



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

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

**TEMA:**

---

---

**ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE GAS RADIATIVO RADÓN EN  
AGREGADOS PÉTREOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU  
INCIDENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN.**

---

---

**AUTOR:**

**NÉSTOR FABRICIO CHICAIZA GÓMEZ**

**TUTOR:**

**ING. M. Sc. BETZABETH SUQUILLO**

**Ambato – Ecuador**

**2020**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Betzabeth Suquillo, certifico que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: “ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE GAS RADIATIVO RADÓN EN AGREGADOS PÉTREOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU INCIDENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN”, es de autoría del Sr. Néstor Fabricio Chicaiza Gómez, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

En todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Diciembre de 2019



Ing. M. Sc. Betzabeth Suquillo

## AUTORÍA

Yo, Néstor Fabricio Chicaiza Gómez con CI: 100367106-0, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: “ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE GAS RADIATIVO RADÓN EN AGREGADOS PÉTREOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU INCIDENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN”, es de mi completa autoría.

Ambato, Enero de 2020



Néstor Fabricio Chicaiza Gómez

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de 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 ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Enero de 2020



Néstor Fabricio Chicaiza Gómez

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE GAS RADIATIVO RADÓN EN AGREGADOS PÉTREOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU INCIDENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN”, del egresado Néstor Fabricio Chicaiza Gómez, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Ambato, Enero de 2020

Para constancia firman.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a horizontal line, positioned above a dashed horizontal line.

Ing. Mg. Christian Medina

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, stylized initial 'D' followed by several loops, positioned above a dashed horizontal line.

PhD. Diana Coello Fiallos

## DEDICATORIA

*A mis padres, Juan Carlos y Rosita por su amor incondicional e incansable,  
pilares y cimientos de mi vida y de todos mis objetivos alcanzados.*

*Por dedicarme su tiempo, su paciencia, su esperanza.*

*Por enseñarme que el hombre que tiene fe  
en sí mismo no necesita que  
los demás crean en él.*

*A mis hermanos Juan, Danilo y María José por la confianza,  
fe y ser ejemplo de luchadores únicos e invencibles  
demostrando ser los mejores en todo.*

*A todos los integrantes de mi familia por su apoyo,  
confianza y motivación de continuar  
luchando por mis sueños.*

*Fabricio Chicaiza*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por la vida, la bendición de despertar cada día,  
la esperanza, la fe y las oportunidades para  
seguir aprendiendo y mejorando.*

*A mi querida y estimada Ing. Betzabeth Suquillo,  
por su paciencia, ánimos y conocimientos  
brindados para la culminación de  
esta investigación.*

*A Julieth, Dani y Pame por su majestuoso e inmenso  
cariño y amor brindado, su osadía, fortaleza,  
y unión junto a su familia López.*

*A Ronald y Esteban por su gran amistad, compañerismo  
y determinación inigualable*

*A Víctor Pico y Paulina Altamirano por su  
gran vigor, empuje y sinceridad  
que hicieron un ambiente  
familiar en mi vida.*

*A todas mis amistades y docentes, que estuvieron presentes  
a la distancia o cercanía, por los gratos momentos  
de estudio, deporte y diversión.*

*Fabricio Chicaiza*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
RESUMEN EJECUTIVO .....	XIX
ABSTRACT.....	XX
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1 Antecedentes .....	1
1.1.2 Justificación.....	4
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	5
1.1.3.1 Agregados Pétreos.....	5
1.1.3.2 Dosificación de hormigón método de la densidad óptima.....	16
1.1.3.3 Radiaciones Ionizantes.....	19
1.1.3.4 Radón .....	21
1.1.3.5 Límites y niveles de exposición de radón .....	29
1.1.3.6 Provincia de Tungurahua .....	30
1.1.3.7 Agencia de regulación y control minero ARCOM .....	31
1.1.4 Hipótesis.....	32
1.2    Objetivos .....	33
1.2.1    Objetivo General .....	33
1.2.2    Objetivos Específicos.....	33



CAPÍTULO II .....	34
2.1 Nivel o Tipo de Investigación .....	34
2.1.1 Investigación exploratoria .....	34
2.1.2 Investigación descriptiva .....	34
2.1.3 Investigación correccional .....	35
2.2 Población y Muestra.....	35
2.2.1 Población.....	35
2.2.1.1 Características físicas de cantones de la provincia de Tungurahua ...	35
2.2.1.2 Minas y Canteras de la provincia de Tungurahua .....	37
2.2.1.3 Factores físicos que favorecen la concentración de radón .....	37
2.2.2 Muestra.....	40
2.3 Materiales y Equipos.....	41
2.3.1 Materiales .....	41
2.3.2 Equipos.....	41
2.3.2.1 Granulometría de Agregado Fino y Grueso .....	41
2.3.2.2 Densidad de los Agregados .....	42
2.3.2.3 Contenido de Humedad.....	43
2.3.2.4 Permeabilidad.....	43
2.3.2.6 Medición de radón.....	44
2.3.2.7 Software SIG .....	46
2.4 Métodos.....	47
2.4.1 Plan de recolección de datos .....	47
2.4.1.1 Selección de lugares de extracción .....	47
2.4.1.2 Extracción de agregados pétreos .....	47
2.4.1.3 Pozos a Cielo Abierto.....	48
2.4.1.4 Zanjas abiertas o cortes .....	48
2.4.1.5 Muestras alteradas de agregados .....	49
2.4.1.6 Muestras inalteradas de agregados .....	50
2.4.1.7 Ensayos de propiedades físicas y mecánicas de los agregados.....	50
2.4.2 Plan de procesamiento y análisis de información .....	50

CAPÍTULO III.....	52
3.1 Análisis y discusión de los resultados.....	52
3.1.1 Condiciones físicas y meteorológicas de canteras de la provincia de Tungurahua .....	52
3.1.1.1 Estructura geológica de canteras.....	52
3.1.1.2 Población, Temperatura y Precipitación de canteras .....	55
3.1.1.3 Representación gráfica de condiciones físicas y meteorológicas de canteras.....	57
3.1.2 Canteras significativas de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua .....	78
3.1.3 Concesión minera de estudio .....	82
3.1.3.1 Factores de concesión minera de estudio.....	82
3.1.3.2 Propiedades físicas de los agregados pétreos y su influencia en la concentración de radón .....	84
3.1.3.3 Propiedades mecánicas de los agregados pétreos para dosificación de hormigones.....	111
3.1.3.4 Dosificación de hormigones.....	126
3.1.3.5 Concentración de radón .....	131
3.1.3.6 Tasa de exhalación superficial de radón .....	149
3.1.3.7 Concentración de radón en una edificación por agregados pétreos .	153
3.1.3.8 Concentración de radón en una edificación por probetas de hormigón .....	158
3.1.3.9. Dosis efectiva debida a la inhalación de radón.....	159
3.1.3.10 Concentración de gas radón en concesiones mineras .....	161
3.2 Verificación de hipótesis.....	163
CAPÍTULO IV.....	164
4.1 Conclusiones .....	164
4.2 Recomendaciones.....	168
MATERIALES DE REFERENCIA .....	169
Referencias Bibliográficas .....	169
Anexos .....	175

