



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN  
LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-  
SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE  
LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”**

---

**AUTOR:** Jaime Enrique Amancha Caguana

**TUTOR:** Ing. Mg. Jorge Washington Cevallos Cabrera

**AMBATO – ECUADOR**

**Marzo - 2021**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”**, elaborado por el Sr. Jaime Enrique Amancha Caguana, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 180134603 estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2021

.....  
**Ing. Mg. Jorge Washington Cevallos Cabrera**  
**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Jaime Enrique Amancha Caguana con CI: 180164603-0, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental, con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mí exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2021



.....  
**Jaime Enrique Amancha Caguana**  
**CI: 180164603-0**  
**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en líneas patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Marzo 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jaime', with several large, overlapping loops and flourishes extending to the left and right.

.....  
**Jaime Enrique Amancha Caguana**  
**CI: 180164603-0**  
**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental por el estudiante Jaime Enrique Amancha Caguana, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema **“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”**.

Ambato, Marzo 2021

Para constancia firman:

.....  
Ing. Mg. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

.....  
Ing. Msc. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

A mis padres: Isabel y Abelardo

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios

A mis padres que siempre me apoyaron con sus consejos para que sea una persona de bien y nunca me he rendido por más obstáculos que existan.

A la Universidad Técnica de Ambato y a sus profesores por brindarme sus conocimientos y especialmente sus experiencias.

Un agradecimiento al Ing. Mg. Jorge Cevallos Cabrera, por tenerme paciencia y entenderme.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
RESUMEN .....	xviii
ABSTRACT .....	xix
CAPITULO I .....	1
MARCO REFERENCIAL .....	1
1.1 Antecedentes Investigación.....	1
1.1.2 Antecedentes .....	1
1.1.1 Justificación .....	3
1.1.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	5
1.1.1.2 La radioactividad natural.....	6
1.1.1.3 La radioactividad artificial.....	9
1.1.1.4 Mecanismo de transporte .....	10
1.1.1.5 Medida de la radioactividad natural.....	11
1.1.1.6 Efectos de la radioactividad .....	11
1.1.1.7 Correlación multivariable de precauciones sísmicas .....	12



1.1.1.1.8	Efectos del radón en la salud humana.....	13
1.1.1.1.9	Legislación .....	15
1.1.1.1.10	Radón en suelos .....	19
1.1.1.1.11	El radón en materiales de construcción .....	20
1.1.1.1.12	Método de la cámara cerrada.....	23
1.1.1.1.13	Dosis efectiva.....	24
	Concentración de radón.....	25
	Dosis efectiva anual por inhalación .....	26
1.1.1.1.14	Estudios del gas radón en el mundo.....	26
-	Estudios del radón en los países de américa latina .....	32
1.1.1.2	Materiales de construcción del ladrillo artesanal .....	38
-	Composición química del barro.....	38
	Tipos de barro.....	39
-	Barro secundario.....	39
-	Plasticidad.....	39
1.1.1.2.2	Arena. ....	40
	Características de la arena. ....	40
1.1.1.2.3	Aserrín.....	40
	Características del aserrín.....	40
1.1.1.2.4	Agua.....	40
1.1.1.2.5	Ladrillo.....	41
-	Definición .....	41
-	Fabricación. ....	41
	Proceso de fabricación. ....	41

- Extracción del material. ....	41
- Tratamiento del material.....	42
- Amasado.....	42
- Reposo o madurado. ....	43
- Moldeado.....	43
- Secado.....	44
<b>Fuente: Autor.....</b>	<b>44</b>
- Transporte. ....	44
- Elementos del ladrillo .....	45
<b>1.1.1.3 Propiedades físicas- mecánicas .....</b>	<b>45</b>
b) Módulo de finura .....	46
c) Límite de Plasticidad o Límite de Atterberg.....	46
d) Límite Líquido (LL %). ....	46
e) Límite Plástico (LP %). ....	47
f) Índice Plástico (Ip %). ....	47
g) Contenido de Humedad .....	48
h) Porosidad.....	49
<b>1.1.1.4 Descripción del área de estudio.....</b>	<b>50</b>
<b>Ubicación geográfica .....</b>	<b>50</b>
<b>1.1.1.5 Agencia de regulación y control minero (ARCOM) .....</b>	<b>51</b>
<b>1.1.1.6 Hipótesis .....</b>	<b>52</b>
<b>1.1.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>52</b>
<b>1.1.2.2 Objetivos específicos. ....</b>	<b>53</b>
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>54</b>

2.1.2	Investigación Descriptiva .....	54
2.1.3	Investigación Correccional.....	55
2.2	Población y Muestreo .....	55
2.2.1	Población.....	55
2.2.1.1	Minas y canteras de la Ciudad Latacunga.....	55
2.2.1.2	Factores físicos que favorecen la concentración del gas radón.....	56
	Precipitación .....	57
	Clima.....	58
	Población urbana y rural.....	58
2.2.2	Muestreo .....	58
2.3	Materiales e Equipo.....	59
2.3.1	Materiales .....	59
2.3.2	Equipos .....	59
2.3.4	Límite de Plasticidad o Límite de Atterberg .....	60
2.3.5	Contenido de humedad.....	60
2.3.6	Medición del radón .....	61
2.4	Método.....	66
2.4.1	Plan de recolección de datos .....	66
2.4.1.1	Selección del lugar de extracción .....	66
2.4.1.2	Extracción del barro .....	66
2.4.1.3	Zanja abierta a corte.....	66
2.4.1.4	Ensayo de las propiedades físicas de la materia prima y ladrillo ..	67
2.2.1.5	Plan de procesamiento y análisis de información .....	67
	<b>CAPITULO III .....</b>	<b>69</b>

<b>3.1</b>	<b>Análisis y discusión de resultados .....</b>	<b>69</b>
<b>3.1.1.1</b>	<b>Estructura geológica de minas .....</b>	<b>69</b>
<b>3.1.1.2</b>	<b>Representación gráfica de condiciones físicas y meteorológicas de la mina</b>	<b>71</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Cantera significativa del barro (arcilla) mina Palopo ciudad Latacunga.....</b>	<b>75</b>
<b>3.1.2.1</b>	<b>Concesión minera en estudio.....</b>	<b>75</b>
	<b>Ubicación.....</b>	<b>76</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Propiedades físicas de los materiales y su influencia en la concentración de radón.....</b>	<b>77</b>
<b>3.1.4.</b>	<b>Concentración de radón .....</b>	<b>84</b>
<b>3.1.4.1.</b>	<b>Determinación de la concentración de radón de las muestras.....</b>	<b>85</b>
<b>3.1.4.2.</b>	<b>Determinación de la tasa de dosis anual en una casa típica de la región</b>	<b>95</b>
<b>3.1.4.3.</b>	<b>Comparación con otros estudios .....</b>	<b>98</b>
	<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>99</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>4.2</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>100</b>
	<b>CAPITULO V PATOLOGÍA.....</b>	<b>102</b>
<b>5.1.</b>	<b>Justificación .....</b>	<b>102</b>
<b>5.2.</b>	<b>Manifestaciones patológicas observadas .....</b>	<b>103</b>
<b>5.3.</b>	<b>Estudio y Causas de las manifestaciones .....</b>	<b>106</b>
<b>5.4.</b>	<b>Factores y Fuentes que favorecen la concentración del gas radón .....</b>	<b>106</b>
<b>5.4.1.</b>	<b>Factores naturales del gas radón que más influyen en el interior de las viviendas .....</b>	<b>106</b>
<b>5.4.2.</b>	<b>Factores artificiales del gas radón que más influyen en el interior de las viviendas .....</b>	<b>107</b>

c)	Vías de entrada del gas radón .....	108
<b>5.5.</b>	<b>Posibles Soluciones Adoptables .....</b>	<b>108</b>
a)	Barreras para atenuar el paso del gas radón.....	108
b)	Sistemas de extracción del radón desde el suelo.....	109
c)	Ventilación interior en los edificios.....	110
d)	Aplicación de técnicas efectivas.....	111
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>112</b>
	<b>ANEXO 1.....</b>	<b>117</b>
	<b>ANEXO 2.....</b>	<b>118</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> La desintegración de las partículas del núcleo da resultado una emisión de partículas alfa y beta y emisión de radiación gama .....	8
<b>Figura 2:</b> Cadena de desintegración del radio.....	8
<b>Figura 3:</b> Fuentes artificiales de la emanación del gas radón .....	9
<b>Figura 4:</b> Esquema de difusión .....	10
<b>Figura 5:</b> Entidades implicadas en planes nacionales del gas radon.....	17
<b>Figura 6:</b> Esquema general para la legislación de la exposición de gas radón...	18
<b>Figura 7:</b> Esquema como entra a una casa el gas radón .....	22
<b>Figura 8:</b> Mapa de concentración de radón a nivel mundial (OMS) .....	29
<b>Figura 9:</b> Niveles de radón en la ciudad de Quito .....	37
<b>Figura 10:</b> Deposito de materiales .....	42
<b>Figura 11:</b> Amasado del material .....	43
<b>Figura 12:</b> Moldeado de la mezcla.....	43
<b>Figura 13:</b> Secado del adobe .....	44
<b>Figura 14:</b> Caras y aristas del ladrillo.....	45
<b>Figura 15:</b> Determinación del límite líquido en la curva de escurrimiento .....	47
<b>Figura 16:</b> Ubicación Latacunga zona 3 .....	50
<b>Figura 17:</b> Catastro minero sistema de referencia: WGS – 84 UTM.....	52
<b>Figura 18:</b> Configuración experimental del RAD7 para toma de muestras en aire.....	62
<b>Figura 19:</b> Partes externas del Detector RAD7. ....	62
<b>Figura 20:</b> Alpha-E: .....	63
<b>Ilustración 21:</b> Configuración experimental del método de la cámara cerrada.	65
<b>Figura 22:</b> Ubicación Mina Palopo.....	76
<b>Figura 23:</b> Ubicación Mina Palopo.....	77
<b>Figura 24:</b> Cámara cerrada para la medición del gas radón .....	84
<b>Figura 25:</b> Configuración experimental del método de la cámara cerrada.....	85
<b>Figura 26:</b> Concentración de gas radón del barro RAD7 .....	87
<b>Figura 27:</b> Concentración de gas radón del barro Alpha E.....	87
<b>Figura 28:</b> Concentración de gas radón ladrillo artesanal fabrica 1.....	90
<b>Ilustración 29:</b> Concentración de gas radón ladrillo artesanal fabrica 1 Alpha E	

.....	90
<b>Figura 30: Concentración de gas radón en ladrillo artesanal fabrica 2 RAD7 ..</b>	<b>92</b>
<b>Figura 31: Concentración de gas radón en ladrillo artesanal fabrica 2 Alpha E</b>	
.....	92
<b>Figura 32: Concentración de gas radón en ladrillo artesanal fabrica 3 RAD7 ..</b>	<b>94</b>
<b>Figura 33: Concentración de gas radón en ladrillo artesanal fabrica 3 Alpha E</b>	
.....	94
<b>Figura 34: Planta baja del diseño analizado.....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 35: Planta alta del diseño analizado.....</b>	<b>96</b>
<b>Ilustración 36 Manifestaciones patológicas .....</b>	<b>103</b>
<b>Ilustración 37 Figuras patológicas.....</b>	<b>104</b>
<b>Ilustración 38 Figuras patológicas.....</b>	<b>105</b>
<b>Ilustración 39 Vías de entrada .....</b>	<b>105</b>
<b>Ilustración 40 Puntos de entrada del gas Radón a un edificio .....</b>	<b>108</b>
<b>Ilustración 41 : Barrera para atenuar el paso de radón.....</b>	<b>109</b>
<b>Ilustración 42 Sistema de extracción desde el suelo .....</b>	<b>110</b>
<b>Ilustración 43 Esquema de soluciones de protección privadas .....</b>	<b>111</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Principales propiedades físicas y químicas del radón.....	<b>6</b>
<b>Tabla 2</b> Medidas de la radioactividad natural .....	<b>11</b>
<b>Tabla 3</b> Resumen estadístico proporcionado por la Organización Mundial de Salud (OMS).....	<b>28</b>
<b>Tabla 4 :</b> Tasa de exhalación específica de radón (Bq/kg*h) y fracción de emanación (%) en muestras de materiales utilizadas en grandes cantidades .....	<b>30</b>
<b>Tabla 5:</b> Instituciones participantes .....	<b>33</b>
<b>Tabla 6:</b> Niveles de radón (Bq/m <sup>3</sup> ) en las diferentes ciudades de América Latina .....	<b>34</b>
<b>Tabla 7:</b> Resultados del Radón por País .....	<b>36</b>
<b>Tabla 8:</b> Composición química del barro .....	<b>38</b>
<b>Tabla 9:</b> Granulometría del agregado fino .....	<b>45</b>
<b>Tabla 10:</b> Límite plástico .....	<b>48</b>
<b>Tabla 11:</b> Datos generales.....	<b>50</b>
<b>Tabla 12:</b> Ensayo de las propiedades físicas de la materia prima y ladrillo.....	<b>67</b>
<b>Tabla 13:</b> Catastro minero del cantón Latacunga.....	<b>70</b>
<b>Tabla 14:</b> Formación geológicas y su distribución en el cantón Latacunga .....	<b>72</b>
<b>Tabla 15:</b> Temperatura del cantón Latacunga.....	<b>73</b>
<b>Tabla 16:</b> Precipitación del cantón Latacunga.....	<b>74</b>
<b>Tabla 17:</b> Coordenadas de ubicación de toma de muestra.....	<b>76</b>
<b>Tabla 18:</b> Granulometría de agregado fino arena .....	<b>78</b>
<b>Tabla 19:</b> Granulometría de agregado fino barro .....	<b>79</b>
<b>Tabla 20:</b> Límites de plasticidad de la arena .....	<b>80</b>
<b>Tabla 21:</b> Límite de plasticidad del barro .....	<b>81</b>
<b>Tabla 22:</b> Contenido de humedad y porosidad .....	<b>83</b>
<b>Tabla 23:</b> Contenido de humedad y porosidad .....	<b>86</b>
<b>Tabla 24:</b> Concentración de gas radón en barro y arena .....	<b>88</b>
<b>Tabla 25:</b> Resultados tasa de exhalación superficial de las muestras de ladrillo tomadas en la fábrica 1.....	<b>89</b>
<b>Tabla 26:</b> Resultados tasa de exhalación superficial de las muestras de ladrillo tomadas en la fábrica 2.....	<b>91</b>



<b>Tabla 27: Resultados tasa de exhalación superficial de las muestras de ladrillo tomadas en la fábrica 3.....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 28: Tasa de dosis anual en una casa típica.....</b>	<b>97</b>
<b>Tabla 29: Tabla comparativa.....</b>	<b>98</b>

## RESUMEN

Se ha determinado la exhalación másica en ladrillos artesanales construidos en las fábricas de la ciudad Latacunga (sector: Juan Montalvo, San Sebastián e Ignacio Flores). Es importante considerar el efecto producido por el gas radón en lugares cerrados construido con este material.

En este trabajo se determinó las propiedades del barro, arena y ladrillo y cómo influyen en la emanación y exhalación del gas radón; también se calculó la exhalación producida en el interior de una edificación típica de este lugar.

En la materia prima la exhalación de gas radón son muy limitadas debido a las condiciones meteorológicas y geológicas del lugar (mina Palopo), con un contenido de concentración de radioactividad para el barro (28.9391 más menos 0.0150) Becquerelio por metro cúbico, para la arena (3.3088 más menos 0.0050) Becquerelio por metro cúbico y para los ladrillos (9.7169 más menos 0.0510) Becquerelio por metro cúbico.

La dosis efectiva anual es debido a la inhalación del gas radón producido en un edificio tipo del sector, con una permanencia de 5110 horas al año es 1.982 por 10 a la menos 3 miles sievert al año. La tasa de dosis de los materiales de construcción que se utiliza en la actualidad recomendado por la UNSCEAR es de 1.1 miles sievert al año.

## ABSTRACT

The mass exhalation has been determined in handmade bricks built in factories in the city of Latacunga (sector: Juan Montalvo, San Sebastian and Ignacio Flores). It is important to consider the effect produced by radon gas in closed places built with this material.

In this work we determined the properties of mud, sand and brick and how they influence the emanation and exhalation of radon gas; we also calculated the exhalation produced inside a typical building of this place.

In the raw material the exhalation of radon gas are very limited due to the meteorological and geological conditions of the site (Palopo mine), with a radioactivity concentration content for mud (28.9391 plus minus 0.0150) Becquerel per cubic meter, for sand (3.3088 plus minus 0.0050) Becquerel per cubic meter and for bricks (9.7169 plus minus 0.0510) Becquerel per cubic meter.

The annual effective dose is due to the inhalation of radon gas produced in a typical building in the sector, with a permanence of 5110 hours per year is 1.982 per 10 to the minus 3 thousand sievert per year. The dose rate of the building materials currently used as recommended by UNSCEAR is 1.1 thousand sievert per year.

# CAPITULO I

## MARCO REFERENCIAL

### 1.1 Antecedentes Investigación

#### 1.1.2 Antecedentes

Según la organización mundial de salud, entre el 3 y 14% de las muertes por cáncer de pulmón están relacionados con el gas radón. En un proyecto europeo denominado RADPAR en la que participo el LaRUC, a través del desarrollo de un modelo matemático con los datos de radón disponibles, se evaluó que dicho número se encontraba en el entorno de los 1500 referidos a España, si bien la incertidumbre asociada a dicho valor era considerable.

Si bien es cierto acerca de la relación entre el gas radón y enfermedades tales como leucemia infantil, cáncer de mama, cáncer de estómago y otros tipos hasta el momento presente no se ha confirmado la misma de manera científica.

La peligrosidad radiológica del gas radón está asociada fundamentalmente en sus descendientes de vida corta: en concreto el  $^{218}\text{Po}$  y  $^{214}\text{Po}$ . Existe también una exposición externa causada por la radiación gamma directa, pero el verdadero riesgo está en la radiación alfa. Si bien, la radiación alfa es relativamente poca peligrosa por irradiación externa ya que la epidermis proporciona un blindaje efectivo, cuando se inhala el gas radón, las partículas radioactivas se adhieren al tejido del tractor pulmonar, donde somete una irradiación alfa a las células broncas pulmonares. La absorción de esta radiación provoca ionizaciones y excitaciones de las estructuras celulares provocando efectos lesivos: puede dañar directa e indirectamente el ADN y provocar mutaciones en el tejido pulmonar que pueden derivar en cáncer.

Existen documentación científica que muestra que los balnearios con agua contenido gas radón son elevados, son lugares apropiados para el tratamiento de enfermedades como el reumatismo y efectivos para el tratamiento del stress. Distintos estudios en Europa, Estados Unidos y China confirman que incluso pequeñas concentraciones de gas radón, como las que se encuentran en las casas, conllevan riesgos para la salud y contribuyen significativamente a la incidencia del cáncer del pulmón en todo el mundo. Los perjuicios se manifiestan después de una exposición de largo plazo, de años a niveles muy altos.

Según la OMS, los fumadores tienen una vulnerabilidad al gas radón 25 veces mayor que los no fumadores.

En Ecuador no se han realizado ningún estudio que se refiera a concentración del gas radón. Sin embargo, existen estudios realizados a nivel de pregrado en la Provincia de Chimborazo:

Estudio realizado en el 2015, es la tesis de pregrado titulado “Riesgos a la salud por la contaminación radioactiva del agua potable de la ciudad de Riobamba” la cual caracteriza radiológicamente el agua de consumo humano en la provincia de Chimborazo” utilizando dos técnicas: alfa y beta total por el método de evaporación, obteniendo una actividad alfa total de 0.5 Becquerelio por litro (Bq/l) y 1 Becquerelio por litro (Bq/l) para la actividad beta total.

Estudio realizado en 2018, en la tesis de pregrado titulado “Implementación de un método de detección de gas  $^{222}\text{Rn}$  en agua proveniente de las vertientes naturales del volcán Carihuairazo” utilizando el método de la cámara cerrada, los materiales presentan una concentración de actividad de  $^{222}\text{Rn}$  entre 570 y 1500  $\text{Bq/m}^3$  ( $\pm 20\%$ ), lo cual no sobrepasa los límites recomendados por las organizaciones internacionales de regulación del área de radio protección.

Trabajo realizado en 2019, en la tesis de pregrado titulado “Determinación del coeficiente de exhalación másica de los materiales de construcción más usados en el cantón Riobamba”, utilizando el método de cámara cerrada, la tasa y dosis calculada para diferentes materiales de construcción debido a la inhalación de  $^{222}\text{Rn}$ : ladrillo  $0.012 \pm 0.003$  [mSv/año], bloque  $0.062 \pm 0.001$  [mSv/año], concreto  $0.55 \pm 0.012$  [mSv/año]. Granito  $0.23 \pm 0.12$  [mSv/año], puzolana  $0.069 \pm 0.054$  [mSv/año] no sobre pasan el límite anual de dosis efectiva que ha propuesto la UNSCEAR en el año 2006 para inhalación el valor es de 1.1 mSv/año.

### **1.1.1 Justificación**

Los seres humanos estamos expuestos diariamente en mayor o en menor medida a concentraciones de radioactividad, debido a que nuestro planeta desde su origen es radiactivo. La evolución del conocimiento y sus efectos de la exposición del gas radón y sus hijas, desde los orígenes de la tierra y hasta aproximadamente un siglo, ha permitido la implementación y mejora de las regulaciones, normas y límites apropiadas aplicadas para reducir el riesgo a los seres humanos, como, por ejemplo, en sociedades europeas y norteamericanas. Sudamérica se encuentra todavía en inicio de investigación. Ecuador ha estado desarrollando muchos proyectos de investigación en diferentes campos científicos (incluida la investigación ambiental). [1]

Los niveles de exposición en nuestros días son causantes de la dosis de radiación que recibe los seres humanos viene de fuentes: de origen natural y artificial.

La radiactividad natural terrestre precede de los isótopos radiactivos que de forma natural se encuentra en el medio ambiente (suelos, aguas tanto superficiales como subterráneas y la atmósfera). Los radionúclidos en los suelos son fuentes internas y externas de exposición a la radiación para el hombre y el

medio ambiente. El reparto de estos isótopos radiactivos tanto en cantidad como en tipo, depende mucho de la naturaleza de las rocas (origen geológico), así como fertilizantes. Por tanto, la dosis procedente de las fuentes naturales de radiación depende de un amplio número de situaciones, entre las cuales pueden mencionarse el lugar geográfico, la altitud, el tipo de vivienda, etc. Estas situaciones hacen que los niveles de radiación natural pueden ser muy diferentes, dependiendo de los suelos y las rocas de cada zona, de la altitud sobre el nivel del mar, de las condiciones meteorológicas. [2]

La presente investigación es de importancia social ya que contribuye a mejorar la calidad de vida de las personas que viven en construcciones hechas con ladrillo artesanal satisfaciendo uno de los objetivos del plan nacional del buen vivir. Para realizar la investigación se contó con el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la Escuela de Física y Matemáticas de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

## 1.1.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 1.1.1.1 El radón

#### 1.1.1.1.1 Descubrimiento del radón y sus propiedades

El gas radón es el quinto radionúclido descubierto después del uranio, torio, radio y polonio. En 1899 en la Universidad Mc Gill en Canadá, Ernest Rutherford y el británico Robert Owens de Nueva Zelanda descubrieron "la emancipación" del torio: torón ( $\text{Rn}^{220}$ ). En 1900, el químico alemán Friedrich Ernst Dorn observó un segundo isótopo proveniente del radio ( $\text{Rn}^{222}$ ). Luego, en 1903, el químico francés André-Louis Debierne descubrió que el actinio también emitía un gas radioactivo ( $\text{Rn}^{219}$ ). El radón fue aceptado como un nuevo elemento por la Comisión Internacional de Pesos Atómicos en 1912; más tarde, en 1923, el Comité Internacional de Elementos Químicos y la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) aprobaron el uso del nombre radón ( $\text{Rn}^{222}$ ), torón ( $\text{Tn}^{220}$ ) y actinon ( $\text{An}^{219}$ ). [3]

El gas radón es un gas inerte, radiactivo, incoloro, inoloro e insípido, inestable en todos sus isótopos. El gas radón es más denso que el aire y bastante soluble en agua. La tabla (1) resume las propiedades medías. Aunque es un gas noble, el radón muestra el comportamiento de un "metaloide". Reacciona con flúor, fluoruros de halógeno, sales de di-oxígeno, sales de fluoro- nitrógeno y fluoruro de halógeno-metal [1].

Pero en condiciones ambientales, el radón es un gas inerte que puede escapar fácilmente de su fuente y no forma compuestos químicos.



Tabla 1 Principales propiedades físicas y químicas del radón

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Punto de ebullición	-62°C
Punto de fusión	-71°C
Temperatura critica	104.5°C
Presión critica	62.4 atm
Entalpia de la solución a 0°C	28.0 KJ/mol
a 35.0°C	19.7 KJ/mol
Densidad del a temperatura y presión estándar	9.73 gr/l
Densidad de la fase liquida	0.005-0.006 gr/l
Sección transversal atómica	0.37 nm
Viscosidad a 0°C	0.021 Pas.S
Tensión superficial	2.9 mN/cm
Solubilidad en agua a 0°C	51.4 cm <sup>3</sup> radón/100 cm <sup>3</sup>
Solubilidad en agua a 35°C	2.4 cm <sup>3</sup> radón/100 cm <sup>3</sup>
Solubilidad en agua a 50°C	3 cm <sup>3</sup> radón/100 cm <sup>3</sup>

**Fuente:** Tene T. 2017

### 1.1.1.1.2 La radioactividad natural

La radiación cósmica alcanza la superficie de la Tierra atravesando la atmósfera, procedente del sol y otras fuentes de energía de nuestra galaxia o incluso externas a ella. Esta radiación consiste en partículas cargadas de diferentes energías. Su intensidad crece con la latitud, al estar afectada por el campo magnético terrestre y, en mayor grado, con la altitud del lugar, al disminuir el efecto blindaje que ejerce la atmósfera. Esta variación con la altitud es significativa, duplicándose la dosis cada 1500 m en los primeros kilómetros, lo que significa, por ejemplo, que los habitantes de ciudades como Teherán o Méjico reciben el doble de dosis por esta causa que los de Londres o

París. Su principal vía de exposición es la irradiación externa, con una ínfima contribución a la exposición interna por la incorporación al organismo de radionúclidos ( $H^3$ ,  $Be^7$ ,  $C^{14}$  y  $Na^{22}$ , fundamentalmente) resultantes de la interacción de los rayos cósmicos con los componentes de la atmósfera. [3]

El radón es un gas noble radioactivo que se encuentra en las rocas. Este elemento está generando por la transformación del Uranio (U), elemento químico presente en cantidades variables en las rocas. El radón es un gas incoloro e inodoro que no resulta fácilmente reconocible y es frecuente detectarlo en las casas y habitaciones de edificios donde este tiende a concentrarse. [1][2]

La desintegración del radio da lugar a un átomo de radón y a una partícula alfa ( $\alpha$ ) (Fig.1):  $U \rightarrow Th^{234} \rightarrow Pa^{234} \rightarrow U^{234} \rightarrow Th^{230} \rightarrow Ra \rightarrow Rn + \alpha$  (Fig.2). El átomo de radón, al ser este un gas, se mueve por las fisuras de las rocas, fisuras generalmente mineralizadas; a este proceso, que tiene lugar a nivel microscópico, se le denomina “emanación”. Cuando el gas radón pasa de la superficie a la atmósfera tiene lugar el fenómeno macroscópico conocido como “exhalación”. [2]

El gas radón y sus descendientes radiogénicos se introducen en los pulmones a través de las vías respiratorias, fijándose aquí los isótopos de polonio y bismuto, generados por transformaciones sucesivas como resultados de emisión de radiación ionizante. Estos isótopos tienen períodos de semidesintegración que no exceden de unos minutos, originándose una irradiación continua de los tejidos pulmonares en un corto intervalo de tiempo. [3]

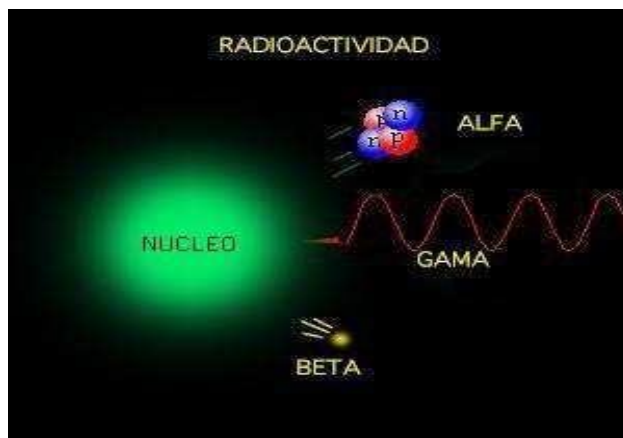


Figura 1 La desintegración de las partículas del núcleo da resultado una emisión de partículas alfa y beta y emisión de radiación gama

(<http://web.educastur.princast.es>).

