderación correspondiente, a continuación se le presenta una tabla con valores de ponderación de tejido.

Tabla II. Factores de ponderación de los tejidos

Tejido u órgano	Factor de Ponderación del Tejido Wt
Gónadas	0,20
Medula ósea	0,12
Colon	0,12
Pulmón	0,12
Estomago	0,12
Vejiga	0,05
Mama	0,05
Hígado	0,05
Esófago	0,05
Tiroides	0,05
Piel	0,01
Superficie ósea	0,01
Resto	0,05

Fuente: elaboración propia.

La Protección laboral a la radiación en los seres humanos, debe tomarse en cuenta para los cuidados necesarios y prevención de la contaminación, para ello se tienen las siguientes recomendaciones:

- Varones <18
- Mujeres < 21, a casadas en edad de procrear

- Solteras 3 meses antes de contraer matrimonio

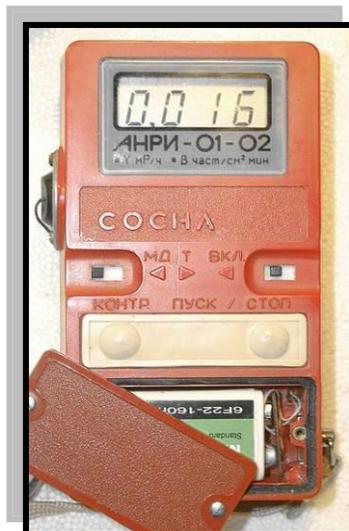
No realizar trabajos expuestos a radiaciones en dosis superiores a 1,5 Rems al año, serán sometidos a exámenes médicos en intervalos no mayores a seis (6) meses, examen clínico general y a los exámenes complementarios.

Toda persona llevará consigo un dispositivo, dosímetro de bolsillo, o de película, que permita medir las dosis acumulativas de exposición, la determinación de la dosis de exposición, deberá ser efectuada como mínimo mensualmente. La protección laboral debe contar con lo siguiente:

- Pantallas protectoras
- Barreras
- Muros o blindajes especiales

Para evitar que las emanaciones radiactivas contaminen a los trabajadores u otras personas, se debe utilizar el siguiente instrumento:

Figura 5. **Dosímetro**



Fuente: http://Energ/ADa_nuclear.htm/2010. Consulta: 10 de febrero de 2013.

La dosis máxima admisible o dosis total acumulada de irradiación por los trabajadores expuestos, no excederán del valor máximo admisible calculado, $D=5$ (N-18). Si la dosis acumulada no excede del valor máximo admisible, un trabajador podrá recibir en un trimestre una dosis que no exceda de 3 Rems.

Esta dosis puede recibirse solamente una vez al año; los expuestos 0,3 Rems X semana y que acumule una dosis a la permitida, no deberán quedar expuestos a dosis superiores a 5 Rems anuales.

Se hacen las siguientes recomendaciones:

- Instalar pantallas o escudos para la detención de las radiaciones
- Limitarse el tiempo de exposición total
- Brindar confianza en las medidas de seguridad radiológica

También se debe utilizar:

- Guantes con mangas fabricados de caucho plomizo, delantales de caucho plomizo, anteojos especiales, gorros de caucho plomizo, etc.

De acuerdo con las normas Pruebas de fuga, se debe contar con licencia para el análisis de muestras obtenidas en las pruebas de fuga de material radiactivo.

Esta actividad se lleva a cabo mediante equipo específico para dar cumplimiento según la normativa, “protección contra las radiaciones internas, dispositivos protectores e instrumental de manipulación”.

El polvo no debe ponerse en suspensión, el aire extraído debe ser filtrado, o lavado, usar campanas para evitar la contaminación aérea, la ropaprotectoradebe lavarse, usar respiradores en trabajos de emergencia y en áreas con concentración de partículas que sobrepase el máximo permisible.

2.6. Contaminación radiológica por equipo médico hospitalario

Para evitar la contaminación en áreas con criticidad alta, se consideran reglas de protección como: distancia, tiempo y blindaje.

2.6.1. Protección radiológica

La protección radiológica es la disciplina que estudia los efectos de las dosis producidas por las radiaciones ionizantes y los procedimientos para proteger a los seres vivos de sus efectos nocivos, siendo su objetivo principal los seres humanos.

2.7. Las reglas de la protección radiológica

Las tres reglas fundamentales de protección contra toda fuente de radiación son:

- Distancia
Alejarse de la fuente de radiación, puesto que su intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia.
- Blindaje

Poner pantallas protectoras (blindaje biológico) entre la fuente radiactiva y las personas. Por ejemplo, en las industrias nucleares, pantallas múltiples protegen a los trabajadores, las pantallas utilizadas habitualmente son muros de hormigón, láminas de plomo o acero y cristales especiales enriquecidos con plomo.

- Tiempo
Estas medidas de protección radiológica se pueden comparar a las que se toman contra los rayos ultravioletas, como la utilización de una crema solar que actúa como una pantalla protectora y limitación de la exposición al Sol.

Para las fuentes radiactivas que emitan radiaciones, se deben añadir otras dos recomendaciones adicionales:

- Esperar, cuando sea posible, el descenso de la actividad radiactiva de los elementos por su decaimiento natural.
- Ventilar, si existen gases radiactivos.

Por ejemplo, las instalaciones nucleares no se desmantelan inmediatamente después de su detención, para esperar una disminución de la actividad radiológica de las zonas afectadas. En las minas subterráneas de uranio, una ventilación muy eficaz permite mantener una débil concentración de radón en el aire que respiran los mineros.

Los trabajadores que puedan alcanzar niveles de dosis cercanos a los límites legales, debido a las radiaciones ionizantes en su trabajo (industrias nucleares, médicos, radiólogos) suelen llevar dosímetros que miden la cantidad de radiación a la cual han estado sometidos.

Estos dispositivos permiten asegurarse de que la persona ha recibido una dosis inferior a la dictada legalmente o en caso de accidente radiológico, conocer el alcance de la dosis recibida.

2.8. Las normas internacionales de protección radiológica

La toma de conciencia del peligro potencial que tiene la exposición excesiva a las radiaciones ionizantes, llevó a las autoridades a fijar las normas reglamentarias para los límites de dosis.

Un límite de dosis efectiva de 1 mSv/año para la población general y de 100 mSv de promedio en 5 años, para las personas dedicadas a trabajos que implican una exposición radiactiva (industria nuclear, radiología médica), con un máximo de 50 mSv en un único año.

Un límite de dosis equivalente (órgano) de 150 mSv para el cristalino (ojo) y 500 mSv para la piel y las manos, estos límites corresponden a un riesgo suplementario aceptable respecto al riesgo natural.

Debido a ello se crearon leyes y reglamentos para el control de radiaciones ionizantes, se mencionan algunas:

- Ley para el control, uso y aplicación de radiaciones ionizantes
- Reglamento de seguridad y protección radiológica
- Reglamento de gestión de desechos y radiactivos

- Reglamento de transporte seguro de material radiactivo

3. EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN

El comienzo de la década del 50 se vio ampliamente implicado a nivel mundial, en desarrollos científicos, en el tema de los efectos de la radiación ionizante sobre el hombre.

Los efectos de tal dispersión radioactiva son ampliamente desconocidos y la especulación abunda sobre las consecuencias en la salud de exposiciones a la radiación tan difundida, los informes de la UNSECAR, acumulan evidencias sobre las fuentes y efectos de la radiación

Se consideran un amplio rango de fuentes naturales y artificiales y sus conclusiones son a menudo sorprendentes, se mencionamos algunas de ellas:

- La radiación causa daños severos al tejido humano sometido a altas dosis.
- A bajos niveles de dosis la radiación puede causar cánceres e inducir a efectos genéticos pueden afectar a los hijos, nietos y otras descendientes de los individuos irradiados.

Sin embargo, es importante entender que las fuentes más relevantes de radiación al público en general, no son aquellas que más atraen la atención de la comunidad internacional, sino que las fuentes naturales contribuyen en forma importante a la exposición del ser humano.

La energía nuclear contribuye solamente en una pequeña proporción a la radiación emitida por las actividades humanas; como el uso de los rayos X en

medicina, la quema de carbón, viajes aéreos y particularmente la vivienda con buen aislamiento puede incrementar sustancialmente la exposición a la radiación natural.

Es la energía de la radiación la que produce el daño y la cantidad depositada en el tejido viviente se llama dosis, la dosis puede provenir de cualquier radionúclido o grupo de radionúclidos, tanto si ellos están fuera del cuerpo o desde adentro, después de que hayan sido inhalados o ingeridos con comida o agua.

La dosis se expresa de diferente forma, dependiendo de la cantidad y partes del cuerpo irradiadas cuando el individuo es expuesto y el periodo durante el cual la exposición tuvo lugar, la cantidad de la energía de la radiación que es absorbida por gramo de tejido es llamada “dosis absorbida” y se da en Grays (Gy).

La clasificación global de los efectos de la radiación sobre el ser humano y los efectos de la radiación sobre el ser humano se clasifica en:

3.1. Somáticos

Pueden aparecer en la misma persona irradiada, dependen de:

- El tiempo de aparición de los síntomas después de la exposición:
 - Tempranos (si los síntomas aparecen una hora o unos días después) y
 - Tardíos (si ello ocurre meses o años después) y de la distribución de la dosis en el órgano comprometido.

Los efectos somáticos se pueden clasificar así:

- Determinísticos
- Estocásticos
- Genéticos

Se manifiestan solamente en la progenie del individuo irradiado, por compromiso de las células germinales, se estima que de 1 al 6% de todas las alteraciones genéticas pueden deberse a la radiación.

3.2. Fundamentos de la protección radiológica

Los fundamentos de protección garantizan los niveles de protección en las salas radiológicas, lugares donde se generan contaminación, para ello se presentan sistemas de protección:

3.2.1. Sistema de protección radiológica

El objetivo fundamental del sistema de protección radiológica recomendado es el de garantizar un nivel elevado de protección, sin limitar indebidamente la obtención de los beneficios que se derivan del uso de radiaciones ionizantes. Además, el asumir un modelo lineal y sin umbral para los efectos de tipo estocástico, obliga a que las dosis se mantengan tan bajas como sea razonablemente alcanzable, teniendo presente factores económicos y sociales.

Ello comporta un proceso de optimización, de modo que en las prácticas se han de adoptar mejoras hasta que se alcance un punto, donde el coste de estas mejoras no se vea compensado por la disminución del coste asociado al "detrimento radiológico".

Además, a fin de garantizar un adecuado grado de protección individual, también, se impone unos límites individuales de dosis, adicionalmente a estos límites que protegen al individuo, cada día es más usual el uso de las denominadas restricciones de dosis asociado a una práctica.

Resumiendo, el sistema de protección radiológica actualmente recomendado está basado en tres principios fundamentales:

- **Justificación**
Toda exposición a radiación ionizante debe estar justificada, tal como ya se ha adelantado el beneficio que aporte, tiene que ser superior al riesgo de exponerse a ella.
- **Optimización**
Todas las exposiciones a las radiaciones ionizantes deben ser mantenidas tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta los citados factores económicos y sociales.
- **Limitación de dosis**
En todo caso, la dosis de radiación que puede recibir cualquier individuo no debe superar unos valores establecidos como límites legales, lo que garantiza la protección del público en general y del personal profesionalmente expuesto.

La limitación de los efectos derivados de las radiaciones ionizantes se consigue evitando las exposiciones no justificadas y manteniendo tan bajas como sea posible las justificadas; la aplicación de estos principios constituye la base para establecer unas medidas de protección, que deben asegurar un riesgo individual justificado por el beneficio obtenido y suficientemente bajo, y

adicionalmente mantener unos niveles totales de exposición a las radiaciones lo más bajos posibles.

La dosis de radiación recibida por un individuo al permanecer en las proximidades de un emisor o generador de radiaciones ionizantes, depende de tres factores:

- El tiempo de permanencia
- La distancia entre la fuente y el individuo
- La materia interpuesta entre uno y otro

En algunas circunstancias las fuentes de radiación pueden quedar fuera de control, en esos casos, el objetivo de la protección radiológica es reducir la exposición a la radiación, tomando acciones de protección o ejecutando acciones remediales.

Ejemplos de estas situaciones son exposiciones resultantes de la presencia en el ambiente de materiales radiactivos o de la emisión de radio nucleídos como consecuencia de un accidente, aunque después de un accidente el control sobre la fuente primaria se puede lograr de forma razonablemente rápida, todo el material radiactivo que haya sido disperso en el ambiente constituye una fuente incontrolada secundaria que merecerá consideración especial.

La característica común a estas situaciones es que la exposición a la radiación sólo puede ser reducida mediante acciones de protección que, de alguna manera, restringen el comportamiento del público.

Es esencial evitar confusiones, entre los límites de dosis y las restricciones de dosis para la operación normal y los niveles de intervención a utilizarse durante y después de un accidente.

Para el control de las emisiones planificadas de material radiactivo al ambiente, el beneficio producido por la fuente se compara con la exposición a la radiación adicional que la misma produce.

El propósito principal de las recomendaciones es prever un adecuado nivel de protección para el hombre, compatible con el uso de las radiaciones en aquellas prácticas en las que su empleo sea beneficioso.

Las recomendaciones se ocupan solamente de la protección del hombre, entendiendo que el grado de control ambiental necesario para proteger al hombre como individuo en el nivel actual de ambición, asegurará que no se pone en riesgo a otras especies, al menos como poblaciones o especies.

Por esta razón, el ambiente es considerado solamente en relación a las distintas vías mediante las cuales los radio nucleídos pueden afectar al hombre.

3.3. Dosis proyectada y dosis evitada

Esta tasa de dosis caerá rápidamente al principio y luego más lentamente, debido al decaimiento radiactivo y a otros procesos ambientales.

Debido a la naturaleza diferente de los efectos determinísticos y estocásticos, para discutir las contramedidas es necesario considerar dos tipos de dosis:

- La cantidad relevante para expresar el riesgo de efectos determinísticos.
- La dosis total recibida sobre un período de tiempo desde el inicio del accidente hasta el tiempo de interés, considerando todas las vías de irradiación.

Tabla III. Límites anuales de dosis

Exposición total y homogénea	Personas profesionalmente expuestas	
	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Todo el organismo 50 mSv/año (5,0 rem/año) ▣ Estudiantes entre 16 y 18 años 15 mSv/año (1,5 rem/año) 	
Exposición total no homogénea o Exposición parcial del organismo	Personas profesionalmente no expuestas	
	▣ Todo el organismo 5 mSv/año (0,5 rem/año)	
	Personas profesionalmente expuestas	
	▣ Todo el organismo 50 mSv/año (5,0 rem/año)	
	▣ Cristalino 150 mSv/año (15 rem/año)	
	▣ Piel 500 mSv/año (50 rem/año)	
	▣ Extremidades 500 mSv/año (50 rem/año)	
	▣ Otros órganos o tejidos 500 mSv/año (50 rem/año)	
	Personas profesionalmente no expuestas	
	▣ Cristalino 15 mSv/año (1,5 rem/año)	
▣ Piel 50 mSv/año (5,0 rem/año)		
▣ Extremidades 50 mSv/año (5,0 rem/año)		
▣ Otros órganos o tejidos 50 mSv/año (5,0 rem/año)		
	Para un periodo de 12 meses consecutivos, se considera como exposición total y homogénea	
Límites especiales	Mujeres en condición de procrear	13 mSv/trimestre (abdomen)
	Mujeres gestantes	10 mSv/embarazo (feto)
Operaciones especiales planificadas	Sólo trabajadores profesionalmente expuestos de categoría A	
	▣ Dosis/año	< doble de los límites anuales de dosis
	▣ Dosis/vida	< quíntuplo de los límites anuales de dosis

Fuente: Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60/ p. 45.