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Masa mínima de la muestra de ensayo de agregado grueso.....	8
<b>Tabla 2.</b> Capacidad de moldes para determinación de densidad aparente de los agregados.....	8
<b>Tabla 3.</b> Tamaño de tamices para agregado fino.....	9
<b>Tabla 4.</b> Tamaño de tamices para agregado grueso .....	10
<b>Tabla 5.</b> Rango de la permeabilidad y drenaje de los suelos.....	13
<b>Tabla 6.</b> Granulometría de muestras de prueba para resistencia a la abrasión.....	14
<b>Tabla 7.</b> Resistencia a la compresión del hormigón método de la UCE.....	17
<b>Tabla 8.</b> Asentamiento del hormigón método de la UCE .....	17
<b>Tabla 9.</b> Concentración aproximada de $^{238}\text{U}$ en varios tipos de suelos.....	23
<b>Tabla 10.</b> Principales propiedades físicas y químicas del gas radón.....	24
<b>Tabla 11.</b> Características del equipo de medición de radón.....	27
<b>Tabla 12.</b> Concentración de radón en el aire interior de edificaciones en países sudamericanos .....	29
<b>Tabla 13.</b> Características de cantones de provincia de Tungurahua .....	35
<b>Tabla 14.</b> Métodos para obtención de agregados .....	41
<b>Tabla 15.</b> Extracción de muestras de agregados pétreos.....	47
<b>Tabla 16.</b> Ensayos de propiedades físicas y mecánicas de agregados .....	50
<b>Tabla 17.</b> Estructura geológica de áreas mineras de la provincia de Tungurahua ....	53
<b>Tabla 18.</b> Condiciones meteorológicas de áreas mineras del cantón Pelileo .....	55
<b>Tabla 19.</b> Condiciones meteorológicas de áreas mineras del cantón Baños .....	55
<b>Tabla 20.</b> Condiciones meteorológicas de áreas mineras del cantón Ambato .....	56
<b>Tabla 21.</b> Condiciones meteorológicas de áreas mineras del cantón Píllaro .....	57
<b>Tabla 22.</b> Zonas mineras de estudio de agregados de la provincia de Tungurahua ..	78
<b>Tabla 23.</b> Contenido de humedad de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 1 ..	84
<b>Tabla 24.</b> Contenido de humedad de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 2 ..	85
<b>Tabla 25.</b> Contenido de humedad de agregado fino de zanja abierta nro. 1 .....	85
<b>Tabla 26.</b> Contenido de humedad de agregado fino de zanja abierta nro. 2 .....	86
<b>Tabla 27.</b> Contenido de humedad de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 1 .....	86

<b>Tabla 28.</b> Contenido de humedad de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 2 .....	87
<b>Tabla 29.</b> Contenido de humedad de agregado grueso de zanja abierta nro. 1 .....	87
<b>Tabla 30.</b> Contenido de humedad de agregado grueso de zanja abierta nro. 2 .....	88
<b>Tabla 31.</b> Capacidad de Absorción de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 1	90
<b>Tabla 32.</b> Capacidad de Absorción de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 2	90
<b>Tabla 33.</b> Capacidad de Absorción de agregado fino de zanja abierta nro. 1 .....	91
<b>Tabla 34.</b> Capacidad de Absorción de agregado fino de zanja abierta nro. 2 .....	91
<b>Tabla 35.</b> Capacidad de Absorción de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 1 .....	92
<b>Tabla 36.</b> Capacidad de Absorción de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 2 .....	92
<b>Tabla 37.</b> Capacidad de Absorción de agregado grueso de zanja abierta nro. 1 .....	93
<b>Tabla 38.</b> Capacidad de Absorción de agregado grueso de zanja abierta nro. 2 .....	93
<b>Tabla 39.</b> Granulometría de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 1 .....	95
<b>Tabla 40.</b> Granulometría de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 2 .....	96
<b>Tabla 41.</b> Granulometría de agregado grueso de zanja abierta nro. 1 .....	97
<b>Tabla 42.</b> Granulometría de agregado grueso de zanja abierta nro. 2 .....	98
<b>Tabla 43.</b> Granulometría de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 1 .....	100
<b>Tabla 44.</b> Granulometría de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 2 .....	101
<b>Tabla 45.</b> Granulometría de agregado fino de zanja abierta nro. 1 .....	102
<b>Tabla 46.</b> Granulometría de agregado fino de zanja abierta nro. 2 .....	103
<b>Tabla 47.</b> Permeabilidad de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 1 .....	105
<b>Tabla 48.</b> Permeabilidad de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 2 .....	105
<b>Tabla 49.</b> Permeabilidad de agregado fino de zanja abierta nro. 1 .....	106
<b>Tabla 50.</b> Permeabilidad de agregado fino de zanja abierta nro. 2 .....	106
<b>Tabla 51.</b> Permeabilidad de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 1 .....	108
<b>Tabla 52.</b> Permeabilidad de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 2 .....	108
<b>Tabla 53.</b> Permeabilidad de agregado grueso de zanja abierta nro. 1 .....	109
<b>Tabla 54.</b> Permeabilidad de agregado grueso de zanja abierta nro. 2 .....	109
<b>Tabla 55.</b> Densidad aparente suelta de los agregados .....	111
<b>Tabla 56.</b> Densidad aparente compactada de los agregados .....	112