Fuente: [3]

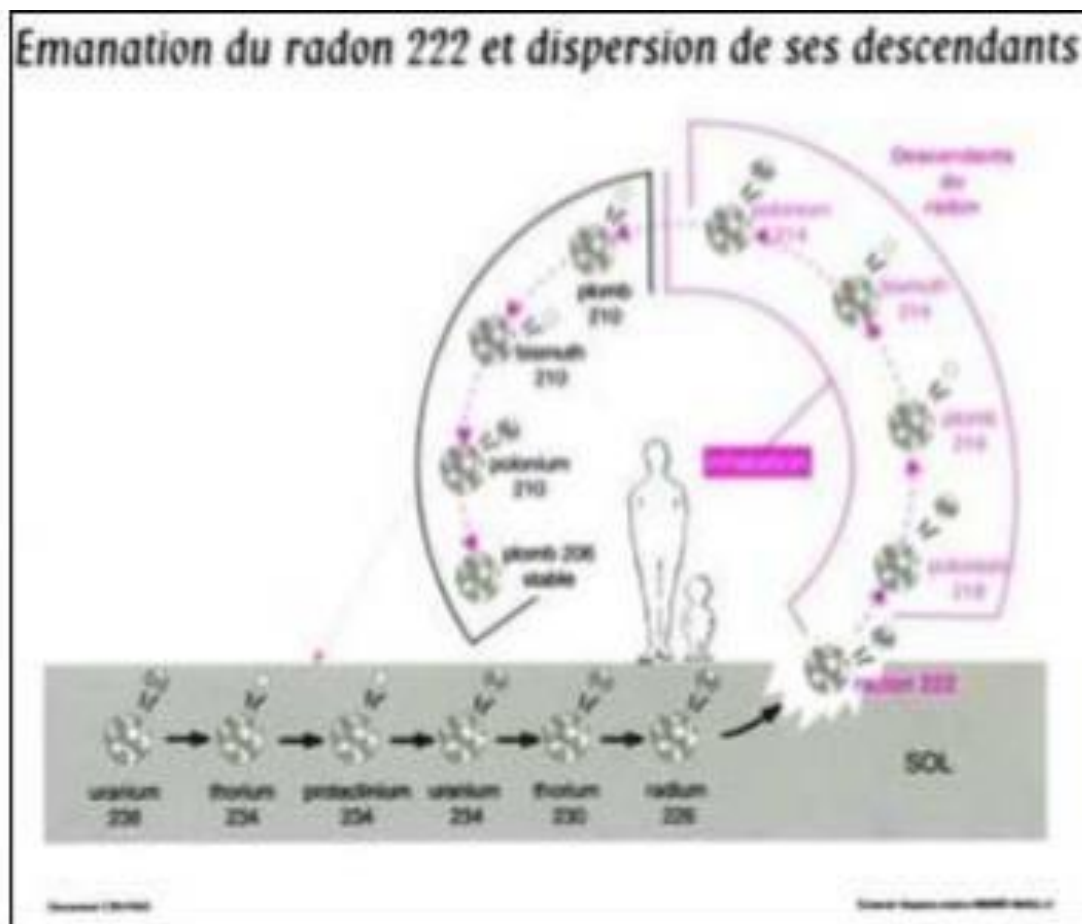


Figura 2: Cadena de desintegración del radio

([www.Amcmh.org](http://www.Amcmh.org)).

Fuente: [3]

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) estima que 1 a 3 de cada 100 personas que, durante su vida, inhalen aire con altas concentraciones de radón (Rn), corren riesgo de contraer cáncer de pulmón; este riesgo se ve incrementado considerablemente en el caso de fumadores, ya que existe una sinergia entre los dos factores.

Hoy en día, las implicaciones ambientales derivadas de la presencia del gas radón en sistemas geológicos constituyen una preocupación para los organismos oficiales de diversos países.

### 1.1.1.1.3 La radioactividad artificial

La contribución de algunas fuentes artificiales de la emanación del gas radón que son expuestas a las personas en España, las mismas que han sido reveladas a través de varios años de estudios realizados en ese país, se especifican en el siguiente (fig.3). [4]

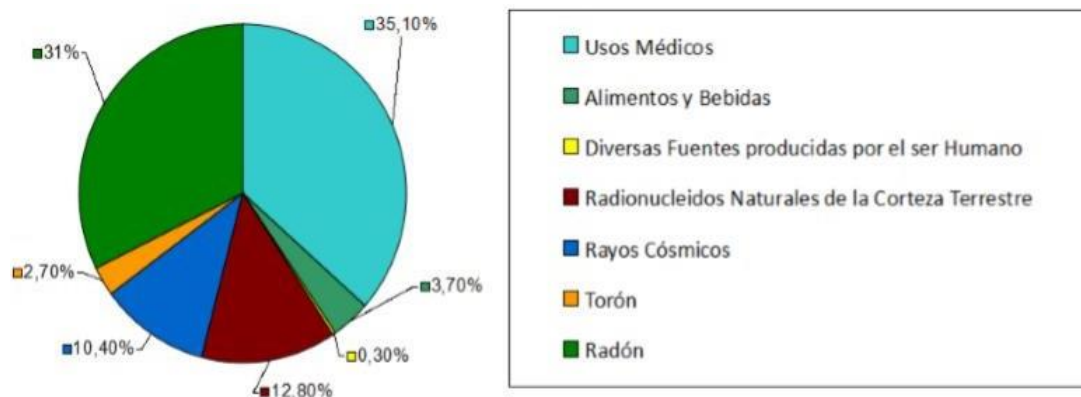


Figura 3: Fuentes artificiales de la emanación del gas radón

**Fuente:** CSN dosis de radiación

#### 1.1.1.1.4 Mecanismo de transporte

El gas radón formado por la desintegración del radio, puede migrar lejos de los lugares de generación por dos procesos: convección y difusión. La convección depende de la gradiente de presión. Los mecanismos responsables de estos gradientes son: la interacción del viento con el suelo y la calefacción. [5]. El gas radón es un fluido, por tanto, sigue la Ley de Fick. [6] Esta ley postula que el flujo  $\mathbf{j}$ , va de las regiones de alta concentración a regiones de baja concentración, con una magnitud que es proporcional al gradiente de concentraciones del gas radón. (Fig.4)

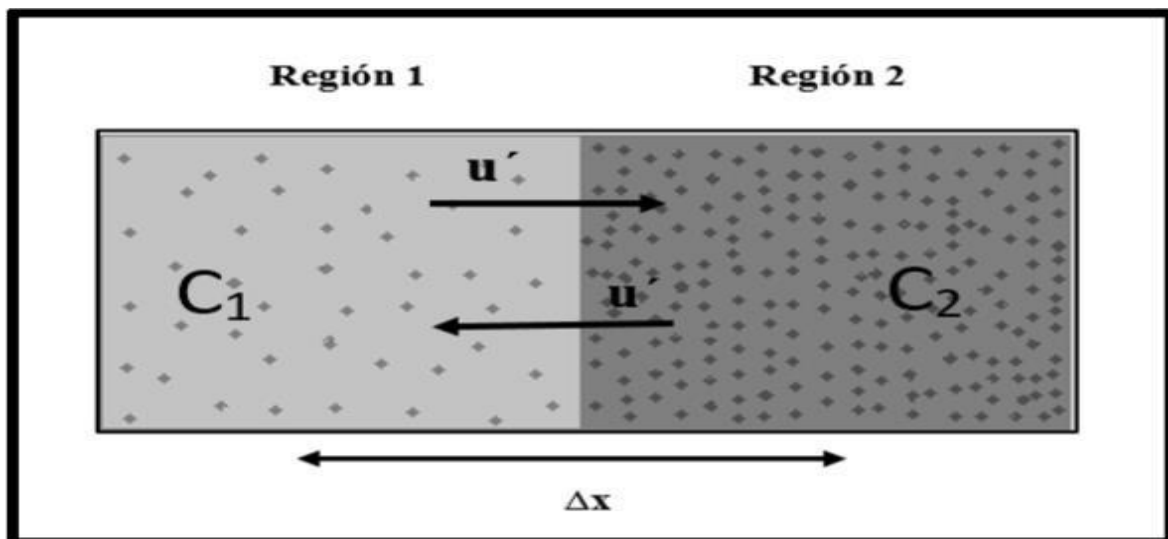


Figura 4: Esquema de difusión

**Fuente:** (Brogoili & Vailati, 2000, pp. 2-3). Diffusive mass transfer by nonequilibrium fluctuation: Fick's a law revisited.

El flujo fluctuante  $u'$  en una dirección es compensada por otro flujo  $u'$  de la misma magnitud en dirección opuesta. Es así, que una ecuación de flujo de difusión dimensional es:

$$j = c_1 u' - c_2 u' = -u' \Delta c \quad [1]$$

$J$  = cantidad de gas radón por unidad de área de tiempo  $c$  = concentración de gas radón

$u'$  = flujo fluctuante

la difusión del gas radón se puede describir con el coeficiente de difusión  $D$  que depende de la temperatura, la viscosidad del fluido y el tamaño de partículas.

$$j = -D \frac{\partial c(x)}{\partial x} \quad [2]$$

$c(x)$  = concentración de la actividad del gas radón

### 1.1.1.1.5 Medida de la radioactividad natural

*Tabla 2 Medidas de la radioactividad natural*

Medida	Unidad	Símbolo	Equivalencia
Radio actividad	Becquerel	Bq	1 Desintegración/segundo
Radio actividad	Curie	Ci	$3.7 \cdot 10^{10}$ Bq
Dosis absorbida	Gray	Gy	Joule/Kg
Dosis equivalente	Sievert	Sv	Joule/Kg
Sievert(Sv) = Gy (Si fotones) = 2 Gy (Si protones) = 20 Gy (si partículas alfa)			

**Fuente:** Autor

### 1.1.1.1.6 Efectos de la radioactividad

El efecto de la radiación desde su descubrimiento ha aportado al conocimiento, dando muchos logros y avances para mejorar la calidad de vida en distintos campos como: medicina, industria, etc.

Las cautelas que se debe tomar para no sufrir desgracias de la radiación ionizante, depende de los factores como: el blindaje o equipo de vestimenta, el tiempo de exposición y la distancia a la que se encuentra de la fuente de emisión.

[7]

La radiación ionizante puede originar cambios a nivel atómico y molecular. En una célula viva, algunos de estos cambios, derivados del daño producido al ADN de su núcleo, pueden tener secuelas a corto o a largo plazo. Si el daño inducido no es reparado apropiadamente puede afectar a las funciones celulares esenciales o a la división normal de la célula. Su consecuencia será la muerte celular inmediata tras un pequeño número de divisiones, o bien una transformación celular con producción de células hijas reformadas. Estas consecuencias pueden dar lugar a distintos tipos de efectos: efectos tempranos, para altas dosis de radiación o efectos tardíos en el rango de dosis bajas. Se subraya de nuevo que los mecanismos de reparación y defensa del cuerpo humano hacen que la manifestación de efectos tardíos sea muy poco factible para las dosis pequeñas. [8]

#### **1.1.1.1.7 Correlación multivariable de precauciones sísmicas**

En la literatura internacional se ha reportado que un porcentaje cercano al 80 % de las actividades sísmicas presentan un máximo de gas radón, aunque no todos los máximos del gas radón son predichos de un evento sísmico. El sismo del 19 de septiembre de 1985 fue ejemplo claro que el gas radón como indicador de sismo en Méjico, cuya manifestación del gas radón se dio en lugares tan distantes al epicentro como es el campo geotectónico de los azufres. Las variaciones o máximos de gas radón pueden ocurrir en el lapso de unos cuantos minutos, así que su detección requiere equipos electrónicos que permitan transmitir en tiempo real esta variación. Así mismo la posible validez de este precursor requerido de una correlación estadística a largo plazo que permita desceñir o filtrar otros efectos relacionados como. La distancia del sistema de detección al epicentro y los parámetros ambientales de precipitación pluvial, temperatura y presión atmosférica. Se ha identificado también como complemento de precursores sísmicos a geogases como CO<sub>2</sub> entre otros. [9]

#### 1.1.1.1.8 Efectos del radón en la salud humana

Los riesgos para la salud del gas radón no se deben principalmente a sí mismos verdaderamente. El gas radón se inhala, pero la mayor parte de él se exhala debido a que su vida útil es relativamente larga en comparación con el tiempo de respiración y no se puede acumular en el sistema respiratorio. Además, el gas radón inhalado no se acerca a las células sensibles a la radio, por lo que la dosis de las partículas alfa es pequeña. El riesgo real es producido por sus primeros cuatro descendientes  $\text{Po}^{218}$ ,  $\text{Pb}^{214}$ ,  $\text{Bi}^{214}$  y  $\text{Po}^{214}$ . También son radiactivos y se conocen colectivamente como productos de desintegración de gas radón (RDP). Todos son metales y tienen vidas medias que oscilan entre una fracción de segundo y 27 minutos. Se pueden condensar fácilmente en una superficie sólida o líquida y se pueden unir a los aerosoles o permanecer suspendidos en el aire como átomos libres. [1]

Una persona puede inhalarlos y son trasladados por el sistema respiratorio, dependiendo de los patrones de respiración y el tamaño aero-dinámico de las partículas con las que está asociado el RDP. Desde su corta vida media, los RDP se depositan en las superficies epiteliales dentro de los pulmones y se desintegrarán totalmente. La superficie sensible de los bronquios puede ser irradiada por las partículas alfa. Las partículas alfa pueden transportar cantidades considerables de energía. La concentración de RDP colectiva generalmente se representa en términos de energía total que se liberaría por las partículas alfa cuando todas se descompusieran por completo. Esta cantidad se llama energía alfa potencial (PAE) y la concentración (PAEC) se mide en unidades de energía por unidad de volumen de aire [ $\text{J}/\text{m}^3$ ]. Las partículas alfa más ionizantes y de corto alcance son las de los isótopos de polonio:  $\text{Po}^{214}$  y  $\text{Po}^{218}$ . Evidencias tempranas de los efectos del gas radón en los mineros. Hace unos 500 años, Paracelsus y Agrícola reportaron una alta mortalidad debido a enfermedades respiratorias. [9]



Enfermedades en mineros de minas de plata de Europa central y en minerales de mercurio, respectivamente. La verdadera naturaleza del afecto no se descubrió, hasta 1879, cuando la investigación clínica y anatómica demostró que era un tumor maligno de los pulmones. El primer caso de cáncer de pulmón en un trabajador de una fábrica de radio fue observado en 1926 por Pirchan, quien en 1932 describió casos de cáncer de pulmón en mineros de las Montañas Erz y concluyó que el gas radón era la causa más probable de los tumores. Al mismo tiempo, en Estados Unidos, se llevaron a cabo muchos estudios cruzados en minas ubicadas en cuatro estados de Arizona, Colorado, Nuevo México y Utah, y se concluyó que las tasas de cáncer respiratorio en exceso entre los mineros de uranio no eran atribuibles a la edad ni a la actividad de fumar, herencia, urbanización, autoselección, precisión diagnóstica, minería previa de roca dura o constituyentes de mineral. Atribuyeron el exceso de riesgo a la radiación aerotransportada. Al hacer un resumen, existe una implicación directa entre la inhalación de RDP y el cáncer de pulmón en los mineros subterráneos. [1]

Al igual que en las minas, el gas radón se puede acumular en entornos cerrados como lugares públicos, de trabajo y residenciales, por lo que existe un peligro significativo de la exposición al gas radón en estos sitios interiores. Para presentar información preliminar sobre los riesgos de la exposición en interiores al radón y sus hijas, se utilizó la extrapolación de estudios de mineros. En realidad, existen estudios observacionales importantes entre la exposición residencial al gas radón y el cáncer de pulmón. Los autores más citados han presentado en sus estudios la evidencia directa de una asociación entre el gas radón residencial y el riesgo de cáncer de pulmón. En particular, Darby et al. Analizaron 13 estudios europeos de casos y controles y encontraron una relación de dosis-respuesta lineal, sin evidencia de una dosis umbral. Concluye que el peligro del gas radón residencial es especialmente para los fumadores y los exfumadores recientes, y es responsable de aproximadamente el 2% de todas las muertes por cáncer en Europa. [1]

La Organización Mundial de la Salud (OMS) viene advirtiendo sobre este tema desde más de 40 años, pero el impacto en la ciudadanía es escaso. Así lo plantea

expertos como Tony Colgan, jefe de la división de protección radiológica del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Quizás se está comunicando este término científico, pero no en términos simples que la gente pueda entender con facilidad. El mensaje claro debería ser el gas radón es una potencial amenaza para la salud y deberíamos saber si estas en riesgo, y si lo estas hacer algo al respecto inmediato.

La gente se alarma mucho más de las operaciones nucleares, industriales, etc. Pese a ser de menor riesgo, el gas radón es responsable del 40 % de media de dosis de radiación que recibe una persona.

#### **1.1.1.1.9 Legislación**

La regulación de la protección radiológica tiende a homogeneizarse en todos los países del mundo. Incorporar los mismos criterios y la base de parámetros técnicos mínimos, pero no tienen la misma formulación legal que los nacionales. [3]

España es un país que carece de legislación específica que regule el uso de los materiales de construcción en función de su radiactividad natural. Sin embargo, la Unión Europea dispone de una serie de preceptos destinados a regular el uso de dichos materiales, dependiendo de su dosis de radiactividad. Esta serie de principios constituyen lo que se conoce actualmente como Norma 112 de principios de protección radiológica concerniente a la radiactividad natural de materiales de construcción (Radiological Protection Principles concernig the Natural Radioactivity of Building Materiales).

Organismos internacionales como gobiernos e instituciones, una vez reconocido la importancia del gas radón como cancerígeno humano, han establecido normativas y estrategias del control del gas radón para reducir el riesgo que supone para la salud de la población. Por ejemplo, las autoridades de EEUU fijan

un límite de  $148 \text{ Bq/m}^3$  para tomar medidas. La OMS, por su parte recomienda que los niveles no superen los  $100 \text{ Bq/m}^3$  para nuevas construcciones y entre  $200 - 300 \text{ Bq/m}^3$  para las ya existentes (Manual de la OMS sobre el radón en interiores. Una perspectiva de salud pública – 2015). La Unión Europea (directiva 2013/59/EURATOM de 5 de diciembre de 2013, diario oficial del 17 de enero de 2014, donde se establece normas de seguridad básica para la protección contra los peligros derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes), marca un nivel de referencia máxima de  $300 \text{ Bq/m}^3$  para el promedio anual en lugares de trabajo y en cualquier recinto cerrado. [11]

Dicha directiva establece que cada estado miembro debe disponer de niveles nacionales de referencia y de un plan de acción que fomenta la adopción de medidas técnicas para identificar espacios donde se superen el nivel de referencia y fomentar, cuando proceda, la adopción de medidas de mitigación. Este plan de acción deberá ser trasladado a la legislación de cada país antes del 6 de febrero de 2018. En España la normativa reguladora existente hasta el momento acerca del gas radón es aún insuficiente. Existe legislación sobre la exposición al gas en los espacios públicos y lugares de trabajo (RD 783/2001, modificado por RD 1439/2010). Esta normativa obliga directamente a los titulares de las actividades en las que existen fuentes naturales de relación a realizar los estudios necesarios para determinar si se produce un incremento significativo de la exposición de los trabajadores o de los miembros del público, que no puede considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica, sin necesidad de que estos estudios sean exigidos por las autoridades competentes. El consejo de seguridad nuclear (CSN) (Fig. 5) ha sido el órgano designado para establecer los criterios y procedimientos para la regulación de los niveles del gas radón en el entorno laboral en España. [4]

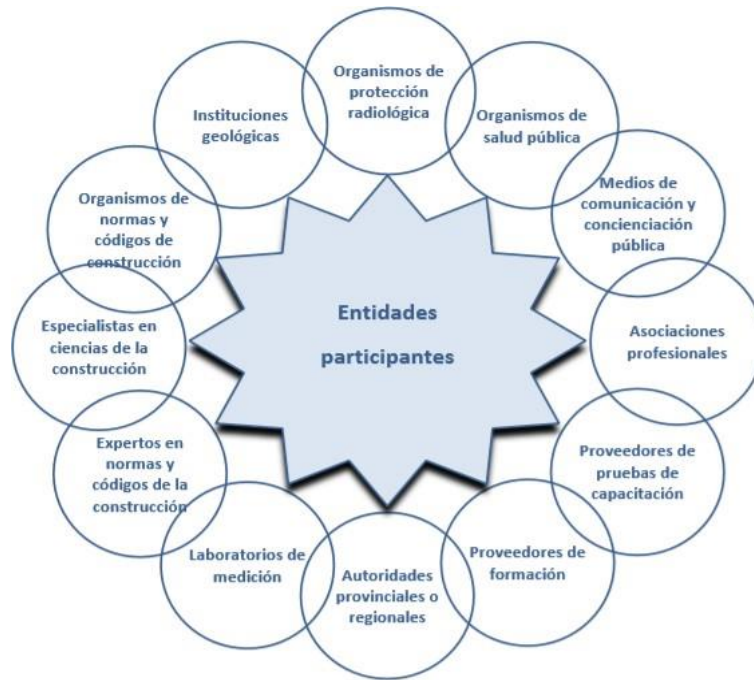


Figura 5: Entidades implicadas en planes nacionales del gas radón

**Fuente:** Manual de la OMS sobre el radón en interiores (2015)

Sin embargo, respecto a la vivienda residencial todavía no se ha propuesto la Directiva Europea 2013/59 y no existe ninguna regulación. El actual Código Técnico de la Edificación (CTE), en el Documento Básico HS de Salubridad, aun no se recoge ninguna normativa específica referente al gas radón. Tampoco las autoridades sanitarias han adoptado acción alguna frente a los riesgos que entraña este gas. Sí que el CSN ha desarrollado iniciativas respecto a la protección frente al gas radón. Así, en su guía de seguridad 11.02 recomienda un nivel de referencia del gas radón en viviendas de 300 Bq/m<sup>3</sup> para edificios de nueva planta o para viviendas en las que vayan a realizarse acciones de mitigación. [4]

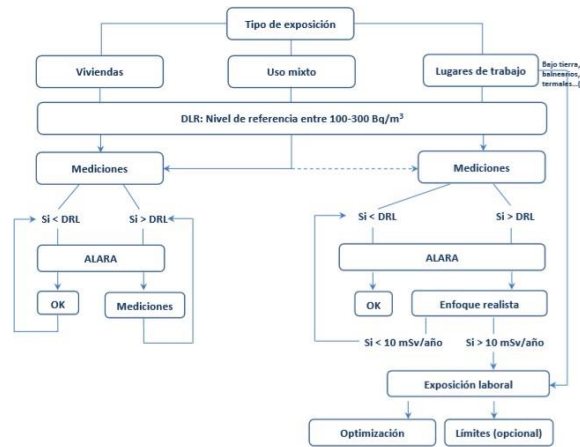


Figura 6: Esquema general para la legislación de la exposición de gas radón

**Fuente:** ICRP, "Radiological Protection against Radon Exposure". ICRP Publication 126 Ann. ICRP (43)3 2014.

ALARA: reducir el nivel tanto como sea razonablemente posible teniendo en cuenta las condiciones económicas y sociales.

DLR: valor de referencia obtenido. Corresponde al nivel de referencia fijado en la dosis (equivalente entre la concentración y dosis ( $Bq/m^3$  y  $mSv/año$ ))

\* Aquellos lugares de trabajo donde, a priori, se entiende que existe exposición del radón. En cuanto a las estrategias para afrontar este problema, son la OMS y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), los organismos internacionales que encabezan las recomendaciones que se refieren a la elaboración y puestas en marcha de planes nacionales contra el gas radón.

De esta manera, la OMS propone dos objetivos de actuación en el diseño del estudio nacional de mediciones del gas radón: por una parte, estimar la exposición media correspondiente y, como segundo objetivo, identificar las zonas del país en las que, es más probables encontrar concentraciones elevadas del gas radón en interiores. Esto puede conseguir mediante un estudio de base geográfica. [11]

Por su parte, la Comisión Internacional de Protección Radiológica en su informe ICRP 126, desarrolla un plan de acción nacional donde, entre otras cosas, propone la localización y cuantificación de concentraciones y población expuesta al gas radón. También indica que el plan de acción nacional del gas radón debe, en la medida de lo posible, integrarse de manera coherente con otras estrategias aplicables a los edificios, como la calidad del aire en interiores o ahorro de energía sinergias y evitar contradicciones. En la (Fig. 6) se ha incluido el esquema general del protocolo para la gestión de la exposición del gas radón propuesto por este organismo. [12]

Ecuador es un interés particular. La institución de la regulación de la protección de la radio en Ecuador es la Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN). Ecuador no tiene leyes para controlar la exposición de la población al gas radón; en general, el único documento disponible es un Reglamento para controlar y moderar el uso pacífico de la radiación ionizante.

En Ecuador (1979), publicado en el sitio web del SCAN. Este documento está dedicado solo para el uso de la ionización por radiación en medicina y brevemente en la industria. Cualquier párrafo de este Reglamento indica cuáles son las pautas para la radiación ionizante ambiental, especialmente el gas radón.

#### **1.1.1.1.10 Radón en suelos**

El principal foco de gas radón es el terreno, y la causa es su contenido natural en uranio y torio. El gas radón se traslada por el terreno principalmente por difusión y por convección, dependiendo de las propiedades como son la porosidad, la permeabilidad o la presencia de grietas o fallas. Este penetra en las construcciones a través de las grietas de los cimientos, a través de los cerramientos en contacto con el suelo, las paredes y huecos, e incluso por las

propias cañerías de los cuartos de baño. [2]

Otros focos de gas radón son los materiales utilizados en la construcción de las viviendas, especialmente cementos de bajo coste y calidad realizados a base de escorias de la industria metalúrgica. Finalmente, el gas radón suministrado como combustible doméstico puede contener también gas radón susceptible de ser liberado al medio. La concentración de gas radón en interior del edificio crece en función de la porosidad de los materiales utilizados en la construcción. [2]

#### **1.1.1.11 El radón en materiales de construcción**

El efecto de los parámetros de emanación del gas radón en los materiales de construcción, en la concentración de gas radón en interiores ha sido ampliamente estudiado durante las últimas décadas. Los primeros estudios sugirieron que los materiales de construcción eran la fuente más importante del gas radón para interiores. Estudios más recientes muestran que las concentraciones más altas registradas de gas radón en interiores son causadas por el transporte de gas radón desde el suelo o roca adyacente al edificio.

Entre los factores más importantes para determinar la tasa de emanación de gas radón en materiales de construcción es el contenido de humedad del material en el momento de la medición. Para material muy húmedo o saturado, la tasa de emanación es muy baja, porque la longitud de difusión del gas radón en los poros llenos de agua es mucho menor que en los poros llenos de aire. Una gran fracción del gas radón se descompone en el material y no se escapa. Los materiales muy secos también se caracterizan por una pequeña tasa de emanación. [13]

El coeficiente de emanación de los materiales de construcción es bajo porque el rango de retroceso de un átomo de gas radón en los poros llenos de aire es alto, y por lo tanto la probabilidad de que el átomo termine su retroceso en el volumen de poros es baja. El coeficiente de emanación suele ser más alto en los materiales en

los que el contenido de humedad es del orden de algunos porcentajes. Por ejemplo, para minerales de uranio, se ha encontrado que el coeficiente de emanación del material con hasta 6% de humedad es 3.0-4.6 veces más alto que para material seco. [13]

Este ejemplo ilustra que el contenido de humedad es un parámetro importante. Para lograr resultados reproducibles en la determinación de laboratorio de la tasa de emanación, la práctica común es secar la muestra a una masa constante antes de la medición. Esta práctica, sin embargo, da como resultado una subestimación significativa de la tasa de emanación real, ya que, en condiciones ambientales normales, suele haber una película delgada de agua en los poros internos del material. El secado a masa constante fue utilizado por [14] en la determinación de los coeficientes de emanación de varias muestras concretas.

Los valores encontrados,  $1.7 \times 10^{-2}$ , son aproximadamente un orden de magnitud más bajo que otros valores informados. [15]

El enfoque más razonable es mantener la muestra en condiciones de humedad similares a las esperadas en el futuro edificio. En cualquier caso, debe informarse el contenido de humedad de la muestra. [16]

La velocidad de emanación de la superficie calculada describe la emanación en ausencia de cualquier factor de modificación. Los factores que modifican la emanación se pueden dividir en dos grupos:

Factores que causan cambios rápidos y de corto plazo en la tasa de emanación (cambios de presión o cambios de presión inducidos por el viento). Estos factores pueden causar cambios significativos en la tasa de emanación de gas radón, pero, a largo plazo, tienden a cancelarse entre sí.

Factores que causan cambios a largo plazo o permanentes en la tasa de emanación. Estos factores son la presencia de selladores y el gradiente de temperatura entre las regiones exteriores e interiores. Como resultado: (a) la tasa



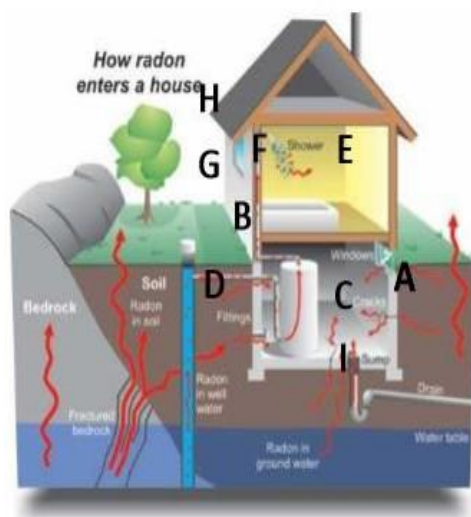
de emanación real puede ser mucho menor que la tasa de emanación calculada, o (b) la tasa de emanación real puede ser tanto como el doble de la calculada.

La mayor exposición al gas radón suele producirse en el hogar. La concentración de gas radón en una vivienda depende de:

- la cantidad de uranio que contienen las rocas y el terreno del subsuelo;
- las vías que el gas radón encuentra para filtrarse en las viviendas; y
- la tasa de intercambio de aire entre el interior y el exterior, que depende del tipo de construcción, los hábitos de ventilación de sus habitantes y la estanqueidad del edificio.