3.4. Actividades humanas y exposición a la radiación

Algunas actividades humanas planificadas incrementan la exposición total de las radiaciones, sean por la introducción de nuevas fuentes de exposición, por incrementar el número de individuos expuestos o ambas causas, se denominan *prácticas*.

Otras actividades están destinadas a reducir el nivel existente de exposición a la radiación o la probabilidad existente, de sufrir una exposición que no sea parte de una práctica controlada, se denominan *Intervenciones*.

3.4.1. Tipos de exposición a la radiación

- Exposiciones Naturales
- Exposiciones Potenciales

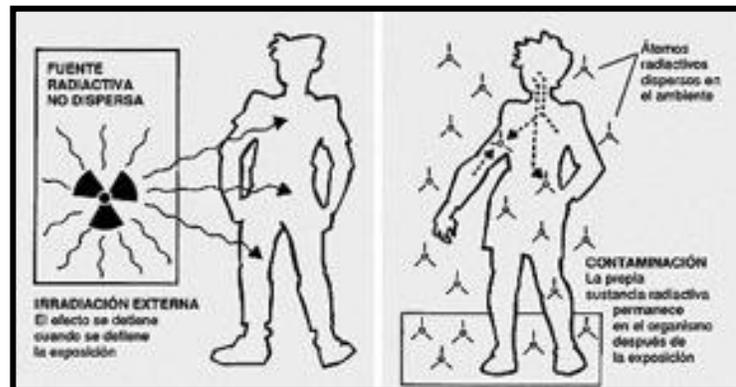
La exposición a la radiación (normal y potencial) de los trabajadores en el ejercicio de sus ocupaciones se denomina exposiciones ocupacionales.

La de los pacientes en las actividades de diagnóstico o de tratamiento *exposiciones médicas*.

Y la de los miembros del público que pueden ser afectados por una práctica o una intervención *exposición del público*.

Se detalla a continuación una exposición externa en área de actividad humana,

Figura 6. **Exposiciones externas**



Fuente: Diccionario del Consejo de Seguridad Nuclear p.26.

3.5. **Objetivos de la radiación radiológica**

Los objetivos de la protección radiológica son los de evitar los efectos determinísticos y reducir la probabilidad de los efectos estocásticos, para alcanzar dichos objetivos se recomienda el uso de un sistema de limitación de dosis compuesto por los siguientes requerimientos.

- Justificación de la práctica
- Optimización de la protección
- Límites de dosis individuales

3.5.1. **Límites**

El modo de acotar y controlar los riesgos derivados de la exposición a radiaciones consiste en establecer:

- Límites de dosis equivalentes
- Límites secundarios
- Límites derivados
- Límites autorizados y
- Niveles de referencia

3.5.2. Niveles de referencia

Pueden ser establecidos por cualquiera de las variables determinadas en la implementación de un programa de protección radiológica.

Un nivel de referencia no es un límite y es usado para determinar el curso de acción, cuando la variable excede o puede predecirse que excederá el nivel de referencia, como:

- Nivel de registro
- Nivel de investigación
- Nivel de intervención

4. LEY PARA EL CONTROL, USO Y APLICACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

Para el uso legal y aplicación de las radiaciones ionizantes según la Dirección General de Energía Nuclear, del Ministerio de Energía y Minas, del Gobierno de la República de Guatemala, se pronuncia así:

- “Que las aplicaciones científicas y tecnológicas de las radiaciones ionizantes permitirán acelerar el desarrollo económico-social del país”.
- “Que el uso y la aplicación de las radiaciones ionizantes conllevan en forma inherente un riesgo potencial para la salud, los bienes y el medio ambiente de los habitantes de la República”.
- “Que los radioisótopos y las radiaciones ionizantes se emplean en nuestro país en los campos de la medicina, industria, agricultura, investigación y otros, sin que exista un ordenamiento legal que regule su empleo”.
- “Que por tales motivos, se hace necesario regular todas las actividades relacionadas con la posesión y uso de los radiaciones, así como la instalación y/u operaciones de equipos generados de radiaciones ionizantes”.

4.1. Artículos aplicados para la protección radiológica dentro del área de la República de Guatemala

- “ARTÍCULO 6. **Ámbito de aplicación.** Esta ley se aplica en todo el territorio nacional de la República, a las personas individuales o jurídicas, nacionales o extranjeras, así como a las instituciones estatales y entidades descentralizadas, autónomas o semiautónomas, que realicen cualesquiera de las actividades siguientes: instalar y/u operar equipos generadores de radiaciones ionizantes, irradiar alimentos u otros productos, producir, usar, manipular, aplicar, transportar, comercializar, importar, exportar o tratar sustancias radiactivas, u otras actividades relacionadas con las mismas”.
- “ARTÍCULO 23. **Equipos.** Los equipos que contengan sustancias radiactivas, deben permanecer en el lugar autorizado para su emplazamiento y no deben ser retirados ni trasladados por ningún motivo, salvo que se cuente con la autorización correspondiente”.
- “ARTÍCULO 25. **Señales.** Toda instalación radiactiva, así como todo envase, recipiente, caja, contenedor o embalaje en que se transporten o almacenen sustancias radiactivas, debe ostentar en lugar visible, las señales preventivas que se determinen en las disposiciones reglamentarias que para el efecto se emitan”.
- “ARTÍCULO 26. **Capacitación.** Toda persona que desempeñe actividades en instalaciones radiactivas, debe recibir una adecuada capacitación sobre las medidas de seguridad a observar en el desarrollo de dichas actividades. Los titulares de las licencias que se otorguen conforme a esta ley y sus disposiciones reglamentarias, son las responsables de la

indicada capacitación, para la cual, la Dirección brindará la colaboración que corresponda”.

- “ARTÍCULO 27. Dosimetría de equipos. El rendimiento de los equipos generadores de radiaciones ionizantes debe ser calibrado periódicamente, mediante un sistema de dosimetría aprobado por la Dirección, salvo en aquellos casos en que las disposiciones reglamentarias determinen que no se requiere dicha calibración”.
- “ARTÍCULO 28. Dosimetría personal. Toda persona que por razón de su trabajo o actividad técnica o profesional esté expuesta a las radiaciones ionizantes, debe utilizar un sistema de dosimetría personal aprobado por la Dirección, salvo en aquellos casos en que las disposiciones reglamentarias determinen que no se requiere utilizar dicho sistema”.
- “ARTÍCULO 29. Elementos de seguridad. Los responsables de las instalaciones radiactivas están obligados a proveer a las mismas de los elementos mínimos de seguridad, que en cada caso se requieran”.

4.2. Transporte de material radiactivo

Para la evaluación de transporte derivado de los manejos de material radiactivo debe cumplirse con medidas de seguridad, se puede optar a la utilización de un picop para transportar fuentes gamma grafía industrial.

Se debe evaluar la condición física del vehículo como el estado de la carrocería, llantas, vidrios, luces completas para luego hacer pruebas de funcionamiento.

Dentro de los aspectos evaluados por la Dirección se encuentran:

- La unidad contenga tres rótulos de radiactividad.
- Los contenedores de las fuentes se ubiquen en la parte trasera del transporte lo más lejos de la cabina del piloto.
- Verificar que las lecturas en la cabina deben ser de fondo natural.
- Poseer la licencia de transporte emitida por la ARN.
- Llevar carta de decaimiento de la fuente.
- Certificado de material radiactivo.
- Que siempre vaya una persona adicional al piloto.
- Plan de emergencia entre otros puntos recomendados, el de realizar lecturas antes de hacer el transporte.

El vehículo debe cumplir con la siguiente señalización.

Figura 7. **Rótulo parte posterior del vehículo**



Fuente: Dirección General de Energía Nuclear, Ministerio de Energía y Minas.

Figura 8. **Piezas contaminadas con rayos gamma**



Fuente: Dirección General de Energía Nuclear, Ministerio de Energía y Minas.

Figura 9. **Vista principal de señalización en vehículo**



Fuente: Dirección General de Energía Nuclear, Ministerio de Energía y Minas.

5. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

5.1. Técnicas básicas de protección

La acción lesiva de las radiaciones ionizantes, ha conducido al establecimiento de criterios y límites para la dosis que podrán recibir las personas que realizan una determinada práctica con materiales radiactivos.

La capacitación del personal ocupacionalmente expuesto, debe conducir a la determinación del riesgo importante que existe en el manejo de fuentes radiactivas y por tanto estas personas deben tener ideas muy claras acerca de los problemas y soluciones que plantea la radio protección, tanto para si mismo, como para el público en general.

El operador de una fuente radiactiva debe ser capaz de calcular la dosis que puede producir la fuente que manipula, así como los métodos para su racional minimización, no solo a los límites legales, sino también, a los niveles operacionales fijados por la empresa.

5.2. Procedimientos operacionales para disminuir los riesgos a la radiación externa

Existen una serie de procedimientos básicos que permiten alcanzar razonablemente los objetivos expuestos, basados en:

- Tiempo
Mínimo de operación
- Distancia
Razonablemente máxima entre el operador y la fuente
- Blindaje
Adecuado entre el operador y la fuente
- Monitoreo
De las aéreas de trabajo

El uso razonable e inteligente de los parámetros distancia, tiempo y blindaje, es fundamental para disminuir la dosis o para mantenerlas lo más bajo posible y adicionalmente, se deben realizar los procedimientos de monitoreo, que aunque no proveen protección, si constituyen un factor de seguridad.

5.3. Manejo de parámetro tiempo

La dosis equivalente (H) que recibe una persona al permanecer un tiempo “t” en un área radiactiva, en la que la tasa de dosis equivalente sea “H”, es igual a:

$$H = H \cdot t$$

La tasa de dosis equivalente que se reciben normalmente en una instalación radiactiva, varían entre 1 y 10 mSv/h. En zonas con niveles altos de radiación, el tiempo de permanencia depende del tipo de área a realizar y la destreza en la ejecución, sin embargo, los tiempos deben evaluarse, de tal forma que la dosis recibida no supere los valores establecidos de acuerdo a la situación que se esté planteando.

En situaciones de emergencia se deben conocer las operaciones y tareas que se deben realizar y en lo posible hacer pruebas en frío (simulacros).

5.4. Manejo del parámetro distancia

La emisión de radiación corpuscular o electromagnética (partículas alfa, beta, gamma, etc.) se efectúa de forma isotrópica, interactuando con todo el material que encuentra a su paso depositando energía y frenándose en el caso de las partículas y disminuyendo la intensidad de la radiación con respecto a la distancia de la fuente.

En el caso de emisores alfa, basta con alejarse unos cuantos centímetros para mantenerse protegidos de la irradiación externa, por ejemplo, el alcance en aire de un partícula alfa con energía de 4 MeV es de 2,5 cm., para energías entre 4 MeV y 8 MeV el alcance está entre 2,5 y 7,5 cm.

En el caso de las partículas beta que tienen alcance mayor que el de las partículas alfa, son de menor riesgo que para el caso de la radiación gamma ya que con el uso de materiales livianos son detenidas fácilmente, el alcance de las partículas beta es función de la energía máxima.

Para evaluar los blindajes se establecieron las ecuaciones correspondientes para el cálculo de la penetración máxima o alcance de estas partículas en diferentes materiales. El alcance en aire de partículas con energía de 2 MeV es de 7,5 metros aproximadamente.

La radiación gamma tiene un poder de penetración notablemente mayor que el de partículas alfa y beta, por lo tanto su recorrido libre medio en el aire es mucho mayor. El campo de radiación que produce una fuente depende de las

características del material radiactivo, en general, para materiales emisores de gamma, la fuente de acuerdo a sus dimensiones y forma geométrica se pueden considerar como lineal, superficial o volumétrica, sin embargo, con el propósito de facilitar los cálculos de los campos de radiación y cuando las dimensiones de la fuente son suficientemente pequeñas, comparadas con la distancia fuente-punto de interés; dichas fuentes se pueden considerar puntuales o isotrópicas.

En este caso, la ecuación que permite evaluar la tasa de exposición que produce inversamente proporcional al cuadrado de la distancia fuente-punto de interés.

$$X' = \Gamma^* A / d^2$$

Donde,

X' = Corresponde a la tasa de exposición, dada en Mr/h; o R/h; o $CKg^{-1}s^{-1}$

Γ = es la constante específica gamma, dada en $(CKg^{-1}s^{-1}Bq^{-1}m^{-1})$; o $(Rh^{-1}Ci^{-1}m^2)$

A = es la actividad de la fuente, dada en Bq o en Ci

d = la distancia fuente-punto de interés, dada en m

Teniendo en cuenta, desde el punto de vista de la protección radiológica, que para la radiación gamma se pretende hacer la equivalencia de unidades de exposición y de dosis equivalente, entonces;

$$\text{Si, } X_1' = \Gamma^* A / (d_1)^2, \text{ y, } X_2' = \Gamma^* A / (d_2)^2$$

$$\text{Entonces: } \Gamma^* A = \text{constante} = X_1' (d_1)^2 = X_2' (d_2)^2$$

$$\text{Como } X' = H', \text{ entonces } H_1' (d_1)^2 = H_2' (d_2)^2$$

Una consecuencia muy importante se manifiesta a través de esta última expresión, a distancias grandes, la dosis disminuyen, siendo un parámetro importante en la radio protección.

5.5. Blindaje entre las personas y fuente de radiación

En algunas situaciones no es posible o suficiente reducir la tasa de dosis, a partir del manejo de los parámetros tiempo y distancia, siendo necesario interponer una barrera física entre la fuente y el operador, la cual debe ser de un material y espesor adecuado, para que la tasa de dosis equivalente se reduzca a un valor que garantice una operación con la mínima dosis del personal ocupacionalmente expuesto.

Este parámetro (blindaje), es el más importante en el diseño de una instalación o al establecer procedimientos de trabajo; se requiere que en su evaluación se analicen cuidadosamente todas las variables, para optimizar el blindaje, con el objetivo de asegurar la protección, de los diferentes grupos críticos y no hacer gastos exagerados con blindajes sobredimensionados.

5.5.1. Blindajes para fuente emisora alfa

En el caso de las fuentes emisoras de partículas alfa no presentan riesgo cuando se trata de fuentes selladas, mientras no pierdan su hermeticidad, debido a que pueden ser detenidas hasta por una hoja de papel o 20 centímetros de aire.

5.5.2. Blindajes para emisora beta

Las fuentes emisoras de partículas beta, si representan algún riesgo, debido a que tienen un poder de penetración mayor que el de las partículas alfa, sin embargo, sigue siendo bajo con respecto a la radiación gamma o de neutrones, el riesgo que se presenta al blindar este tipo de fuente se debe a la presencia de la radiación de frenado o *Bremsstrahlung* cuando se utilizan materiales densos como barreras físicas, debido al frenado de las partículas con dicho material parte de su energía cinética se transforma en radiaciones electromagnéticas correspondiente a radiación X.