<b>Tabla 57.</b> Densidad aparente compactada de la mezcla de los agregados de pozo a cielo abierto.....	113
<b>Tabla 58.</b> Densidad aparente compactada de la mezcla de los agregados de zanja abierta.....	115
<b>Tabla 59.</b> Densidad Real de agregado fino de zanja abierta .....	117
<b>Tabla 60.</b> Densidad Real de agregado fino de pozo a cielo abierto .....	118
<b>Tabla 61.</b> Densidad Real de agregado grueso de zanja abierta .....	119
<b>Tabla 62.</b> Densidad Real de agregado grueso de pozo a cielo abierto .....	120
<b>Tabla 63.</b> Densidad Real del cemento .....	121
<b>Tabla 64.</b> Resistencia a la Abrasión de agregado grueso .....	122
<b>Tabla 65.</b> Propiedades mecánicas del agregado grueso de zanja abierta .....	123
<b>Tabla 66.</b> Propiedades mecánicas del agregado fino de zanja abierta .....	123
<b>Tabla 67.</b> Mezcla de los agregados de zanja abierta .....	124
<b>Tabla 68.</b> Propiedades mecánicas del agregado grueso de pozo a cielo abierto .....	124
<b>Tabla 69.</b> Propiedades mecánicas del agregado fino de pozo a cielo abierto .....	125
<b>Tabla 70.</b> Mezcla de los agregados de pozo a cielo abierto .....	125
<b>Tabla 71.</b> Dosificación de hormigones con agregados de zanja abierta.....	126
<b>Tabla 72.</b> Dosificación de hormigones con agregados de pozo a cielo abierto .....	127
<b>Tabla 73.</b> Dosificación de hormigones con agregados de zanja abierta.....	128
<b>Tabla 74.</b> Dosificación de hormigones con agregados de pozo a cielo abierto .....	129
<b>Tabla 75.</b> Nomenclatura de dosificación de agregados pétreos .....	130
<b>Tabla 76.</b> Concentración de radón en cuba vacía de laboratorio .....	131
<b>Tabla 77.</b> Concentración de radón en agregado grueso de zanja abierta nro. 1 .....	133
<b>Tabla 78.</b> Concentración de radón en agregado grueso de zanja abierta nro. 2 .....	135
<b>Tabla 79.</b> Concentración de radón en agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 1 .....	137
<b>Tabla 80.</b> Concentración de radón en agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 2 .....	139
<b>Tabla 81.</b> Concentración de radón en agregado fino de zanja abierta nro. 1 .....	141
<b>Tabla 82.</b> Concentración de radón en agregado fino de zanja abierta nro. 2 .....	143
<b>Tabla 83.</b> Concentración de radón en agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 1 .....	145
<b>Tabla 84.</b> Concentración de radón en agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 2 .....	147
<b>Tabla 85.</b> Tasa de exhalación superficial de radón en agregado grueso .....	149

<b>Tabla 86.</b> Tasa de exhalación superficial de radón en agregado fino .....	150
<b>Tabla 87.</b> Tasa de exhalación de radón en probeta de hormigón con agregados pétreos de zanja abierta.....	151
<b>Tabla 88.</b> Tasa de radón en probeta de hormigón con agregados pétreos de pozo a cielo abierto.....	152
<b>Tabla 89.</b> Elementos estructurales de hormigón armado que conforman el sótano	154
<b>Tabla 90.</b> Concentración de radón con dosificación de agregados de zanja abierta	156
<b>Tabla 91.</b> Concentración de radón con dosificación de agregados de pozo a cielo abierto.....	157
<b>Tabla 92.</b> Concentración de radón en hormigón de sótano .....	158
<b>Tabla 93.</b> Dosis efectiva debido a la inhalación de radón.....	159
<b>Tabla 94.</b> Dosis efectiva debido a la inhalación de radón.....	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ejemplo de curva granulométrica de agregado fino .....	9
<b>Figura 2.</b> Permeámetro de carga constante .....	13
<b>Figura 3.</b> Condiciones de humedad de los agregados .....	14
<b>Figura 4.</b> Máquina de los Ángeles para ensayo de Abrasión .....	15
<b>Figura 5.</b> Muestras alteradas e inalteradas de suelo .....	15
<b>Figura 6.</b> Toma de muestras en zanjas abiertas o cortes .....	16
<b>Figura 7.</b> Fuentes de exposición de origen artificial y natural .....	21
<b>Figura 8.</b> Cadena de desintegración del $^{238}\text{U}$ .....	22
<b>Figura 9.</b> Ley de decaimiento radiactivo.....	23
<b>Figura 10.</b> Proceso de transportación de radón y su liberación en la atmósfera .....	25
<b>Figura 11.</b> Efectos biológicos de la exposición celular a la radiación ionizante .....	26
<b>Figura 12.</b> Configuración experimental del método de la cámara cerrada .....	27
<b>Figura 13.</b> División Política de la provincia de Tungurahua .....	31
<b>Figura 14.</b> Catastro minero con sistema de referencia: WGS – 84 UTM.....	32
<b>Figura 15.</b> Sistema de clasificación de texturas de suelos .....	38
<b>Figura 16.</b> Permeámetro de carga constante – método directo .....	44
<b>Figura 17.</b> Cámara cerrada para medición de radón .....	45
<b>Figura 18.</b> Elementos de control de Alpha – E .....	45
<b>Figura 19.</b> Excavación manual de pozos a cielo abierto .....	48
<b>Figura 20.</b> Extracción de agregados pétreos en zanjas.....	49
<b>Figura 21.</b> Muestras alteradas de agregado grueso y fino en estado seco al aire.....	49
<b>Figura 22.</b> Estructura geológica de canteras de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua .....	58
<b>Figura 23.</b> Precipitación en canteras de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua .....	59
<b>Figura 24.</b> Temperatura en canteras de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua .....	60
<b>Figura 25.</b> Población rural cercana a canteras de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua .....	61
<b>Figura 26.</b> Relación entre estructura geológica y precipitación de canteras del cantón Ambato.....	62