El gas radón se filtra en las casas a través de grietas en los suelos o en la unión del piso con las paredes, espacios alrededor de las tuberías o cables, pequeños poros que presentan las paredes construidas con bloques de hormigón huecos, o por los sumideros y desagües. Por lo general, el gas radón suele alcanzar concentraciones más elevadas en los sótanos, bodegas y espacios habitables que están en contacto directo con el terreno. [17]

## Puntos de entrada de gas radón



- A: Grietas en paredes y muros bajo el nivel del suelo
- B: Espacios alrededor de canalizaciones
- C: Fisuras en la placa. Porosidad de materiales
- D: Juntas de construcción
- E: Materiales de construcción
- F: Agua corriente
- G: Gas
- H: Aportaciones del exterior
- I: Desagües

Figura 7: Esquema como entra a una casa el gas radón

**Fuente:** Fucklow, 2016

Se debe considerar que las exhalaciones de gas radón de los materiales de construcción aportan de manera relevante para la acumulación de gas radón en interiores, por lo tanto, se agranda la exposición de las personas que viven o trabajan dentro de estos lugares sobre todo si son cerrados y el tiempo de permanencia en este lugar es largo.

#### **1.1.1.12 Método de la cámara cerrada**

El método de la cámara cerrada se ha empleado en numerosos estudios en cuanto a exhalación del gas radón en materiales de construcción, ya que nos permite obtener medidas precisas. Tomaremos también en cuenta la tasa de difusión de retroceso como la de fuga de la cámara, es muy importante notar ciertos parámetros físicos que deben cumplir las muestras como, por ejemplo, la porosidad, la granulometría que se encuentra formado cada muestra entre otros parámetros que se pueden diferenciar a simple vista. [18]

Para que se dé el proceso de exhalación del gas radón por parte del material de construcción, es necesario que se dé el proceso de difusión, proceso mediante el cual el gas radón se mueve de un sistema a otro, ya sea que se movilice o se escape del agua al aire o de un sólido (material de construcción) hacia el aire, esto se debe a los movimientos moleculares aleatorios, a si en los gases el proceso es mucho más rápido (10 cm/min), en líquidos es menos rápido (0.05 cm/min) y en sólidos es muy lento (0.00001 cm/min), es importante notar que la difusión dependerá de varios factores como temperatura, presión y granulometría. [19]

Dentro de la cámara estamos imitando como sería el escape del gas radón al aire a través de los diferentes materiales de construcción utilizados en construcción, este proceso de liberación de gas radón se da mediante los espacios de los gránulos de dichos materiales, y debido al proceso de retroceso y difusión. El procedimiento de retroceso se da cuando un átomo de gas radón a una distancia

de alrededor de 40 nm, el coeficiente de difusión de gas radón de los granos típicamente varían en el rango de  $10^{-25} - 10^{-27}$  m<sup>2</sup>/s, es muy bajo, entonces se asume que la exhalación del gas radón se debe principalmente al proceso de retroceso. [18]

El gas radón en el espacio intersticial puede ser transportado a la superficie por difusión y flujo advectivo antes que el gas radón alcance finalmente la atmósfera abierta. En difusión el gas radón se mueve con respecto al fluido que llena los poros (aire y agua) del medio, mientras que en el flujo advectivo, el flujo mismo se mueve a través del medio poroso y lleva el gas radón con él. [19]

El método de cámara cerrada consiste principalmente encerrar el material de construcción dentro de la cámara hermética, el gas radón se exhala al volumen libre de la cámara y se acumula al pasar el tiempo. El gas radón alcanza un estado de equilibrio después, de unas pocas horas o varios días dependiendo de la concentración del gas radón del material de construcción, este estado de equilibrio se da entre el nucleído exhalado y descompuesto, el estado de equilibrio se va modificar por la radiación de retorno de la muestra o la pérdida del gas dentro de la cámara por la fuga de la misma, pero el retroceso se puede considerar despreciable ya que el volumen del aire libre dentro de la cámara es significativamente mayor al volumen de la muestra a analizar. Ya que nuestra cámara es suficientemente grande a comparar con el volumen de la muestra, entonces podemos decir que se evita el efecto de retroceso en un porcentaje bastante alto. [18]

#### **1.1.1.1.13 Dosis efectiva**

La dosis efectiva es considerada una magnitud como la suma ponderada de las dosis equivalentes cuando se ha depositado radiación en diferentes tejidos y órganos pertinentes con el fin de indicar la combinación de diferentes dosis en diferentes tejidos de manera que sea posible, a un que la distribución de las dosis absorbidas por el cuerpo humano no sea homogénea, la unidad es julio por

kilogramo (J /kg) y se le da el nombre especial de sievert (Sv). La UNSCEAR reporta el año 2006 que la dosis efectiva al año por inhalación debe ser de 1.1 mSv /año. [20]

### Concentración de radón

En situaciones naturales la tasa de gas radón J (Bq/h) suministrado en una casa es igual al radón que se elimina.

$$J = \lambda V * V * C \quad [3]$$

$$J = ES * A \quad [4]$$

$$J = Em * P \quad [5]$$

Donde:

J = tasa de exhalación del gas radón,

(máscico/superficial): Bq/h V = volumen,

(habitación, casa, construcción, etc.): m<sup>3</sup>

C = concentración del gas radón, (debido al material de

construcción): Bq/m<sup>3</sup>  $\lambda_v$  = tasa de intercambio de aire: 1/h (se

asume normalmente como 0.5/h)

A = área (sector de análisis): m<sup>2</sup>

P = peso (material usado en el sector de

análisis): Kg Es = exhalación de gas

radón en área: Bq/ (m<sup>2</sup>\* h) Em =

exhalación de gas radón en peso: Bq/

(Kg\*h)

## Dosis efectiva anual por inhalación

En cambio, la dosis efectiva debido a la inhalación del gas radón se representa de la manera siguiente.

$$D_E = D_{FC} * C * T_F * \tau \quad [6]$$

$D_E$  = dosis anual efectiva, (debido a la inhalación del gas radón): Sv/año

$D_{FC}$  = parámetro de conversión:

$S_v / (Bq \cdot h / m^3)$   $C$  = concentración

de gas radón:  $Bq/m^3$

$T_F$  = factor de equilibrio, (debido a sus

descendientes)  $\tau$  = tiempo medio de

exposición: h/año

### 1.1.1.1.14 Estudios del gas radón en el mundo

Existen en el mundo diferentes organizaciones que velan por el bienestar de la salud pública de las personas como la Organización Mundial de salud (OMS), la cual sugieren sobre las complicaciones ocasionadas por algunos elementos nocivos presentes en el ambiente. La entidad brinda pautas y referencias de cómo tratar ciertos elementos para su eliminación o por lo menos, contrarrestar los efectos negativos que se producen en las personas a estar expuestas.

Los modelos y referencias han sido realizados mediante la organización de directrices y normas sanitarias para ayudar a los países para mejorar la salud y calidad de vida, llegando a desarrollar un Código Sanitario en el 2005. Mediante este reglamento se incorpora el proyecto de gas radón Internacional, donde se

establece e identifican estrategias para reducir el impacto de este elemento. A partir de este proyecto se promovieron políticas solidas a través de programas de mitigación y prevención por partes de las autoridades nacionales, con la finalidad de concientizar a la población sobre los impactos que repercute en la salud al inhalar el gas radón.

En la Tabla: 3 se indican los resultados obtenidos de los estudios realizados a partir del año 2001, acerca de los niveles de exposición en residencias a través del proyecto Radón Internacional.

Una organización de colaboración en las investigaciones del Radón en la Organización Mundial de la Salud (OMS) es el centro McLauhlin, siendo designado por un período de cuatro años (2005-2009). Este centro colaborador de evaluación de riesgos de salud de la población participó en el fortalecimiento mediante servicios, recursos de investigación y formación en el desarrollo de la salud global. [17]

La (Fig.8) muestra el mapa con un cuadro de referencia del nivel de gas radón en la unidad de medida  $Bq/m^3$ . Esta medida representa la unidad de actividad radio isotópica equivalente a una desintegración por segundo en el ambiente. La (Fig.8) se basa en los estudios realizados por la OMS y El Centro McLauhlin. [21]

Tabla 3 Resumen estadístico proporcionado por la Organización Mundial de Salud (OMS)

Continente	N°. de Países (Total)	N°. de Países (Rn Datos disponibles)	% en los Países (Rn Datos Disponibles)
África	53	3	6
Asia	45	17	38
Europa	46	34	74
N. América	23	4	17
Oceanía	14	2	14
S. América	12	7	58
Total	193	67	35

Continente	Población Total	Población de los países con Rn Datos Disponibles	% de la Población con Rn Datos Disponibles
África	904.305.412	128.999.490	14
Asia	3.985.470.170	3.314.703.215	85
Europa	742.491.636	663.052.098	89
N. América	511.362.031	448.779.940	88
Oceanía	33.105.457	25.078.384	76
S. América	374.997.087	315.551.179	84
Total	6.459.731.793	4.896.164.306	76

Continente	Superficie Total Km <sup>2</sup>	Superficie de los Países con Rn Datos disponibles	% de la superficie con Rn Datos Disponibles
África	30.042.810	3.621.723	12
Asia	31.713.399	24.408.412	77
Europa	23.215.582	22.255.613	96
N. América	22.300.343	21.668.763	97
Oceanía	8.480.726	7.952.834	94
S. América	17.730.252	14.938.952	84
Total	133.483.112	94.846.292	71

**Fuente:** Resumen estadístico proporcionado por la organización Mundial de Salud (OMS). [22]

La figura indica los países que poseen un mayor nivel de riesgo a la exposición de este elemento, así como algunos países donde no se han realizado los determinados estudios. Cabe resaltar que América del Sur contempla un gran nivel de gas radón en las viviendas.

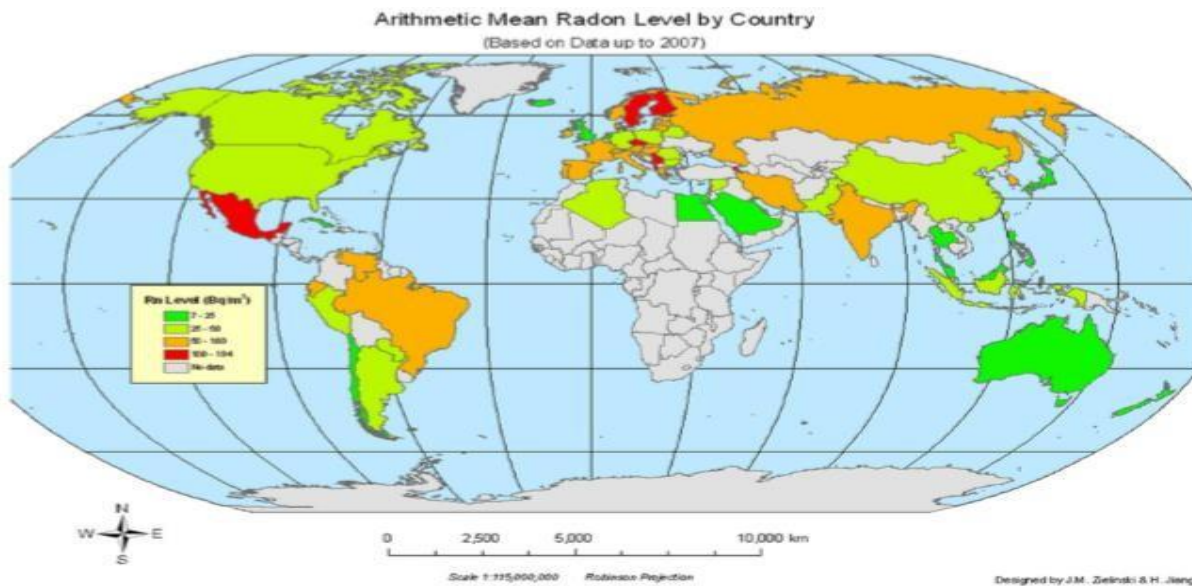


Figura 8: Mapa de concentración de radón a nivel mundial (OMS)

Fuente: [17]

El conocimiento de concentración de radiación ionizante en edificios es claramente de importancia fundamental en la apreciación de la exposición de la población, ya que la mayoría de las personas pasan la mayor parte del tiempo en interiores. Normalmente, las dos rutas principales de exposición en interiores son la irradiación de rayos gamma terrestres y la inhalación de isótopos de gas radón. En casas masivas de ladrillo, hormigón o piedra, los materiales de construcción actúan como atenuadores de los rayos gamma emitidos al aire libre, por lo que la tasa de dosis absorbida en interiores depende principalmente de la concentración de elementos radiactivos que se producen en los materiales de construcción. Se ha demostrado en varios que, si los materiales de construcción empleados tienen concentraciones de radioactividad natural alta, las tasas de dosis en interiores se elevarán en efecto. [23]



Tabla 4 : Tasa de exhalación específica de radón (Bq/kg\*h) y fracción de emanación (%) en muestras de materiales utilizadas en grandes cantidades

Código	Muestras (tipo de material de construcción)	Tasa de exhalación específica ( $M. V. \pm \sigma$ )	Fracción de emanación ( $M. V. \pm \sigma$ )
1	Ladrillos	0.0137± 0.0003	1.65 ± 0.04
2	Ladrillos	0.0164± 0.0011	2.3 ± 0.2
3	Ladrillos	0.0276± 0.0013	18.3 ± 0.8
4	Ladrillos	0.007± 0.002	3.5 ± 0.3
5	Ladrillos	0.008± 0.002	1.8 ± 0.2
6	Ladrillos	0.009± 0.004	2.5 ± 0.2
7	Ladrillos	0.0071± 0.0012	1.60 ± 0.12
8	Cemento	0.0089± 0.0007	6.6 ± 0.5
9	Cemento	0.016± 0.003	16 ± 3
10	Cemento	0.015± 0.002	16 ± 3
11	Cemento	0.0123± 0.0009	23 ± 2
12	Cemento	0.0128± 0.0002	12.6 ± 0.2
13	Mezcla de cal	0.0040± 0.0005	2.9 ± 0.2
14	Teja de arcilla	< LLD	N.Q.

15	Teja de arcilla	< LLD	N.Q.
16	Enlucido de yeso	0.0171± 0.0002	1.2 ± 0.02
17	Enlucido de yeso	0.0031± 0.0006	10.26 ± 0.12
18	Losa de terracota	0.0065± 0.0008	7.1 ± 0.9
19	Baldosa de cerámica	< LLD	N.Q.
20	Baldosa de cerámica	< LLD	N.Q.
21	Losa de porcelana	< LLD	N.Q.
22	Losa de porcelana	< LLD	N.Q.
23	Granito verde	0.082± 0.005	0.082± 0.005
24	Granito rojo	0.25 ± 0.03	21 ± 2
25	Granito rosa	0.129± 0.004	11.6 ± 0.4
26	Granito rosa	0.0122± 0.0004	4.89 ± 0.15
27	Granito rosa	0.069± 0.007	15.0 ± 1.5
28	Granito blanco	0.0043± 0.0005	1.5 ± 0.2
29	Piedra negra	0.007± 0.001	7.4 ± 1.2
30	Basalto	< LLD	N.Q.
31	Traquita	0.032± 0.002	10.4 ± 0.7
32	Pórfido	0.0068± 0.0006	2.2 ± 0.2
33	Pórfido	0.038± 0.0002	12.4 ± 0.7
34	Tufo volcánico	0.041± 0.004	5.8 ± 0.7
35	Tufo volcánico	0.103± 0.002	7.2 ± 0.9
36	Tufo volcánico	0.17 ± 0.02	7.9 ± 1.1
37	Piedra de arena	0.014± 0.002	5.7 ± 0.8
38	Piedra de arena	0.0099 0.001	9.3 ± 1.0
39	Caliza	0.036± 0.003	7.4 ± 0.5
40	Caliza	0.034± 0.003	5.8 ± 0.9
41	Travertinos	< LLD	N.Q.
42	Mármol rojo	< LLD	N.Q.

**Fuente:** Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings.

**Realizado por:** (Righi y Bruzzi, 2006)

Según (Righi y Bruzzi, 2006) apoyan la teoría de que las tasas de exhalación de gas radón no son predecibles solo por el contenido de radio, podemos evidenciar los datos reportados en las tablas donde encontramos la tasa de exhalación específica de gas radón ( $Bq/(Kg*h)$ ) y la fracción de emanación (%) en materiales de construcción utilizados en grandes cantidades, así como en pequeñas cantidades, respectivamente. El índice de exhalación de gas radón osciló entre valores menores del límite de detección el cual es  $0.25 Bq/(Kg*h)$ .

### **- Estudios del radón en los países de américa latina**

Una de las características principales para emanación del gas radón es la zona geográfica. La presencia de gas radón dependerá de la ciudad, región, país o continente, condiciones ambientales y de la cantidad de sus elementos antecesores para generar el estudio. Mediante las indagaciones realizadas en Estados Unidos y Países Europeos, se han generado organizaciones, Instituciones y Fundaciones con la finalidad de tener una evaluación de los niveles de medición y localización de gas radón que existe alrededor del mundo.

El objetivo de estas entidades es la de interrelacionar la presencia del gas radón con el cáncer del pulmón y la salud pública, debido a la alta concentración que existe en algunos países.

A través de estas indagaciones se generó un compromiso gubernamental en la investigación y determinación de niveles de concentración del gas radón en interiores, indicando pautas a la población sobre los peligros que ocurren en la salud al no neutralizar este efecto. Se llega a afectar de mayor grado en la salud de las personas al estar en un continuo contacto con el gas radón.

Los sondeos que se presentan fueron realizados en el año 2002, integrando países como Argentina, Brasil, Ecuador, México, Perú y Venezuela. En la Tabla 5 se indica los organismos que aportaron con la participación del estudio del elemento gas radón de cada país.

Tabla 5: Instituciones participantes

N°	País	Nombre de la Institución	Clasificación de Institución	Objetivo
1	ARGENTINA	Autoridad Reguladora	Laboratorio	Servicios
2	BRAZIL	Nuclear Instituto de Física	Nacional	Investigación
3	BRAZIL	UNICAMP Universidad Estatal Paulista	Universidad	Investigación
4	ECUADOR	Comisión Ecuatoriana	Laboratorio Nacional	Investigación
5	MEXICO	Instituto de Física,		Investigación
6	MEXICO	UNAM Facultad de	Universidad	Investigación
7	MEXICO	Química UNAM	Universidad	Investigación
8	PERU	Instituto de Investigaciones Nucleares	Laboratorio Nacional	Investigación
9	VENEZUELA	Pontífice Universidad católica del Perú	Universidad	Investigación
		Universidad Simón Bolívar	Universidad	

Fuente: [24]

Tabla 6: Niveles de radón (Bq/m<sup>3</sup>) en las diferentes ciudades de América Latina

N <sup>o</sup>	País	Cód.	Ciudad	N <sup>o</sup> . de Viviendas	Nivel Radón Interiores		
					Max	/ Min	/ Med
1	ARGENTINA	1	Bariloche	18	59	28.2	36
1	ARGENTINA	2	Buenos Aires	354	235	6.0	26
1	ARGENTINA	3	Córdoba	154	198	5.0	23.3
1	ARGENTINA	4	Corrientes	109	286	4.0	48
1	ARGENTINA	5	Casquín	70	211	5.0	48.2
1	ARGENTINA	6	Gran Alvear	106	145.5	5.0	45
1	ARGENTINA	7	Malargue	239	250	9.0	38.9
1	ARGENTINA	8	Mendoza	139	256	4.4	49.6
1	ARGENTINA	9	Prov. De Chubut	70	74.5	6.0	33
1	ARGENTINA	10	Resistencia	35	131.5	12.6	49
1	ARGENTINA	11	Rosario	61	220	18.0	31
1	ARGENTINA	12	San Luis	204	84.3	10.0	30.7
1	ARGENTINA	13	San Rafael	413	116	7.0	30.8
1	ARGENTINA	14	San de Estero	62	81.9	5.0	28
2	BRAZIL	15	Campinas-SP	70	254.5	16.7	77.6
2	BRAZIL	15	(Verano) Campinas-SP (Invierno)	70	310	26.3	86.3
3	BRAZIL	16	Sao Paulo	180	262.7	7.03	79.92
4	ECUADOR	17	Quito zona (DC)	14	157.4	49.41	87.1
4	ECUADOR	17	Quito zona (CP)	17	160.39	20.39	77.6
4	ECUADOR	17	Quito Zona (CV)	14	225.66	36.38	117.8
4	ECUADOR	17	Quito zona (LG)	16	207.66	37.43	94.7
5	MEXICO	18	Aguascalientes,	180	130.0	39.0	61.0
5	MEXICO	19	Ags.	250	273.0	42.0	135.0
5	MEXICO	20	Chihuahua, Chich.	250	190.0	37.0	117.0

5	MEXICO	21	Guadalajara, Jai.	250	157.0	27.0	91.0
5	MEXICO	22	Hermosillo, Son	250	130.0	20.0	67.0
5	MEXICO	23	León, Gto	400	217.0	15.0	84.0
5	MEXICO	24	México City	250	280.0	45.0	97.0
5	MEXICO	25	Monterrey, NL.	250	165.0	15.0	45.0
5	MEXICO	26	Morelia, Mich.	200	187.0	20.0	120.0
5	MEXICO	27	Pachuca, Hgo.	250	101.0	49.0	70.0
5	MEXICO	28	Puebla, Pue.	180	163.0	15.15	61.0
5	MEXICO	29	Querétaro, Qro. San Luis Potosí, SL.P.	180	148.0	15.15	4.0
6	MEXICO	23	Metropolitan Zone	*	300.0	55.0	90.0
6	MEXICO	23	Metropolitan Zone, (Invierno)	*	276.0	43.0	86.0
7	MEXICO	30	Metepec, Lerma	320	40.7	7.1	17.8
7	MEXICO	23	México City	500	103.7	15.0	14.3
7	MEXICO	23	México City	500	296.0	15,0	33.5
7	MEXICO	27	Puebla	100	59.5	48,4	54.0
7	MEXICO	31	Toluca	200	44.7	15.0	17.9
7	MEXICO	32	Zacatecas	120	86.0	14.0	46.2
8	PERU	33	Lima (CAPU-	84	42.7	18.6	30.6
8	PERU	33	PUCP) Lima (Library- PUCP)	84	50.2	25.7	34.0
9	VENEZUELA	34	caracas	75	*	*	35
10	VENEZUELA	35	Estado Barinas	68	346	15	70

Fuente: [24]

La tabla 6, muestra los valores máximos y mínimos de los resultados obtenidos de cada país de una forma concisa. En este estudio se visualiza que el Ecuador cuenta con una medición bastante crítica de radio actividad.

Tabla 7: Resultados del Radón por País

No.	País	Nivel Radón Interiores		
		Max	Min	Medí
1	ARGENTINA	286.0	15	36.96
2	BRAZIL	310.0	16.7	81.95
3	BRAZIL	262.7	15	79.92
4	ECUADOR	225.66	20.39	94.3
5	MEXICO	280.0	15	83.25
6	MEXICO	300.0	43	88.00
7	MEGICO	103.7	15	30.62
8	PERU	50.2	18.57	32.29
9	VENEZUELA	346.0	15	52.50

Fuente: [19]

Impresionante en las zonas utilizadas para el estudio, ya que se encuentra con un valor máximo obtenido de 225,66 Bq/m<sup>3</sup>, es decir, en las viviendas de Quito (Zona CV) cuentan con un porcentaje de concentración del Radón de aproximadamente 52,47% por encima del límite que establece la norma EPA. Con estas referencias se debe de tomar medidas apropiadas para contrarrestar los efectos. [24] [25]



Figura 9: Niveles de radón en la ciudad de Quito

**Fuente:** [25]

La Organización Mundial de la Salud establece como comienzo de medición un valor de  $100\text{Bq/m}^3$ , al tomar estas medidas como referencia, se observa que las cifras se vuelven más críticas con respecto a las establecidas por la EPA. [26] [27]

La OMS recomienda que se tomen las medidas apropiadas para anular la acumulación del gas radón, siendo nuestro país uno de los países que cuenta con una alta presencia de gas radón en el ambiente. Por lo que se debe de dar guías e información a la gente acerca de las consecuencias que causa este gas en el organismo, con la finalidad de tener las reglas necesarias para sobrellevar el problema.



### 1.1.1.2 Materiales de construcción del ladrillo artesanal

#### 1.1.1.2.1 Barro.

- Se denomina barro a un suelo que es una mezcla de limo, arcilla y materia orgánica. Este tipo de suelo es deseable para la agricultura ya que la mezcla de tamaños granos y sustancias orgánicas permiten que el agua se drene a través del sistema mientras permite el grado necesario de retención de agua y nutrientes en el suelo. El componente orgánico es la clave para la identificación del suelo como el barro. Un barro muy alto en arena es llamado barro arenoso, mientras una mezcla con más limo sería un barro limoso.

El barro es uno de los primeros materiales usados por el hombre para construir refugios. El barro apilado con la mano (cob), en forma de ladrillos (adobe), o compactado (Tapial) es una forma más barata y poca tecnificada de crear paredes y muros, por lo que han sido ampliamente utilizada por la civilización antigua, así como por las culturas ubicadas en entornos desérticos donde carece de piedra y madera.

#### - Composición química del barro.

La composición química del barro es muy parecida a la de la corteza terrestre. Como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 8: Composición química del barro

	<b>CORTEZA</b>	<b>BARRO</b>
SiO <sub>2</sub>	59.14	57.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.34	16.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.88	6.7
MgO	3.49	3.08
CaO	5.08	4.26
Na <sub>2</sub> O	3.84	2.38
K <sub>2</sub> O	3.15	2.03

H <sub>2</sub> O	1.15	3.45
TiO <sub>2</sub>	1.05	0.91

**Fuente:** Suarez-Cangahua

## **Tipos de barro**

### **- Barro primario.**

Es el que se extrae justo del lugar en donde se encuentra la roca ígnea de donde proviene. Los barros primarios son raros, porque la mayoría de los barros han sido cambiados del lugar por el agua, aire, nieve, etc. El barro primario se caracteriza por ser menos plástico y estar más granulado.

### **- Barro secundario.**

Es el barro que ha sido transportado de su lugar de origen por medio de la lluvia, y aire, este barro es más plástico, ya que se ha mezclado con más materia orgánica que los primarios.

El barro recién extraído puede no ser utilizado directamente. Muchas veces es necesario agregar distintos materiales para que pueda ser utilizado. El elemento principal de esta preparación es el agua, la cual le da la característica de plasticidad y consistencia.

### **- Plasticidad**

El barro es único por su propiedad. Ningún otro material sintético o natural puede igualar esta característica, por esta razón tan variado las formas que se pueden obtener con el barro. Cuando el barro es mojado, el agua humedece todas las partículas, creando una película que las une, de esta forma al ser cambiadas de posición, estas no se separan.

#### **1.1.1.2.2 Arena.**

La arena según la norma ASTM D-2487 son: “partículas de rocas que pasan una malla No .4 (4.75 mm) y es retenida en una malla U.S. estándar No.200 (75µm).” [29]

Se utiliza en un 32 % para la elaboración de ladrillos ya que ayuda a una mejor compactación de los elementos de la mezcla.

#### **Características de la arena.**

La arena aporta en la pasta para la fabricación del ladrillo de la siguiente manera:

- Reducen el exceso de plasticidad de la arcilla, así no retiene tanta cantidad de agua disminuyendo su adherencia al estar húmedas.
- Ayuda para que sea mejor su manejo y moldeo.
- Ayuda que la concentración de los ladrillos sea menor al secar la pasta

#### **1.1.1.2.3 Aserrín**

El serrín o aserrín es el desperdicio del proceso de serrado de la madera, como el que se produce en un aserradero.

Se utiliza en una porción del 8 % en la elaboración de ladrillos, cuyas partículas están entre 0.1 mm y 1.0 cm.

#### **Características del aserrín.**

- Ayuda a la pasta a que tenga un secado rápido.
- Sirven para que se comporten los elementos y adhieran fuertemente.
- Permite una correcta cocción del ladrillo en el horno.
- Absorbe el agua en exceso.

#### **1.1.1.2.4 Agua**

Es el componente que participa en las reacciones de hidratación de las partículas, para producir la pasta que liga los materiales de la fabricación de los ladrillos.

#### **1.1.1.2.5 Ladrillo**

Según la (NTE INEN 293, 1978) [29] define al ladrillo de la siguiente manera.

##### **- Definición**

El ladrillo artesanal es elaborado con procedimientos manuales, es decir, amasando o moldeando a mano a base de una mezcla de barro y agua pasando por un proceso de secado al aire libre y cocido en un horno a alta temperatura, su dureza está definida por su posición en el horno.

##### **- Fabricación.**

Los ladrillos se fabrican por el procedimiento de cocción al rojo, a una temperatura mínima de 800 °C, Una vez cocidos, deben tener una masa homogénea de resistencia uniforme. Deben tener un color rojizo, y cuando se golpean con un material duro, deben emitir un sonido metálico.

##### **Proceso de fabricación.**

El proceso artesanal, de generación en generación, empleado por años, los métodos empleados en la fabricación del ladrillo artesanal son empíricos, basados en la experiencia de los artesanos. El proceso se basa en las siguientes etapas:

##### **- Extracción del material.**

La extracción del barro (minas), arena (construcción de vías) y aserrín (aserradoras de madera) es la primera fase de fabricación; transportadas en volquetas a las fabricas artesanales, donde el material es depositado.



*Figura 10: Deposito de materiales*

**Fuente:** Autor

**- Tratamiento del material.**

Los materiales son tratados según el clima del tiempo, y son almacenados en la fábrica artesanal a la intemperie.

**- Amasado.**

Se coloca pequeñas cantidades de materia prima, humedecida sobre una superficie plana y espaciosa al aire libre en la cual el artesano realiza un amasado continuo. El proceso puede durar varias horas, durante las cuales se eliminan aquellos cuerpos extraños, con el propósito de dar flexibilidad y homogeneidad a la mezcla.



*Figura 11: Amasado del material*

**Fuente: Autor**

**- Reposo o madurado.**

Es el tiempo de reposo que se da a la mezcla, en un periodo aproximado de 24 horas, con el propósito que pierda agua de manera natural y presente mejor trabajabilidad.