Por tal razón, normalmente se usan materiales de baja densidad como blindajes, tal como madera, vidrio, plástico, etc. para efectos de calcular el blindaje requerido para fuentes emisoras beta puede obtenerse a partir del alcance (R), el cual se obtiene mediante las siguientes ecuaciones,

$$R \text{ (mg/cm}^2\text{)} = 412 * E^{(1,265-0,0954 \text{Ln}E)}$$

Cuando la energía máxima de las partículas beta está comprendida en el rango $0,01 \leq E \leq 2,5 \text{ MeV}$

$$R \text{ (mg/cm}^2\text{)} = 530 * E - 106$$

Cuando la energía máxima de las partículas beta es mayor a 2,5 MeV

$$R \text{ (mg/cm}^2\text{)} = x \text{ (cm)} * \delta \text{ (mg/cm}^3\text{)}$$

Donde,

X= espesor del material blindante

δ = su densidad

Cuando se utilizan materiales con número atómico (Z) > 13, es necesario calcular la fracción de energía cinética que se transforma en radiación X, y de acuerdo a la intensidad obtenida, se analiza si se requiere atenuar esta radiación y por tanto calcular el blindaje necesario. La fracción que se transforma en fotones X se puede calcular por la siguiente expresión:

$$f = 3.5 \cdot 10^{-4} Z \cdot E$$

Donde,

Z = es el número atómico del absorbedor

E = energía máxima de las partículas beta emitida

5.6. Blindajes para fuentes emisoras de radiación gamma

Para el caso del blindaje de fuentes radiactivas emisoras de radiación gamma, a diferencia de la radiación corpuscular alfa o beta que pueden ser absorbidas completamente por la materia, esta se atenúa exponencialmente sin llegar a ser absorbida totalmente. Su intensidad puede reducirse aumentando el espesor del blindaje, pero nunca se puede llevar a cero la expresión matemática que representa la atenuación es:

$$X = X_0 e^{-\mu \chi}$$

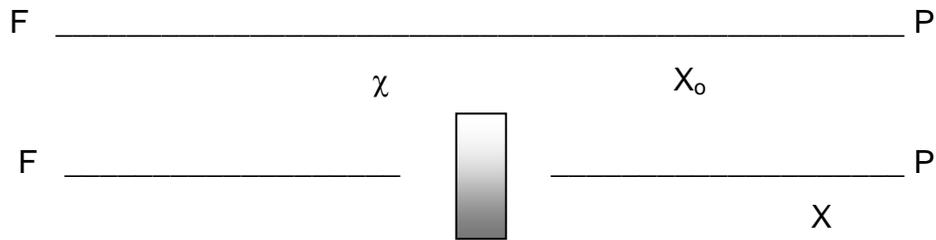
Donde:

X = corresponde a la tasa de exposición sin blindaje

μ = coeficiente de atenuación lineal

χ = espesor del material blindante

Figura 10. **Blindajes para radiación gamma**



Fuente: elaboración propia.

Dónde,

F = representa una fuente emisora

P = Lugar en el cual se mide la intensidad de la radiación

X = $X_0 = \chi$ representa el espesor del blindaje

Siempre $X_0 > X$

El valor del coeficiente de atenuación lineal(m), depende del tipo de radiación, de la energía de la batería y del tipo de material utilizado como blindaje, sus unidades se expresan en (cm^{-1}) , cuando X se expresa en (cm), ya que el exponente debe ser a dimensional.

En algunos casos se acostumbra a expresar el espesor del material en términos de la densidad denominándose espesor másico y se obtiene de acuerdo a la expresión:

$$X_m = X \cdot \delta$$

Dónde:

X_m = representa el espesor másico (gcm^{-2})

X = representa la densidad del blindaje (gcm^{-3})

δ = representa el espesor del blindaje (cm)

Cómo se utiliza el espesor másico, es la expresión para determinar el haz transmitido, se debe reemplazar el coeficiente de atenuación lineal m por el coeficiente másico de atenuación ($m_m=m/d$), con unidades (cm^2g^{-1}).

6. CÁLCULO DE BLINDAJE PARA RAYOS X

Los blindajes en una sala de radiología tienen por objetivo proteger de las radiaciones ionizantes a los trabajadores profesionalmente expuestos y al público en general que hace uso de las instalaciones hospitalarias.

El nivel de protección que el blindaje debe proporcionar depende de los límites permitidos en cada país, en Guatemala los blindajes son calculados para que el trabajador ocupacionalmente expuesto, no reciba más de 0,5mGy/mes y aseguran para público general no más de 1/12mGy/mes. El cálculo de barreras protectoras contra radiaciones ionizantes tiene dos objetivos fundamentales:

- Averiguar el espesor que deben tener las barreras protectoras de una instalación radiológica, a fin de que no se superen los límites de exposición establecidos en la legislación vigente, teniendo en cuenta los criterios de optimización, tanto para el personal expuesto o como para el público.
- Si se conoce el material y espesor de las barreras de protección, pueden calcularse las contribuciones de las distintas exploraciones a la exposición semanal en puntos de interés.

Cuando se utiliza la expresión $X = X_0 B e^{-mx}$ para la evaluación de blindajes, los cuales se realizan por tanteo, por métodos iterativos. Se calcula inicialmente en primer valor de X, haciendo $B = 1$, como este primer valor de X se evalúa mx y a partir de tablas que se han obtenido experimentalmente, se establece el número valor de B, el cual aplicado en la ecuación permite

encontrar el valor del espesor del material que reduzca la tasa de exposición al valor esperado.

De las salas de rayos X en el control se debe considerar lo siguiente:

- En las instalaciones fijas o móviles, la delimitación de la zona controlada, debe efectuarse mediante elementos estructurales o de construcción tales como pisos, paredes y techo. La sala de rayos X y el área de ubicación de la consola de control del equipo deben quedar dentro de la zona controlada.
- En áreas donde se concentren más de una sala de rayos X, los pasillos colindantes con cada sala de rayos X deben formar parte de la zona supervisada.
- Las dimensiones y accesos de una sala de rayos X, serán las suficientes para manejar con seguridad apacientes encamillados o en silla de ruedas, siempre y cuando se consideren estos casos en el programa deservicios.
- El diseño se debe efectuar de forma que en la medida de lo posible no se dirija el haz directo de radiación hacia la consola de control, puertas de acceso o ventanas. Análogamente se recomienda no dirigirlo hacia el cuarto oscuro, de lo contrario se debe contar con el blindaje adecuado.
- Debe existir un control variable de luz ambiental en las salas de fluoroscopia para evitar perjuicio en la agudeza visual de los operadores.
- El paciente debe ser observable en todo momento desde la consola de control por contacto visual directo a través de una ventana blindada, o

mediante dos sistemas que sean redundantes entre sí, por ejemplo, con espejos y por medio de un sistema de circuito cerrado de televisión.

- La sala de rayos X debe estar diseñada de tal forma que exista comunicación directa o electrónica, desde la consola de control con el paciente, se requiere que en el exterior de las puertas principales de acceso a las salas de rayos X exista un indicador de luz roja que indique que el generador está encendido y por consiguiente puede haber exposición. Dicho dispositivo debe colocarse en lugar y tamaño visible, junto a un letrero con la leyenda "Cuando la luz este encendida solo se puede ingresar personal autorizado".

6.1. Conceptos básicos en el cálculo de blindajes

Los componentes básicos para el cálculo de blindaje, se deben considerar para efectos de contaminación en áreas hospitalarias.

6.1.1. Tipos de radiación

- Radiación directa (haz útil): radiación ionizante emitida directamente por el tubo RX.
- Radiación dispersa: toda radiación excepto la específica para el haz de radiación, incluyendo la residual.
- Radiación de fuga: radiación ionizante que ha pasado a través de un blindaje de protección de una fuente de radiación, así como también, aquellas de algunos tipos de generadores de rayos X, que ha pasado por la ventana de radiación antes y después de la carga.

6.2. Clasificación de zonas y factores de uso y ocupación para el cálculo de blindajes

Las zonas deben identificarse según la zona de contaminación para medición de niveles de riesgos y así colocar medidas de seguridad.

6.2.1. Clasificación de zonas

- Zona controlada: es aquella zona en la que dosis equivalente superior a $3/10$ de los límites de dosis equivalente, para el cristalino, la piel y las extremidades.
- Zona vigilada: es aquella zona en la que, no siendo controlada, exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a $1/10$ de los límites de dosis equivalentes, para el cristalino, la piel y las extremidades.

Figura 11. Tipos de zonas de contaminación



Fuente: Diccionario del Consejo de Seguridad Nuclear.

Tabla IV. Identificación de tipos de zonas de riesgos por colores

TIPO DE ZONA	COLOR
<u>Zona vigilada</u>	Gris magenta
<u>Zona controlada</u>	Verde
<u>Zona de permanencia limitada</u>	Amarillo
<u>Zona de permanencia reglamentada</u>	Naranja
<u>Zona de acceso prohibido</u>	Rojo

Fuente: elaboración propia.

6.3. Factores de uso y ocupación

Los factores de uso y ocupación son indicadores para considerar los niveles de riesgos en áreas de contaminación radiológica.

6.3.1. Factor de uso (U)

Es la fracción de carga de trabajo para la cual el haz útil está dirigido hacia el lugar considerado a proteger. El factor de uso para barreras primarias en instalaciones de radiodiagnóstico es:

- Paredes donde se dirige el rayo directo $U = \frac{1}{4}$
- Paredes donde se dirige rayo indirecto $U=1$
- Techo $U = 1$ El requerido para barreras secundarias

6.3.2. Factor de ocupación (T)

Es el factor por el que se ha de multiplicar la carga de trabajo, para tener en cuenta el grado de ocupación relativo de la zona considerada a proteger.

Se toma el valor de $T = 1$ para locales permanentemente ocupados tales como:

- Cuartos de control de los diferentes equipos de rayos X, farmacias, oficinas, consultorios etc.

Además se toma el valor de $T = \frac{1}{4}$ para locales de ocupación ocasional tales como:

- Pasillos, salas de espera y aceras.
- Se toma el valor de $T = 1/16$ para escaleras y ascensores no operados por ascensorista.

6.3.3. Límites de exposición semanal

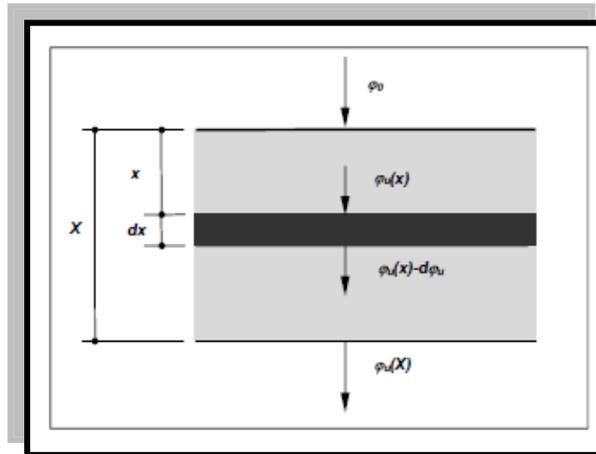
- De personas (P): $1/12$ mGy/mes para personas ocupacionalmente no expuestas.
- $1/2$ de mGy/mes para personal ocupacionalmente expuesto.

Cuando la distancia punto-fuente es comparable a las dimensiones de la fuente, la reducción de la tasa de dosis como consecuencia del aumento de dicha distancia es menos notable y función de la geometría de la fuente.

6.4. Blindaje para la radiación directa

Dado un haz colimado de fotones, que inciden normalmente sobre una lámina gruesa de un material, en el cual hay N (átomos/cm³) tal como se ve en la figura.

Figura 12. **Cuadro de blindaje radiación directa**



Fuente elaboración propia.

En los cálculos prácticos de radiación, se debe considerar la atenuación de rayos gamma en configuraciones geométricas más complicadas que la de haz combinado, en general se debe calcular el valor total de la magnitud deseada (flujo de partículas, exposición, dosis, etc.), no solamente aquella parte debida al componente no colisionado.

Se ha encontrado que aun en configuraciones de fuentes y blindajes, la ley exponencial de la atenuación de la radiación, con respecto al espesor del blindaje, sigue siendo válida, pero debé modificarse otros dos factores adicionales.

Estos son:

- El factor geométrico
- Factor de acumulación

6.4.1. Factor geométrico

La forma exacta de este factor depende del arreglo particular de la geometría fuente-blindaje. Para las fuentes puntuales isotrópicas, el factor geométrico involucra la ley de la inversa del cuadrado de la distancia, esto es $1/4\pi r^2$.

6.4.2. Factor de acumulación

Este factor toma en cuenta la radiación gamma adicional que llega al detector, como consecuencia de los fotones que son dispersados en el material y otras radiaciones subsidiarias.

En la mayoría de los blindajes de importancia práctica la radiación fotónica que llega al punto de interés (por ejemplo, un detector o el cuerpo humano) se puede subdividir en 3 partes:

- Los fotones no colisionados.
- Los fotones que interactúan con el medio material y fueron dispersados.
- Radiación subsidiaria de baja intensidad, generada localmente en el medio material, debida a interacciones de los fotones con el medio (por ejemplo radiación de aniquilación).

En estas condiciones, la tasa de fluencia total para el caso de una fuente puntual a una distancia "r" es:

$$\phi = B_U = B (S_\phi / 4\pi R^2) e^{-ux}$$

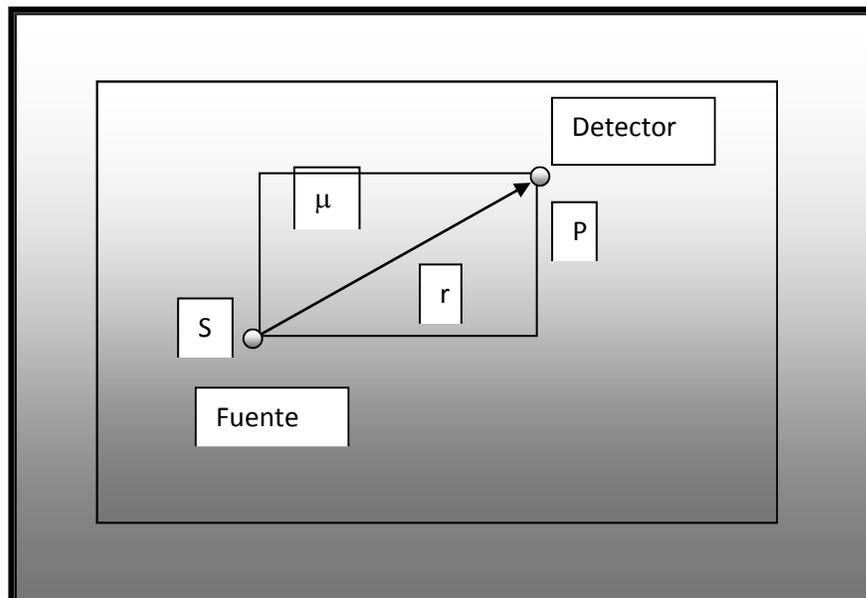
Donde B es el factor de acumulación, para la tasa de fluencia y ϕ_u es la tasa de fluencia no colisionada, en forma general el factor acumulación se puede definir como:

$B = \text{respuesta total a la radiación en el punto de interés} / \text{respuesta a la radiación no colisionada en el punto de interés.}$

Este factor se define para una fuente monoenergética, ubicada junto con el detector en un medio infinito. La geometría de la fuente más empleada es la puntual, si bien también se ha calculado B para otras geometrías.

Se recomienda lo siguiente para monitoreo de las radiaciones gamma

Figura 13. **Factores de iluminación**



Fuente elaboración propia.

Se ha demostrado que el factor B depende de:

- La naturaleza del medio atravesado por la radiación (número atómico, z).
- La energía de la fuente de fotones.
- La distancia, en caminos libres medios, (μ, r) entre la fuente y el punto de interés.
- La geometría de la fuente.
- La magnitud considerada (dosis, calentamiento, etc.).

$$B = b(z, e, \mu r)$$

Dónde:

- Z: es el número atómico del medio atenuador.
- e: es la energía de la fuente y de fotones.
- μ, r : es el espesor del material atenuador, expresado en libres caminos medios.