<b>Figura 27.</b> Relación entre estructura geológica y precipitación de canteras del cantón Baños.....	63
<b>Figura 28.</b> Relación entre estructura geológica y precipitación de canteras del cantón Pelileo.....	64
<b>Figura 29.</b> Relación entre estructura geológica y precipitación de canteras del cantón Píllaro .....	65
<b>Figura 30.</b> Relación entre estructura geológica y temperatura de canteras del cantón Ambato.....	66
<b>Figura 31.</b> Relación entre estructura geológica y temperatura de canteras del cantón Baños.....	67
<b>Figura 32.</b> Relación entre estructura geológica y temperatura de canteras del cantón Pelileo.....	68
<b>Figura 33.</b> Relación entre estructura geológica y temperatura de canteras del cantón Píllaro .....	69
<b>Figura 34.</b> Relación entre precipitación y temperatura de canteras del cantón Ambato .....	70
<b>Figura 35.</b> Relación entre precipitación y temperatura de canteras del cantón Baños .....	71
<b>Figura 36.</b> Relación entre precipitación y temperatura de canteras del cantón Pelileo .....	72
<b>Figura 37.</b> Relación entre precipitación y temperatura de canteras del cantón Píllaro .....	73
<b>Figura 38.</b> Relación entre estructura geológica, precipitación y temperatura de canteras del cantón Ambato .....	74
<b>Figura 39.</b> Relación entre estructura geológica, precipitación y temperatura de canteras del cantón Baños .....	75
<b>Figura 40.</b> Relación entre estructura geológica, precipitación y temperatura de canteras del cantón Pelileo .....	76
<b>Figura 41.</b> Relación entre estructura geológica, precipitación y temperatura de canteras del cantón Píllaro .....	77
<b>Figura 42.</b> Ubicación de canteras de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua en Coordenadas UTM WGS-84 .....	80



<b>Figura 43.</b> Ubicación de canteras significativas de agregados pétreos en Coordenadas UTM WGS-84.....	81
<b>Figura 44.</b> Ubicación de cantera “El Viejo Minero” – Cantón Baños .....	83
<b>Figura 45.</b> Ubicación de puntos estratégicos para extraer agregados .....	83
<b>Figura 46.</b> Contenido de humedad de los agregados pétreos .....	89
<b>Figura 47.</b> Capacidad de Absorción de los agregados pétreos.....	94
<b>Figura 48.</b> Permeabilidad de Agregado Fino .....	107
<b>Figura 49.</b> Permeabilidad de Agregado Grueso .....	110
<b>Figura 50.</b> Porcentaje óptimo de la mezcla de agregados de pozo a cielo abierto..	114
<b>Figura 51.</b> Porcentaje óptimo de la mezcla de agregados de zanja abierta.....	116
<b>Figura 52.</b> Concentración de radón en detector RAD7 de cuba vacía de laboratorio .....	132
<b>Figura 53.</b> Concentración de radón en detector ALPHA E de cuba vacía de laboratorio .....	132
<b>Figura 54.</b> Concentración en detector RAD7 de agregado grueso de zanja nro.1 ..	134
<b>Figura 55.</b> Concentración en detector Alpha E de agregado grueso de zanja nro.1	134
<b>Figura 56.</b> Concentración en detector RAD7 de agregado grueso de zanja nro.2 ..	136
<b>Figura 57.</b> Concentración en detector Alpha E de agregado grueso de zanja nro.2	136
<b>Figura 58.</b> Concentración en detector RAD7 de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro.1 .....	138
<b>Figura 59.</b> Concentración en detector Alpha E de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro.1 .....	138
<b>Figura 60.</b> Concentración en detector RAD7 de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro.2 .....	140
<b>Figura 61.</b> Concentración en detector Alpha E de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro.2 .....	140
<b>Figura 62.</b> Concentración en detector RAD7 de agregado fino de zanja abierta nro.1 .....	142
<b>Figura 63.</b> Concentración en detector Alpha E de agregado fino de zanja abierta nro.1 .....	142
<b>Figura 64.</b> Concentración en detector RAD7 de agregado fino de zanja abierta nro.2 .....	144

<b>Figura 65.</b> Concentración en detector Alpha E de agregado fino de zanja abierta nro.2 .....	144
<b>Figura 66.</b> Concentración en detector RAD7 de agregado fino de pozo a cielo abierto nro.1 .....	146
<b>Figura 67.</b> Concentración en detector Alpha E de agregado fino de pozo a cielo abierto nro.1 .....	146
<b>Figura 68.</b> Concentración en detector RAD7 de agregado fino de pozo a cielo abierto nro.2 .....	148
<b>Figura 69.</b> Concentración en detector Alpha E de agregado fino de pozo a cielo abierto nro.2 .....	148
<b>Figura 70.</b> Planta Subsuelo de edificación a analizar.....	155
<b>Figura 71.</b> Planta Baja de edificación a analizar .....	155
<b>Figura 72.</b> Concentración aproximada de gas radón en diferentes concesiones mineras de la provincia de Tungurahua .....	162

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

**TEMA:** “ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE GAS RADIATIVO RADÓN EN AGREGADOS PÉTREOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU INCIDENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN”

**AUTOR:** Néstor Fabricio Chicaiza Gómez

**TUTOR:** Ing. M.Sc. Betzabeth Suquillo R.

### RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo analiza las condiciones meteorológicas que influyen con la presencia de gas radón<sup>222</sup> en minas de materiales de construcción (grava y arena) de la provincia de Tungurahua, los parámetros analizados son la estructura geológica del suelo, temperatura media anual y precipitación en las diferentes concesiones mineras, adicionalmente es importante considerar el efecto producido del gas radón<sup>222</sup> en la población que habitan o frecuentan estos lugares.

El trabajo determina las propiedades de los agregados pétreos y cómo influyen en la emanación, transporte y exhalación de radón<sup>222</sup>, por ende se calcula la exhalación total producido en el interior de una edificación de hormigón con una resistencia a la compresión de 180 y 210 kilogramos por centímetro cuadrado.

La emanación de gas radón es limitada por altos porcentajes de contenido de humedad y la elevada capacidad de absorción de los agregados pétreos con una concentración de (18.33 más menos 8.89) y (21.96 más menos 7.84) becquerelio por metro cúbico en la arena y grava respectivamente, los vacíos generados en el hormigón debido a diferentes tamaños de partículas de arena y grava determinado por el ensayo de granulometría influyen en el transporte del gas radón<sup>222</sup> hacia el interior de una edificación.

La dosis efectiva anual debida a la inhalación radón<sup>222</sup>, producido en un sótano con un volumen de 333 metros cúbicos de una vivienda representativa de la zona y con un factor de ocupación de 4750 horas al año es 0.260 milis sievert al año con un margen de error de más menos 10 por ciento.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**TEMA:** “ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE GAS RADIATIVO RADÓN EN AGREGADOS PÉTREOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU INCIDENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN”

**AUTOR:** Néstor Fabricio Chicaiza Gómez

**TUTOR:** Ing. M.Sc. Betzabeth Suquillo R.

**ABSTRACT**

This work analyzed the meteorological parameters that influence at presence of gas radon222 in the mining of building materials (gravel and sand) of Tungurahua province, the parameters analyzed were geological structure of the soil, temperature and water precipitation around of minings, furthermore is important consider the population that inhabit or frequent these places.