**- Moldeado.**

Los artesanos toman un volumen de la muestra y la vierten en un molde paralelepípedo, luego se presionan con los puños para eliminar los vacíos, es recubierta con una fina capa de aserrín para evitar que se pegue. Se enraza con la mano con un trozo de madera la pasta sobrante y se levanta el molde intentando no deshacer el ladrillo.



*Figura 12: Moldeado de la mezcla*

**Fuente: Autor**

### - **Secado.**

En esta fase se elimina parcialmente el agua el barro después de haber sido modelado, debe realizarse en un lugar fresco y aireado, alejado de la fuente de calor y las corrientes de aire. El tiempo de secado es variado, puede tomar de 8 a 15 días según las condiciones del clima.



*Figura 13: Secado del adobe*

**Fuente: Autor**

### - **Cocción.**

En esta etapa el ladrillo es sometido a la temperatura que oscila de 900 a 1200 °C, utilizando hornos cerrados, en donde se realizan la cocción de las piezas, El componente de combustión empleado es leña de eucalipto.

### - **Transporte.**

El transporte es importante en el proceso de producción de ladrillos, puesto que se generan considerables esfuerzos en el traslado de materiales y productos elaborados. En el proceso artesanal, el transporte es llevado a cabo en forma manual.

## - Elementos del ladrillo

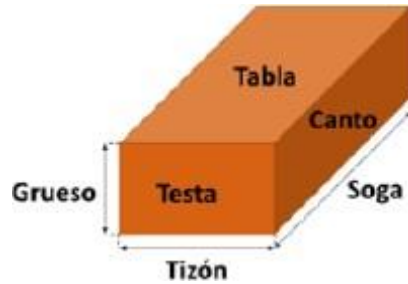


Figura 14: Caras y aristas del ladrillo

Fuente: [30]

### 1.1.1.3 Propiedades físicas- mecánicas

#### a) Granulometría de los suelos.

Según la norma NTE INEN 696, [31] mencionan que las partículas componentes de una muestra son separados por tamaño a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente, la masa de partículas mayores a la abertura de la serie de tamices utilizados, expresado en porcentaje de la masa total, permite determinar la distribución del tamaño de partículas.

Se procede a secar la muestra, la cual debe ser como mínimo 300 gr y graficar en la curva granulométrica, la abertura de los tamices versus los porcentajes que pasan. La graduación del Agregado Fino se rige a la norma ASTM C – 33 que establece la siguiente tabla.

Tabla 9: Granulometría del agregado fino

TAMICES		
ASTM	INEN	PORCENTAJE QUE PASA
3/8"	9.50 mm	100
N° 4	4.75 mm	95 – 100
N°8	2.36 mm	80 – 100
N°16	1.68 mm	50 – 85
N°30	600 µm	25 – 60



N°50	300 $\mu\text{m}$	10 – 30
N°100	150 $\mu\text{m}$	2 – 10
N°200	75 $\mu\text{m}$	

**Fuente:** Tamaño de tamices ASTM C – 33

### **b) Módulo de finura**

Se determina conforme lo especificado a la norma ASTM C – 125 y menciona que el módulo de finura del agregado fino es como la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices N° 100, N° 50, N° 30, N°16, N° 8, N° 4, 3/8”, 3/4”, etc. [32]

### **c) Límite de Plasticidad o Límite de Atterberg**

La plasticidad se la define como la propiedad de un material que es capaz de soportar deformaciones rápidas. Sin rebote elástico, sin variaciones volumétricas apreciables, sin desmoronarse y agrietarse.

### **d) Limite Liquido (LL %).**

Es la frontera entre el estado semilíquido y el plástico. El contenido de humedad del suelo puede expresarse como el porcentaje de agua, en relación con el peso secado en el horno.

La determinación del límite líquido es un procedimiento de laboratorio por el cual las coordenadas entre número de golpes de la copa Casa Grande versus el contenido de humedad permite graficar en un papel semilogarítmico la curva de escurrimiento. La curva de escurrimiento representa la relación de su contenido de humedad y su correspondiente número de golpes, la escala logarítmica representa el número de golpes y la escala natural o aritmética el porcentaje de humedad. Se traza la línea recta entre los tres o más puntos marcados.

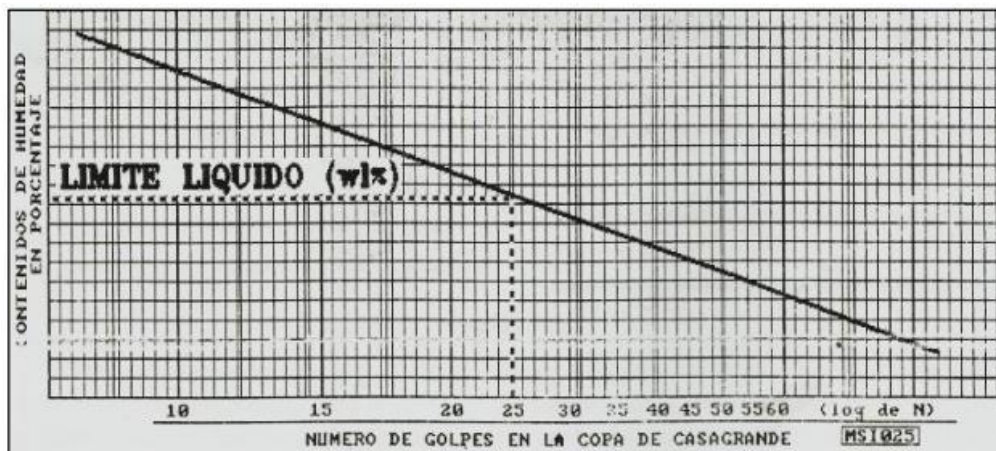


Figura 15: Determinación del límite líquido en la curva de escurrimiento

**Fuente:** L. Pérez: Mecánica de suelos I. Ambato, Ecuador, 2013, P.29.

El contenido de humedad que corresponde a la intersección de la curva de escurrimiento con la ordenada de 25 golpes, debe tomarse como líquido del suelo y que teóricamente significa que el suelo alcanza una resistencia al corte (S).

$$0 < S \leq 0.25 \text{ gr/cm}^2$$

**e) Límite Plástico (LP %).**

Es la frontera entre el estado plástico y semisólido. El LP se calcula igual que un contenido de humedad promedio, se determina enrollando pequeñas muestras de 3 mm de diámetro y cuando estas tienen tal cantidad de agua que empiezan a resquebrajarse.

**f) Índice Plástico (Ip %).**

Se calcula el índice plástico de un suelo cohesivo como la diferencia numérica entre el Límite Líquido y su Límite Plástico de la siguiente manera.

$$I_p = LL\% - LP\% \quad [7]$$

Excepción: Se indicará la diferencia calculada de acuerdo a la ecuación anterior,

como el Índice Plástico, excepto en los siguientes casos.

Cuando el LL o LP no puede ser determinado, infórmese Ip como no plástico (NP).

Cuando el suelo es muy arenoso, el LP deberá determinarse antes del LL. Si el LP no puede ser determinado, indíquese tanto el LL como el LP como (NP).

Cuando el LP es igual o mayor que el LL indíquese el Ip como (NP).

En la siguiente tabla se presenta valores de Índice de Plasticidad para evaluar la plasticidad del suelo.

Fuente: Mantilla, Mecánica de Suelos I.

*Tabla 10: Limite plástico*

<b>IP</b>	<b>Descripción</b>
0 -3	No plástico
3 - 15	Ligeramente Plástico
15 -30	Baja Plasticidad
> 30	Alta Plasticidad

**Fuente:** L: Pérez Mecánica de Suelos I. Ambato, Ecuador, 2013, p, 30.

### **g) Contenido de Humedad**

Norma ASTM S2216-71/ AASHTO T217-67/ INEN 690

Es la cantidad de agua que se presenta en el suelo, la cual puede determinar si un suelo se encuentra saturado o seco. Se expresa en porcentaje, la relación del peso del agua contenida y el peso de su fase sólida. Éste puede variar dependiendo de las condiciones de humedad del sitio de donde se obtenga la muestra.

$$\Omega\% = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad [8]$$

$W_w$  = peso del agua

$W_s$  = peso de solidos

Fuente: Mantilla, Mecánica de Suelos I.

## **h) Porosidad**

Norma (ASTM C-97)

Son espacios de diferente tamaño que se presenta entre los granos del suelo. Cuando existe un bajo porcentaje de porosidad, es debido a que el suelo se encuentra consolidado o densificado y si tiene un alto porcentaje de porosidad, el suelo es altamente compresible.

$$n\% = \frac{V_v}{V_m} * 100 \quad [9]$$

$V_v$  = volumen de vacíos

$V_m$  = volumen de la masa

Fuente: Mantilla, Mecánica de Suelos I.

### 1.1.1.4 Descripción del área de estudio

#### Diagnostico territorial del Cantón Latacunga

Tabla 11: Datos generales

Nombre del GAD	Gobierno Autónomo descentralizado del catón Latacunga
Fecha de creación del cantón	Creación:1534 Fundación definitiva:1584
Población total al 2014	183446 habitantes
extensión	138.630,57 has
Limites	Al Norte: Cantón Mejía y Sigchos Al Sur: Salcedo y Pujilí Al Este: Archidona y Tena Al Oeste: Saquisilí, Pujili y Sigchos
Rango latitudinal	Desdelos 2680 m.s.n.m. 5920, fuente: IGM (2013), escala 1:50.000

**Fuente:** GADL

#### Ubicación geográfica

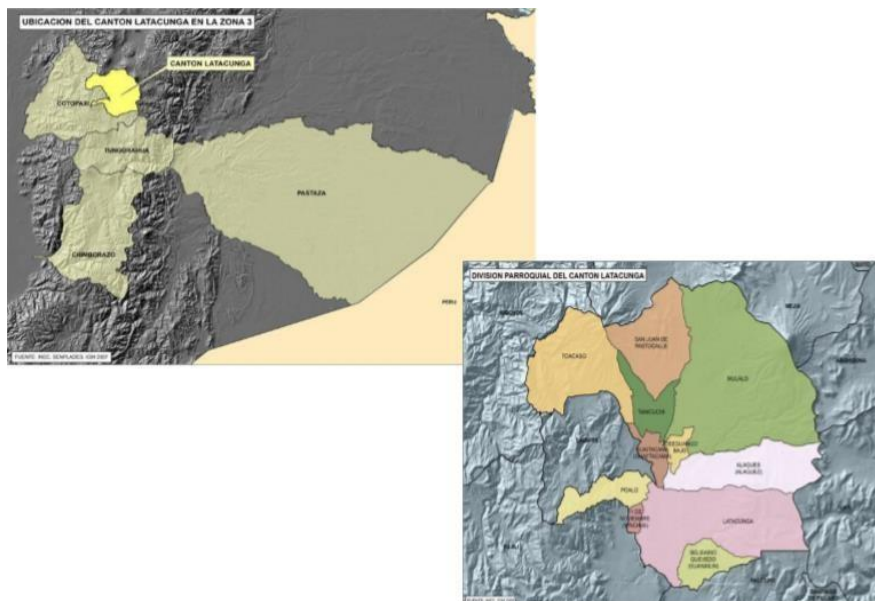


Figura 16: Ubicación Latacunga zona 3

**Fuente:** Instituto Geográfico Militar

El análisis y las características topográficas del cantón Latacunga se ha realizado considerando su geomorfología, que es el componente del territorio que sirve de base para la integración de los diferentes elementos físicos presentes en él y las pendientes que reflejan la inclinación de las laderas dentro de una cierta distancia y elevación.

De acuerdo a estos dos factores que la intensa actividad volcánica a la que está sometida la zona, los diversos episodios geológicos y los procesos erosivos que han actuado y actúan sobre los relieves pre-existentes, han modelado la forma la topografía del catón, determinando un paisaje fisiográfico dominante constituido por la presencia de terrazas estructurales.

#### **1.1.1.5 Agencia de regulación y control minero (ARCOM)**

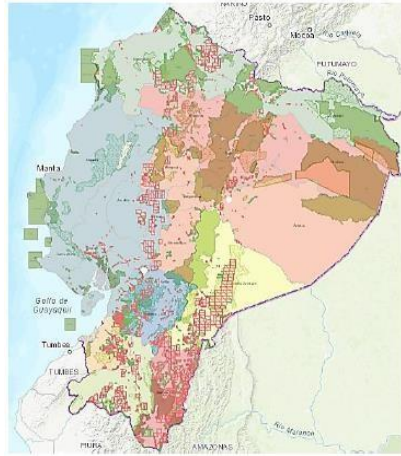
La agencia de regulación y control minero (ARCOM) de la República del Ecuador en política pública minera establece objetivos estratégicos acerca de la sostenibilidad ambiental y social, donde se expone:

- 1.- Promover la adopción de buenas prácticas ambientales de seguridad ocupacional en la industria minera, que garantice un aprovechamiento integral y responsable de los recursos naturales. [33]
- 2.- Fomentar el aprovechamiento de los recursos naturales minerales con responsabilidad ambiental, precautelando el cuidado del patrimonio natural y la vida humana con buenas prácticas ambientales y de seguridad ocupacional. [33]

Es significativo destacar estos puntos porque permite establecer una ayuda, guía para el análisis del gas radón radioactivo natural, avalando el aprovechamiento de recursos naturales del medio ambiente ecuatoriano.

La ARCOM juntamente con el Ministerio de Minería ha desarrollado un catastro minero con Sistema de Referencia: WGS – 84 UTM 17 SUR, en cual se representa con un mapa base topográfico de las minas y canteras de la República

del Ecuador



*Figura 17: Catastro minero sistema de referencia: WGS – 84 UTM*

**Fuente:** Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM)[33]

### **1.1.1.6 Hipótesis**

#### **Hipótesis de Trabajo**

La presencia del gas radón en los ladrillos de fabricación artesanal de las parroquias: Juan Montalvo – San Sebastián e Ignacio Flores de la ciudad Latacunga Provincia de Cotopaxi, inciden en la construcción de las edificaciones.

## **1.1.2 OBJETIVOS**

### **1.1.2.1 Objetivo general.**

“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”

### **1.1.2.2 Objetivos específicos.**

- Estudiar cuales son los materiales que se utilizan para la fabricación del ladrillo artesanal
- Ensayar muestras significativas para analizar ciertas propiedades físicas-mecánicas.
- Comparar o evaluar la concentración o exhalación del gas radón en ladrillos artesanales con los diferentes reglamentos y recomendaciones
- Analizar resultados.



## **CAPITULO II**

### **METODOLOGIA**

#### **2.1 Nivel o tipo de investigación**

##### **2.1.1 Investigación Exploratoria**

Esta investigación nos permite analizar que los estudios acerca del gas radón presentes en los ladrillos artesanales de las fábricas situadas en las parroquias: Juan Montalvo-San Sebastián e Ignacio Flores de la ciudad Latacunga Provincia de Cotopaxi. Como en Republica de Ecuador no se tiene un detalle sobre radiación ionizante presente en el medio ambiente y tampoco existe alguna normativa aplicable en el país que permita realizar edificaciones sustentables, por aquello se prioriza la creación de un entorno no toxico y saludable.

##### **2.1.2 Investigación Descriptiva**

Mediante las propiedades físicas del barro, arena y ladrillos en conjunto con las propiedades del gas radón se realiza un análisis cualitativo – cuantitativo que facilita determinar la existencia de dicho gas existentes en los materiales usados en la construcción, basados principalmente en normativa nacional en la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto de Normalización (NTN INEN) e internacional como: Organización Mundial de la Salud (OMS), Comité Científico de Naciones Unidas para el estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), Comunidad Europea de la energía Atómica (EURATOM) y Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM).

### **2.1.3 Investigación Correccional**

Al realizar una investigación correccional con diversas investigaciones nacionales e internacionales acerca de la presencia del gas radón natural en el medio ambiente, en materiales usados en la construcción e interiores de edificaciones, se obtienen pautas y cantidades estimadas del gas radón existente en ladrillos artesanales en el entorno laticungueño, añadiendo una investigación como son las características y propiedades de los mismos que permiten o no la emanación, exhalación del gas radón.

## **2.2 Población y Muestreo**

### **2.2.1 Población**

La población que se ha establecido para el desarrollo de la investigación fue determinada mediante la indagación obtenida en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) proporcionado por los gobiernos autónomos descentralizados (GADL) del Cantón Latacunga de la Provincia de Cotopaxi en donde se obtuvo la siguiente información.

#### **2.2.1.1 Minas y canteras de la Ciudad Latacunga**

La actividad minera en general, es una actividad que produce múltiples impactos, unos positivos y otros negativos, consecuencias de las faces productivas utilizadas. La mayor parte de las etapas del proceso extractivo son contaminantes, una más que otra, sin embargo, la importancia económica que tiene esta actividad provoca que ciertas poblaciones le acepten; sin considerar una serie de conflictos de orden social y ambiental que entorno a ellos se generen.

En la zona centro occidental del catón Latacunga existen varias minas y canteras de propiedad privada o comunitaria, destacándose las minas de arena, piedra, ripio y piedra pómez o cascajo, usadas en la construcción.

Minas de cascajo, gravas y arena de chasqui en el sector de San Ramón en la parroquia de Pastocalle. Existencia de mina de piedra en la parroquia Mulaló.

Debido al estudio del gas radón radioactivo en barro (arcilla), arena es importante destacar principales propiedades que abarcan dicho gas y los factores de entorno que influyen en la emanación a la superficie. Mediante un análisis correccional con diferentes investigaciones realizadas a nivel mundial, se han tomado en cuenta tipologías para determinar minas y canteras que impliquen la zona de estudios.

### **2.2.1.2 Factores físicos que favorecen la concentración del gas radón**

#### **Geología**

La ciudad de Latacunga, capital de la Provincia de Cotopaxi, se encuentra ubicada en la parte Sur-Este del territorio provincial, entre las coordenadas UTM 762000 y 769000 Este y 9904000 y 9981000 Norte; su altitud va desde los 2700 hasta 3000 m.s.n.m.,

Geológicamente se encuentra asentada sobre cangahuas, materiales de depósitos de lahares, coluviales y lacustres, así como de cenizas, tobas vulcano-sedimentarias y materiales conglomerados dispuestos irregularmente y recubiertos por estratos potentes de pómez de diferentes granulometrías (van de muy finos a dosimétricos y métricos) de color blanco plomizo, que se encuentran rodeando a la ciudad.

Litológicamente se distinguen algunas estructuras geológicas, principalmente las siguientes: La Cangahua, (cuaternario) que conforman esta unidad geológica, constituida por cenizas volcánicas, de color amarillento y de composición

andesítica, se presenta ocasionalmente alternando con la pómez y en contacto con los lahares, fáciles de encontrar en los alrededores de Latacunga.

Los depósitos de lahares, (holoceno), son materiales acarreados y depositados por los flujos de lodo producidos por las últimas erupciones del Cotopaxi (la más reciente en 1877), la misma que rellenó grandes áreas del valle de Latacunga; estos lahares están constituidos principalmente por bloques grandes de andesitas y materiales cementantes de arenas, limos y arcillas.

Depósitos Aluviales (holoceno), se presentan en los lechos de los ríos Cutuchi y Aláquez principalmente.

Las unidades geológicas descritas, correspondientes al holoceno y pleistoceno, descansan sobre formaciones geológicas más antiguas como la Formación Latacunga y la Formación Pisayambo, Pleisto-pliocénicas, compuestas por materiales piroclásticos y aglomerados andesíticos.

Estructuralmente, Latacunga se encuentra controlada por un sistema de fallas (aparentemente normales) que forman parte del graben del valle interandino, tienen un rumbo general NE-SW en el Norte y NS (o NNW) hacia el Sur), generalmente se encuentran recubiertas por depósitos de cuaternario. La manifestación de una reactivación de las mismas, se pueden correlacionar con eventos sísmicos suscitados en Pelileo en 1949, Esmeraldas 1976, El Reventador en 1987 y Pujilí en 1996. [33]

## **Precipitación**

Las lluvias como factor detonante del traslado del gas radón en el agua se encuentran relacionados con su duración, intensidad y distribución. Precipitaciones de gran intensidad en periodos cortos de tiempo y precipitaciones de poca intensidad en periodos de extenso de tiempo pueden liberar un ambiente perjudicial a la saturación de poros, logrando acumulación de agua en su interior y la disolución de gas radón en agua.

## **Clima**

La gran complejidad de pisos climáticos propios de la región Interandina en la ciudad Latacunga demuestra una variedad de temperatura y presión atmosférica que inciden en los niveles del gas radón tanto en el aire como en materiales ubicados en las diferentes zonas. Un suelo húmedo poroso con una presión atmosférica baja y una temperatura suave favorece la emanación del gas radón, mientras un suelo seco y una presión atmosférica alta y una temperatura muy baja dificulta la emanación del gas radón

## **Población urbana y rural**

La población urbana y rural cercana a una cantera o minera, puede ser afectada por la exhalación que se puede emitir, además que la construcción de edificaciones de esta población hechos con ladrillos artesanales que contengan gas radioactivo radón y de sus productos de semidesintegración (Polonio, plomo y bismuto), que depositan en partículas finas y polvo en suspensión, que posteriormente el ser humano respira introduciendo a los elementos radioactivos directamente en el tejido pulmonar y dando lugar la alteración del ADN del ser humano dando las posibilidades de cáncer del pulmón, razón por la cual es considerada una variable independiente para seleccionar áreas mineras relacionadas con el gas radón.

### **2.2.2 Muestreo**

Se ha realizado un muestro no probabilístico deliberado con factores que facilitan la concentración del gas radón de la mina Palopo de la Ciudad Latacunga Provincia de Cotopaxi, que obtiene barro (arcilla) para la fabricación del ladrillo artesanal para la construcción de ciertas edificaciones, es decir la estructura geológica, precipitación, temperatura y población urbana y rural a la cual zona minera expuesta, son variable destacada que permite la selección de áreas

mineras en relación a la emanación del gas radón existente en el sector.

Se ha considerado un nivel de importancia para las variables mencionadas, debido a la cantidad de emanación del gas radón con la información que puede presentar los ladrillos artesanales de las diferentes fabricas conjuntamente con la información geofísica obtenida del sector de la ciudad Latacunga, por lo tanto, se considera un valor de:

- Estructura geológica (50%)
- Precipitación (30%)
- Temperatura (10%)
- Población urbana y rural (10%)

## **2.3 Materiales e Equipo**

### **2.3.1 Materiales**

Los materiales se obtuvieron: barro (mina Palopo), arena (construcción de caminos vecinales), aserrín (aserraderos cercanos).

Ladrillos artesanales (fabricas).

### **2.3.2 Equipos**

### **2.3.3 Granulometría del agregado fino y grueso**

**Balanza de laboratorio:** Equipo de precisión electrónico profesional marca T-Scala modelo EHB 6000 de calibración automática, que determina el peso del material con una capacidad máxima de 6000 gr y capacidad mínima de 2 gr, con una precisión de 0,1 gr. Presenta un tiempo de estabilización de 2 segundos.

**Juego de tamices:** Coladores de acero marca HUMBOLDT normados según ASTM C-33 con distintos diámetros (2'', 1 ½'', 1'', 3/4'', 1/2'', 3/8'', #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200) que permite separar las partículas en diferentes tamaños.

**Recipiente:** Objetos cóncavos metálicos o de plásticos que permiten el pesado y transporte de los agregados finos.

**Tamizadora:** Equipo electrónico profesional marca CONTROLS modelo 15-D9497/BZ, con una potencia de 400 W aprox. Presenta un tamizador de 0 a 99 minutos en pasos de 1 minuto con funcionamiento continuo, que permite tamizar constantemente el agregado fino.

#### **2.3.4 Límite de Plasticidad o Límite de Atterberg**

Depósito para determinar el límite líquido (copa de Casagrande), ranurador plano triangular, solera plana de un centímetro de espesor.

Malla N°40(0,420 mm), espátula, capsula de porcelana, vidrios de reloj, pipeta con agua destilada, mortero.

Balanza con aproximación de 0,001 gr y capacidad mínima de 100 gr. Horno a temperatura constante de 110 °C, desecador.

#### **2.3.5 Contenido de humedad**

**Horno de convección:** Horno marca HUMBOLDT modelo 31-350 ER, usado para secar instrumentos a vez la cantidad de agua en agregados a temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  con una capacidad de 300 lt, circulación de aire con ventilador y control de temperatura con micro procesador.

**Recipiente:** Objetos cilíndricos metálicos con volumen variado que albergan a los agregados dentro del horno.

### 2.3.6 Medición del radón

#### Instrumentos de medición del radón

La presencia de recomendaciones, normas, y reglamentos para una nación o estado, son fundamentales y su cumplimiento genera un beneficio social, económico, y de salud pública.

Para evaluar el gas radón existe varios métodos, pero en cada caso hay que considerar la mejor opción de instrumentación, temporalidad, lugar de colocación de cada uno de ellos, hábitos de ventilación, arquitectura de la casa o edificio, materiales de construcción, geología de la zona, geofísica de la localización específica, presión atmosférica, entre otros. Haciendo que la medición de gas radón sea un arte.

- **Detectores activos.** - Permite una rápida colección del gas radón y/o RDP. Al forzar la entrada del gas en el detector. Se utiliza para medir a corto tiempo en monitoreo continuo. Entre los cuales tenemos: celdas de centello, semiconductores, cámaras de ionización, etc.

**Detector RAD7.**- El detector de gas radón RAD7 producido por DURRIDGE COMPANY (Figura 18) manual es un equipo iónico planar semiconductor de silicio, combinado con una colección electrostática de radón y sus hijos emisores alfa. El sistema permite medir el radón y el torón utilizando un análisis de energía espectral, discriminando la energía de las partículas alfa. El detector RAD7 usa solo la señal de  $Po^{218}$  para determinar la concentración de radón y la señal de  $Po^{216}$  para determinar la concentración de torón. El límite de detección del aparato es igual a 0,01 Bq/h para el radón y 6 Bq /h para el torón. Este detector permite recopilar información sobre la temperatura y humedad relativa durante la medición del radón. [manual RAD7]



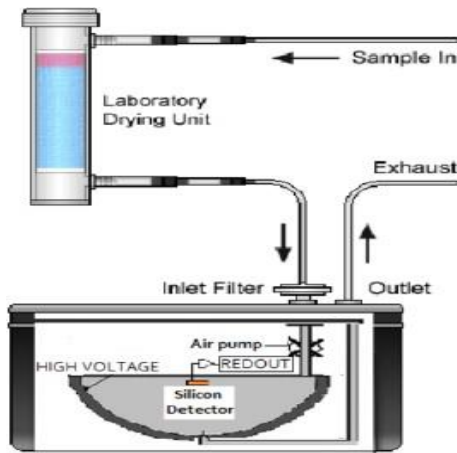


Figura 18: Configuración experimental del RAD7 para toma de muestras en aire.

**Fuente:** DURRIDGE Company, 2014.

Debido a la sensibilidad a la humedad, RAD7 debe funcionar con una humedad relativa inferior al 10% (8% si es posible). La alta humedad mejora la neutralización de  $Pb^{221}$  de las moléculas de agua, reduciendo la eficiencia del detector. Un software dedicado, producido por DurrIDGE, correcto para este efecto.



Figura 19: Partes externas del Detector RAD7.

**Fuente:** URRIDE company, 2014

**ALPHA E.** Es un dispositivo de medición para detectar y registrar la concentración, expansión y dosis del gas radón (ver Figura 20), basando en el principio de difusión con un detector de silicio, el gas radón se difunde a través de los orificios de entrada de la carcasa hacia el interior de la cámara de difusión.

Los agujeros están completamente cubiertos por una membrana Gore-Tex. Solo el gas radón puede ingresar a la cámara mientras los productos de decaimiento del gas radón (polonio, plomo y bismuto), son retenidos por la membrana. Por lo tanto, la medición se hace independientemente de los parámetros externos fluctuantes como la concentración de aerosoles. Vale la pena mencionar que estos factores tienen un gran impacto en la medición de la progenie del radón, pero no tiene influencia en el gas radón.

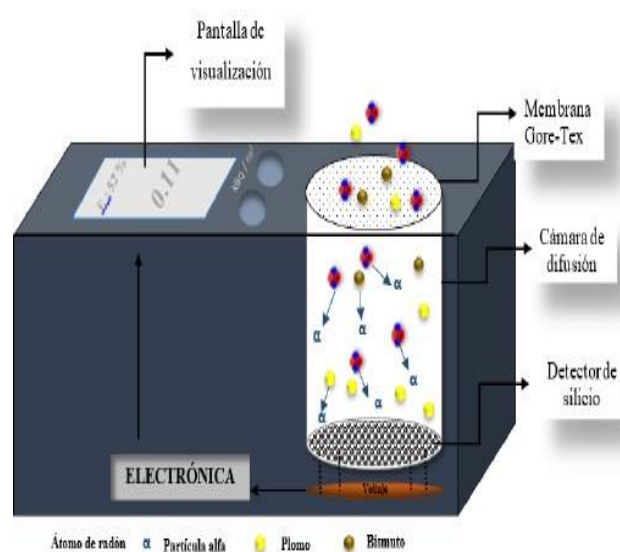


Figura 20: Alpha-E:

**Fuente:** SAPHYMOGmbH, 2016. (Manual ALPHA-E)

La radiación alfa emitida durante la desintegración  $Rn^{222}$  es registrada por el detector de silicio. Sin embargo, junto con la descomposición de  $Rn^{222}$  también sus progenies alfa emisoras se desarrollan en el interior de la cámara y se separan en sus paredes- La radiación alfa causada por progenies de radón cuando se descompone es proporcional a la concentración  $Rn^{222}$  dentro de la cámara. Su contribución a la radiación presenta la mayor parte de la señal y, es consecuencia, se considera mediante el algoritmo de evaluación y el factor de calibración.