Experimentalmente se han tenido curvas que representan, para distintos Kv y materiales blindantes, el kerma en aire libre de carga eléctrica k,w (mGy/mAmin) en función del espesor del blindaje.

6.5. Blindaje para la radiación dispersa

Al incidir sobre el paciente y a mesa radiológica, el haz de rayo X es dispersado en todas las direcciones. La intensidad y energía del haz dispersado son inferiores que del haz primario y dependen del ángulo que ellos determinan.

A los efectos del cálculo se aceptan las siguientes simplificaciones:

- Para un ángulo de 90 grados, la relación entre la intensidad de la radiación dispersa y la de la radiación primaria es inferior a 1/1000.
- Tratándose de rayos X de hasta 500 kV se supone que la energía de la radiación dispersa, corresponde al mismo kilo voltaje que el de la radiación primaria y para rayos X cuyo kilo voltaje sea superior, se adopta el valor de 500 keV para la energía de la radiación dispersa.
- La distancia “d” de la expresión es ahora la que existe entre el dispersante (paciente/camilla) hasta la pared cuyo blindaje está bajo cálculo.
- La distancia “s” entre el ánodo del tubo y el paciente, influye en el cálculo de manera cuadrática.

6.6. Materiales blindantes

Los materiales deben cumplir con las especificaciones técnicas para brindar protección en áreas de contaminación radiológica.

6.6.1. Selección de materiales

Los materiales blindantes deberán seleccionarse considerando, a lo menos, las características siguientes:

- Propiedades blindantes del material
 - Absorción
 - Dispersión
 - Activación
- Propiedades mecánicas
 - Estabilidad
 - Resistencia

- Compatibilidad con otros materiales
- Limitación de peso y volumen dada por la instalación.
- Efectos derivados de la interacción con la radiación, especialmente neutrones y gammas.
- Reacciones químicas, mecánicas y térmicas con otros materiales.

7. PLANO DE ZONAS Y SEÑALIZACIÓN DE ÁREAS

7.1. Diseño de accesos

Se deberá especificar los accesos a las áreas con vigilancia radiológica, para toda situación operacional, considerando que deben permitir el control técnicoadministrativo del movimiento de personas, materiales, equipos y herramientas.

7.2. Accesos para personas

Deberá considerarse, por lo menos, dos accesos para personas, los que deberán conectarse al edificio de contención mediante un sistema de esclusas.

7.2.1. Acceso principal

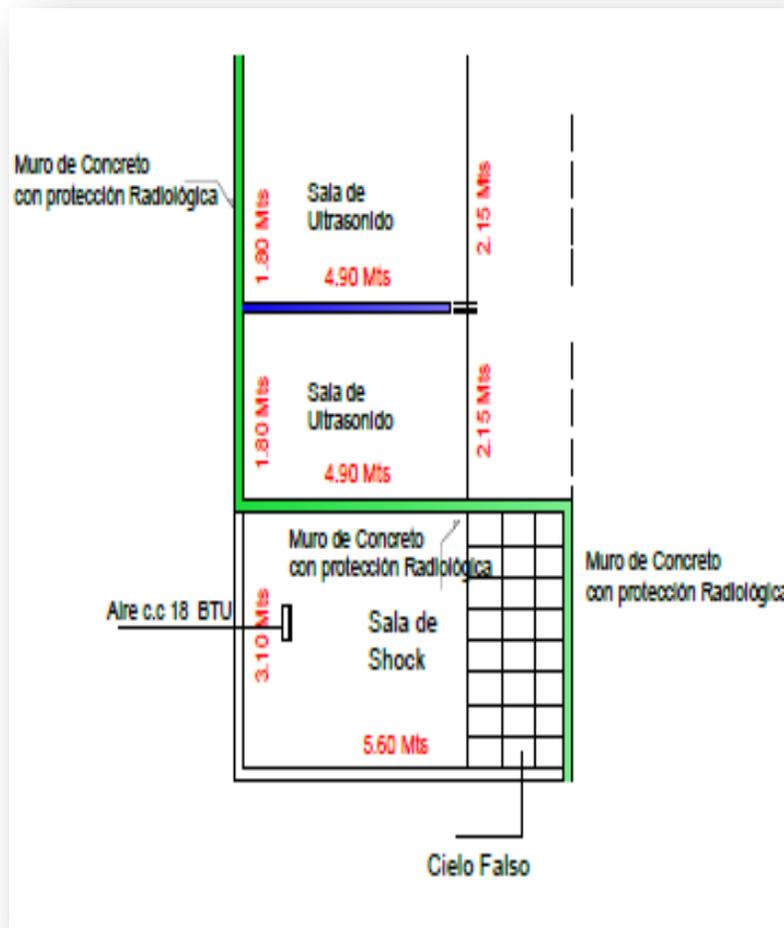
El acceso principal de personas deberá consistir en una sala que contenga un área limpia y un área potencialmente contaminada, separadas mediante barreras físicas.

- El área limpia debe consistir en:
 - Sala de vestuario con sus correspondientes acomodaciones
 - Depósito de ropa de trabajo limpia
 - Depósito de elementos de protección personal

- El área potencialmente contaminada debe contar con:

- Equipos para el control de salida, esto es, monitoreo de pies, manos y cuerpo entero.
- Instalaciones para descontaminación personal, lavatorios y duchas.
- Sala de vestuario de ropa de trabajo.
- Depósito de ropa contaminada.
- Cabina para recolección de muestras biológicas.

Figura 14. **Planta de sala de rayos X**



Fuente: elaboración propia, con programa de Auto Cad 2013.

7.2.2. Accesos secundarios

Los accesos secundarios contendrán los mismos elementos que el acceso principal, exceptuándose solamente las instalaciones para descontaminación personal, de las que podrán prescindir. Sus objetivos principales serán:

- Servir de tránsito a las visitas.
- Constituir salidas de emergencia del personal, en condiciones de accidente.

7.2.3. Acceso para materiales, equipos y herramientas

Estos accesos deberán permitir el movimiento de elementos de grandes dimensiones, que no puedan ser transportados a través de los accesos para personas.

Deberán contar con monitores de contaminación superficial y con instalaciones para descontaminación.

El mal diseño, manejo, uso, instalación de equipo, maquinaria, instrumentos y herramientas que utilizan los trabajadores y pacientes hace que se presenten los riesgos tecnológicos.

7.2.4. Riesgo con equipo médico

El equipo médico eléctrico representa una variedad de riesgos para el paciente, usuarios y para el personal del servicio.

Entre estos se tienen:

- Riesgos mecánicos

Todos los equipos pueden representar riesgos mecánicos. Estos pueden ir desde ajustes inseguros de los controles hasta pérdida de rodos en equipo móvil.

- Riesgo de incendio o explosión

Todos los equipos conectados a alimentación eléctrica pueden presentar riesgo de incendio en el caso que ciertas fallas ocurran, tal es el caso de corto circuitos internos o externos.

Aunque el uso de gases anestésicos inflamables no es común hoy en día, debe reconocerse que muchos gases médicos contribuyen a la generación de incendios.

- Ausencia de funcionamiento

Si muchas partes del equipo médico son para soporte de vida, el desperfecto de éstas representa una amenaza para la vida del paciente.

- Excesiva o insuficiente potencia

De acuerdo a su función cada equipo entrega una potencia determinada, representa un peligro, por ejemplo en el caso de una unidad de electrocirugía. Esto destaca la importancia de un adecuado proceso de calibración.

- Riesgo de exposición a descargas eléctricas

Toda paciente conectado a un equipo médico eléctrico corre el riesgo de descarga eléctrica.

- Riesgo químico

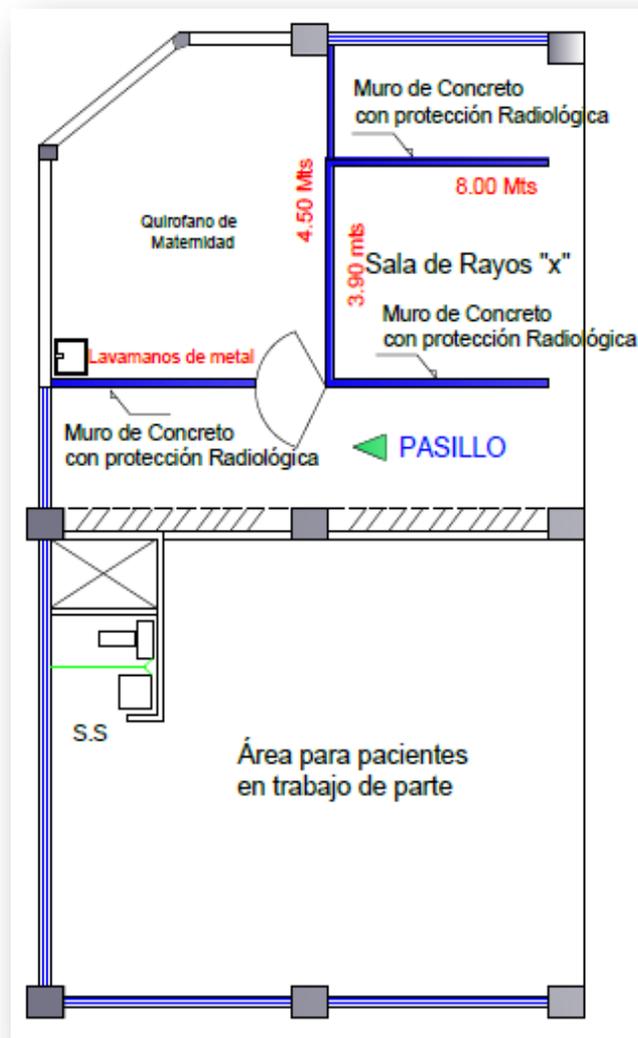
Es aquel susceptible de ser producido por una exposición no controlada a agentes químicos, se entiende por agente químico cualquier sustancia que pueda afectar directa o indirectamente, aunque no se esté efectuando las tareas. Una sustancia química puede afectar a través de tres vías:

- Inhalatoria (respiración – esta es, con muchísima diferencia, la principal)
- Ingestión (por la boca)
- Dérmica (a través de la piel)

Ejemplos de riesgo químico:

- Adhesivos
 - Gases anestésicos residuales
- Aerosoles
 - Elementos químicos de laboratorio

Figura 15. **Plano de zonas de riesgos de contaminación**



Fuente: elaboración propia, con programa de Auto Cad 2013.

7.3. **Requisitos mínimos de recursos humanos**

Los requisitos que se deben cumplir en áreas de hospitales es para protección personal de los pacientes, profesionales y el público, debido a la emanación de radiaciones.

7.3.1. Accesorios generales de protección física

Consiste en ropa o equipo especializado utilizado por un empleado como protección contra un peligro. La ropa de trabajo (ejemplo: uniforme, pantalones, camisas o blusas) no está destinada a funcionar como protección contra peligros, no es considerada equipo de protección personal.

7.4. Equipo de protección personal

La función del equipo de protección personal, es para evitar la contaminación en las personas cercanas a contaminación de radiaciones ionizantes, rayos X, rayos gamma.

7.4.1. Protectores de ojos

Para proteger los ojos se utilizan, gafas, gafas con montura integral y elementos parecidos que impiden la penetración de partículas y cuerpos extraños, compuestos químicos corrosivos, fluidos corporales, chispas, partículas de polvo, humos, láseres.

Ejemplos:

- Gafas, con o sin protectores laterales
- Capuchas que cubren por completo la cabeza, como los cascos de buzo

7.4.2. Protección de pie

Zapatos de seguridad son recomendados para prevenir heridas en los pies debido a objetos que caen al piso y otros peligros.

Los zapatos de seguridad son particularmente importantes donde materiales pesados son manipulados, como lo es en operaciones de empaque y recepción. El departamento de ingeniería puede requerir que sus empleados usen zapatos con puntera de acero para prevenir lesiones por equipo y maquinaria.

7.4.3. Protección de manos

La protección de las manos generalmente se logra usando guantes y una gran variedad de guantes utilizados en hospitales están disponibles en el mercado. Los guantes protegen contra cortaduras, raspaduras, químicos, calor, frío y contaminación con fluidos corporales.

7.4.4. Protección de oídos

Un daño al oído o pérdida de la audición puede ser evitado utilizando protección auditiva apropiada, por ejemplo, tapones u orejeras. Además, se pueden tomar medidas para mejorar el ambiente. Por ejemplo, a veces la duración de la exposición a ruidos fuertes puede ser cortada o el nivel de ruido puede ser reducido rediseñando o aislando maquinaria.

7.4.5. Protección para la cara y cuerpo

La protección del cuerpo y la cara se logra a través de ropa que incluye sobre todo, mascarilla, bata y delantales. Como en el caso de los guantes, existe ropa protectora de acuerdo al tipo de tarea que se realiza.

Por ejemplo, trajes descartables son utilizados por el personal de mantenimiento que trabaja en el equipo en áreas estériles o áreas quirúrgicas;

ropa quirúrgica es utilizada por personal médico para proteger al paciente y mantener un ambiente estéril en zonas de alto riesgo; y batas de laboratorio son utilizadas por el personal de laboratorio.

7.5. Seguridad radiológica

El símbolo utilizado para advertir de la presencia de radiaciones es el trébol de tres hojas, en color negro y de dimensiones bien definidas.

Cuando este símbolo se utiliza como advertencia en la entrada a las zonas en las que existe riesgo de irradiación o contaminación, suele estar acompañado de otras indicaciones, se puede mencionar:

- El color

El color del trébol es una indicación de la intensidad de las radiaciones. Ese color puede ser, de menor a mayor intensidad, gris azulado, verde, amarillo, naranja o rojo.

En el primero de los casos se indica que existen radiaciones, siendo probable que se alcancen dosis superiores al doble del límite legal al público (2 mSv al año) pero muy improbable que se alcancen dosis superiores a 3/10 el límite legal a los trabajadores (6 mSv al año).

En el último de los casos se indica que es muy probable superar el límite legal a los trabajadores (20 mSv al año) en un periodo de tiempo muy corto, estando prohibido el acceso.

- Indicaciones adicionales

Cuando el símbolo del trébol aparece solo, o con puntas radiales alrededor de las hojas del trébol, el significado es que la radiactividad puede afectar únicamente de forma externa, como puede ser el caso en los aparatos de rayos X. Cuando el símbolo aparece sobre una trama punteada, significa que la radiactividad aparece en una forma que puede provocar contaminaciones.

- Leyendas

Las señales además se complementan con una leyenda indicativa al tipo de zona en la parte superior y el tipo de riesgo en la parte inferior.

Figura 16. **Símbolo trébol de tres hojas**



Fuente: <http://Localizacion.htm/2010>. Consulta: 22 de abril de 2013.

8. HORMIGÓN BARÍTICO

8.1. Desarrollo experimental

El hormigón de alta densidad se define convencionalmente como aquel con densidad superior a $3\ 000\ \text{Kg./m}^3$, en su confección se emplean minerales pesados, se mezclan agregados pesados con normales bajando la densidad, pero aumentando la tendencia a la segregación, las resistencias de estos son superiores a la de los tradicionales de igual razón la relación agua /cemento.

El mayor peso también, es una exigencia adicional a la mezcladora, aumenta las dificultades en el transporte, colocación y compactación.

Es un material nuevo y su aplicación en la industria de la construcción comienza en los años 60 y coincide con el desarrollo de la energía nuclear, ya que sus propiedades son de utilidad como material de protección contra la radiación.