The work determined the physical and mechanical properties of aggregates to study the influence in the emanation, transport and exhalation of radon222 and the total exhalation calculated for a concrete building with f'c 180 and 210 kilograms per square centimeter.

The emanation of gas radon is limited by high percentages of moisture content in situ, and the high capacity of absorption on the aggregates, with concentrations of (18.33 plus or minus 8.89) y (21.96 plus or minus 7.84) becquerel per cubic meter in sand and gravel. The voids generated in the concrete due to the different sizes of sand and gravel determinate by granulometry test; these voids influence the gas radon222 transporting indoor of building.

The effective annual dose due to radon222 inhalation, produced in a basement with a volume of 333 cubic meters of a representative housing in the area and with an occupation factor of 4750 hours per year is 0.260 milis sievert per year with a margin of error of plus or minus 10 percent.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes Investigativos

#### 1.1.1 Antecedentes

Los materiales de construcción utilizados en la ingeniería pueden contener en mayor o menor proporción, elementos naturales radiactivos al derivar de rocas o terrenos con presencia de radionucleidos, por tanto, muchos minerales procesados pueden generar niveles radiactivos elevados también en sus propios flujos de residuos o en sus subproductos [1].

En varios países industrializados el hombre urbano pasa la mayoría de su tiempo en ambientes cerrados y en ciertos casos (niños, enfermos y ancianos) el tiempo se eleva ampliamente. Debido a aquello se está adquiriendo el conocimiento y estudio de los contaminantes ambientales presentes en interiores de edificaciones, especialmente de los que tienen efectos significativos sobre la salud [2].

Durante los últimos años, ha permanecido una especial sensibilización hacia la inocuidad de los materiales empleados en la construcción. Por ejemplo, el problema de la emisión de Radón en los edificios se dio a conocer a finales de los años 70 provenientes de los distintos materiales que se usan en la construcción; otros ejemplos de toxicidad, lo constituyen los gases emitidos por algunos materiales sintéticos como el fibrocemento y algunos aislantes de origen orgánico [3].

El gas radón es la mayor fuente natural de exposición radiactiva para la población y los trabajadores. La evolución del conocimiento acerca del efecto de la exposición del radón, ha permitido la implementación y mejora de regulaciones, normas y límites apropiados para reducir el riesgo a la población y trabajadores, tales como se ha realizado en sociedades europeas y norteamericanas [4] [5].

Por ello la Directiva 2013/59 Euroatom del Consejo de la Unión Europea de 5 de diciembre de 2013 establece normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. Sin embargo, América del Sur se encuentra en el comienzo de la investigación radiactividad natural [4] [5].

La exposición a la radiación interna debido al gas radón y a sus productos de descomposición que emanan los materiales de construcción afecta al tracto respiratorio. Su conocimiento e investigación acerca de la radiactividad presente en dichos materiales permite evaluar cualquier posible riesgo radiológico para la salud humana. Por tal razón, es importante identificar y determinar la concentración de radón en agregados pétreos, los mismos que forman parte de los materiales de construcción más utilizados en el Ecuador [6].

Evitar el uso de materiales de construcción tóxicos es uno de los principios de una construcción sostenible. Sin embargo, los edificios residenciales actuales con frecuencia contienen muchos materiales radiactivos. Se conoce que el uso de materiales de desecho con alguna forma de contaminación radiológica es motivo de preocupación para la salud pública debido a la exposición a largo plazo, incluso si la dosis es mínima, se puede desarrollar formaciones cancerígenas [7].

Parte del problema es porque ingenieros civiles y arquitectos ignoran la forma de medir la radiactividad de los materiales, y por otra parte se encuentran razones económicas. En gran cantidad de edificaciones construidas de ladrillo, hormigón o piedra, los materiales actúan como atenuadores de la radiactividad natural emitida en el exterior, por lo tanto, la tasa de dosis absorbida en el interior depende principalmente de la concentración de sustancias radiactivas presentes en los materiales de construcción [7] [8].

Los materiales de construcción pueden aportar un valor reducido de concentración ambiental de radón en el interior de edificaciones, lo que afirma que la mayor aportación es originario del terreno natural donde se ubica la construcción. A nivel global, los agregados pétreos repercuten un valor bajo respecto al valor total de concentración de radón. Un razonamiento que también puede ser extrapolable al caso del hormigón [1] [9].

La Agencia de Protección Ambiental (EPA siglas en inglés) se pronunció en 1986 por primera vez recomendaciones para medir la concentración del radón y sus descendientes, tanto en los ambientes exteriores como en los espacios interiores, basadas principalmente en detectar radiación ionizante emitida durante la desintegración radiactiva del radón o de su progenie, estas técnicas se distinguen entre métodos instantáneos utilizados para medidas en cortos intervalos de tiempo, inferiores a 20 minutos pero no aporta valores representativos que evalúen las tasas promedio de exposición al radón y también existen los métodos de lectura continua los cuales analizan el paso continuo de un flujo de aire durante un período de tiempo concreto, registrando la presencia de radón de manera continua [9].

### 1.1.2 Justificación

El Radón ( $^{222}\text{Rn}$ ), es un gas de origen natural, elemento cuya acumulación en agregados pétreos utilizados en la construcción depende de su naturaleza y composición, además, representa la exposición a la radiactividad natural más actual a la cual se encuentra sujeto el ser humano porque el radón es químicamente inerte es decir es incoloro, inodoro e insípido, por lo que se puede inhalar sin sentirlo [10].

Por medio de investigaciones científicas y actividades prácticas realizadas a nivel internacional, en específico en Europa y Asia demuestran resultados íntegros acerca de la alta exposición de este elemento radiactivo que causa daños al organismo debido a su período de semidesintegración de 3.8 días, el mismo que es formado a partir de un elemento “Radio” ( $^{226}\text{Rd}$ ), y este, el cual procede de la desintegración del “Uranio” ( $^{238}\text{U}$ ) [11].

La concentración de  $^{222}\text{Rn}$  depende de la cantidad de  $^{238}\text{U}$  que contienen las rocas y el terreno del subsuelo, las vías que el  $^{222}\text{Rn}$  encuentra para filtrarse en las viviendas, depende del tipo de construcción, la ventilación del lugar y la estanqueidad del edificio [1]. Es necesario recalcar que al no existir información, recolección de datos o experimentación previa a este ámbito, no se asegura el grado de radiactividad natural que emanan los agregados pétreos en la provincia de Tungurahua.