El pulso de voltaje generado por el detector de silicio se amplifica subsecuentemente, se cuentan, se convierten a las unidades requeridas y se almacenan por el controlador de acuerdo con el ciclo de medición predefinida. Además el valor de mediciones discretas derivadas, de los conteos acumulados en el transcurso del ciclo de medición respectivo como se describió anteriormente, se presenta una media flotante es una media calculada de forma permanente, almacenando y mostrando siempre en la pantalla del dispositivo. Este modo suprime las fluctuaciones estadísticas y permite al ALPHAE, incluso a bajos niveles de concentración de radón, proporcionar siempre en su pantalla un valor confiable que se ajuste para valores atípicos estadísticos.

El equipo además posee un sensor de inmersión para medir temperatura del aire, la humedad y la presión, así como para registrar los eventos de choque y reubicación (manipulación) proporcionan datos auxiliares. Estos datos también se almacenan junto con los datos radiológicos y sirven para un análisis exhaustivo, especialmente de la dosis. [ Manual ALPHA- E]

- **Detectores pasivos.** - Resultados a largo plazo, más confiables y precisos de las mediciones por el periodo de prueba que se ha establecido, entre los cuales tenemos: CPDR, cámara de iones- electrones, etc.

**Cámara cerrada:** Sistema cerrado, con mayor hermeticidad posible, equipo gravitatorio e isotérmico, con la finalidad de que el transporte de radón sea por difusión y descomposición radioactiva, con las características siguientes:

- Seis láminas de vidrio crudo de 50x50 cm<sup>2</sup>, forma de cubo con espesor de 0,5 mm.
- Silicona para unión de vidrios.

- Volumen de 125 litros.
- Lamina superior móvil.
- Tres agujeros temporales, dos de ellos de 1 cm de diámetro para la conexión de los dispositivos y el otro de 2,5 cm de diámetro para el ingreso de las muestras.
- Fuente de alimentación para el detector interno.
- Un están para elementos de soporte (ejemplo: Estación meteorológica, etc.) [31]

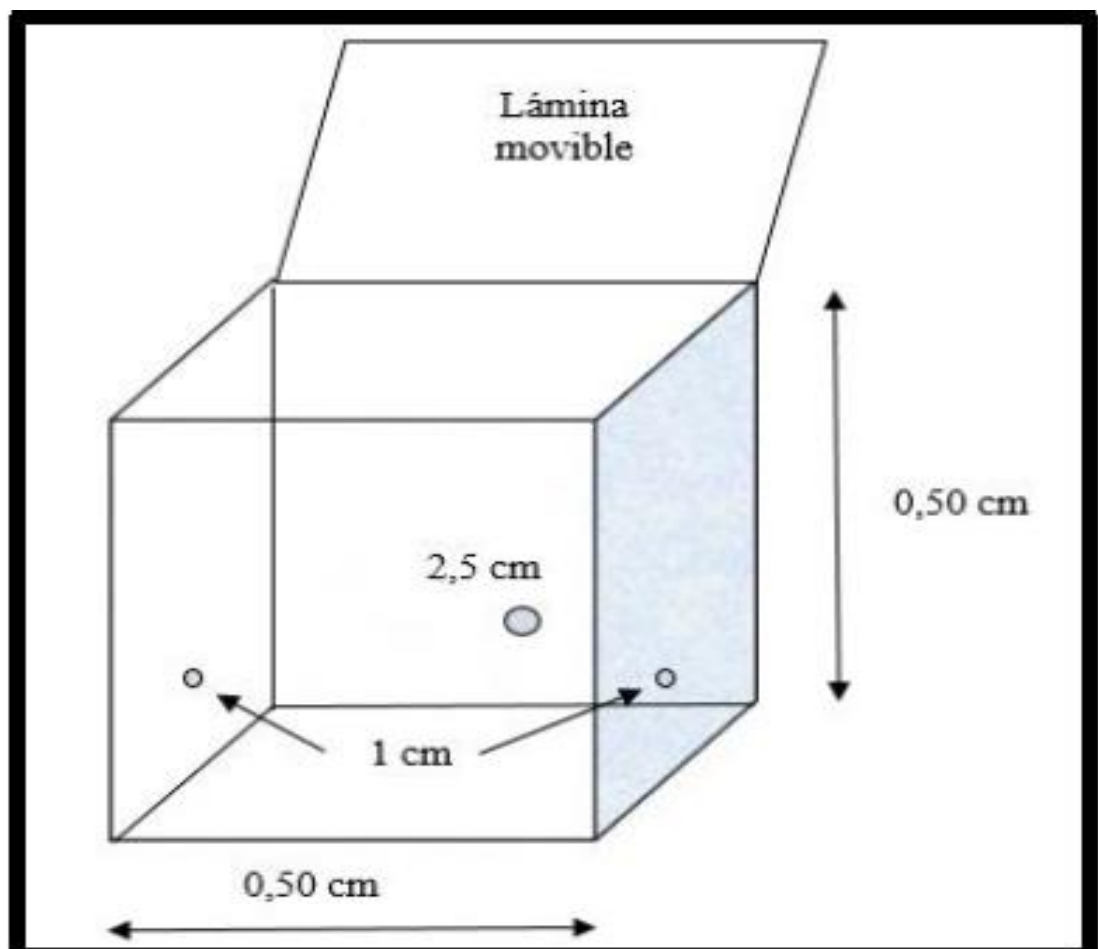


Ilustración 21: Configuración experimental del método de la cámara cerrada.

**Fuente:** [31]

## **2.4 Método**

### **2.4.1 Plan de recolección de datos**

El presente trabajo aplica una metodología experimental, por consiguiente, se sigue el siguiente procedimiento.

#### **2.4.1.1 Selección del lugar de extracción**

Las materias primas como el barro (arcilla) se extraen de puntos estratégicos de la mina seleccionada (Palopo) de acuerdo al muestreo no probabilístico deliberado, previamente se realiza un recorrido interno de la cantera, como resultado se plantea, tres lugares específicos de los cuáles de ellos se encuentran el primero en pie de la mina, el segundo en la altura media de la mina y la tercera en el punto más alto de la mina de la zona de explotación. La arena de la construcción de los caminos vecinales cercanos a los lugares de fabricación. El aserrín de los aserraderos cercanos a las fábricas y los ladrillos artesanales, de las fábricas.

#### **2.4.1.2 Extracción del barro**

La extracción del barro (arcilla) se lo hace mediante el método zanja abierta a corte.

#### **2.4.1.3 Zanja abierta a corte**

De un corte ubicado en un lugar apropiado para la extracción del material se obtuvo muestras de barro (arcilla) las alturas de la zanja analizada presentaban (alturas entre 1,2 m y 15,5 m en forma trapezoidal), se tomó la muestra de los tres lugares específicos de la mina.

#### 2.4.1.4 Ensayo de las propiedades físicas de la materia prima y ladrillo

Tabla 12: Ensayo de las propiedades físicas de la materia prima y ladrillo

Ensayo	Norma
Contenido de humedad	ASTM S2216 – 71 INEN 690
Análisis granulométrico	NTE INEN 696
Límite de Plasticidad	ASTM D421-78/AASHTO T87-70
Porosidad (ladrillo)	

**Fuente:** Normas ASTM, INEN

#### 2.2.1.5 Plan de procesamiento y análisis de información

Se han determinado un plan estratégico para el análisis y recolección de información acerca de las propiedades físicas del barro (arcilla), arena y ladrillo, se lo muestra cita a continuación:

- Examinación de la información bibliográfica referente a la investigación sobre el gas radón en materiales usados en la construcción.
- Obtención y almacenamiento de muestras del barro, arena de zona más significativa de la cantera seleccionada, debidamente transportadas a laboratorios respectivos de estudios.
- Lectura y análisis de normas INEN, ASTM y AASHTO para el barro, arena y ladrillos encargadas de procedimiento, condiciones y equipos adecuados para obtener resultados confiables.
- Determinación de contenido de humedad, análisis granulométrico, y límite de plasticidad. Como estas propiedades físicas intervienen con la presencia del gas radón.
- Determinación del gas radón presentes en: barro, arena de la mina mediante el método de la cámara cerrada.

- Determinación del gas emanado en ladrillos artesanales elaborados con esta materia prima antes mencionados.
- Análisis e interpretación entre resultados obtenidos de las propiedades físicas de las materias primas y el gas radón.
- Planteamiento de conclusiones y recomendaciones en base a los ensayos y resultados obtenidos en: barro, arena y ladrillos.

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Análisis y discusión de resultados

##### 3.1.1 Condiciones físicas y meteorológicas de minas de la ciudad Latacunga

De acuerdo a la exploración elaborada en el apartado anterior las variables independientes que facilitan la emanación, transporte e inhalación del gas radón ( $Rn^{222}$ ), incide en la concesión minera de la ciudad Latacunga y, por ende, en el barro (arcilla) y arena utilizados en la fabricación de ladrillos artesanales.

- Estructura geológica del suelo con su respectiva textura.
- Precipitación de la zona de las áreas mineras.
- Temperatura anual promedio.
- Población urbana y rural cerca de las zonas de extracción del barro (arcilla) y arena.

##### 3.1.1.1 Estructura geológica de minas

La ciudad de Latacunga de la provincia de Cotopaxi se encuentra asentado sobre depósitos volcánicos cuya dinámica de transporte y asentamiento es altamente destructiva físicamente como radioactivamente debido a las avalanchas de cenizas volcánicos, material piroclásticos por colapsos gravitacionales de cúpulas de lava e inmensos flujos de lodo y escombros, es así que la región dentro del área de estudio, existen distintas clases de estructuras: relieve escarpado, relieve montañoso, colinas medianas. Valles interandinos, vertientes irregulares, vertientes cóncavas, superficies aplanadas, debido a la presencia de la cordillera occidental de los Andes.



**Tabla 13:** Catastro minero del catón Latacunga

*Tabla 13: Catastro minero del catón Latacunga*

<b>CATASTRO MINERO DEL CATON LATACUNGA</b>		
<b>PARROQUIA Y MINERAL</b>	<b>HECTARIAS</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<b>Once de Noviembre (Ilinchisi)</b>	<b>11.9998</b>	<b>0.62%</b>
No metálicos	11.9998	0.62%
<b>Once de Octubre</b>	<b>3.99994</b>	<b>0.21%</b>
No metálicos	3.99994	0.21%
<b>Alaquez</b>	<b>18.99973</b>	<b>0.98%</b>
Materiales de Construcción	5.99991	0.31%
Metálicas	3.99994	0.21%
No metálicas	8.99988	0.46%
<b>Belisario Quevedo (Guanailin)</b>	<b>30.999576</b>	<b>1,60%</b>
Materiales de Construcción	30.999576	1,60%
<b>Eloy Alfaro (San Felipe)</b>	<b>103.998508</b>	<b>5.35%</b>
Materiales de Construcción	14.999776	9,77%
No Metálicas	88.998732	4,58%
<b>Guaytacama (Guaytacama)</b>	<b>15.99974</b>	<b>0,82%</b>
Materiales de Construcción	15.99974	0,82%
<b>Ignacio Flores (Parque Flores)</b>	<b>3.99994</b>	<b>0.21%</b>
Materiales de Construcción	3.99994	0,21%
<b>La Matriz</b>	<b>3.99994</b>	<b>0.21%</b>
Materiales de Construcción	3.99994	0.21%
<b>Latacunga, Cabecera Cantonal y Capital Provincial</b>	<b>422.217786</b>	<b>21.74%</b>
Materiales de Construcción	43.22282	2,23%
No Metálicas	317.995866	16.37%
(En blanco)	60.9991	31.14%
<b>Mulaló</b>	<b>914.98775</b>	<b>47.11%</b>
Materiales de Construcción	337.99543	17.40%
No Metálicas	576.99232	29.71%
<b>Poaló</b>	<b>74.999</b>	<b>3,86%</b>
Materiales de Construcción	74.999	3,86%
<b>Pujilí Cabecera Cantonal</b>	<b>11.99984</b>	<b>0.62%</b>
No Metálicas	11.99984	0.62%
<b>San Juan de Pastocalle</b>	<b>315.995892</b>	<b>16.27%</b>
Materiales de Construcción	21.999712	1.13%
Metálicas	5.99992	0.31%
No Metálicas	277.99639	14.31%
(En blanco)	9.99987	0.51%
<b>Tanicuchí</b>	<b>6.9999</b>	<b>0.41%</b>
No Metálicas	6.9999	0.41%
<b>Total General</b>	<b>1942.197362</b>	<b>100.00%</b>

**Fuente:** Cartografía Base: IGM-3013, escala 1:5000

### **3.1.1.2 Representación gráfica de condiciones físicas y meteorológicas de la mina**

Mediante graficas estadísticas se realiza el muestre no pro balístico deliberado con la población de concesiones mineras registradas por el GADL, debido a la gran cantidad de canteras en la ciudad Latacunga, por tanto, se ha elegido la mina de barro (arcilla) de Palopo debido a la cercanía de las fábricas de ladrillos artesanales en estudio.

Se procede a determinar la relación entre las variables independientes que influyen en las zonas mineras del cantón Latacunga. [38]

- Estructura geológica
- Temperatura
- Precipitación
- Población

Tabla 14: Formación geológicas y su distribución en el catón Latacunga

<b>FORMACION GEOLOGICAS Y SU DISTRIBUCION EN EL CANTON</b>			
<b>FORMACION</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>AREA (Ha)</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Estado Volcán principal Con cráter central	En blanco	31381,75	22,64%
Formación Piñón de la Sierra KP1	Lavas basálticas, tobas, brechas, rocas, ultrabasicas	820.01	0.59%
Unidad Apagua	Lutitas, grauwas, (2000m)	1766.61	1,27%
Volcánicos Cotopaxi: Facies distal	Piroclasto, retrabajados, (cangahua) y Primarios, lahares, y avalanchas de escombros	80949.40	58.39%
Volcánicos Pisayambo	Andesitas ariolitas, piroclastos (1000-2000m) Flujos de lava y piroclastos de Composición andesitica o riolitica (1000-2000m)	23719.74	17.11%
Total		368637.51	100.00

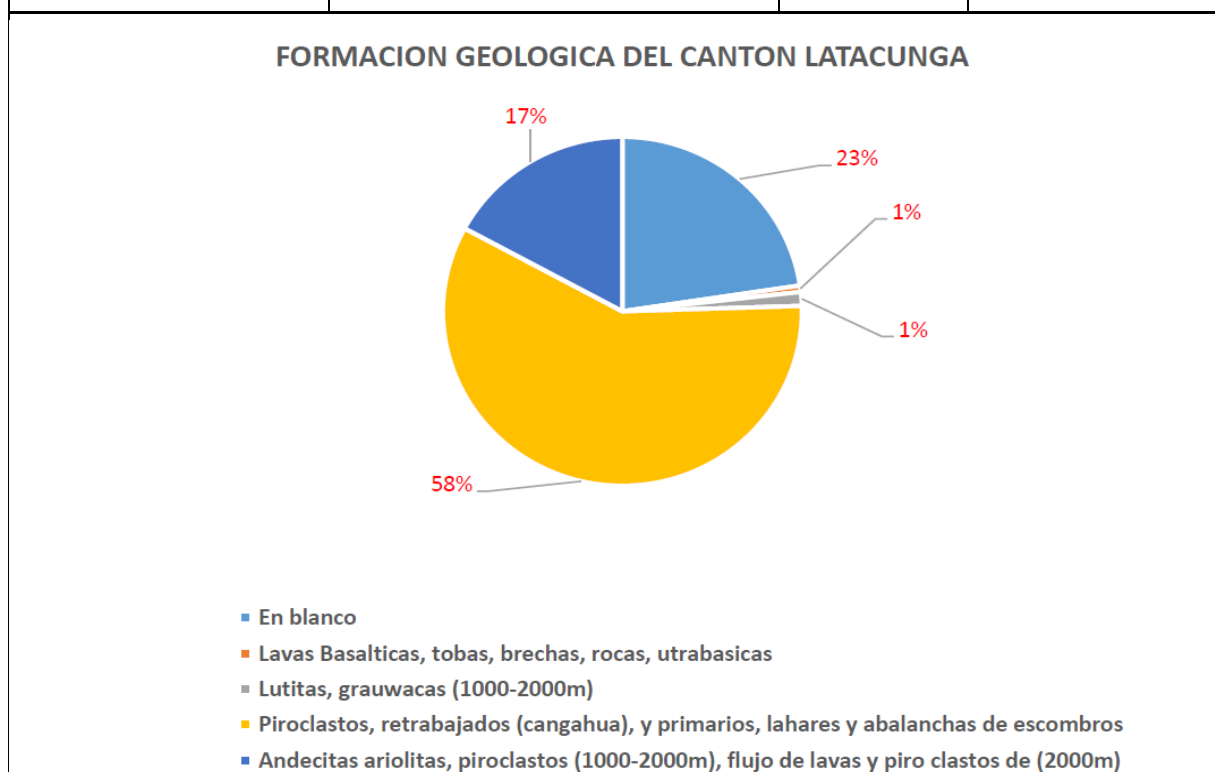


Tabla 15: Temperatura del cantón Latacunga

<b>TEMPERATURA CANTON LATACUNGA</b>			
<b>Zonas</b>	<b>Temperaturas</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
Ecuatorial de alta montaña	0°C -6°C	82198.40	59.29%
Ecuatorial mesotermico seco	10°C a 20°C	11729.30	8.46%
Ecuatorial mesotermico seco semi-humedo	13°C a 18°C	29628.90	21.37%
Nival	0°C – 6°C 6°C – 10°C	15073.94	10.87%
Total		138630.54	99.99

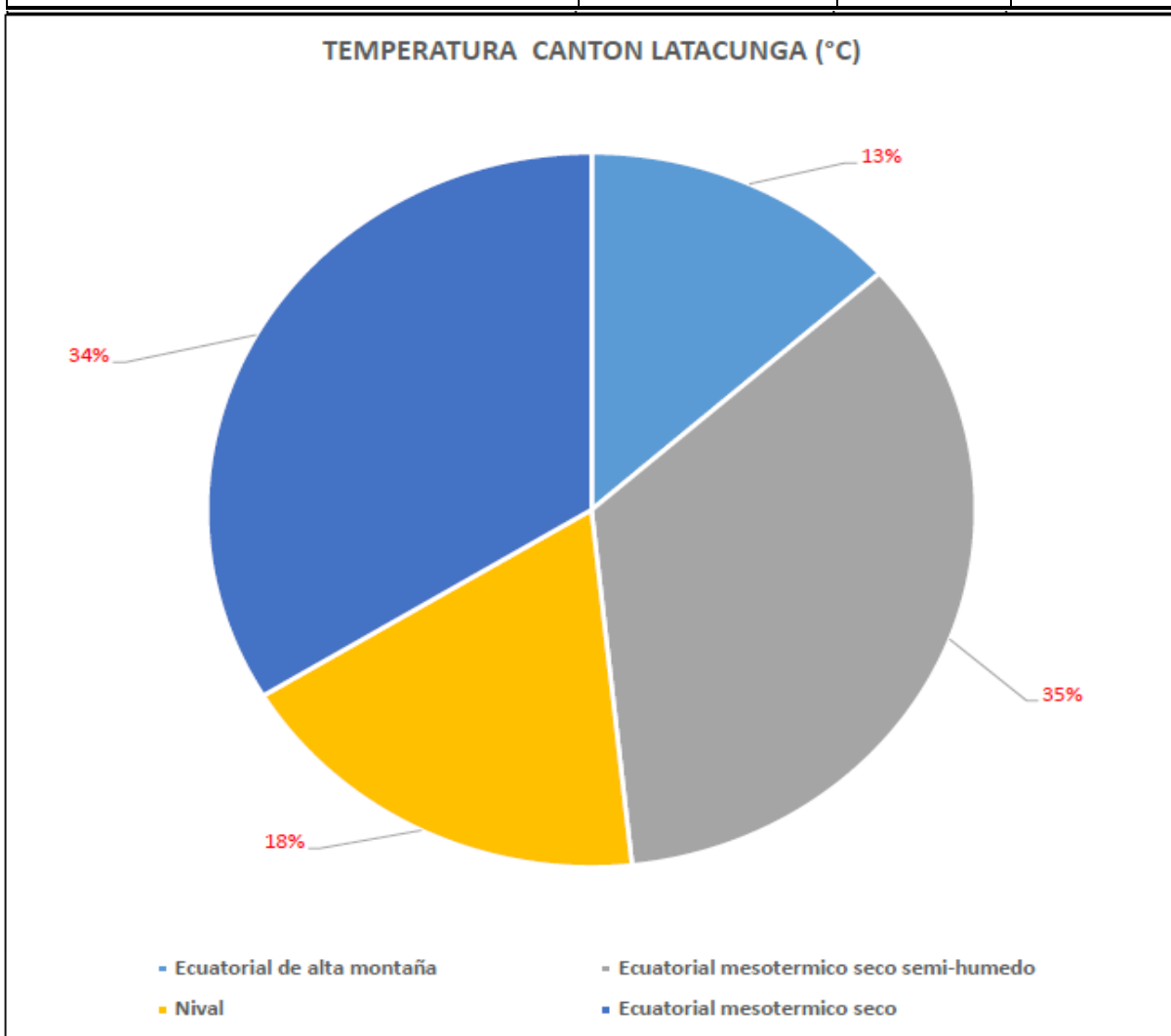
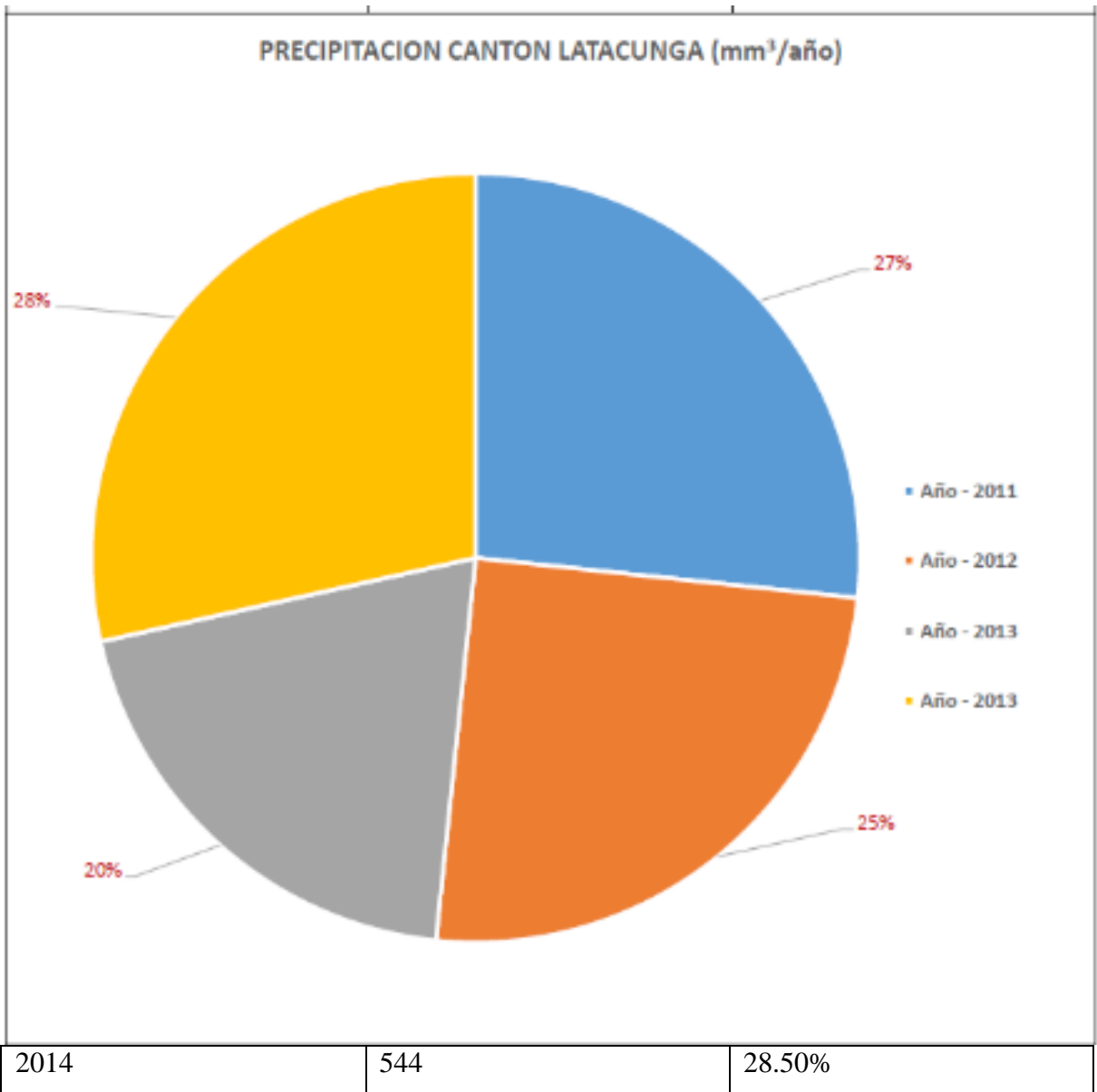


Tabla 16: Precipitación del cantón Latacunga

PRECIPITACION CANTON LATACUNGA		
Año	Promedio (mm)	Porcentaje
2011	509	26.66%
2012	477	24.99%
1013	379	19.85%



### **3.1.2 Cantera significativa del barro (arcilla) mina Palopo ciudad Latacunga**

Mediante el estudio realizado precedentemente con las variables de la estructura geológica, temperatura, precipitación y población, se determina una muestra de concesión minera perteneciente a la ciudad Latacunga, y además se descartan zonas mineras que no forman de acuerdo a los siguientes aspectos, porque de esta manera se pueden asegurar una extracción de barro (arcilla) para su uso en la construcción:

- Licencia ambiental y/o Ficha ambiental.
- Registro Ambiental.
- Plan de manejo ambiental.
- Minas que se encuentran en plan de cierre.

#### **3.1.2.1 Concesión minera en estudio**

La concesión minera de la ciudad Latacunga ha sido seleccionada para un análisis a futuro del proyecto: “EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.” Es así la concesión minera seleccionada para la extracción de barro (arcilla) es Palopo y su posterior análisis de la concentración del gas radón en ladrillos artesanales y sus materias primas, conjuntamente con las propiedades físicas y mecánicas que presenta el material.

Tabla 17: Coordenadas de ubicación de toma de muestra

COORDENADAS UTM		
Ubicación	Norte	Este
Palopo	9894950.70	773127.9
Minas Palopo	9894620.90	773570.20
Fabrica 1	9887088.70	767716.30
Fabrica 2	9896437,20	766763.80
Fabrica 3	9896779.40	767026.30

Fuente: Autor

### Ubicación



Figura 22: Ubicación Mina Palopo

Fuente: Software Google Earth





Figura 23: Ubicación Mina Palopo

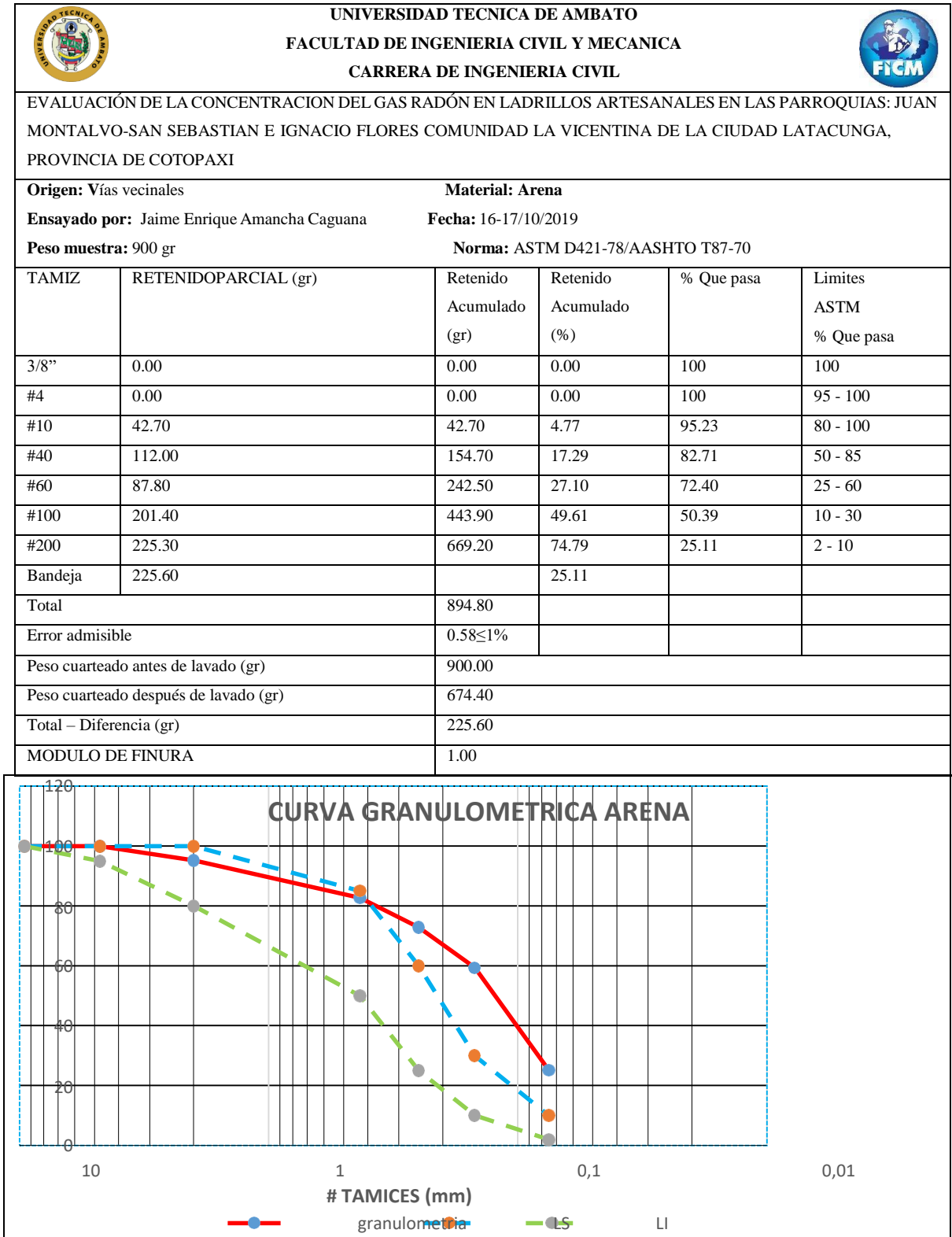
**Fuente:** Software Google Earth

### **3.1.3 Propiedades físicas de los materiales y su influencia en la concentración de radón**

Las características del gas radón, permiten asociar directamente con algunas propiedades físicas y mecánicas presentes en los suelos. Para lo cual se realizaron ensayos de ciertas propiedades.