Hoy se utiliza como protección biológica de personas y material frente a los rayos X y rayos gamma en radiografía industrial y en instalaciones de terapia médica, así como en aceleradores de partículas y reactores nucleares, debido a sus buenas propiedades de absorción, frenado de neutrones rápidos, carácter formáceo.

La resistencia es en función de la relación agua/cemento, por lo tanto, para cualquier conjunto de materiales en particular, se pueden lograr

resistencias comparables, quedando condicionada por la naturaleza de los agregados, no estando en relación estricta con su mayor densidad.

Existe sin embargo, consenso entre los investigadores de la especialidad que, a igualdad de razón agua/cemento dan resistencias superiores a las obtenidas por los tradicionales.

- Las características que debe poseer son:
 - Una masa fresca que debe ser trabajable
 - Endurecido debe poseer la resistencia y durabilidad deseada

- Los requisitos adecuado son:
 - El uso de materiales de calidad.
 - Proporcionar y dosificar adecuadamente dichos materiales.
 - Mezclar, transportar y colocar adecuadamente el concreto (para evitar segregación y lograr una buena compactación.
 - Mantener las condiciones de curado adecuadas (para que la hidratación del cemento sea lo más completa posible.

Los hormigones de alta densidad generalmente suelen usarse cuando el volumen del elemento en construcción es limitado, de esta forma con un hormigón más denso, se consigue reducir los espesores necesarios.

Para ello se necesita obtener lo siguiente:

- Alta resistencia mecánica (a compresión, impacto, abrasión, tracción, etc.) en caso de ser necesario, como por ejemplo en muros de protección biológica.

- Afectación a grandes variaciones de temperatura.
- Capacidad de retención de agua.
- Conductividad térmica.
- Calor específico y coeficiente de expansión lineal.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es:

- La pureza
- Consistencia

Las propiedades y composiciones de los diferentes componentes del hormigón deben ser lo más homogéneas posible. Por ejemplo, la mayoría de las menas de hierro y bario tienen una gran cantidad de polvo, sílice y otras impurezas que disminuyen la densidad y otras propiedades importantes del hormigón de alta densidad, por lo que su utilización requiere un lavado previo y optimización para su utilización.

Estos fragmentos, no son deseables dentro de una mezcla, por lo tanto se deben elegir materiales cuyo machaqueo permita una buena clasificación de las granulometrías y no produzca cantidades excesivas de polvo.

8.2. Aplicaciones del hormigón de alta densidad

Generalmente se ha utilizado para blindar estructuras y proteger frente a la radiación, en centrales nucleares, salas de radiología de hospitales, aceleradores de partículas.

Ha servido de escudo protector contra las radiaciones, la capacitación de estas radiaciones depende del tipo de emisión que se trate, pudiendo indicarse

que las ondas de corta longitud (rayos X, rayos gama) se necesitan la interposición de un elemento de la mayor densidad posible.

Los hormigones de alta densidad, además, son utilizados en las fundaciones de elementos de excesiva esbeltez evitando el pandeo, se puede aprovechar en el acopio como base para materiales de mucho peso.

8.3. Dosificaciones más comunes

Como ya se ha comentado con anterioridad, los estudios existentes sobre hormigones pesados se han centrado siempre en obtener hormigones aptos para la construcción de centrales nucleares, por este motivo, las dosificaciones más estudiadas y quizás extendidas de hormigones de alta densidad tienen que ser modificadas en algún aspecto.

Para hormigones estructurales lo lógico es hablar de cantidades de cemento comprendidas entre 280 y 480 kg/m³ y una relación agua/cemento alrededor de 0,5, las curvas granulométricas se adaptan a las ASTM, a pesar de estas premisas iniciales, es muy usual hacer cambios en obra.

Al tener grandes variaciones en los agregados que se utilizan, muchas veces es necesario compensar los contenidos de agua y por lo tanto varíala relación agua/cemento.

8.4. Materiales

Los materiales deben cumplir con las especificaciones técnicas, para conseguir una mezcla trabajable y así conseguir la protección radiológica en muros construidos para áreas de contaminación.

8.4.1. Agua

El agua utilizada en el amasado de hormigones de alta densidad debe seguir las recomendaciones de la ACI 301, como regla general, el agua de mezclado debe ser potable.

No debe contener impurezas que puedan afectar la calidad del hormigón, no debe tener ningún tipo de sabor o contener limo u otras materias orgánicas en suspensión.

Aguas muy duras pueden contener elevadas concentraciones de sulfatos y pozos de agua de regiones áridas pueden contener sales disueltas dañinas, si es cuestionable, el agua puede ser químicamente analizada.

8.4.2. Agregados

El uso de agregados pesados como la barita, parece lógico pensar que requieren tratamientos especiales en lo que se refiere a la dosificación en el hormigón y su puesta en obra.

Los agregados de alta densidad tienden a segregarse en el seno de la pasta de cemento, por lo que se necesita un tamaño de grano más fino que el usual.

A pesar de esto, las granulometrías de los áridos pueden ser las convencionales, la arena no tiene que ser especial, siempre que sea admisible por el peso unitario.

Debe ser limpia, filosa, bien graduada y libre de limo, arcilla o materiales orgánicos, la gravedad específica o módulo de fineza.

Se debe evitar la incorporación de aire, a causa del detrimento de la densidad y por consiguiente no puede ser usada para mejorar la trabajabilidad del hormigón.

Los agregados también deben cumplir con los requisitos de la especificación AASHTO M-6-74, el máximo porcentaje de sustancias deletéreas en la arena entregada en la mezcladora no excederá del valor siguiente:

- Terrones arcillosos 1,0%
- Total de otras sustancias deletéreas 3,0%

La suma de los porcentajes de terrones arcillosos suaves y otras sustancias deletéreas no debe exceder del 4,0% en peso, toda la arena deberá estar libre de impurezas orgánicas y dañinas, y si produce un color más oscuro que el normal en la prueba colorimétrica para impurezas orgánicas será rechazada.

8.4.3. Cemento

Los hormigones de alta densidad no deben llevar cementos especiales, todos aquellos cementos que cumplan las consideraciones de la ASTM C150 o la ASTM C595 y consigan las propiedades físicas requeridas, siendo utilizables para fabricar hormigones convencionales, podrán ser usados para fabricar hormigones de alta densidad.

9. CONTROL DE CALIDAD Y OTRAS ESPECIFICACIONES

9.1. Control de calidad

Todos los materiales utilizados para la fabricación del hormigón, deben seguir controles de calidad previos y posteriores a la puesta en obra.

La complejidad de las estructuras en las que se suele utilizar el hormigón pesado hace difícil la obtención de muestras una vez se ha hormigonado y por lo tanto suele impedir la verificación del correcto funcionamiento del hormigón endurecido.

El control de calidad del cemento se realiza según las Normas ASTM C150 y ASTM C595, dependiendo de la obra se tendrán que hacer ensayos en la planta y ensayos en la recepción del cemento ya en la obra.

La calidad de los agregados se debe determinar según los métodos de las ASTM C33 y ASTM C637 para los áridos pesados.

9.2. Otras especificaciones usuales

- Tiempo transcurrido

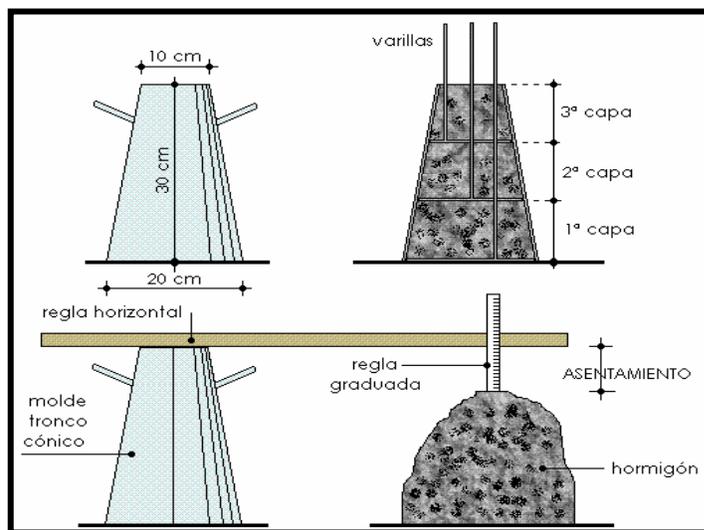
Para temperaturas normales, el tiempo total desde el inicio de mezclado para descargar no debe exceder de 1,5 h y debe ser reducido en tanto aumente la temperatura, la mezcla debe ser descargada antes de las 300 revoluciones del tambor.

- Asentamiento

Ensayo de consistencia o asentamiento por el método del Cono de Abrams. La prueba de asentamiento debe ser hecha en cada vaciado, de acuerdo con las normas de control de calidad, cuanto más estricto sea el control de calidad, mayor muestreo debe tomarse.

En la figura se puede ver un dibujo de un asentamiento utilizando el cono de Abrams.

Figura 17. **Asentamiento**



Fuente: elaboración propia.

9.3. Práctica de campo

Se realizó el desarrollo experimental con la finalidad de conseguir el objetivo primordial, la construcción de muros para protección radiológica en salas médicas; lugares utilizados para la aplicación de rayos X, la contaminación es alta.

Por ello se ha tomado el tiempo para el diseño del concreto barítico que su utilidad es proteger contra las radiaciones ionizantes. Las precauciones se han hecho notar para evitar contaminación tanto para los usuarios como para el público.

En la actualidad los materiales utilizados para la protección radiológica se han considerado con espesores mayores de 15 centímetros, que depende de la dosis y el tiempo de aplicación de las radiaciones ionizantes.

La barita es un material pesado que sus propiedades alcanzan mejor resistencia a la compresión y protección a las radiaciones que los concretos tradicionales.

Se construyeron dos concretos, uno que es el tradicional utilizando los materiales tradicionales como:

- Agregado fino
- Cemento Portland
- Agregado grueso
- Agua

Diseñado para una resistencia a la compresión de 3 000 PSI a los 28 días; que se ensayara de la misma forma como el concreto barítico que igualmente se diseñó para una resistencia de 3 000 PSI, el espesor del muro a fundir es de 5 centímetros, los materiales utilizados son los siguientes:

- Barita (agregado fino)
- Cemento Portland
- Barita (agregado grueso)

- Agua

Se funden las dos plaquetas con dimensiones de 11 x 12 pulgadas, para efecto de medición en rango de protección respecto a la radiación ionizante que proyecta la pieza contaminada.

El material utilizado para efecto de medición en la práctica de Protección Radiológica se realizó con Refractario, lecturas considerables para tomarse en cuenta en dicha práctica. A continuación se indican los datos recabados de dicha práctica.

9.4. Informe de mediciones

Interesado: Adivas Alejandro Alvarez Raguay

Carné: 1998-12017

Dirección de Domicilio: 3ª. Calle Lote 6 Residenciales Alamedas del Conacaste, Zona 2 Escuintla

Asunto: Mediciones de radiación para análisis de reducción de niveles con bloque fabricado con concreto normal y otro fabricado con barita, utilizando un detector Geiger Mueller Marca Radcom, con una muestra de *material refractario* que por su naturaleza de fabricación contiene ciertos niveles de radiación.

Fecha: 10 de julio de 2013

Dirección: Escuintla

Lectura de material refractario sin colocar bloques 420nSv/h

Espesor bloque concreto normal 0,1mts

Espesor bloque barita 0,05mts

Reporte realizado por: Ing. Civil Eton Horacio Larios Santos, encargado de protección radiológica Harsco Metals.

Tabla V. Informe de mediciones

Distancia de medición Con bloque colocado (m)	Lecturas (mSv/h)	
	Bloque Concreto	Bloque Barita
Al Contacto con el bloque Espesor bloque Concreto 0,1mts Espesor bloque Barita 0,05mts	250	250
a 0,10	140	140
a 0,20	100	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Bloque de concreto tradicional en medición



Fuente: Área de campo Harsco Metals.

Figura 19. **Bloque con concreto barítico en medición**



Fuente: Área de campo Harsco Metals.

Conclusiones:

1. El espesor del bloque construido con barita es menor al de concreto tradicional.
2. La lectura es la misma en los dos bloques, observando que si es viable el uso del concreto barítico para la aplicación en muros de salas radiológicas.

10. MUESTRAS DE MATERIAL BARITA PARA ENSAYOS CORRESPONDIENTES

Las muestras de material barita, mineral extraído de las canteras, procesado por medio de una planta trituradora y separadora por medio de bandas transportadoras para separar diámetros de interés y diferentes usos en la industria. Las muestras de barita fueron donadas para su análisis por PROMISA S.A., (Procesadora de Minerales).

Empresa que se dedica a la compra, procesamiento y venta de minerales, la Barita es uno de los materiales a los que se dedican, se distribuye a empresas que se dedican a la construcción de salas de rayos X y diferentes usos.

En la actualidad no se cuentan con datos técnicos, para su aplicación en las diferentes áreas y especificaciones técnicas para su aplicación.

La resistencia a compresión se diseña dependiendo al lugar de aplicación, proporción y cantidades, el espesor de muro depende de la dosis aplicada en las salas médicas y el tiempo.

La hoja de seguridad y técnica con la que cuenta PROMISA presenta datos sobre su manejo debido al nivel de riesgo, medidas para controlar derrames o fugas, la manipulación y almacenamiento, control de exposición, medidas de primeros auxilios, identificación de los riesgos peligrosos para la

salud de las personas, entre otros, a continuación se presenta la hoja de seguridad y técnica.