La medición de las concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  en los agregados pétreos para la construcción es primordial ya que tras cuantificar las concentraciones de estos elementos puede ser el primer paso para evaluar los posibles riesgos radiológicos para la salud humana y desarrollar una normativa que se aplique al momento de manejar estos materiales. [12] Por otro lado se conoce que los seres humanos permanecen en el interior de un domicilio el 80% de su tiempo, lo que aumenta la posibilidad de exposición a la radiación natural en caso de que los materiales se consideren Materiales Radiactivos Naturales (NORM por sus siglas en inglés) [13].



### **1.1.3 Fundamentación Teórica**

#### **1.1.3.1 Agregados Pétreos**

Son materiales granulares sólidos considerados en un inicio como inertes, no obstante, sus propiedades físicas, térmicas y, en ocasiones químicas, pueden influir en la calidad del material y desempeño de acuerdo al empleo, que puede ser en firmes de las carreteras con granulometrías adecuadas, o en la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante la mezcla con materiales aglomerantes o ligantes asfálticos [14].

- **Tipos de Agregados Pétreos**

El tipo de agregado pétreo se puede definir, de acuerdo a su origen y a la técnica empleada para su obtención. Por tanto, se clasifican en los siguientes tipos:

a. Agregados Naturales

Son aquellos que se utilizan únicamente después de una modificación de granulometría para ajustarse a las exigencias de las necesidades ingenieriles.

b. Agregados de Trituración

Se consiguen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías negadas o innecesarias de los agregados naturales.

c. Agregados artificiales o sintéticos

Son aquellos áridos procesados, industrializados o materiales originarios de demoliciones realizadas por el ser humano, son utilizables y reciclables.

d. Agregados marginales

Son aquellos áridos que abarcan a todos los materiales que no cumplen alguna de las características anteriormente descritas [15].

- **Clasificación de los agregados de acuerdo a su tamaño**

### **Agregado Grueso, Árido Grueso, Grava o Ripio**

El Sistema de Clasificación de Suelos (SUCS), denomina así a la fracción de agregado pétreo retenido en el tamiz #4 (4.75 mm), tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Su resistencia está relacionada a su dureza, densidad, y módulo de elasticidad.
- Un buen agregado grueso tiene una densidad real mayor a  $2.6 \text{ gr/cm}^3$ , y una resistencia a la compresión mayor a  $1000 \text{ kg/cm}^2$ .
- Un agregado grueso no adecuado tienen una densidad real menor a  $2.3 \text{ gr/cm}^3$ , y una resistencia menor a  $500 \text{ kg/cm}^2$ .

### **Agregado Fino, Árido o Arena**

El SUCS, denomina así a la fracción de agregado pétreo que pasa el tamiz #4 (4.75 mm) y es retenido en el tamiz #200 (0.075 mm), tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Los agregados finos de minas presentan arcilla en abundancia, por lo tanto tienen que lavarse.
- Los agregados finos originados en la trituración de basaltos y granitos son de buena calidad.
- Un buen agregado fino tiene una densidad real mayor a  $2.6 \text{ gr/cm}^3$ , y una resistencia a la compresión mayor a  $1000 \text{ kg/cm}^2$ .
- Un agregado fino no adecuado tienen una densidad real menor a  $2.3 \text{ gr/cm}^3$ , y una resistencia menor a  $500 \text{ kg/cm}^2$  [16].

- **Características y Propiedades de los Agregados**

### **Adherencia**

La estructura de la partícula y la textura de la superficie del agregado permiten al aglomerante adherirse correctamente obteniendo así grandes resistencias en el hormigón.

La estructura se refiere a la forma en que las partículas disponen dentro de la masa del agregado mientras que la textura analiza grado de firmeza y uniformidad del mismo y se describe por medio de términos tales como harinoso, suave, arenoso, áspero, etcétera, según sea la sensación que produce el tacto, una textura más áspera brindará mayor adherencia entre las partículas y la matriz aglomerante.

Es complicado determinar la calidad de la adherencia y no existen ensayos aceptados. Por lo general, una muestra de hormigón triturado deberá presentar en forma dispersa algunas partículas rotas del agregado, además de otras separadas de la matriz de la pasta [14].

### **Densidad**

La densidad del agregado es la masa que presenta por unidad de volumen que ocupa en un recipiente [16]. La Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN), menciona a la densidad relativa como la característica generalmente utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en las mezclas que contienen dicha partícula, incluyendo al hormigón, de igual manera se determina los vacíos entre partículas en el agregado.

La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) compete al material sólido que conforman sus partículas, excluyendo los poros [17].

**Tabla 1.** Masa mínima de la muestra de ensayo de agregado grueso

<b>Tamaño máximo nominal del agregado (mm)</b>	<b>Masa mínima de muestra para ensayo (kg)</b>
12.5 o menor	2
19.0	3
25.0	4
37.5	5
50	8
63	12
75	18
90	25

**Fuente:** NTE INEN 857 [17]

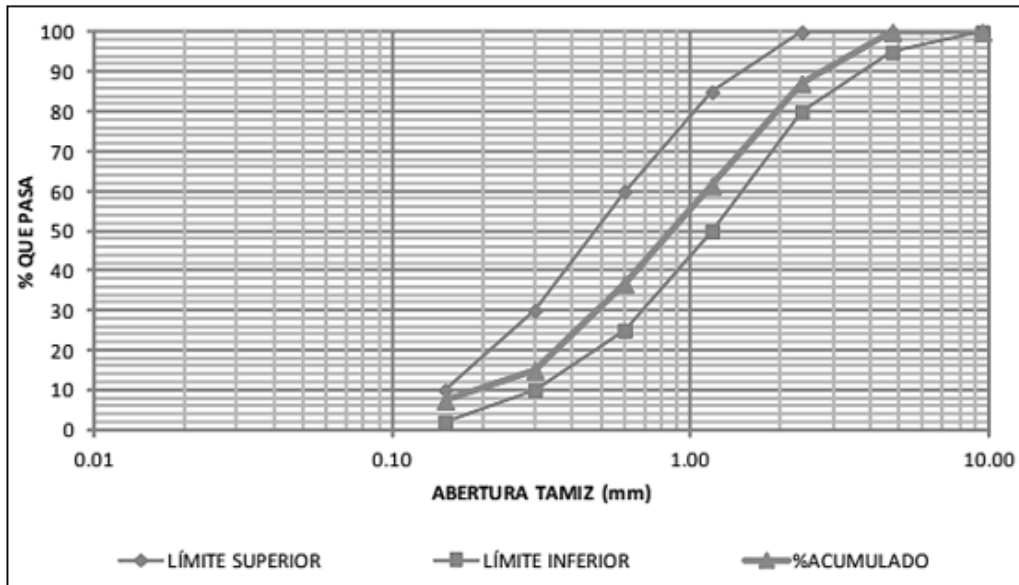
**Tabla 2.** Capacidad de moldes para determinación de densidad aparente de los agregados