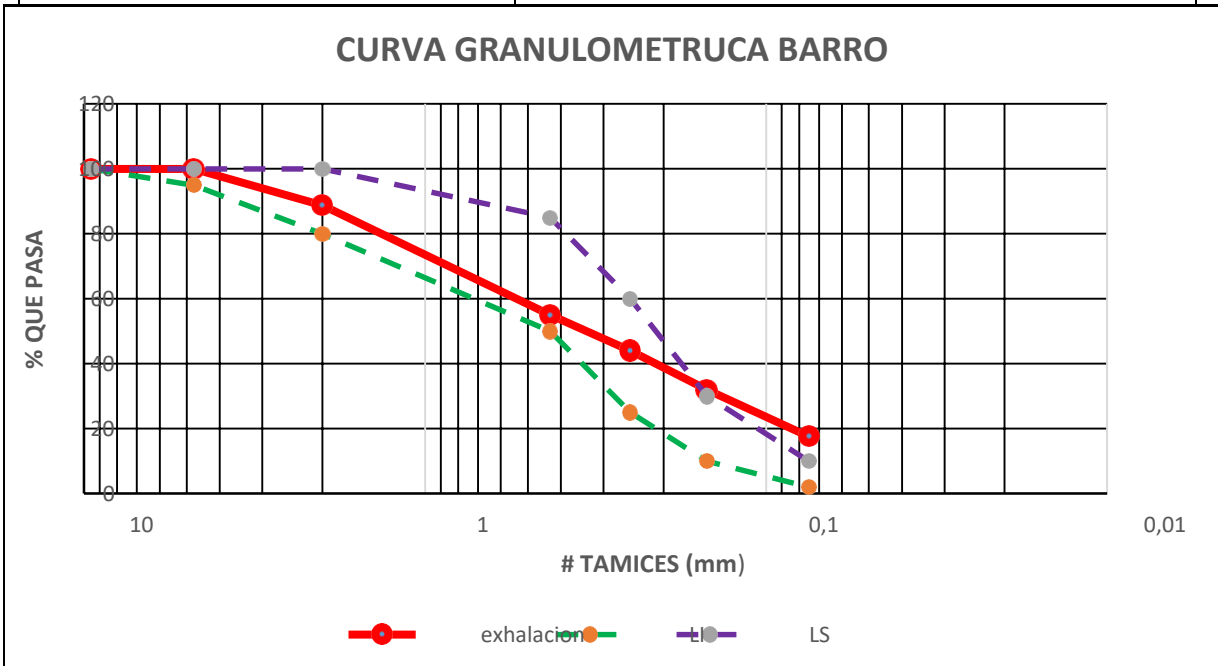
Tabla 18: Granulometría de agregado fino arena



Fuente: Autor

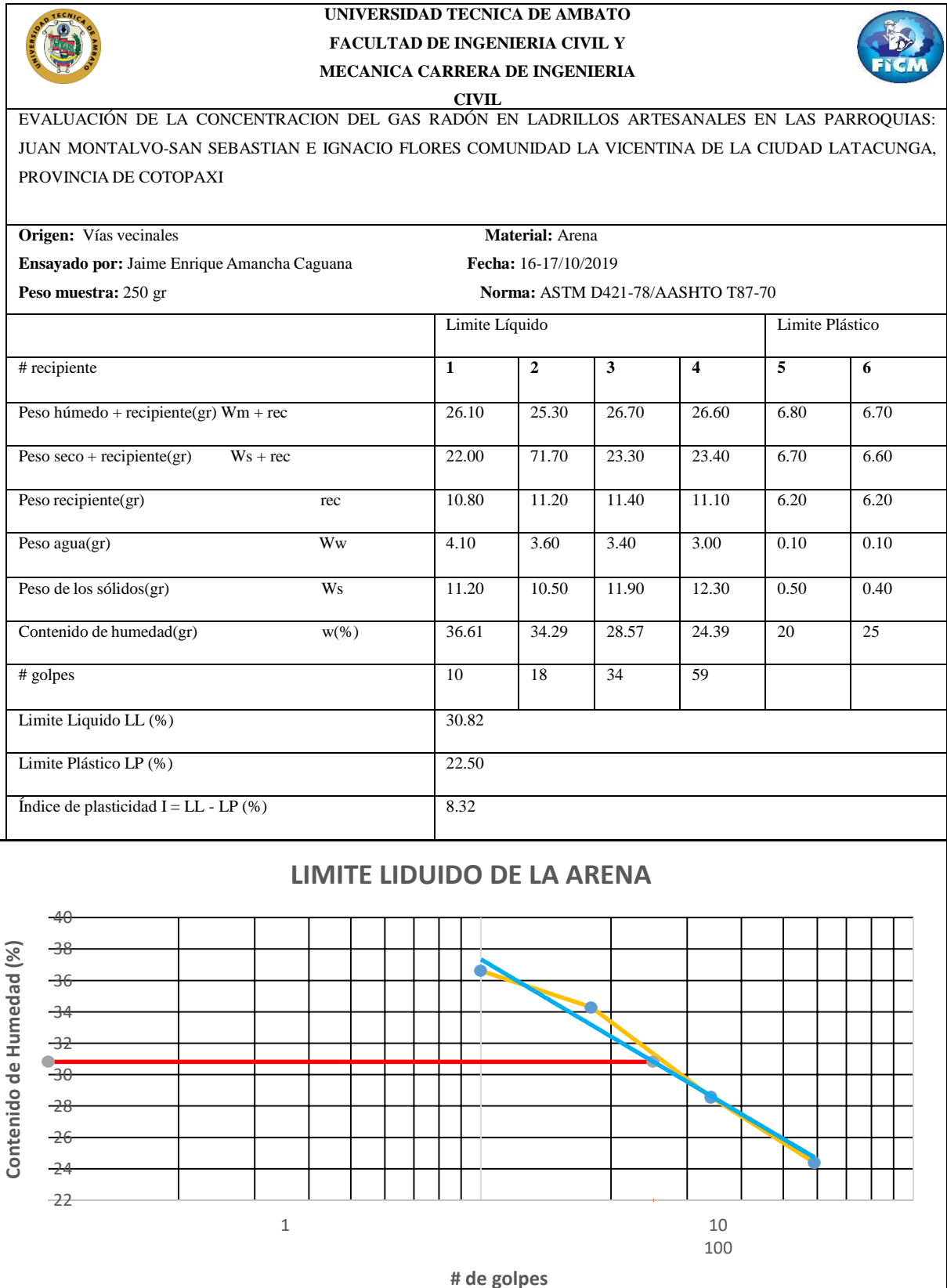
Tabla 19: Granulometría de agregado fino barro

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI					
<b>Origen:</b> Mina Palopo			<b>Material:</b> Barro		
<b>Ensayado por:</b> Jaime Enrique Amancha Caguana			<b>Fecha:</b> 16 – 17/10/2019		
<b>Peso muestra:</b> 900 gr			<b>Norma:</b> ASTM D421-78/AASHTO T87-70		
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL (gr)	Retenido Acumulado (gr)	Retenido Acumulado (%)	% Que pasa	Limites ASTM % Que pasa
3/8"	0.00	0.00	0.00	100	100
#4	0.00	0.00	0.00	100	95 - 100
#10	101.30	101.30	11.27	88.73	80 - 100
#40	302.30	403.60	44.90	55.10	50 - 85
#60	99.10	502.70	55.93	44.07	25 - 60
#100	108,70	611.40	68.02	31.98	10 - 30
#200	128.70	740.10	82.34	17.66	2 - 10
Bandeja	158.70				
Total		898.80			
Error admisible		0.133≤1%			
Peso cuarteado antes de lavado (gr)		900.00			
Peso cuarteado después de lavado (gr)		741.30			
Total – Diferencia (gr)		158,70			
MODULO DE FINURA		1.80			





Fuente: Autor

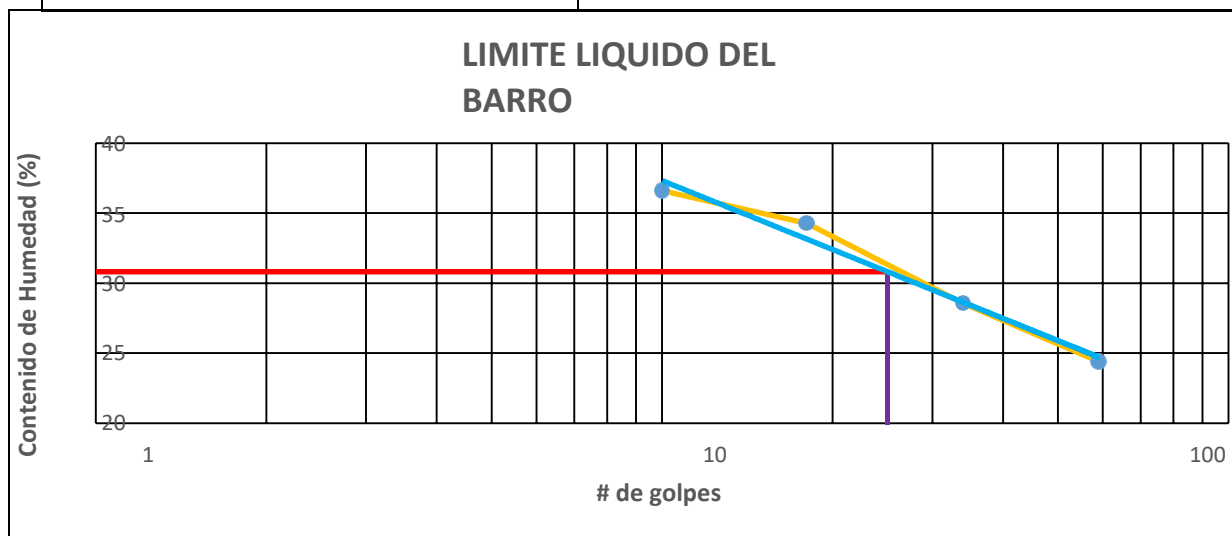
Tabla 20: Límites de plasticidad de la arena



Fuente: Autor

Tabla 21: Limite de plasticidad del barro

		 <b>TECNICA DE AMBATO UNIVERSIDAD</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y</b> <b>MECANICA CARRERA DE INGENIERIA</b> <b>CIVIL</b>					
EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI							
<b>Origen:</b> Vía Palopo		<b>Material:</b> Barro					
<b>Ensayado por:</b> Jaime Enrique Amancha Caguana		<b>Fecha:</b> 16-17/10/2019					
<b>Peso muestra:</b> 250 gr 78/AASHTO		<b>Norma:</b> ASTM D421-		T87-70			
		Limite Líquido				Limite Plástico	
# recipiente		1	2	3	4	5	6
Peso húmedo + recipiente(gr) Wm + rec		20.80	23.50	24.40	23.80	6.60	6.80
Peso seco + recipiente(gr) Ws + rec		18.20	18.10	18,10	20.90	6.50	6.70
Peso recipiente(gr) rec		11.40	11.30	11,30	11.80	6.10	6.20
Peso agua(gr) Ww		2.60	2.20	2.30	2.90	010	0.10
Peso de los sólidos(gr) Ws		6.80	9.20	6.80	9.10	0.40	0.50
Contenido de humedad(gr) w(%)		38.24	33.82	33.82	31.87	25.00	20.00
# golpes		11	19	39	56		
Limite Liquido LL (%)		30.83					
Limite Plástico LP (%)		22.50					
Índice de plasticidad I = LL - LP (%)		8.33					





Fuente: Autor

ASTM C125, proporciona para el módulo de agregado fino valores de 2.3 a 3.1, pero en nuestro caso (ver tabla 18 y 19) se obtuvo valores menores a los proporcionados por la norma. El barro y la arena analizados presentan partículas sumamente finas, con una mezcla de arcillas y limos, esto influirá directamente en el traslado del gas radón en su interior y no permitirá su emanación.

Analizando las tablas 20 y 21 podemos decir tanto el barro como la arena son materiales con bajo contenido de plasticidad

Tabla 22: Contenido de humedad y porosidad

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y</b> <b>MECANICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA</b> <b>CIVIL</b> 				
EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI				
<b>Origen:</b> Fábricas de ladrillos artesanal		<b>Material:</b> Ladrillos		
<b>Ensayado por:</b> Jaime Enrique Amancha Caguana		<b>Fecha:</b> 16-17/10/2019		
<b>Norma:</b> ASTM S2216-71				
<b>Contenido de humedad</b>				
Designación	Unidad	Valor		
Fabricas		1	2	3
Peso recipiente rec	gr	113.20	114.00	113.80
Peso seco + recipiente Ws + rec	gr	5107.20	5108.10	5113.80
Peso húmedo + recipiente Wm + rec	gr	6469.20	6573.35	6477.44
Peso agua Ww	gr	1362.00	1465.25	1363.64
Peso de los sólidos Ws	gr	4994.00	4991.70	5000.00
Contenido de humedad w(%)	%	27.27	29.35	27.27
Promedio de contenido de humedad	%	27.96		
<b>Porosidad</b>				
Volumen de agua	cm <sup>3</sup>	1362.00	1465.25	1363.64
Volumen de solido	cm <sup>3</sup>	3696.00	3805.60	3601.28
Porosidad $n = V_w/V_m$	%	36.85	38.50	37,87
Porosidad promedio	%	37,74		

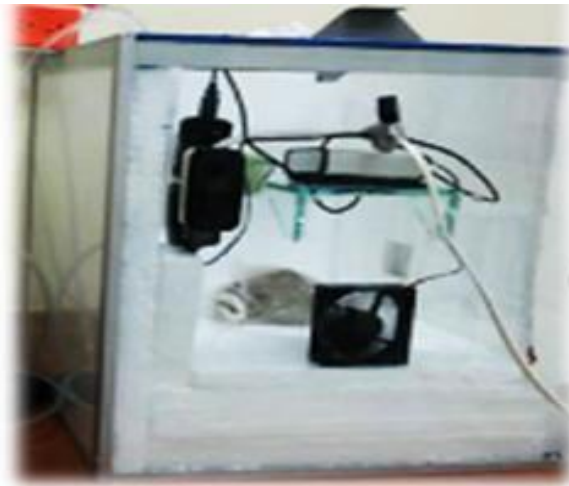
**Fuente:** Autor

Observando la tabla 22, la porosidad del ladrillo es muy baja, entonces podremos decir que la emanación y la difusión del gas radón en este material no estructura es muy pequeño.

### 3.1.4. Concentración de radón

Las muestras fueron trasladados a los Laboratorios de Técnicas Nucleares de la ESPOCH de la ciudad de Riobamba con la intención de obtener la tasa de exhalación del gas radón en ladrillos, barro y arena. Una vez obtenidas las medidas, se procedió a determinar las correspondientes estimaciones de dosis de gas radón por inhalación.

La cámara, disponible en el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la ESPOCH, está hecha con 6 láminas de vidrio incoloro. Las hojas tienen un área libre de 50\*50 cm<sup>2</sup> y un grosor de 1.5 cm. Para unirlos se empleó silicona a prueba de agua, adicionalmente se fijaron con ángulos de aluminio en cada borde para asegurar la estanquidad de la caja. La firmeza ha sido probada llenando la cámara con agua; después de varios días no se observó agua o humedad alrededor de la cámara y a lo largo de las uniones. El volumen de la cámara es de 125 l. La hoja superior es movable para insertar la muestra y la instrumentación. [31]



*Figura 24: Cámara cerrada para la medición del gas radón*

**Fuente:** Autor

La cámara incluye las siguientes herramientas: una fuente de alimentación para el detector interno, un ventilador de 12 voltios utilizados para mezclar el aire dentro de la cámara, un estante para instrumentos de soporte (por

ejemplo: estación meteorológica, etc.). [31]

La configuración para las mediciones del gas radón utilizando el método de cámara cerrada y sus detectores.



*Figura 25: Configuración experimental del método de la cámara cerrada.*

**Fuente:** [31]

#### **3.1.4.1. Determinación de la concentración de radón de las muestras**

La variación de la concentración del gas radón en materiales de construcción es muy evidente, dependiendo del material de construcción.



Tabla 23: Contenido de humedad y porosidad

		DETECTOR RAD7			DETECTOR ALPHA E		
	Origen	Tasa exhalación másica	Incertidumbre	Error porcentual	Tasa exhalación másica	Incertidumbre	Error porcentual
		Bq /kg*h	Bq /kg*h	%	Bq /kg*h	Bq /kg	%
Barro S-A	Mina Palopo	0.012	0.004	35.194	0.003	0.001	0.352
Barro S-B	Mina Palopo	0.011	0.004	37.782	0.003	0.001	0.378
Barro S-C	Mina Palopo	0.012	0.004	37.405	0.003	0.001	0.354
Barro M-A	Mina Palopo	0.017	0.005	28.693	0.005	0.001	0.287
Barro M-B	Mina Palopo	0.019	0.006	30.307	0.005	0.002	0.303
Barro M-C	Mina Palopo	0.014	0.005	32.939	0.004	0.001	0.329
Barro I-A	Mina Palopo	0.028	0.007	23.945	0.008	0.002	0.239
Barro I-B	Mina Palopo	0.029	0.007	24.875	0.008	0.002	0.249
Barro I.C	Mina Palopo	0.011	0.004	39.093	0.003	0.001	0.391
	Media	0.017			Media	0.0047	
	D.M	0.007			D.M	0.0020	
Arena	Vía Palopo	0.005	0.002	35.703	0.001	0.00	0.357

Fuente: Autor

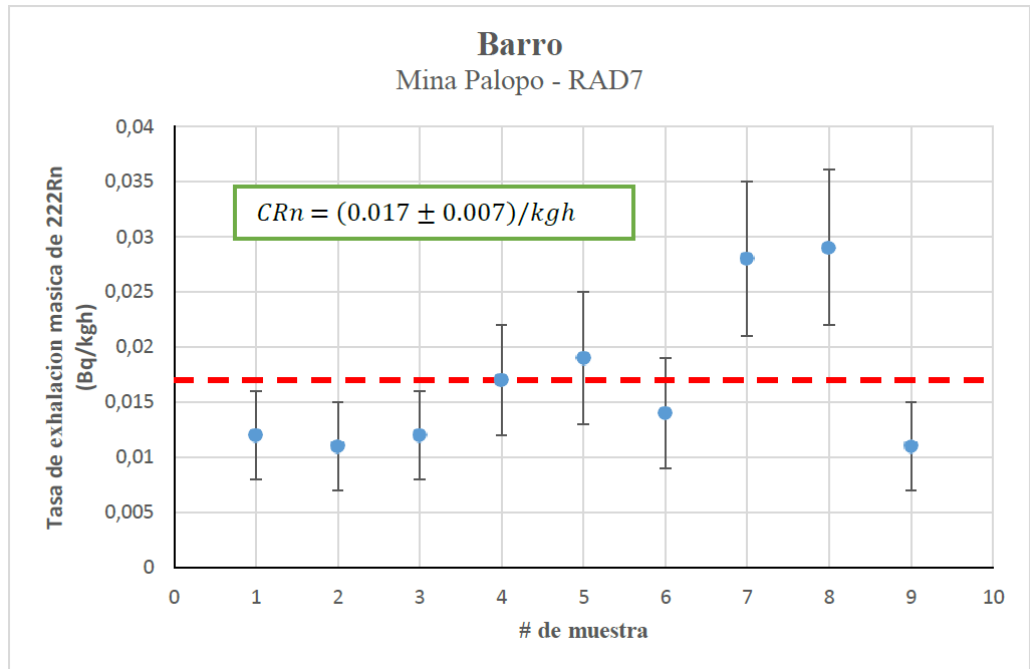


Figura 26: Concentración de gas radón del barro RAD7

Fuente: Autor

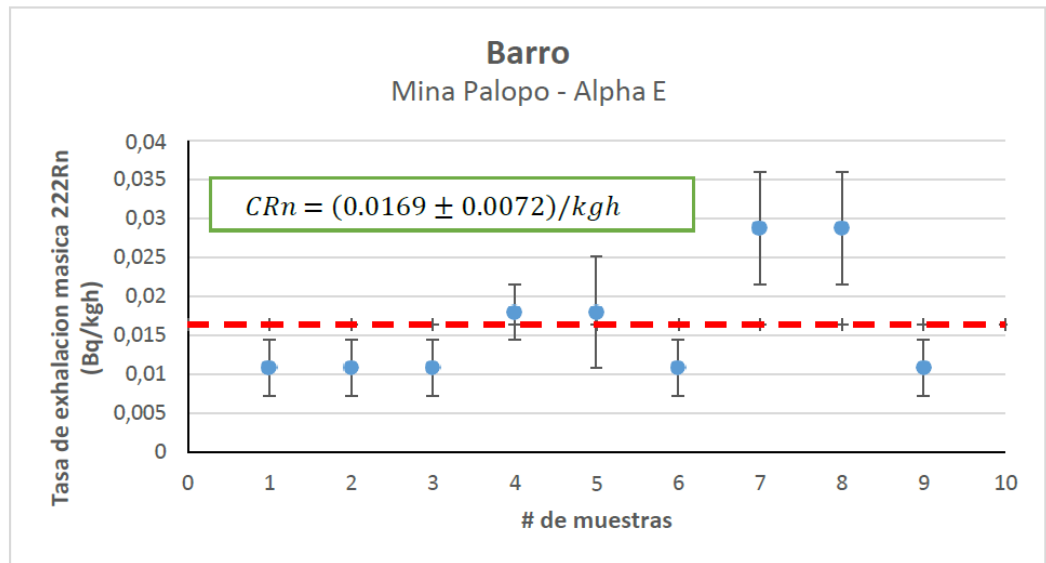


Figura 27: Concentración de gas radón del barro Alpha E

Fuente: Autor

Como podemos observar en la tabla 23, la concentración del gas radón en el barro (arcilla) y arena son muy pequeñas, que podríamos decir que no existe, esto se debe a las condiciones meteorológicas del lugar y propiedad físicas de los materiales.

También podríamos decir que la altura de la mina juega un papel muy importante, ya que de él depende la concentración de la radioactividad o sea del gas radón. Si analizamos los gráficos diríamos los datos de los resultados son muy dispersos.



Tabla 24: Concentración de gas radón en barro y arena

Concentración de radioactividad (gas radón)			
Datos	Designación	Unidad	Valor
l	Largo	m	0.33
a	Ancho	m	0.14
h	Altura	m	0.08
A	Área	m <sup>2</sup>	0.1214
V	Volumen	m <sup>3</sup>	0.0037
$\lambda_v$	Tasa de intercambio de aire	1/h	0.5
<b>Barro</b>			
$E_m$	Tasa de exhalación másica	Bq/(kg*h)	0.0169
m	Masa	kg	3.25
$J = E_m * A$	Tasa de exhalación	Bq/h	0.055
$C = J / (\lambda_v * V)$	Concentración de gas radón	Bq/m <sup>3</sup>	29.7213
<b>Arena</b>			
$E_m$	Tasa de exhalación másica	Bq/(kg*h)	0.005
m	Masa	kg	0.25
$J = E_m * A$	Tasa de exhalación	Bq/h	0.0013
$C = J / (\lambda_v * V)$	Concentración de gas radón	Bq/m <sup>3</sup>	0.6764

**Fuente:** Autor

Si observamos en la tabla 24 la concentración del gas radón en barro (arcilla) (29.7213 Bq/m<sup>3</sup>) y arena (0.6764 Bq/m<sup>3</sup>), son muy pequeñas. Si comparamos con diferentes países a nivel mundial diríamos que son similares.

Tabla 25: Resultados tasa de exhalación superficial de las muestras de ladrillo tomadas en la fábrica 1

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y</b> <b>MECANICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA CIVIL</b></p> 						
EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI						
<b>Origen:</b> Fabrica 1			<b>Método:</b> Cámara cerrado			
<b>Ensayado por:</b> LTN /SPOCH			<b>Fecha:</b> 20 septiembre 2019			
	DETECTIR RAD7			DETECTOR ALPHA E		
Muestra	Tasa Exhalación superficial	Incertidumbre	Error porcentual	Tasa Exhalación superficial	incertidumbre	Error porcentual
	Bq /m <sup>2</sup> h	Bq /m <sup>2</sup> h	%	Bq /m <sup>2</sup> s	Bq /m <sup>2</sup> s	%
Ladrillo 1	0.063	0.011	18	0.0175	0.0032	18
Ladrillo 2	VBD*			VBD*		
Ladrillo 3	0.084	0.012	15	0.0223	0.0033	15
Ladrillo 4	0.121	0.013	11	0.0337	0.0036	11
Ladrillo 5	0.051	0.013	24	0.0141	0.0034	14
Media	0.079		Media	0.0034		
D.M	0.031		D.M	0.0002		

**Fuente:** Autor

## FABRICA DE LADRILLOS 1

Detector RAD7

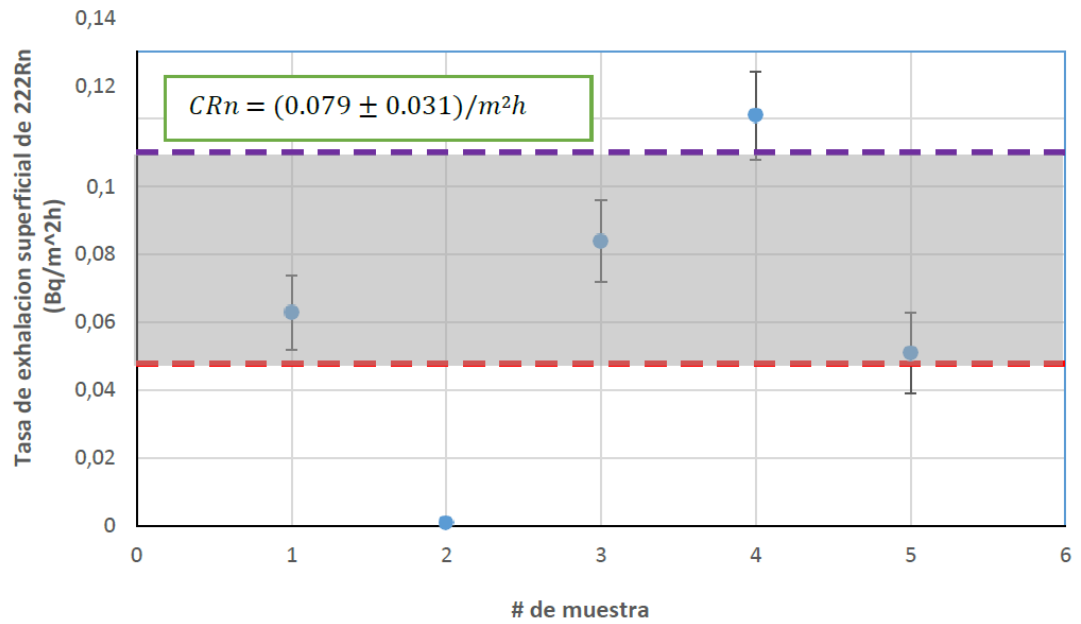


Figura 28: Concentración de gas radón ladrillo artesanal fabrica 1

Fuente: Autor

## FABRICA DE LADRILLOS 1

Detector Alpha E

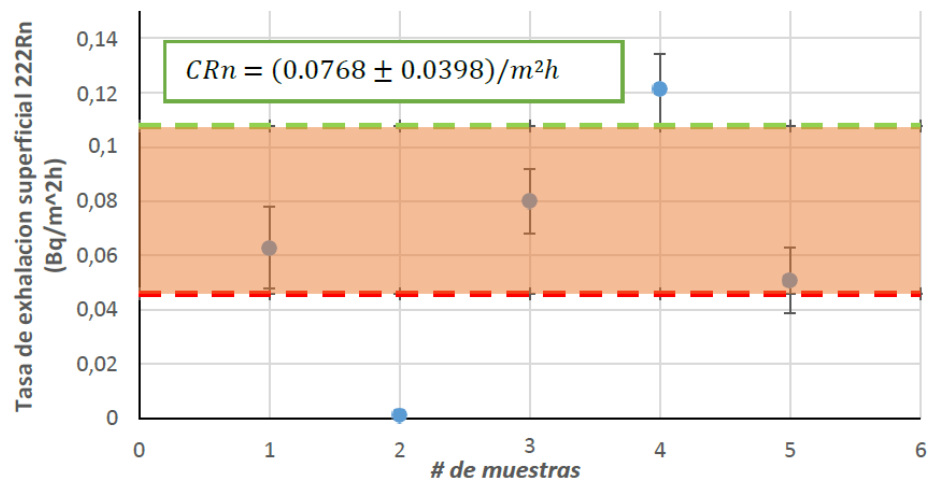



Ilustración 29: Concentración de gas radón ladrillo artesanal fabrica 1 Alpha E

Fuente: Autor

Tabla 26: Resultados tasa de exhalación superficial de las muestras de ladrillo tomadas en la fábrica 2