Figura 20. Hoja de seguridad y técnica PROMISA

 <small>PROCESADORA DE MINERALES S.A.</small> Centro Gerencial Las Margaritas Diagonal 6, 10-01 Zona 10, Oficina 901, Noveno Nivel, Ciudad Guatemala, C.A.		Hoja de Seguridad y Técnica 	
I.- Identificación de la empresa		Actualización: 01-Dic-2009	
Empresa:	Procesadora de minerales, S.A.		
Dirección:	Diagonal 6, 10-01 Zona 10, Centro Gerencial Las Margaritas, Torre II, Noveno nivel, oficina 901, Ciudad Guatemala		
Teléfono de emergencia:	(502) 2336-6696	Fax:	(502) 2336-6705
Dirección electrónica:	amb@promisa.biz		
II.- Identificación del Producto			
Nombre Comercial:	LC-325	Nombre Químico:	Sulfato de Bario
Formula Química:	BaSO ₄	Descripción:	Mineral metálico
III.- Propiedades físicas y químicas			
Diámetro al 10%:	1.61 µ	Sulfato de bario (como BaSO ₄):	94.50 %
Diámetro al 50 %:	9.27 µ	Pbomo (como Pb):	2.0 ppm
Diámetro al 90%:	28.67 µ	Arsénico (como As):	0.70 ppm
Dureza:	± 3 - 3.5 (escala de Mohs)	Magnesio (como MgO):	--
Olor:	Ninguno	Hierro (como Fe ₂ O ₃):	--
Color:	Blanco	Aluminio (como Al ₂ O ₃):	--
Pérdida por ignición:	--	Potasio (como K ₂ O):	--
Densidad:	--	Humedad:	0.01 %
pH (suspensión acuosa al 60%):	8.6	Alcalis solubles en ácido:	178 ppm
Peso específico:	4 - 5 g/cm ³	Diagnóstico:	Polvo sólido, blanco con olor fuerte
Reacción y sustancias solubles:	--	Elementos químicos peligrosos:	Ninguno
IV.- Identificación de los riesgos peligrosos para la salud de las personas			
Efectos de una sobre exposición aguda * Por una sola vez *			
Inhalación:	La respiración de polvo puede causar molestias en la nariz, irritación en la garganta o pulmón y ahogo. Los efectos dependen del grado de exposición.		
Inhalación (Crónica):	Prolongadas y reiteradas, exposiciones pueden causar daño al pulmón.		
Contacto con los ojos (Aguda y Crónica):	Puede causar irritación a la vista.		
Contacto con la piel (Aguda o Crónica):	Puede causar sequedad en la piel, así como irritación.		
Ingestión (Aguda y Crónica):	La ingestión de una gran cantidad puede causar problemas intestinales.		
V.- Medidas de primeros auxilios			
Inhalación:	Mover a la persona a un ambiente libre de polvo. Beber agua para limpiar la garganta y sonar la nariz para remover el polvo. Buscar atención médica si la incomodidad persiste.		
Contacto con los ojos:	Lavar suavemente con agua por 15 minutos para remover el polvo. Buscar atención médica si persiste la abrasión e irritación.		
Contacto con la piel:	Lavar con agua por 15 minutos. Así como lavar la ropa, consultar al médico en caso de irritación.		
Ingestión:	No inducir el vómito, pero beba mucha agua. Buscar atención médica si la incomodidad persiste.		
VI.- Protección personal			
Protección Respiratoria:	 Bajo condiciones normales de trabajo, no se requiere protección respiratoria. Evitar inhalaciones del polvo. Usar mascarilla respiratoria apropiada tipo 3M 8210 si el polvo excede el límite permisible ponderado (5 mg/m ³).		
Protección de la vista:	 Usar lentes con escudos laterales para mantener el polvo fuera de los ojos. No es recomendable el uso de lentes de contacto cuando se trabaja en ambientes con mucho polvo. Mantener un área de lavado y enjuague rápido de los ojos.		
Protección de la piel:	 Se recomienda como prevención utilizar guantes, gabacha o ropa completa para manipular este producto.		
 <small>PROCESADORA DE MINERALES S.A.</small> Centro Gerencial Las Margaritas Diagonal 6, 10-01 Zona 10, Oficina 901, Noveno Nivel, Ciudad Guatemala, C.A.		Hoja de Seguridad y Técnica 	
VII.- Medidas para la lucha contra el fuego			
Punto de Inflamación:	No determinado.		
Límites de Inflamación:	No determinados.		
Temperatura de auto ignición:	No determinada.		
Peligros generales:	Evitar la respiración del polvo.		
Equipos para combatir el fuego:	Use puede utilizar cualquier medio para extinguir apropiado para extinguir el fuego alrededor. Usar mascarar protectoras de la respiración para limitar la exposición al humo de cualquier fuente de combustión.		
Producto explosivo o peligroso:	No.		
VIII.- Medidas para controlar derrames o fugas			
General:	El polvo soplado por el viento puede causar los peligros indicados en la sección 4. Remover rápidamente el material derramado para evitar daños potenciales. No verter en alcantarillados.		
En caso de derrame:	Recoger con pala rápidamente el material derramado en un recipiente dispuesto para residuos. Si el material derramado no está contaminado con sustancias extrañas, puede ser reciclado en el proceso de producción. Use equipos apropiados. Se puede limpiar o aspirar en húmedo para evitar la dispersión del polvo.		
IX.- Manipulación y almacenamiento			
General:	El Sulfato de Bario LC-325 se debe almacenar en un lugar seco y cerrado (tolvas de almacenamiento). Es envasado en sacos de polietileno, se almacena paletizado y se puede disponer hasta 4 pallet en altura. El almacenamiento debe ser en un lugar seco y techado. Durante la manipulación del Sulfato de Bario LC-325 en polvo, usar la mascarilla apropiada tipo 3M 8210, utilizar guantes, protector de ojos y piel.		
Temperatura y Presión de almacenamiento:	Sin Límites.		
X.- Control de exposición			
Medidas para reducir la posibilidad de exposición:	Use un extractor de aire para mantener los niveles de polvo debajo de los límites de exposición permisibles en lugares de trabajo con ventilación pobre y condiciones polvorrientas. Utilizar respiradores personales con filtro, cuando se exceda el límite de exposición.		
Límites Permisibles Ponderado (LPP):	5 mg/m ³		
XI.- Estabilidad y reactividad.			
General:	El producto es estable en condiciones ordinarias de uso y almacenamiento.		
Incompatibilidad:	Ninguno.		
Descomposición peligrosa:	No determinado.		
XII.- Consideraciones sobre disposición final de residuos y producto sin usar			
Los contenedores de desperdicio deberán de cumplir con las regulaciones de la legislación correspondiente a cada localidad. Este producto, si no es alterado durante su uso, puede estar a disposición por tratamientos y/o procesos que incluyan los respectivos avisos de las autoridades que regulan el manejo del desperdicio para evitar riesgos locales. En el caso de incendio con los residuos de este material pueden ser riesgosos y con respecto al manejo de empaque contaminado, se aconseja no volver a usar los contenedores ya vacíos. Y disponer de ellos con precaución.			

Fuente: PROMISA, Procesadora de Minerales S.A. enero de 2013.

Debido a ello se presentan datos técnicos de la barita como material árido para la aplicación como agregado grueso y fino en un concreto que lleva como nombre concreto barítico, que se busca la aplicación en muros construidos dentro de salas radiológicas, que su fin es proteger al personal, paciente y al público de las radiaciones ionizantes, evitando efectos secundarios debido al contacto con las radiaciones ionizantes que se dispersan en las zonas de aplicación.

10.1. Ensayos efectuados y resultados obtenidos

Los ensayos se llevaron a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio de Materiales del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Campus Central).

Los ensayos de se llevaron a cabo son los siguientes:

- Análisis completos de la barita (fino y grueso)
 - Granulometría completa
 - Contenido de materia orgánica
 - Tamiz 200
 - Peso específico
 - Pesos unitarios (suelos y compactados)
 - Abrasión y estabilidad volumétrica (sulfato de sodio)

- Inspección del concreto fresco
 - Asentamiento
 - Peso unitario

- Contenido de aire
- Moldeado de cilindros de concreto
- Reactividad potencial

La barita en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, se preparó para los diferentes ensayos lavándola con agua liberándola de materia orgánica.

Figura 21. **Barita donado por PROMISA**

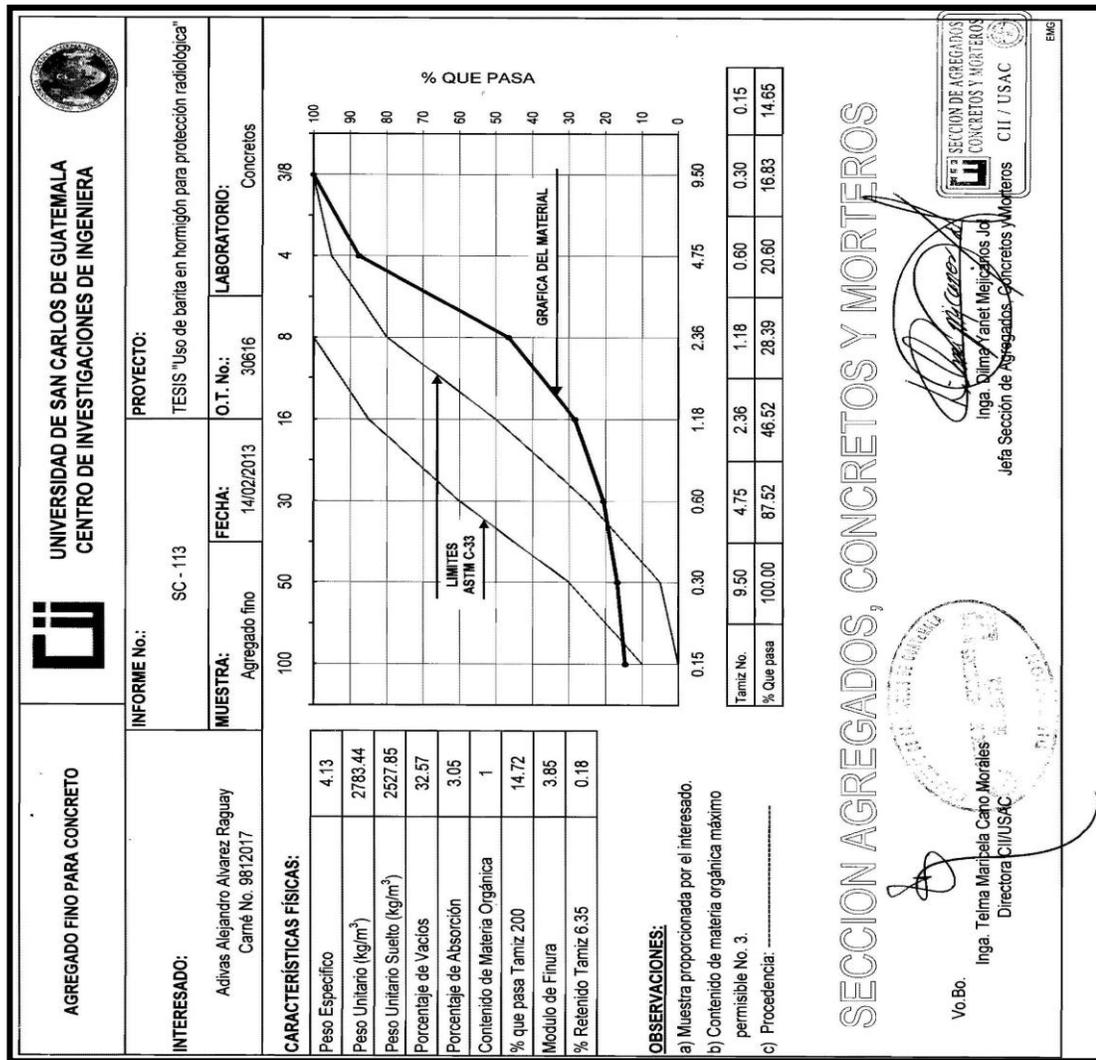


Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. USAC 2013.

10.2. Resultados obtenidos

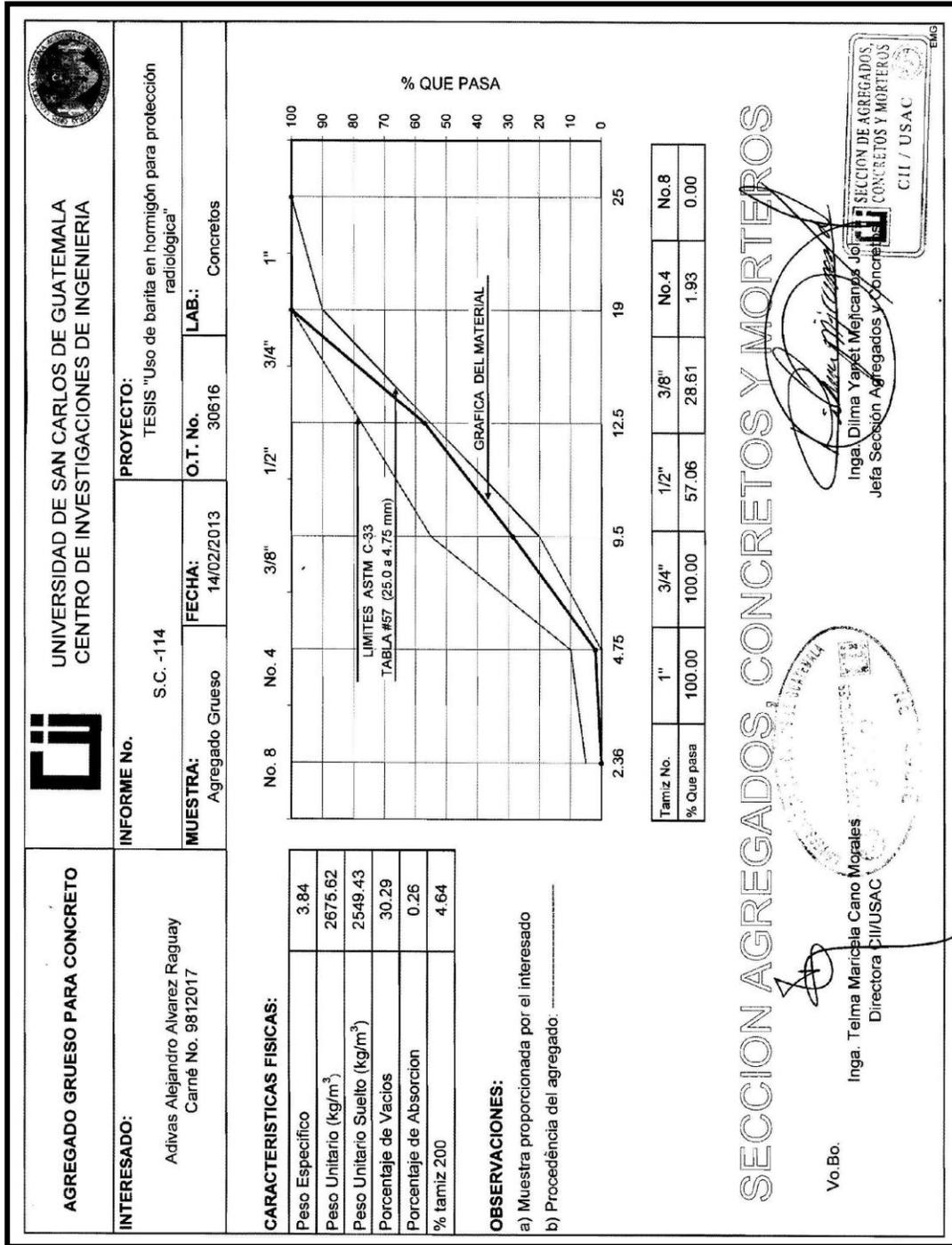
Derivado de los ensayos efectuados con apoyo del personal del centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, en la sección de agregados, concretos y morteros, se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 22. Granulometría agregado fino



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros CII.

Figura 23. Granulometría agregado grueso



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros CII.

Figura 24. Ensayo de abrasión



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**ENSAYO DE ABRASION POR MAQUINA DE LOS ANGELES
ASTM C-131**

INFORME No. S.C. - 249 O.T. No. 30617

INTERESADO: Adivas Alejandro Alvarez Raguay Carné No. 9812017

PROYECTO: TESIS "Uso de barita en hormigón para protección radiológica".

DIRECCION: 3ra. Calle lote 6 Residenciales Alamedas del Conacaste, zona 2 Escuintla.

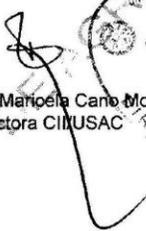
FECHA: 2 de abril de 2013

REFERENCIAS	MUESTRA
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131
2. Graduación	"B"
3. % Desgaste	31.60

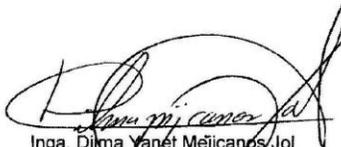
OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



M.C.

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-6000 Exts 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros CII.