<b>Tamaño máximo nominal del agregado (mm)</b>	<b>Capacidad nominal del molde m<sup>3</sup> [litros]</b>
12.5	0.0028 [2.8]
25.0	0.0093 [9.3]
37.5	0.014 [14]
75.0	0.028 [28]
100.0	0.070 [70]
125.0	0.100 [100]

**Fuente:** NTE INEN 858 [18]

### **Granulometría**

Es el proceso de separar un agregado en sus diferentes fracciones, cada una en granos de tamaños distintos, dentro de ciertos límites, conocido también como análisis granulométrico, el propósito es determinar el tamaño de las partículas que constituyen al agregado tanto fino como grueso, para su uso en hormigones u otras aplicaciones.



**Figura 1.** Ejemplo de curva granulométrica de agregado fino

**Fuente:** Tesis de grado Ing. Alberto Ortega, Universidad Técnica de Ambato [19]

El método más directo para separar un suelo en fracciones de distinto tamaño es el tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos del tamizado se hace cada vez más difícil, recurriendo así a métodos por sedimentación o levigación [20].

**Tabla 3.** Tamaño de tamices para agregado fino

Tamaño de la Malla	Porcentaje que pasa (masa)
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (Nro. 4)	95 – 100
2.36 mm (Nro. 8)	80 – 100
1.18 mm (Nro. 16)	50 – 85
0.60 mm (Nro. 30)	25 – 60
0.30 mm (Nro. 50)	10 – 30
0.15 mm (Nro. 100)	2 – 10

**Fuente:** ASTM C33 [21]

**Tabla 4.** Tamaño de tamices para agregado grueso

<b>Tamaño de la Malla</b>	<b>Porcentaje que pasa (masa)</b>
50.80 mm (2")	100
38.10 mm (1 1/2")	95 – 100
25.40 mm (1")	–
19.05 mm (3/4")	35 – 70
12.70 mm (1/2")	–
9.52 mm (3/8")	10 – 30
4.75 mm (Nro. 4)	0 – 5

**Fuente:** ASTM C33 [21]

**Módulo de finura:** Es un índice que representa la finura del agregado, entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado; dicho valor es útil para evaluar las proporciones de agregados finos en las mezclas de hormigón.

El módulo de finura (MF) del agregado fino se obtiene sumando los porcentajes acumulados de pesos retenidos en una serie específicas de mallas y dividiendo la suma entre 100. Así:

$$MF = \frac{\sum \% \text{Acumulado retenido} \left( \#100, \#50, \#30, \#16, \#8, \#4, \frac{3''}{8}, \dots \right)}{100} \quad (1)$$

**Tamaño nominal máximo o tamaño máximo:** Es el valor que identifica al agregado grueso, determinado por el tamaño del tamiz comercial anterior al primer tamiz en el que hubo el 15% o más del retenido acumulado [16].

**Requisitos ASTM C125:**

El agregado fino no tenga más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas.

Módulo de finura no debe ser inferior a 2.3 ni superior a 3.1, ni que varíe en más de 0.2 del valor típico de la fuente del abastecimiento del agregado. Si el valor sobrepasa lo mencionado, el agregado fino se debe rechazar y su única solución es ajustar en adecuadas proporciones a los agregados [22].

## **Estados de Humedad**

- 1. *Seco al horno (SH)*:** La humedad que se encuentra en la superficie y poros del agregado es retirada en su totalidad mediante el uso de un horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 12 horas o hasta obtener una masa constante.
- 2. *Seco al aire*:** La humedad que se encuentra en la superficie del agregado es retirada totalmente, mientras que parte de los poros internos se encuentran llenos de agua.
- 3. *Saturado superficie seca (SSS)*:** La humedad de la superficie del agregado es retirada totalmente, mientras que todos los poros se encuentran llenos de agua.
- 4. *Saturado superficie húmeda (SSH)*:** Existe humedad superficial y los poros del agregado se encuentran totalmente llenos de agua [16].

## **Capacidad de Absorción**

Es la cantidad de agua que el agregado puede absorber hasta alcanzar la condición saturada superficie seca (SSS), es decir, cuando no hay humedad libre o superficial, pero todos los poros internos de la partícula están llenos de agua.

Se define como una condición especial si el agregado se encuentra en estado SSS, por lo que no puede absorber más agua ni mucho menos cederla (estado de equilibrio). Cuando se realiza hormigones, los agregados adquieren la condición SSS [14].

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción que varían del 0.2% al 4% y de 0.2% al 2% respectivamente. El agua libre varía de 0.5% al 2% para el agregado grueso y de 2% al 6% para el agregado fino. Mientras más alta es la capacidad de absorción del agregado, de menor calidad será el mismo [16].

## **Permeabilidad**

Se define como la velocidad aparente de un fluido, líquido o gas, puede circular a través de los poros (vacíos) de los agregados con gradientes de presión existentes. Un agregado es permeable cuando contiene vacíos continuos, como tales se encuentra en todos los suelos, incluyendo las arcillas más compactas.