 <div style="text-align: center;">                     UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO                      FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA                      CARRERA DE INGENIERIA CIVIL                 </div> 						
EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI						
<b>Origen:</b> Fabrica 2			<b>Método:</b> Cámara cerrada			
<b>Ensayado por:</b> LTN /ESPOCH			<b>Fecha:</b> 20 septiembre 2019			
Muestra	Tasa Exhalación superficial	Incertidumbre	Error porcentual	Tasa Exhalación superficial	incertidumbre	Error porcentual
	Bq /m <sup>3</sup> h	Bq /m <sup>3</sup> h	%	Bq /m <sup>2</sup> s	Bq /m <sup>2</sup> s	%
Ladrillo 1	0.187	0.0355	19	0.0519	0.0099	19
Ladrillo 2	0.139	0.0237	17	0.0387	0.0066	17
Ladrillo 3	0.191	0.0401	21	0.0531	0.0111	21
Ladrillo 4	0.076	0.0084	11	0.0212	0.0023	11
Ladrillo 5	0.149	0.0194	13	0.0415	0.0054	13
Media	0.149			Media	0.0071	
D.M	0.046			D.M	0.0035	

Fuente: Autor

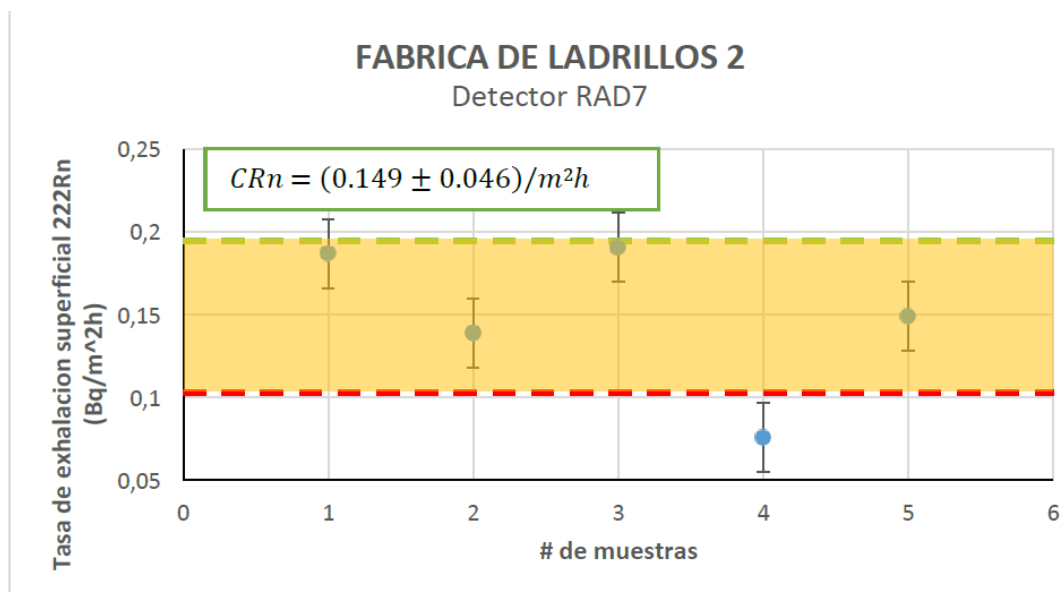


Figura 30: Concentración de gas radón en ladrillo artesanal fabrica 2 RAD7

**Fuente:** Autor

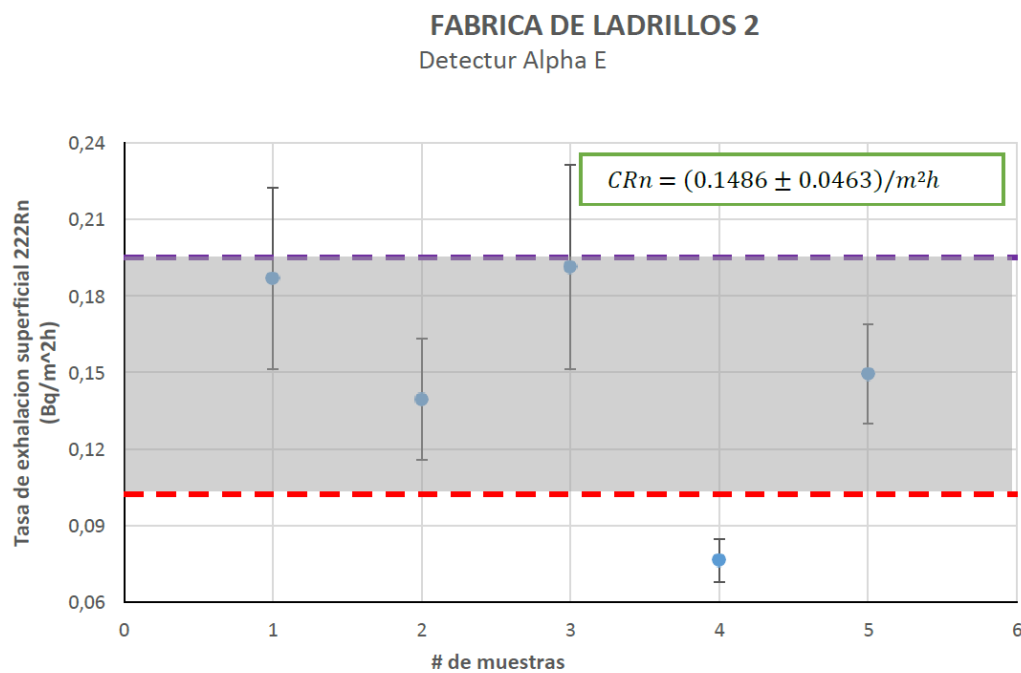


Figura 31: Concentración de gas radón en ladrillo artesanal fabrica 2 Alpha E

**Fuente:** Autor

Tabla 27: Resultados tasa de exhalación superficial de las muestras de ladrillo tomadas en la fábrica 3

 <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y</b>  <b>MECANICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERIA CIVIL</b> </div> 						
EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI						
<b>Origen:</b> Fabrica 3 <b>Ensayado por:</b> LTN /ESPOCH			<b>Método:</b> Cámara cerrada <b>Fecha:</b> 20 septiembre 2019			
Muestra	Tasa Exhalación superficial	Incertidumbre	Error porcentual	Tasa Exhalación superficial	incertidumbre	Error porcentual
	Bq /m <sup>2</sup> h	Bq /m <sup>2</sup> h	%	Bq /m <sup>2</sup> s	Bq /m <sup>2</sup> s	%
Ladrillo 1	0.235	0.0352	15	0.0651	0.0098	15
Ladrillo 2	0.102	0.0092	9	0.0283	0.0025	9
Ladrillo 3	0.012	0.0097	10	0.0276	0.0027	10
Ladrillo 4	0.097	0.0059	11	0.0149	0.0016	11
Ladrillo 5	0.135	0.0216	16	0.0374	0.0034	16
Media	0.124			Media	0.0045	
D.M	0.068			D.M	0.0034	

**Fuente:** Autor



### FABRICA DE LADRILLOS 3

Detector RAD7

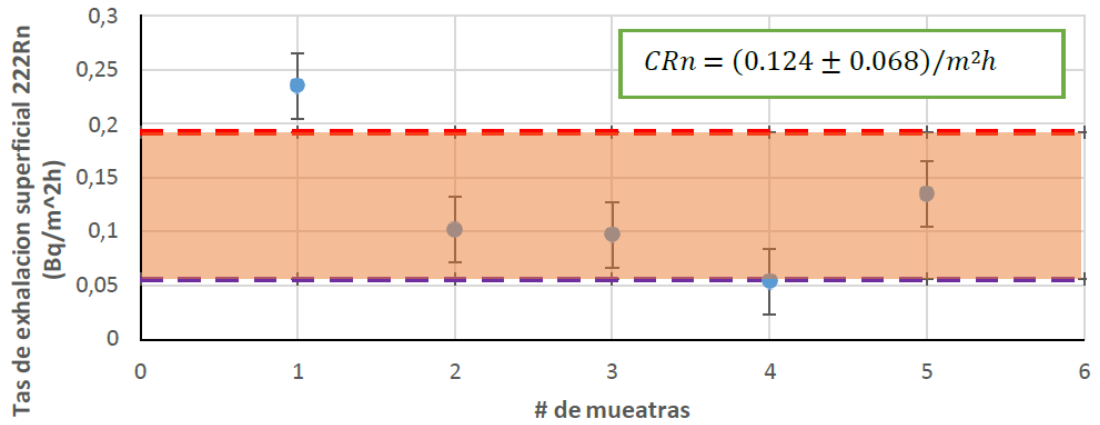


Figura 32: Concentración de gas radón en ladrillo artesanal fabrica 3 RAD7

Fuente: Autor

### FABRICA DE LADRILLOS 3

Detector Alpha E

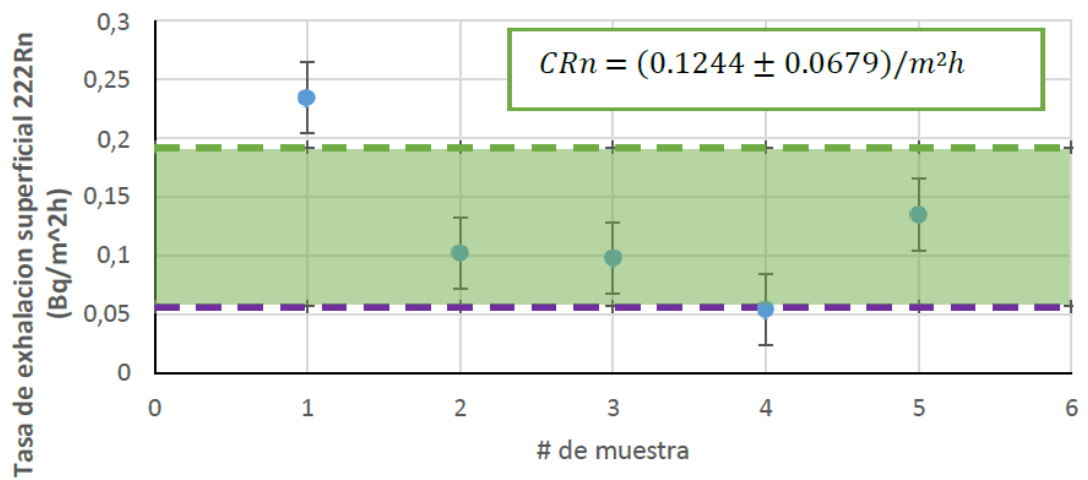


Figura 33: Concentración de gas radón en ladrillo artesanal fabrica 3 Alpha E

Fuente: Autor

En las tablas 25, 26 y 27. Se observa que la concentración del gas radón es similares en las tres fábricas de ladrillos artesanales. Y tienen una concentración de radioactividad sumamente muy pequeña, debido a las propiedades físicas y las condiciones meteorológicas de los materiales con el que fueron construidos.



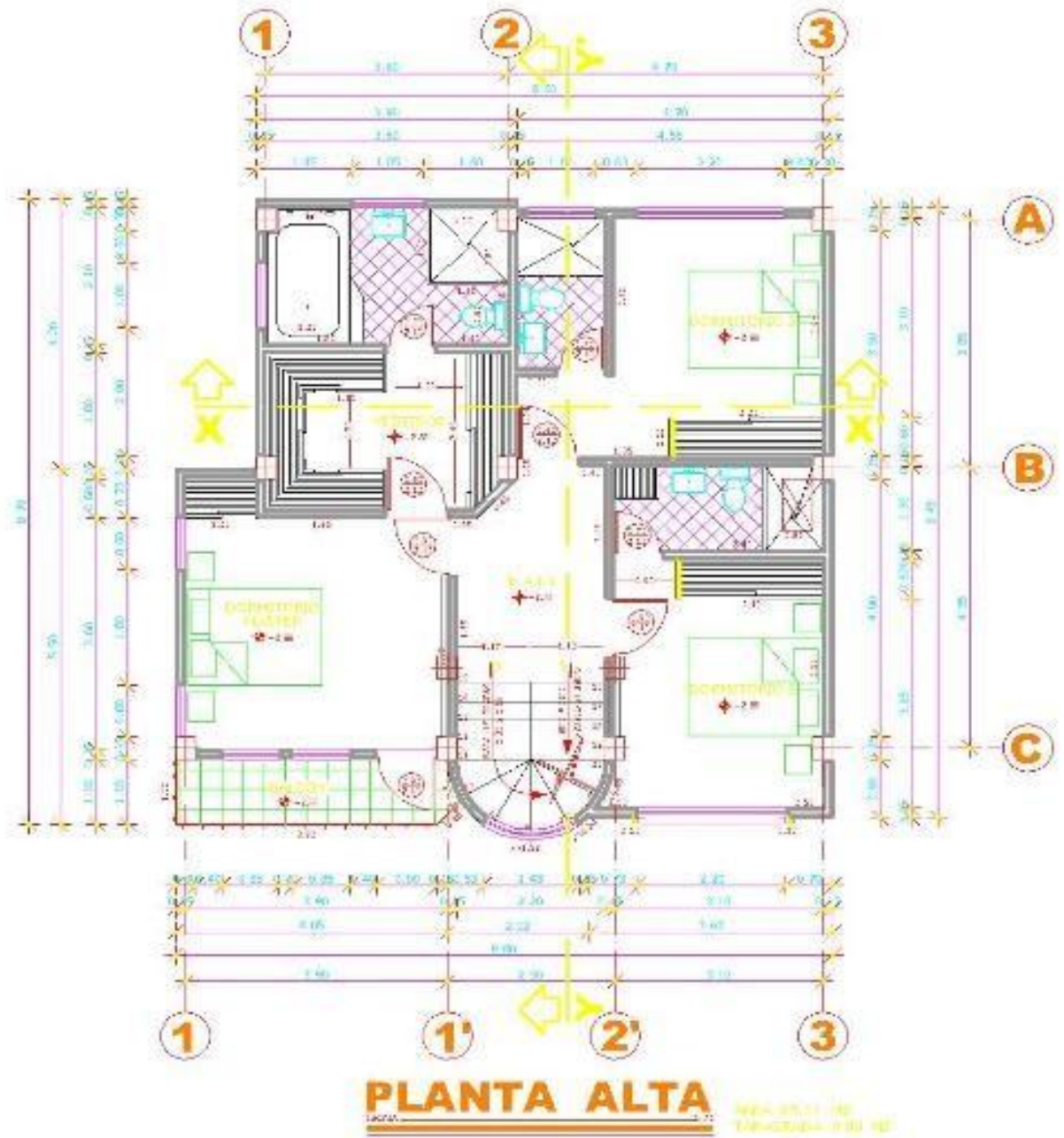


Figura 35: Planta alta del diseño analizado

Fuente: Autor

Tabla 28: Tasa de dosis anual en una casa típica

Dosis efectiva anual por inhalación en planta baja de un edificio tipo en planta baja			
Dato	Designación	Unidad	Valor
A	Área total	m <sup>2</sup>	182.39
H	Altura planta baja	m <sup>2</sup>	2.50
V	Volumen planta baja	m <sup>3</sup>	455.98
A <sub>L</sub>	Área ladrillo	m <sup>2</sup>	223.06
T	Tiempo medio de exposición	h/año	5110
T <sub>F</sub>	Factor de equilibrio		0.4
D <sub>FC</sub>	Parámetro de conversión	Sv*m <sup>3</sup> /Bq*h	9*10 <sup>-9</sup>
λ <sub>v</sub>	Tasa de intercambio de aire	1/h	0.5
Fabrica 1			
E <sub>s</sub>	Tasa de exhalación superficial	Bq/(m <sup>2</sup> *h)	0.079
J <sub>I</sub> =E <sub>s</sub> *A <sub>L</sub>	Tasa de exhalación	Bq/h	17.622
C=J/(λ <sub>v</sub> *V)	Concentración gas radón	Bq/m <sup>3</sup>	0.077
D <sub>E</sub> = D <sub>FC</sub> *C*T <sub>F</sub> *τ	Dosis efectiva anual por inhalación	Sv/año	1.421*10 <sup>-6</sup>
D <sub>E</sub>	Dosis efectiva anual por inhalación	mSv/año	1.421*10 <sup>-3</sup>
D <sub>E</sub>	Dosis anual limite por inhalación UNSCER	mSv/año	1.1
Fabrica 2			
E <sub>s</sub>	Tasa de exhalación superficial	Bq/(m <sup>2</sup> *h)	0.149
J <sub>I</sub> =E <sub>s</sub> *A <sub>L</sub>	Tasa de exhalación	Bq/h	33,236
C=J/(λ <sub>v</sub> *V)	Concentración gas radón	Bq/m <sup>3</sup>	0.146
D <sub>E</sub> = D <sub>FC</sub> *C*T <sub>F</sub> *τ	Dosis efectiva anual por inhalación	Sv/año	2.682*10 <sup>-6</sup>
D <sub>E</sub>	Dosis efectiva anual por inhalación	mSv/año	2.682*10 <sup>-3</sup>
D <sub>E</sub>	Dosis anual limite por inhalación UNSCER	mSv/año	1.1
Fabrica 3			
E <sub>s</sub>	Tasa de exhalación superficial	Bq/(m <sup>2</sup> *h)	0.124
J <sub>I</sub> =E <sub>s</sub> *A <sub>L</sub>	Tasa de exhalación	Bq/h	27,659
C=J/(λ <sub>v</sub> *V)	Concentración gas radón	Bq/m <sup>3</sup>	0.121
D <sub>E</sub> = D <sub>FC</sub> *C*T <sub>F</sub> *τ	Dosis efectiva anual por inhalación	Sv/año	2.232*10 <sup>-6</sup>
D <sub>E</sub>	Dosis efectiva anual por inhalación	mSv/año	2,232*10 <sup>-3</sup>
D <sub>E</sub>	Dosis anual limite por inhalación UNSCER	mSv/año	1.1

**Fuente:** Autor

Aplicando las ecuaciones 3, 4, 5, y 6. Se ha realizado los cálculos de la tasa de dosis anual efectiva por inhalación en una edificación típica del sector en estudio. Observando la tabla 28, podemos decir que la dosis efectiva anual por inhalación en cierta edificación es de (2.232\*10<sup>-3</sup> mSv/año), pudiendo decir que es muy pequeña en comparación que la UNSCER nos proporciona un valor tope de (1.1 mSv/año). Podríamos decir en construcciones hechas sus paredes con este material no presentan ningún peligro.

### 3.1.4.3. Comparación con otros estudios

Tabla 29: Tabla comparativa

Material	País	Tasa de exhalación (Bq.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> )	Tasa de exhalación (Bq.kg <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )
Ladrillos	Italia		0.0276±0.0013
Ladrillos de arcilla	Grecia	0.21±0.18	
Ladrillos	Iraq	2.22±0.26	0.021±0.0022
Ladrillos	Corea del sur		0.0109±0.0023
Ladrillos	Alemania	0.76	
Ladrillos 1	Este trabajo	0.079±0.031	
Ladrillos 2		0.149±0.046	
Ladrillos 3		0.124±0.068	

**Fuente:** Autor

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusión

- Esta investigación ha analizado un nuevo proceso de construcción sustentable orientándose primordialmente a los materiales de construcción del ladrillo artesanal como son: barro (arcilla) y arena obtenidas de la zona minera Palopo, de la ciudad Latacunga y la relación existente de estos materiales con la presencia del gas radón ( $Rn^{222}$ ). Obteniéndose valores emanados y exhalados hacia la superficie: ( $29.7213 \text{ Bq/m}^3$ ) para el barro (arcilla) y ( $0.6769 \text{ Bq/m}^3$ ) para la arena.
- Al efectuar la selección de las muestras respectivas del barro (arcilla) y arena mediante la técnica de zanja abierta, se determinó la existencia del gas radón natural, que depende de los factores ambientales como: estructura geológica del suelo, precipitación y temperatura de la zona de ubicación de la mina.
- Se determinó que las propiedades físicas del barro (arcilla) y arena específicamente: granulometría y contenido de humedad influyen directamente en el proceso de emanación y transporte del gas radón natural hacia la superficie y por supuesto la aparición en elementos no estructurales construidos con estos materiales.
- Se seleccionó las fábricas de ladrillos artesanales más representativos de las parroquias: Juan Montalvo-San Sebastián e Ignacio Flores del catón Latacunga para el análisis del gas radón de acuerdo a variables físicas, ambientales. Para

observar en si cual era la variación del gas radón en dichas fábricas.

- Se determinó los niveles de la concentración de gas radón natural de las fábricas de ladrillos artesanales que son los siguientes:  $(0.079 \pm 0.031)$  Bq/m<sup>2</sup>h fabrica 1,  $(0.149 \pm 0.046)$  Bq/m<sup>2</sup>h fabrica 2 y  $(0.124 \pm 0.68)$  Bq/m<sup>2</sup>h fabrica 3. Valores que se encuentra por debajo de los límites establecidos por diversas organizaciones internacionales como: EPA, OMS y AURATOM.

- La dosis efectiva a la que se encuentran expuestas la población del cantón Latacunga, construidos con estos tipos de ladrillos es  $2.168 \cdot 10^{-3}$  mSv/año, valor que se encuentra, muchísimo por debajo de lo establecido por la UNSCEAR, que fija como, límite para dosis absorbida por inhalación de 1.1 mSv/año.

- Los niveles de concentración del gas radón se mantienen casi constante entre las diferentes fábricas de ladrillos entonces las construcciones que se hagan con este material son confiables debido a que sus dosis se encuentran bajo los límites establecidos por las diversas organizaciones como: EPA, OMS y EURATOM, de gas radón en interiores.

- Como se puede observar, los resultados son compatibles con los datos reportados a nivel mundial sobre bloques de arcilla (ladrillos), y no representa un riesgo desde el punto de vista radiológico (exhalación Rn<sup>222</sup>).

#### **4.2 Recomendaciones.**

- Se recomienda usar el método de cámara cerrada para el análisis de concentración de radioactividad de gas radón en los diferentes materiales de construcción, ya que se considera en la actualidad el más apropiado. Debido a que es accesible y preciso.

- Realizar estudios minuciosos, de la concentración de radioactividad en los materiales de construcción en los distintos sitios, debido que la concentración de radioactividad varia de un lugar a otro, de una habitación a la otra.
  
- Efectuar un estudio minucioso de la variación del gas radón en suelos con la profundidad.
  - Hacer un estudio completo del gas radón indoor en la ciudad Latacunga. Elaborar el mapa de riesgo de gas radón indoor para la ciudad Latacunga.
  
  - Medir de forma detallada la concentración del gas radón en viviendas y puesto de trabajo en la ciudad Latacunga.
  
  - Debido a que la concentración del gas radón en construcciones están sujetas a diversos factores como: Ubicación geográfica, geología sobre la cual se encuentra la construcción, aspectos de la construcción como: materiales de construcción, tipo de edificación. Se recomienda el realizar mediciones continuas a lo largo de todo el año con el fin de tener una mayor seguridad en los resultados.



## CAPITULO V PATOLOGÍA

### 5.1. Justificación

El gas radón es un agente patológico para los usuarios de las construcciones en donde se manifiesta su presencia.

Como tenemos entendido las construcciones antiguas solo estaban hechas de muros de piedra, ladrillo, adobe y tapial. La mano de obra en la construcción, se formaban por personas que venían del campo a la ciudad. Empezando a trabajar en oficios que hasta el momento desconocían como fue la construcción. El trabajador no tenía formación peor conocimiento, dando lugar a muchos errores en la ejecución. Las mismas que dieron lugar a manifestaciones patológicas graves.

España data a partir de 1903. La primera normativa sobre este estudio, es la “Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón” en 1939. Es a partir de este momento, cuando se empieza a generalizar la construcción de hormigón. Lo mismo sucedió la falta de personal calificado para la ejecución de los mismos.

Inconvenientes que van apareciendo en las construcciones a través de los tiempos tales como fallas, lesiones a causas diversas pueden darse colectivamente o separarlas.

La ciencia que estudia el conjunto de enfermedades, fallas, defectos y soluciones de las construcciones se denomina “Patología de la construcción”. Es decir, si uno se estudia las causas de las fallas y las soluciones posibles es “Patología”.

La cultura de la patología nace a la par de las prácticas constructivas, debido al diagnóstico y la reparación de las edificaciones no es algo nuevo, ya que remonta a tiempo lejano.

Ya en la antigua Babilonia. En el año de 1700 a.c. el Rey Hammurabi creo el primer reglamento de la edificación, donde es uno de “su artículo” se especifican si por causas atribuibles al constructor, fallecía el propietario de una vivienda, se debía dar muerte al constructor.

Esto nos demuestra que en aquella época también existían casos de mala praxis.

## 5.2. Manifestaciones patológicas observadas

Falta de control de calidad y la velocidad de su realización acompañada del desconocimiento del personal, dan lugar a errores constructivos injustificables.

Se muestran a continuación posibles manifestaciones patológicas de viviendas.

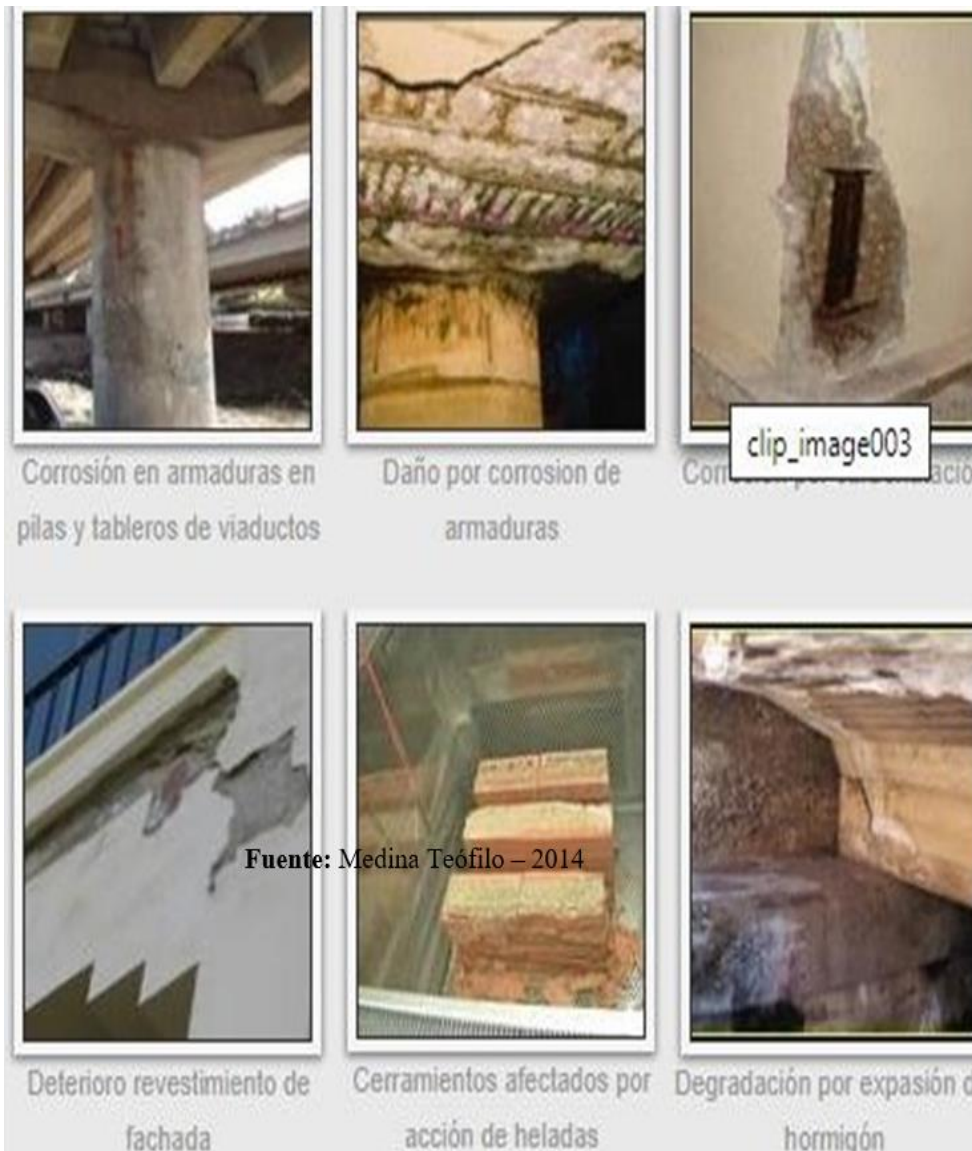


Ilustración 36 Manifestaciones patológicas

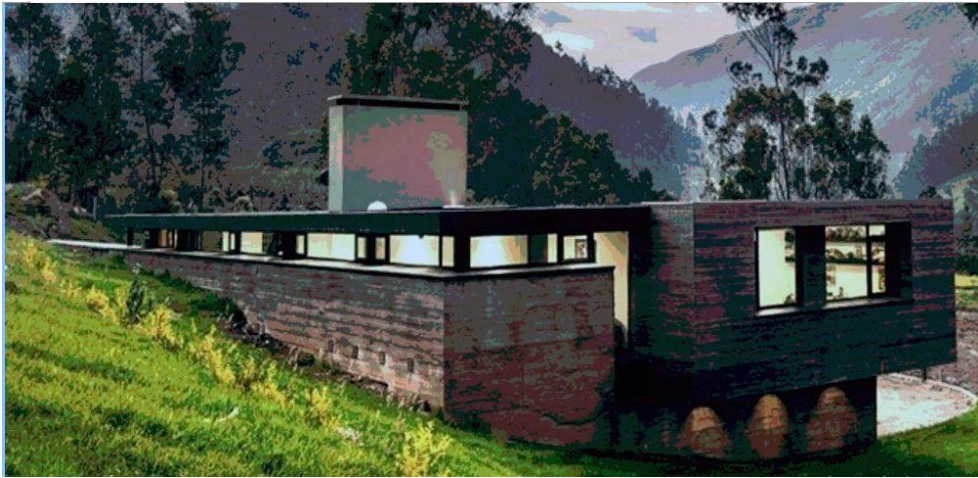
**Fuente:** Calvo García 2017



*Ilustración 37 Figuras patológicas*

**Fuente:** Calvo García – 12 de Julio

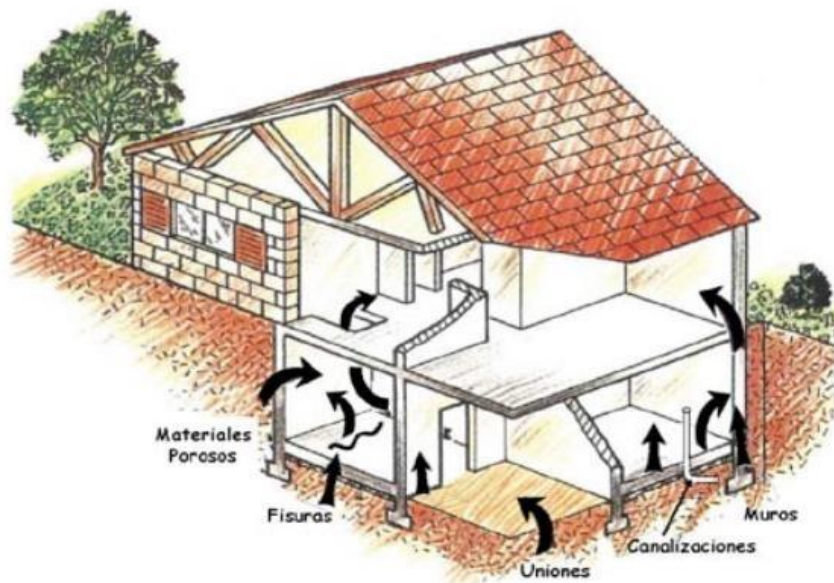




*Ilustración 38 Figuras patológicas*

**Fuente:** Tobajas Belvis - 2017

### VÍAS DE ENTRADA



*Ilustración 39 Vías de entrada*

**Fuente:** FICEM-2016

### **5.3. Estudio y Causas de las manifestaciones**

Los profesionales dedicados a la construcción de viviendas o edificios de distinta índole deben preocuparse de cómo crear un habitante u hogar saludable o biohabitante, de tener una correcta calidad de aire en el interior de las mismas cumpliendo estrictamente ciertas normas (lamentablemente en nuestro país no las hay).