Figura 25. **Determinación de reactividad potencial**



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



O.T. No. 30620
Informe QUINDLAFIQ No. 55-12

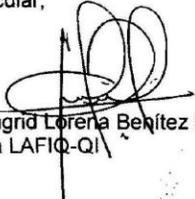
Interesado: Adivas Alejandro Álvarez Raguay
 Proyecto: Tesis "Uso de barita en Hormigón para protección radiológica"
 Muestra: Agregado grueso y Agregado Fino
 Fecha: Guatemala, 29 de Noviembre 2012

Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289-07

IDENTIFICACIÓN	Reducción Alcalina (mmol/L)	Silice Disuelta (mmol/L)	RESULTADO
Agregado Grueso	5.0 ± 0.15	49.0 ± 4.16	Deletéreo
Agregado Fino	6.0 ± 0.82	45.0 ± 2.31	Deletéreo

Muestra proporcionada por el interesado
 Se recomienda efectuar análisis con las Normas ASTM C-227 y/o ASTM C-1260
 Grafica Adjunta.
 Sin otro particular,

Atentamente,



MSc. Licda Ingrid Lorena Benítez Pacheco
Coordinadora LAFIQ-QI



Ing. César Alfonso García Guerra
Jefe
Sección Química Industrial-CII-

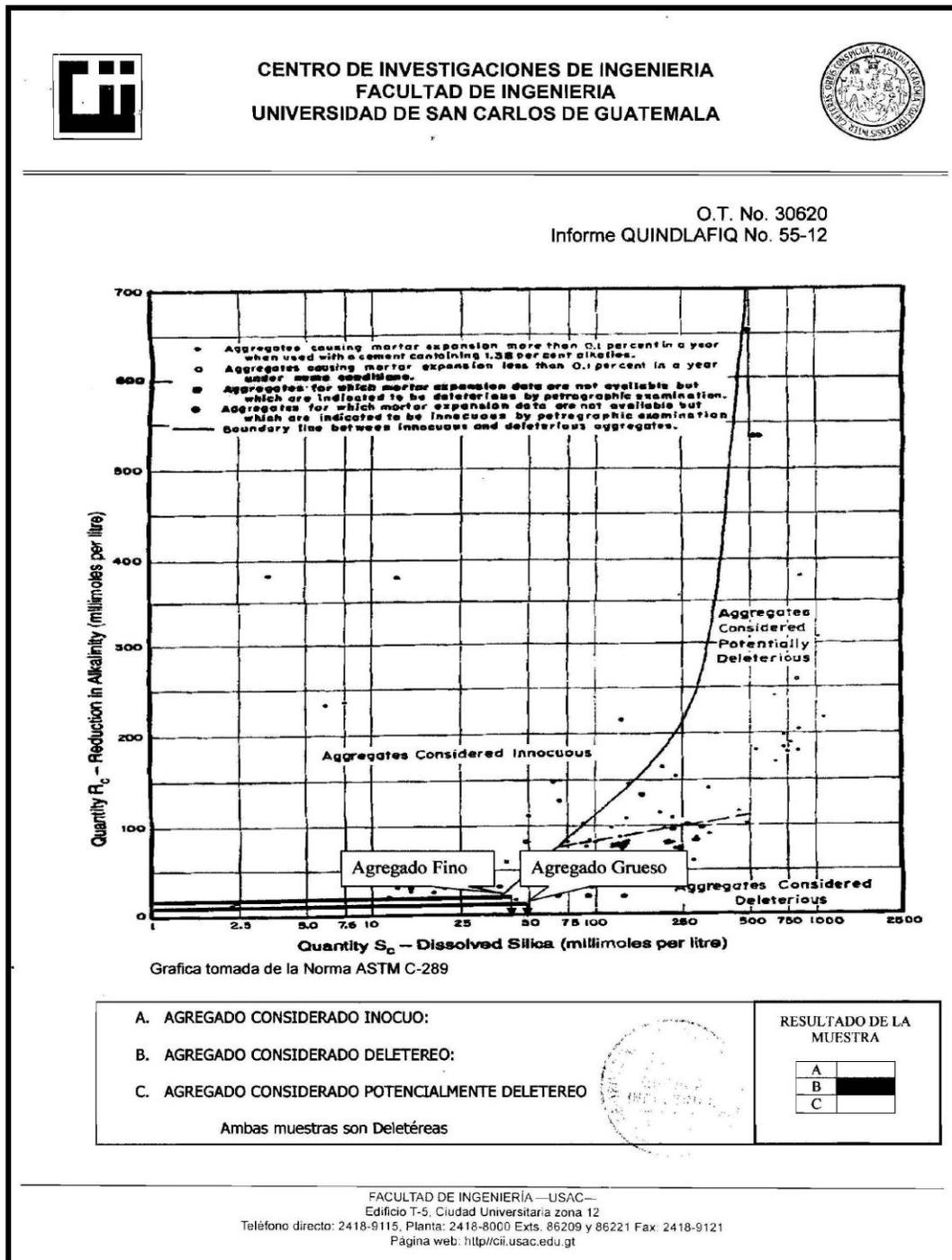


Vo. Bo. Inga Dirlma Mejicanos Jol
Directora a.i
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Química Industrial y de agregados, concretos y morteros CII.

Figura 26. Gráfico determinación de reactividad potencial



Fuente: Sección de Química Industrial y de agregados, concretos y morteros CII.

Figura 27. Sulfato de sodio de agregado fino



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS
POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO
NORMA ASTM C-88**

INFORME No. SC - 331 O.T. No. **30618**

INTERESADO: Adivas Alejandro Alvarez Raguay Carné No. 9812017
PROYECTO: Tesis: "Usos de barita en hormigon para protección radiologica"
DIRECCIÓN: 3ra. Calle lote 6 residenciales Alamedas del Conacaste, zona 2 Escuintla
FECHA: 29 de abril de 2013

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	71,39	1000,00	992,60	0,74	0,53
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	26,68	300,00	285,50	4,83	1,29
	Fondo	1,93	-----	-----	0,00	0,00
TOTALES		100,00	1300,00	-----	-----	1,82

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado
b) Agregado Fino

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.



Inga. Telma Marcela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos



E.R.

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12'
 Telefono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86200 y 86221 Fax: 2418-9121
 Pagina web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros CII.

Figura 28. Sulfato de sodio de agregado grueso



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS
POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO
NORMA ASTM C-88**

INFORME No. SC - 330 O.T. No. **30618**

INTERESADO: Adivas Alejandro Alvarez Raguay Carné No. 9812017

PROYECTO: Tesis: "Uso de barita en hormigon para protección radiologica"

DIRECCIÓN: 3ra. Calle lote 6 residenciales Alamedas del Conacaste, zona 2 Escuintla.

FECHA: 29 de abril de 2013

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
No. 100 (149 mm)						
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	16,83	-----	-----	-----	-----
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	3,77	0,00	0,00	7,30	0,27
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	7,79	100,00	92,70	7,30	0,57
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	18,13	100,00	94,30	5,70	1,03
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	40,99	100,00	97,40	2,60	1,07
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	12,48	100,00	79,10	20,90	2,61
TOTALES		100,00	400,00	-----	-----	5,55

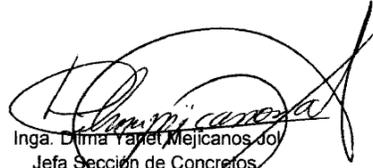
OBSERVACIONES:

- a) Muestra proporcionada por el interesado
- b) Agregado grueso

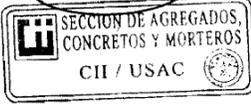
ATENTAMENTE,



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yajef Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros CII.

Figura 29. Resistencia de cilindros de concreto



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG 41017h1 (ASTM C-39)**
INFORME No. S.C. - 415 O.T. No. **30619**
HOJA 1/1

INTERESADO: Adivas Alejandro Alvarez Raguay Carné No. 1998-12017
PROYECTO: Tesis "Uso de barita en hormigon para proteccion radiologica"
DIRECCIÓN: 3ra. Calle lote 6 Residenciales Alamedas del Conacaste, Zona 2 Escuintla.
FECHA: 6 de junio de 2013

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIAMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	5-6	07/05/2013	10/05/2013	3	Control de calidad	17.690	15.107	30.490	50,772	12.60	1830	B
2	6-6	07/05/2013	10/05/2013	3	Control de calidad	17.612	15.150	30.265	47,797	11.80	1710	B
3	7-6	07/05/2013	14/05/2013	7	Control de calidad	17.687	15.163	30.285	65,461	16.10	2340	B
4	8-6	07/05/2013	04/06/2013	28	Control de calidad	17.730	15.183	30.320	94,451	23.20	3370	B
5	9-6	07/05/2013	04/06/2013	28	Control de calidad	17.690	15.050	30.480	89,626	22.40	3250	B

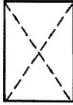
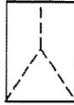
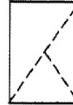
OBSERVACIONES :

a) Muestra proporcionada por el interesado.
 b) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine Division con capacidad de 300 000 libras.
 c) Dial utilizado para la lectura de cargas: 300 000 libras.
 d) Cilindro cabeceado según Norma ASTM C-1231.

b) El interesado proporcionó:

- No. de cilindro en obra.
- Fecha de fundición.
- Edad de ensayo.
- El representativo de la fundición.

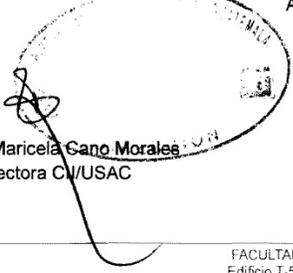
BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA

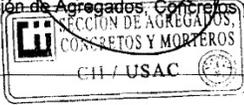






A. CONO B. CONO Y CLIVAJE C. CONO Y RUPTURA D. CORTE E. COLUMNAR

ATENTAMENTE,

Vo.Bo. 
 Telma Maricela Cano Morales
 Directora CI/USAC


 Inga. Dilma Yañey Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros


FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 85209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros CII.

11. DISEÑO DE MEZCLA PARA HORMIGÓN BARÍTICO

11.1. Propiedades de la pasta

- Clase y propiedad del cemento.
- Calidad del agua.
- Proporción relativa de agua y cemento a menor relación agua – cemento mayor resistencia y mejor calidad de concreto.
- Grado de combinación química alcanzada entre el agua y cemento (Proceso llamado hidratación del cemento) que se le llama curado.

11.2. Control de calidad

- Prueba técnica para medir la consistencia del concreto
 - Cono de Abrams

Para diferentes estructuras y condiciones de colocación del concreto hay diferentes asentamientos apropiados, para la mayoría de mezclas de concreto en obras medianas y pequeñas es recomendable una consistencia plástica corresponde a un asentamiento (2" – 4"), Durante la preparación de la mezcla en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, según el diseño de mezcla se realizó la prueba se asentamiento cumpliéndose con las especificaciones tomadas según el diseño de mezcla que fue de 4".

Figura 30. Prueba de asentamiento



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros CII.

11.3. Resultados obtenidos de ensayos realizados

Los valores obtenidos de los ensayos con agregado fino y grueso comprueban que al compararlos con los tradicionales, sus características son aplicadas a la protección radiológica.

Tabla VI. Resultados obtenidos CII, USAC

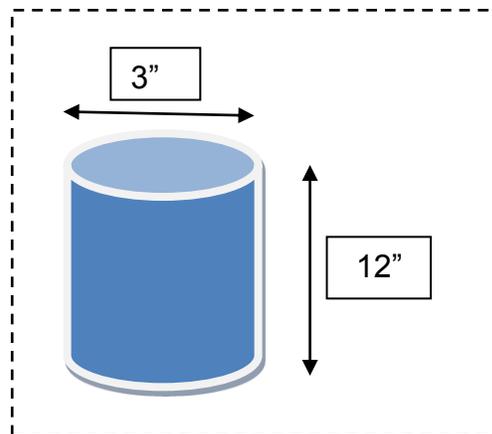
Peso específico agregado fino:	4,13
Peso específico agregado grueso:	3,84
Peso unitario agregado fino:	2 783,44 Kg./m ³
Peso unitario suelto agregado fino:	2 527,85 Kg./m ³
Módulo de finura (M.F.) agregado fino:	3,85
Peso unitario agregado grueso:	2 675,62 Kg./m ³
Peso unitario suelto agregado grueso:	2 549,43 Kg./m ³
Ø Max. agregado: ¾" ≈	19,1mm
Asentamiento:	4"

Fuente: elaboración propia.

11.4. Cálculo de diseño de mezcla para concreto

- Datos
 - c/w: 1,79 ; w/c: 0,56
 - Porcentaje de agregado fino: 0,48
 - Porcentaje de agregado grueso: 0,52
 - F'_c : 210 Kg. /cm². ≈3 000 PSI
- Memoria de cálculo:

Figura 31. Esquema de cilindro para ensayo



Fuente: elaboración propia.

- Cálculo de vol. concreto = $\pi r^2 h$
 - R: 3" ≈ 0,0762 m
 - H: 12" ≈ 0,3048 m.

- Vol. concreto: $(3,1416) (0,0762)^2(0,3048)$: $0,00556\text{m}^3$
 - Vol. concreto: $0,00556 \text{ m}^3 * 12 \text{ cilindros}$: $0,067\text{m}^3$

- Requisitos que debe reunir para el diseño de mezcla de un concreto:
 - Resistencia nominal especificada: F'_c : 210 Kg./cm^2 . $\approx 3 \text{ 000 PSI}$
 - \emptyset Max. agregado: $\frac{3}{4}" \approx 19,1\text{mm}$
 - Asentamiento: $4"$

- Se calcula la cantidad de agua según datos de tamaño de agregado máximo y asentamiento en Kg. /m^3 : 171 lts.
 - Para cemento se utiliza la relación c/w : $1,79$ así:
 - $c/w=1,79 \rightarrow c= 171(1,79)$: $306,09 \text{ Kg./m}^3$

- Datos de los materiales a usar
 - Volúmenes absolutos arena: $\text{Vol. Concreto} * \text{Factor de arena}$
 - Volúmenes absolutos arena: $0,067\text{m}^3 * 0.48 = 0,032 \text{ m}^3$

- Pesos de los materiales
 - Agua $171,00 \text{ Kg./m}^3$
 - Cemento: $306,72 \text{ Kg./m}^3$
 - Arena: $0,032 \text{ m}^3 * \text{peso específico} * 1 \text{ 000}$
 - Arena: $0,032 \text{ m}^3 * 4,13 * 1 \text{ 000}$: $143,89 \text{ Kg./m}^3$
 - Piedrín: $0,032 \text{ m}^3 * \text{peso específico} * 1 \text{ 000}$
 - Piedrín: $0,032 \text{ m}^3 * 3,84 * 1 \text{ 000}$ $134,40 \text{ Kg./m}^3$

Peso unitario

755,38 Kg./m

- Volúmenes aparentes

- Volúmenes aparentes de los materiales

- Vol. Aparente = peso material/peso unitario

- Cemento: peso cemento/P.U. cemento

Cemento: $306,72/1\ 506 = 0,20\ m^3/ m^3$

- Arena: peso arena/P.U. cemento

Arena: $143,89/2\ 527,85 = 0,057\ m^3/ m^3$

- Piedrín: peso piedrín /P.U. cemento

Piedrín: $134,40/2\ 549,43 = 0,053\ m^3/ m^3$

- Cálculo de proporciones para 1 m³ concreto fresco

- Proporción: cemento arena piedrín
Cemento cemento cemento

- Proporción en peso: peso cemento peso arena peso piedrín
cemento cemento cemento

Proporción: 306,09 : 143,89 : 134,40
306,09 306,09 306,09

1 : 0,47 : 0,44

- Proporción en volúmenes aparentes:

<u>peso cemento</u>	<u>peso arena</u>	<u>peso pedrín</u>
cemento	cemento	cemento
<u>0,20</u>	<u>0,057</u>	<u>0,053</u>
0,20	0,20	0,20
1	0,285	0,265

Si en 1 m³ concreto: 171 lts., de agua → para 0,067m³

$$171 \text{ lts.} = 1 \text{ m}^3$$

$$X = 0,067 \text{ m}^3 \rightarrow X: \underline{0,067\text{m}^3 * 171 \text{ Kg./m}^3}$$

1 m³

$$X = 11,46 \text{ Kg./m}^3 \approx 12 \text{ Kg./m}^3$$

→ Cemento: c/w: 1,79 = cemento: 12 Kg./m³ * 1,79 = 21,48 Kg.

Resumen:

Cemento: 21,48 Kg * 2,2 Lbs. : 47,26 lbs.

Arena: 0,47* 47,26 lbs. : 22,22 lbs.

Piedrín: 0,44 * 47,26 lbs.: 20,80 lbs.

Agua: 12 Lts.

CONCLUSIONES

1. La arena o agregado fino no cumple la condición o especificación denominada ASTM C-33; que se refiere a la granulometría fina; el material ensayado está fuera de esa especificación. Esta es una condición de teoría, dado que, para alcanzar el objetivo de construir un concreto suficiente para contener la radiación, es necesario que los áridos o agregados finos, sean más finos que los incluidos en la norma, para evitar la segregación dentro de la mezcla, evitando al máximo la inclusión de aire.
2. La resistencia nominal o de diseño para el concreto con el muro de agregados de barita, en promedio se rebaso en 10,33% en el ensayo de compresión realizado a los 28 días; por lo tanto, la barita si llena los requisitos para la producción de concretos densos para obras especiales en ambientes expuestos a la radiación hospitalaria (rayos X y gamma).
3. La hipótesis sobre le hormigón (concreto) que contenga como agregado (áridos) proveniente de barita, es más denso y con mayor capacidad para la contención de emisión de radiación hospitalaria, quedo probada; dado que, según los resultados obtenidos en este trabajo de graduación, con un espécimen con la mitad de espesor comparado con uno de concreto hidráulico normal, es capaz de contener la misma cantidad de radiación hospitalaria.

4. Para que el hormigón (concreto) fabricado con agregados de barita tenga un comportamiento como el diseñado, será necesario instruir a la supervisión y ejecución de la obra donde se utilice la mezcla, con el propósito que el control de calidad sea estricto y de acuerdo a las expectativas de la vida útil y del servicio de la obra en área hospitalaria.

RECOMENDACIONES

1. A Facultad de Ingeniería, para que a través del Centro de Investigaciones, coordine con la empresa PROMISA, una investigación específica sobre la granulometría fina de la barita que produce, con el propósito de encontrar una especificación técnica especial sobre esa granulometría, para ser utilizada en la fabricación de hormigón (concreto) más denso que el convencional para ser utilizado en obras destinadas a la contención de la radiación producida en instalaciones hospitalarias.
2. Que la facultad de Ingeniería a través del Centro de Investigaciones la Universidad de San Carlos de Guatemala, alcancen un convenio de cooperación interinstitucional con el Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social, cuyo propósito sea el de obtener el catálogo de instalaciones donde se emiten radiaciones y sus niveles de contaminación, para que se realice una investigación de ingeniería donde se obtengan las especificaciones técnicas especiales para la construcción de esos ambientes en las instalaciones hospitalarias públicas y privadas, agregando sus resultados a la normativa existente sobre este tópico.
3. Construir ambientes hospitalarias donde se produce radiación, sean contruidos con la mezcla definida en este trabajo de graduación, para la contención de radiación que se muestran en los resultados obtenidos.
4. Que se norme el control de calidad necesario para la construcción de muros con concreto denso, con agregados de barita.

BIBLIOGRAFÍA

1. CANEVAS, Jorge. *Manual del hormigón*. Colombia: IPR, 2002. 200 p.
2. *Comisión internacional de protección radiológica – ICRP*. Publicación No. 26. 1977.
3. _____. UNSCEAR. Publicación No. 60. 1990.
4. Consejo de Seguridad Nuclear. Guía de Seguridad No. 5.11: *Aspectos técnicos de seguridad y protección radiológica de instalaciones médicas de rayos “X”*. Colombia: CSN, 2012. 22p.
5. Coordinación General de Minería. Dirección General de Promoción Minera. *Normas para Protección Radiológica en Guatemala*. Guatemala: CGM, 2010. 125 p.
6. *Diseño y control de mezclas de concreto*, Perú: EB, 2004. Capítulo 5, 31 p.
7. GODED ECHEVERRIA, Federico; SERRADELL GARCIA, Vicente. *Teoría de reactores y elementos de ingeniería nuclear*. Tomo I. USA: IAEA, 2007. 125 p.
8. HERRERA TOLEDO, Yasmila. *Antecedentes de hormigón de alta densidad*. Barcelona: CPR, 2012. 250 p.

9. Instituto Mexicano del Cemento. *Manual de diseño de mezclas de concreto*. México: IMC, 2009. 250 p.
10. ORTEGA ARAMBURU, Javier. *Radiaciones Ionizantes: utilizaciones y riesgos*. UPC, Barcelona: 1996. 2 volúmenes.
11. *Procesadora de Minerales*. Guatemala: PROMISA Boletín 2012.
12. TOVAR, Julio; BARAHONA MOLINA, Oliverio Manuel; CORPEÑO, Gustavo. *Curso de actualización en protección radiológica para la industria*. Guatemala: SIE Ltda. AC Radiaciones. 2010. 250 p.

APÉNDICES

APENDICE 1: Tamizadora eléctrica, que se utilizó para ensayo granulométrico fino y grueso



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

APENDICE 2: Balanza para pesaje de material barita, capacidad 20 Kg.



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

APENDICE 3: Ensayo de asentamiento de concreto barítico



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

APENDICE 4: Cilindros fundidos para ensayar a compresión



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

APENDICE 5: Máquina de Compresión RIEHLE, Testing Machine
División Capacidad 300 lbs.



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

APENDICE 6: Mezcladora de Concreto fresco, capacidad 1m³



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

APENDICE 7: Cálculo de muros para protección radiológica

Ejemplo de cálculo de blindajes para barrera primaria

Pared A del bunker sobre la que incide el haz primario a 90°.

CÁLCULO DE BLINDAJES PARA BARRERA PRIMARIA

Institución:	colegio de Ingenieros	Barrera:	Pared A
Sala:	Accelerador lineal 1	Dependencia contigua:	Pasillo interno
Fecha:		Símbolo en el plano:	1

DATOS PARA EL CÁLCULO

Datos	Valores
Factor de uso directa U	0.25
Factor de ocupación T	0.0625
Clasificación de zona	Libre acceso
Límite semanal (mSv) H _w	0.02
Energía máxima rayos X (entre 1 y 50 MV)	18
Energía máxima electrones (entre 6 y 50 Me)	21
Carga semanal (mGy/semana) W	1.0E+06
Factor contribución otras radiaciones Q	1
Do/Dr	0.001
Dre/De	0.05
Dn/Dr	0.0002
Distancia foco-barrera (m) d	4
Distancia paciente-barrera (m) d _p	3
Distancia del punto a F ₁ (m) d _f	5
Distancia de F ₁ al cabezal (m) d _f	0.6
Distancia mínima cabezal-barrera (m) d _c	1.6
Suma trayectos neutrones d _n	2
Área campo máximo en isocentro (m ²) F ₁	0.16
Área zona choque (m ²) F ₁	18
Relación ancho/largo esclusa b/l	1

Valores facilitados por el fabricante:

- Do/Dr: 0.001
- Dre/De: 0.05
- Dn/Dr: 0.0002
- Distancia del punto a F₁ (m) d_f: 5
- Distancia de F₁ al cabezal (m) d_f: 0.6
- Distancia mínima cabezal-barrera (m) d_c: 1.6
- Suma trayectos neutrones d_n: 2
- Área zona choque (m²) F₁: 18

Valor propuesto en DIN 6847 punto 8.7.7 cuando la fuente efectiva es el foco (No hay neutrones):

- Do/Dr: 0.001
- Dre/De: 0.05
- Dn/Dr: 0.0002
- Distancia del punto a F₁ (m) d_f: 5
- Distancia de F₁ al cabezal (m) d_f: 0.6
- Distancia mínima cabezal-barrera (m) d_c: 1.6
- Suma trayectos neutrones d_n: 2
- Área zona choque (m²) F₁: 18

	Hormigón	Hormigón baritado	Plomo
	2,3 g/cm ³	3,2 g/cm ³	11,3 g/cm ³
Espesor para RX directa (cm)	208	137	25.8
Espesor para RX secundaria (cm)	44	25	4.1
Espesor para RX terciaria (cm)	29	16	3
Espesor para fuga (cm)	137	90	17.0
Espesor para directa de neutrones (cm)	66	66	150.9
Espesor para dispersa neutrones (cm)	32	32	92.3
Espesor para frenado de electrones (cm)	154	102	19
Espesor de la contribución total (cm)	208	137	150.9

Espección S₁ según la ecuación S₁ = Z · Log₁₀(W · T · U · K₁ · Q / H_w) donde K₁ es en cada caso lo indicado en la hoja Método

Si S₁ > 1 CDR => SI (despreciar S₁)
Si S₁ < 0.3 CDR => SI + 0.3 CDR
0.3 CDR < Si · S₁ < 0.6 CDR => SI + 0.2 CDR
0.6 CDR < Si · S₁ < CDR => SI + 0.1 CDR
 (Norma DIN 6847)
 En este caso CDR = 44.35 cm
 208 · 154 = 32032 > 1 CDR => total 208

Ejemplo de cálculo de blindajes para barrera secundaria

Pared B del bunker sobre la que no incide el haz primario a 90°.

CÁLCULO DE BLINDAJES PARA BARRERA SECUNDARIA

Institución:		Barrera:	Pared B
Sala:	Accelerador lineal 1	Dependencia contigua:	Consulta médica
Fecha:		Símbolo en el plano:	2

DATOS PARA EL CÁLCULO

Datos	Valores
Factor de ocupación T	1
Clasificación de zona	LA
Límite semanal (mSv) H _w	0.02
Energía máxima rayos X (entre 1 y 50 MV)	18
Carga semanal (mGy/semana) W	1.0E+06
Factor contribución otras radiaciones Q	2
Do/Dr	0.001
Dn/Dr	0.0002
Distancia paciente-barrera (m) d _p	5
Distancia del punto a F ₁ (m) d _f	7
Distancia de F ₁ al cabezal (m) d _f	2
Distancia mínima cabezal-barrera (m) d _c	5
Suma trayectos neutrones d _n	5
Área campo máximo en isocentro (m ²) F ₁	0.16
Área zona choque (m ²) F ₁	58.5
Relación ancho/largo esclusa b/l	1

Valores facilitados por el fabricante:

- Do/Dr: 0.001
- Dn/Dr: 0.0002
- Distancia del punto a F₁ (m) d_f: 7
- Distancia de F₁ al cabezal (m) d_f: 2
- Distancia mínima cabezal-barrera (m) d_c: 5
- Suma trayectos neutrones d_n: 5
- Área zona choque (m²) F₁: 58.5

Valor propuesto en DIN 6847 punto 8.7.7 cuando la fuente efectiva es el foco (No hay neutrones):

- Do/Dr: 0.001
- Dn/Dr: 0.0002
- Distancia del punto a F₁ (m) d_f: 7
- Distancia de F₁ al cabezal (m) d_f: 2
- Distancia mínima cabezal-barrera (m) d_c: 5
- Suma trayectos neutrones d_n: 5
- Área zona choque (m²) F₁: 58.5

	Hormigón	Hormigón baritado	Plomo
	2,3 g/cm ³	3,2 g/cm ³	11,3 g/cm ³
Espesor para RX secundaria (cm)	61	34	5.7
Espesor para RX terciaria (cm)	42	24	4
Espesor para fuga (cm)	160	106	19.8
Espesor para directa de neutrones (cm)	83	83	193.3
Espesor para dispersa neutrones (cm)	47	47	133
Espesor de la contribución total (cm)	160	106	193.3

Para espesor total se aplica el mismo criterio que en Primaria

Fuente: elaboración propia.

APENDICE 8: Cálculo de blindajes en barreras primarias

CÁLCULO DE BLINDAJES PARA BARRERA PRIMARIA

Institución: Barrera:
 Sala: Dependencia contigua:
 Fecha: Símbolo en el plano:

DATOS PARA EL CÁLCULO

	Valores
Factor de uso directa U	0.25
Factor de ocupación T	0.0625
Clasificación de zona	Libre acceso
Límite semanal (mSv) H_w	0.02
Energía máxima rayos X (entre 1 y 50 MV)	18
Energía máxima electrones(entre 6 y 50 MeV)	21
Carga semanal (mGy/semana) W	1.0E+06
Factor contribución otras radiaciones Q	1
Do/Dr	0.001
Dre/De	0.05
Dn/Dr	0.0002
Distancia foco-barrera (m) d	4
Distancia paciente-barrera (m) d_s	3
Distancia del punto a F_t (m) d_t	5
Distancia de F_t al cabezal (m) d_f	0.6
Distancia mínima cabezal-barrera (m) d_c	1.6
Suma trayectos neutrones d_g	2
Área campo máximo en isocentro (m^2) F_n	0.16
Área zona choque (m^2) F_t	18
Relación ancho/largo esclusa b/l	1

	Hormigón 2,3 g/cm ³	Hormigón baritado 3,2 g/cm ³	Plomo 11,3 g/cm ³
Espesor para RX directa (cm)	208	137	25.8
Espesor para RX secundaria (cm)	44	25	4.1
Espesor para RX terciaria (cm)	29	16	2.7
Espesor para fuga (cm)	137	90	17.0
Espesor para directa de neutrones (cm)	66	66	150.9
Espesor para dispersa neutrones (cm)	32	32	92.3
Espesor para frenado de electrones (cm)	154	102	19.1
Espesor de la contribución total (cm)	208	137	150.9

Fuente: elaboración propia.

APENDICE 9: Cálculo de blindajes en barreras secundaria

CÁLCULO DE BLINDAJES PARA BARRERA SECUNDARIA			
Institución:		Barrera:	
Sala:	Accelerador lineal 1	Dependencia contigua:	
Fecha:	26/08/2003	Símbolo en el plano:	
DATOS PARA EL CÁLCULO		Valores	
Factor de ocupación T		1	
Clasificación de zona		Controlada	
Límite semanal (mSv) H_w		0.4	
Energía máxima rayos X (entre 1 y 50 MV)		23	
Carga semanal (mGy/semana) W		1.0E+06	
Factor contribución otras radiaciones Q		2	
Do/Dr		0.001	
Dn/Dr		0.013	
Distancia paciente-barrera (m) d_s		6.4	
Distancia del punto a F_t (m) d_t		10.8	
Distancia de F_t al cabezal (m) d_f		3.5	
Distancia mínima cabezal-barrera (m) d_c		5.4	
Suma trayectos neutrones d_g		5.4	
Área campo máximo en isocentro (m ²) F_n		0.16	
Área zona choque (m ²) F_t		30	
Relación ancho/largo esclusa b/l		1	
		<i>Hormigón</i> 2,3 g/cm ³	<i>Hormigón baritado</i> 3,2 g/cm ³
			<i>Plomo</i> 11,3 g/cm ³
Espesor para RX secundaria (cm)		37	21
Espesor para RX terciaria (cm)		6	3
Espesor para fuga (cm)		103	67
Espesor para directa de neutrones (cm)		90	90
Espesor para dispersa neutrones (cm)		53	53
Espesor de la contribución total (cm)		105	93
			213.4

Fuente: elaboración propia.