Entre varios contaminantes existentes en el interior de viviendas hemos elegido el gas radón. En España desde febrero del 2018 es obligatorio la aplicación de la normativa europea 2013/59/EURATOM, en la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. Lamentablemente en nuestro país todavía no se han establecido normas para minimizar el impacto de salud a este gas.

### **5.4. Factores y Fuentes que favorecen la concentración del gas radón**

Gas radón en interiores de viviendas:

Factores de origen natural: atmosféricos, geológicos, etc.

Factores de origen artificial: ventilación, defectos constructivos, materiales de construcción, etc.

#### **5.4.1. Factores naturales del gas radón que más influyen en el interior de las viviendas**

**a) Naturaleza geológica del terreno.** – Sobre el cual se cimienta el edificio. Si este está situado en suelos que contiene uranio, es probable que contenga más emanación del gas radón.

**b) Fracturación y la permeabilidad del terreno.** - Terrenos muy fracturados o secos tienen más niveles de emisión que los terrenos compactados y saturados.

**c) Situación de la vivienda sobre el terreno.** – En las laderas de las montañas suelen encontrarse concentraciones más elevadas del gas radón que en los valles.

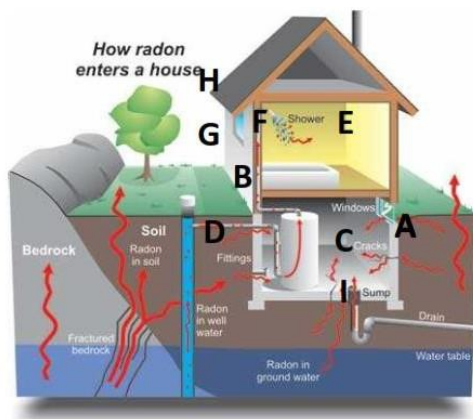
**d) Condiciones meteorológicas.** – Al llover, el suelo se satura y el gas radón se ve obligado a salir por las grietas y espacios donde el suelo está seco liberándose al espacio interior. En épocas de calor se emite más radón desde el suelo. En tiempos de vientos, hace que haya menor concentración del gas radón en el interior debido a la ventilación.

#### **5.4.2. Factores artificiales del gas radón que más influyen en el interior de las viviendas**

**a) Materiales empleados en la construcción.** - Estos materiales se aprecian que son responsables de un 20-30% del gas radón que puede encontrarse en el interior de una vivienda. Entre estos elementos tenemos: ladrillos, bloques, morteros, hormigones, cerámicas, yesos, granitos, etc.

**b) Grado de ventilación de la vivienda.** En verano cuando menos concentración se detecta, al estar las ventanas más abiertas.

### c) Vías de entrada del gas radón



- A: Grietas en paredes y muros bajo el nivel del suelo
- B: Espacios alrededor de canalizaciones
- C: Fisuras en la placa. Porosidad de materiales
- D: Juntas de construcción
- E: Materiales de construcción
- F: Agua corriente
- G: Gas
- H: Aportaciones del exterior
- I: Desagües

**Fuente:** Fucklow, 2016

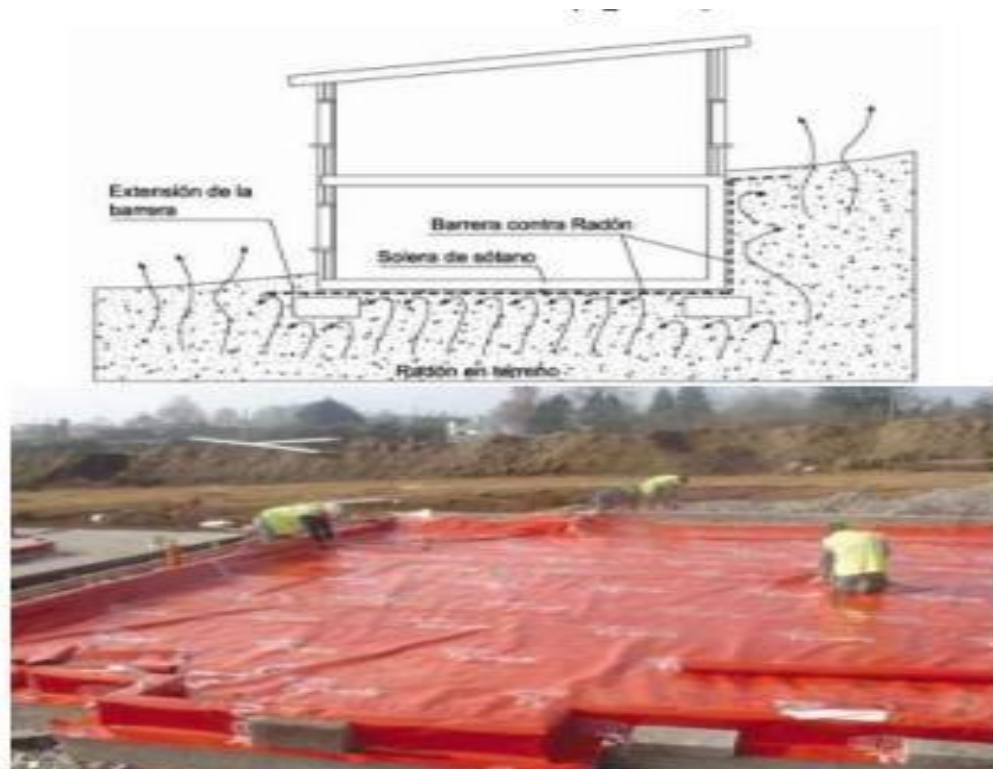
*Ilustración 40 Puntos de entrada del gas Radón a un edificio*

### 5.5. Posibles Soluciones Adoptables

Los antiguos romanos, conocedores de la naturaleza perjudicial de este gas, para encontrar el buen lugar y evitar la entrada de este gas en el interior dejaban de pasear un rebaño de ovejas durante un año y observaban el estado de salud de los animales transcurrido ese tiempo. También colocaban un encachado de piedra caliza de cal sellando poros a modo de barrera contra el gas radón. Hoy en día existen muchas técnicas de prevenir y saneamiento. Entre las cuales mencionamos algunas de ella:

#### a) Barreras para atenuar el paso del gas radón

Radica en interponer una membrana de material impermeable frente al paso del gas radón entre el terreno y los elementos constructivos que están en contacto con el edificio (soleras, muros de sótanos, forjados sanitarios, etc.). El objetivo es de dotar mayor estanquidad a la vivienda para atenuar el flujo de gas radón hacia su interior desde el terreno. [34]



*Ilustración 41 : Barrera para atenuar el paso de radón*

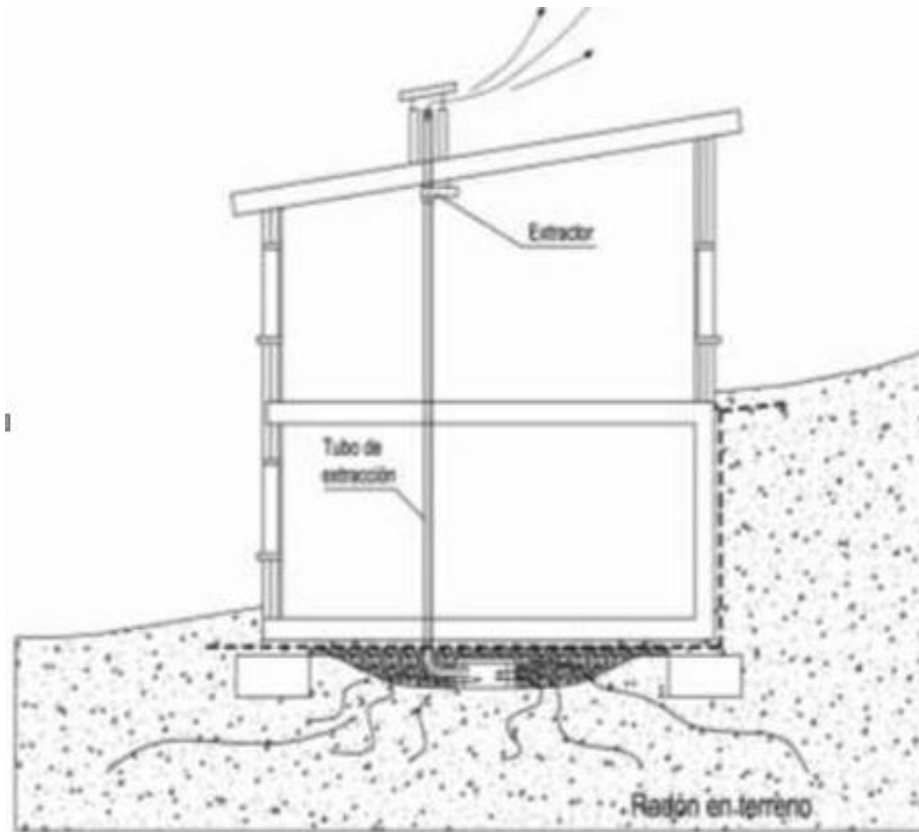
**Fuente:** Esquema de barrera y ejemplo de aplicación (DUPON RADON PLUS GAS BARRIER)

#### **b) Sistemas de extracción del radón desde el suelo**

Se trata de despresurizar el terreno extrayendo aire desde el área de asiento del edificio.

Su función es forzar una vía de escape del gas radón del terreno reduciendo el flujo que se puede producir hacia el interior del edificio





*Ilustración 42 Sistema de extracción desde el suelo*

**Fuente:** REVISTA informes de la construcción 2011)

Para la extracción es necesario un punto o zona de captación en el terreno, un conducto de evacuación hacia el exterior y un extractor mecánico en el caso de que las concentraciones sean excesivas y no sean suficiente en el tiro natural. [35]

### **c) Ventilación interior en los edificios**

La ventilación es una técnica habitual en casos de baja concentración. Sin embargo, su aplicación no está dando resultados aceptables, en parte, por su mala comprensión del problema. En nuestro país es habitual abrir las ventanas para ventilar en un periodo corto del día. [36]

#### d) Aplicación de técnicas efectivas

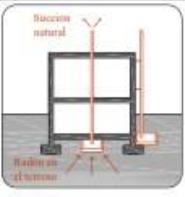
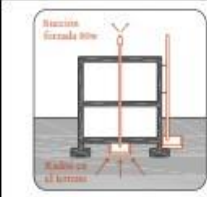
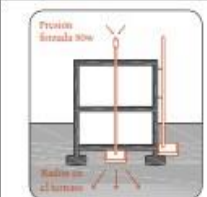

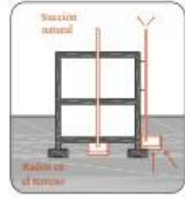
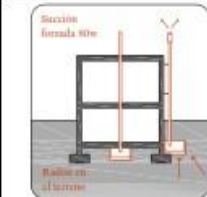
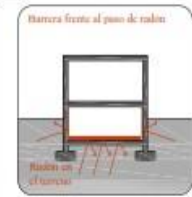
 <p>Diagrama que muestra un sistema de extracción natural en un punto central y exterior. Se indica 'Succión natural' y 'Radón en el terreno'.</p>	 <p>Diagrama que muestra un sistema de extracción mecánica en un punto central y exterior. Se indica 'Succión forzada 90°' y 'Radón en el terreno'.</p>	 <p>Diagrama que muestra un sistema de presurización de terreno en un punto central. Se indica 'Presión forzada 90°' y 'Radón en el terreno'.</p>	 <p>Diagrama que muestra un sistema de ventilación forjada en un sótano. Se indica 'Ventilación forjada en sótano de 90°' y 'Radón en el terreno'.</p>
 <p>Diagrama que muestra un sistema de extracción natural en un punto central y exterior. Se indica 'Succión natural' y 'Radón en el terreno'.</p>	 <p>Diagrama que muestra un sistema de extracción mecánica en un punto central y exterior. Se indica 'Succión forzada 90°' y 'Radón en el terreno'.</p>		 <p>Diagrama que muestra una barrera anti radón. Se indica 'Barrera frente al paso de radón' y 'Radón en el terreno'.</p>
- Extracciones en terreno (Natural). En punto central y exterior	- Extracciones en terreno (Mecánica). En punto central y exterior	- Presurización de terreno en punto central	- Ventilación forjada sanitario (en este caso, sótano) - Barrera anti radón

Ilustración 43 Esquema de soluciones de protección privadas

**Fuente:** CSCAE 23/10/2016

Edificios en fase de diseños. La incorporación de algunas de las técnicas puede ser sencilla en la fase de diseño del edificio y no serlo si este ya está construido. En función de la tipología y geometría del edificio. Las medidas deben particulares para cada caso concreto con el fin de obtener la máxima efectividad. Son relevantes los tamaños de planta, el volumen que encierra, la situación de cimentación, la de la red de saneamiento, la existencia de o no forjados sanitarios, las posibilidades de salidas de tubos de extracción, etc.

En función del tipo de terreno. Factores como la permeabilidad, la compacidad, el grado de humedad o el nivel freático, pueden ser determinantes para la elección entre medidas de extracción en el terreno y sus variantes.

La presión de trabajo con medidas activas o pasivas, influirán en el uso, o no, de extractores mecánicos, laminas, mecanismos de extracción natural, mantenimiento, gasto energético asociado.

Y por último la efectividad requerida. En función de la concentración detectada, o Previsible.[36]

## **Bibliografía**

[1] T. Tene, "Environmental Radon Measurements using a closed chamber for building materials and water and a feasible program for Ecuador," Tesis Doctoral, Università Deglistudi Della Calabria, pp. 3-4, 2017.

[2] Héctor Eulogio Alonso Hernández, El radón en suelos, rocas, materiales de construcción y aguas subterráneas de las Islas Canarias Orientales. Las Palmas de Gran Canaria.

[3] Carlos Gonzales Neila – Radio Actividad Natural en Materiales de Construcción Universidad de Salamanca – 2008

[4] **CSN.** www.csn.es. [En línea] 2017. <https://www.csn.es/radiacion-natural-y-artificial2>.

[5] **ROBINSON, ALLEN LATHAM.,** *Radon Entry into Buildings : Effects of Atmospheric Pressure Fluctuations and Building Structural Factors* (tesis). (Magister) University of California at Berkeley, Berkeley. 1996. pp. 1-259.

[6] **BROGIOLI, D. et al.,** "Diffusive mass transfer by nonequilibrium fluctuations: Fick's law revisited". *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, vol. 63, no 1 I, (2001), (Italia), pp. 0121051-0121054.

[7] NTP 533: El radón y sus efectos sobre la salud, INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 1999.

[8] Alicia Ayala Estrada, Medición de Radón-222 en Ambientes Geohidrológicos en la Fracción Central de México, Facultad de Ciencias, 2009

[9] Marco Antonio Reyna Carranza, Gustavo López Badilla Estudio del efecto del radón en los casos de muerte por cáncer pulmonar en la población de Mexicali, Baja California, México, Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, 2002.

[10] Óscar Ferrari Gutiérrez – Mundo medico 26 Junio 2017

[11] Organización, o. (2015). MANUAL DE LA OMS SOBRE RADON EN INTERIORES. Obtenido de [http://www.usc.es/radongal/wp-content/uploads/2017/01/oms\\_radon.Pdf](http://www.usc.es/radongal/wp-content/uploads/2017/01/oms_radon.Pdf)

[12] ICRP,1. (2007). Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Comisión Internacional Radiológica. Madrid

[13] Strong Levins, 1982

[14] Paredes et al,1987

[15] Ingersoll, 1983

[16] Norawska y Phillips, 1991

[17] OMS. who.int. [En línea] Junio de 2016.  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/es/>.

[18] Hidrovo Damaris, " Determinación del coeficiente de exhalación másica de los materiales de construcción más usados en el cantón Riobamba," *Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 2018.

[19] Nazaro, William W. *Radon transport for soil to air*. 1992, *Reviews of Geophysics*, págs. 137-160.

[20] Miguel Balcázar([mbg@nuclear.inin.mx](mailto:mbg@nuclear.inin.mx)), Pablo Peña García([ppg@nuclear.inin.mx](mailto:ppg@nuclear.inin.mx)), Arturo López Martínez([alm@nuclear.inin.mx](mailto:alm@nuclear.inin.mx)), Jesús Hernán Flores Ruiz([jhfr@nuclear.inin.mx](mailto:jhfr@nuclear.inin.mx))

[21] <http://www.mclaughlincentre.ca/welcome/index.shtml>

[22] Jan M. Zielinski, *Mapping of residencial Radon in the World*, 2014.

[23] Borja Frutos Vázquez; Manuel Olaya Adán; Sonia García Ortega; Pilar Linares

Alemparte Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC)  
CSCAES anexo n. 23|10. 2016.

[24] A. Canoba, F. O. López, M. I. Arnaud, A. A. Oliveira, R. S. Neman, J. C. Hadler, P. J. Iunes, S. R. Paulo, A. M. Osorio, R. Aparecido, C. Rodríguez, V. Moreno, R. Vasquez, G. Espinosa, J. I. Golzarri, T. Martínez, M. Navarrete, I. Cabrera, N. Segovia, P. Peña, E. Taméz, P. Pereyra, M. E. López-Herrera and L. Sajo-Bohus, *Indoor radon measurements in six Latin American countries*, *Geofísica Internacional*, 2002.

[25] [http://www.mclaughlincentre.ca/research/map\\_radon/Ecuador.htm](http://www.mclaughlincentre.ca/research/map_radon/Ecuador.htm)

[26] María José Berenguer Subis, *NTP 440: Radón en ambientes interiores*, INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 1990.

[27] *MANUAL DE LA OMS SOBRE EL RADÓN EN INTERIORES*

[28] American Society for Testing and Materials, Standard Specification for sand” ASTM-D 2487

[29] NTE-INEN-293. (1978). *Ladrillo cerámicos definiciones, clasificación y condiciones generales*. Quito.

[30] M. Cachago, C. Caguano “UTILIZACIÓN DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA FRANZ VIEGENER F.V.-ÁREA ANDINA S.A. PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES”.,

Tesis de grado, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2016

[31] K. Terzagui y P. Ralph, “Mecánica de Suelos en la Ingeniería Practica,” Universidad de Harvard. El Ateno, 1973

[32] S. Medina “Hormigón” Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016

[33] Control Minero “Agencia de Regulación y Control Minero” Gobierno de la República del Ecuador [En línea] available

<http://www.controlminero.gob.ec/>[Ultimo acceso:2019 Junio 22]

[34] Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Latacunga,” Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Latacunga”,20

[35] <https://www.researchgate.net/publication/312597162> Estrategias y criterios de actuación para evitar la presencia de radon en edificios

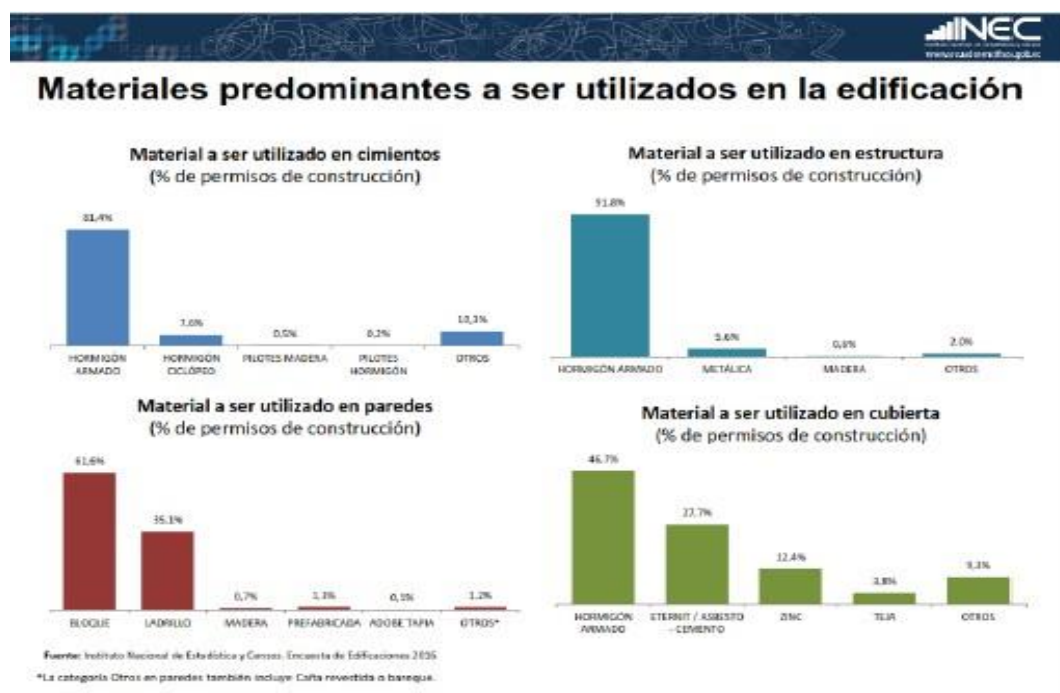
[36] Proyecto Ref. BIA2004-01460; Instituto Eduardo Torroja IETcc-CSIC

[37] B Frutos. Radon concentration control by ventilation and energy efficiency improvement. AIVC conference 2015

[38] Diagnostico del plan de desarrollo del cantón Latacunga 2016- 2019 GADL

## ANEXO 1

Informe del 2017 del INEC acerca de materiales de construcción predominantes de la edificación



2016



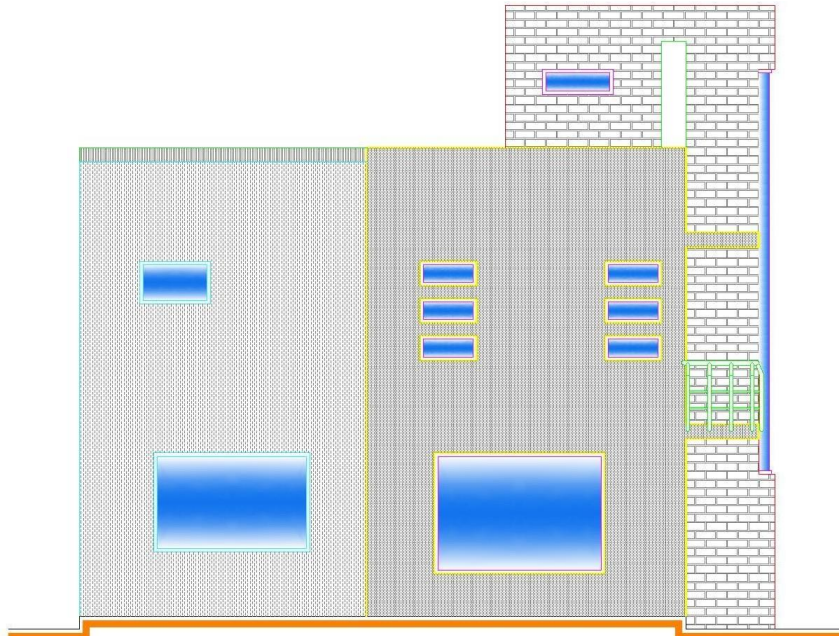
2017



# ANEXO 2



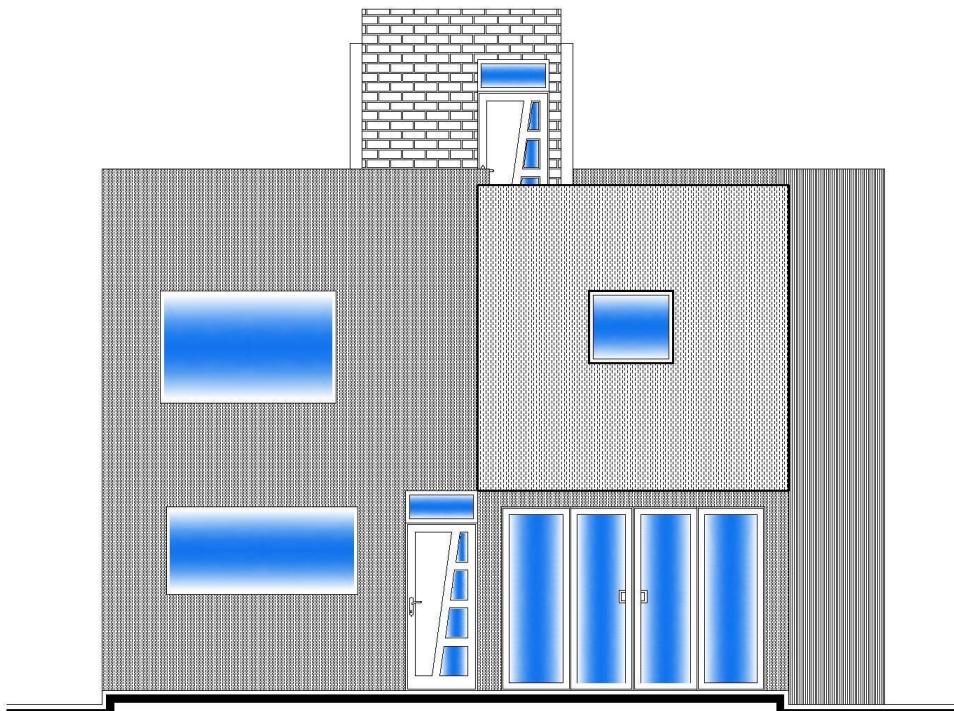




## FACHADA LATERAL IZQUIERDA

ESCALA

1:75



## FACHADA POSTERIOR

ESCALA

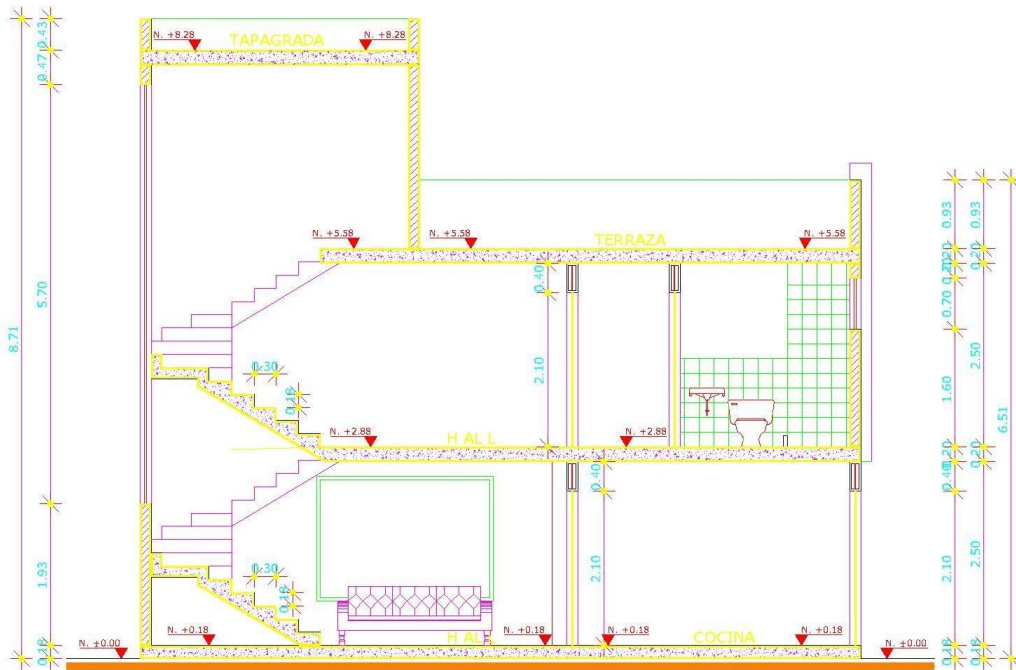
1:75





## CORTE A - A'

ESCALA 1:75



## CORTE B - B'

ESCALA 1:75