Henry Darcy determinó que el flujo de agua puede ser laminar o turbulento, por lo cual estableció una fórmula para calcular la permeabilidad del suelo, tomando en cuenta únicamente un flujo laminar [23]. Así:

$$Q = K * i * A \quad (2)$$

$$Q = A * V \quad (3)$$

Dónde:

Q = Caudal o gasto hidráulico, cm<sup>3</sup>/s

K = Permeabilidad del suelo, cm/s

i = Gradiente hidráulico, cm

A = Área total del suelo como filtro, cm<sup>2</sup>

V = Velocidad del flujo, cm/s

### **Permeámetro de Carga Constante**

Basado en la Ley de Darcy, método directo que tiene como única finalidad determinar la permeabilidad de los agregados. Aplica la siguiente ecuación:

$$K = \frac{V * L}{A * h * t} \quad (4)$$

Dónde:

V = Volumen de la cantidad de agua, cm<sup>3</sup>

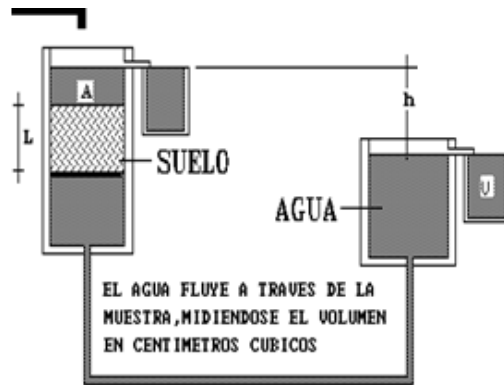
L = Espesor de agregado, cm

A = Sección de agregado, cm<sup>2</sup>

h = Desnivel hidráulico, cm

t = Tiempo de registro, s





**Figura 2.** Permeámetro de carga constante

**Fuente:** Mecánica de Suelos II, Ing. Lorena Pérez, Universidad Técnica de Ambato [23]

**Tabla 5.** Rango de la permeabilidad y drenaje de los suelos

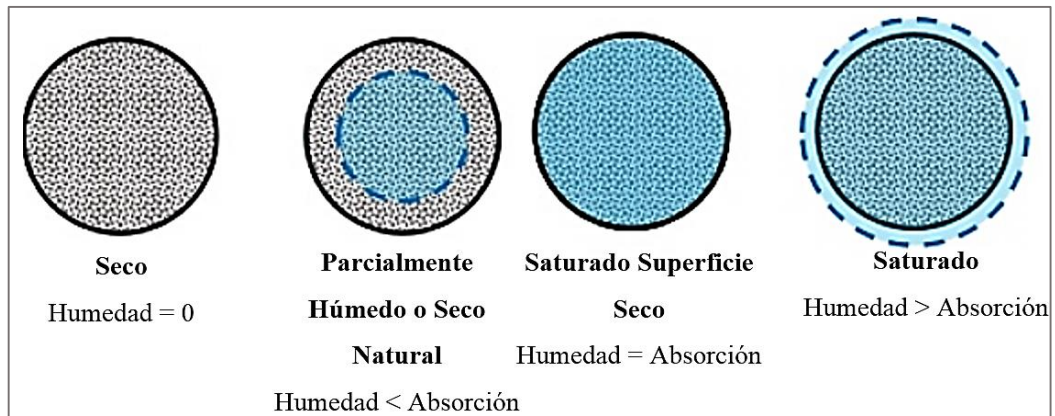
Permeabilidad y Condiciones de Drenaje en los Suelos												
Drenaje	Bueno		Pobre	Impermeable								
Tipo de Suelo	Grava Limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de grava y arena	Arenas muy finas, limos orgánicos. Mezclas de S, M y C morenas y glaciares depósitos de arcilla estratificada	Suelos impermeables, arcillas homogéneas situadas debajo de la zona de descomposición								
		Suelos impermeables modificados por la descomposición o vegetación										
Método de Derminación Directa	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastantes exactos		K = Coeficiente de permeabilidad en cm/seg									
	Permeámetro de carga constante, no se requiere mayor experiencia											
K	10 <sup>2</sup>	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>

**Fuente:** Mecánica de Suelos II, Ing. Lorena Pérez, Universidad Técnica de Ambato [25]

### Contenido de Humedad

El contenido de humedad es el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie húmeda (ssh). Así, el contenido total de agua de un agregado húmedo será igual a la suma de la capacidad de absorción y a la cantidad de agua superficial.

El agregado expuesto a la lluvia acumula una considerable humedad en la superficie de las partículas y, excepto en la parte de la superficie de la pila, conserva esa humedad durante largo tiempo [24].



**Figura 3.** Condiciones de humedad de los agregados

**Fuente:** Humedad de los Agregados, guía Práctica de Ing. Axel Martínez [24]

### Resistencia a la Abrasión

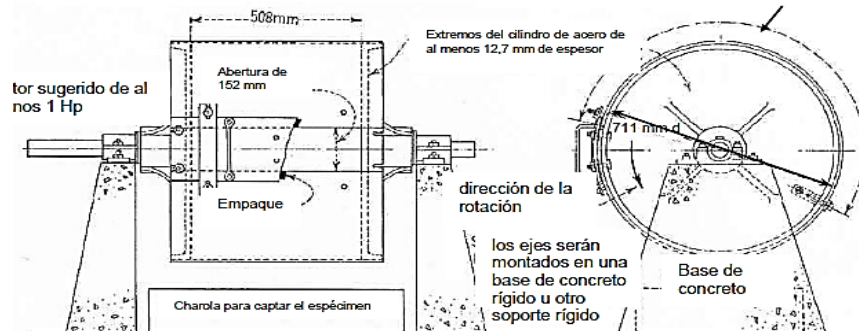
Se denomina abrasión al desgaste causado en el agregado por la acción mecánica del material causada por otras partículas con las que actúa en rozamiento o fricción [14].

**Tabla 6.** Granulometría de muestras de prueba para resistencia a la abrasión

Tamaño de la malla (abertura cuadrada)		Masa de los tamaños indicados, g			
		Granulometría			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	1250 ± 25	–	–	–
25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	1250 ± 25	–	–	–
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10	–	–
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	–	–
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")	–	–	2500 ± 10	–
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (No. 4)	–	–	2500 ± 10	–
4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	–	–	–	5000 ± 10
<b>TOTAL</b>		<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>

**Fuente:** ASTM C 131 [25]

Esta prueba física es de mucha importancia e indispensable en el diseño de mezclas, llamada también resistencia a la abrasión, la prueba de los Ángeles brinda el porcentaje de desgaste que sufrirá el material en condiciones de roce continuo de las partículas con las esferas de acero, y sus resultados muestran una buena correlación no solo con el desgaste real del agregado grueso en el hormigón, sino con las resistencias a la flexión y compresión de hormigones hechos con el mismo material [14].



**Figura 4.** Máquina de los Ángeles para ensayo de Abrasión

**Fuente:** ASTM C 131 [25]

- **Obtención de muestras de agregados pétreos**

Para analizar las propiedades de un agregado en laboratorio es necesario obtener muestras representativas de dicho material. Un muestreo adecuado y representativo es de muy importante, pues tiene la misma valoración que los ensayos en sí. Las muestras pueden ser de dos tipos: alteradas o inalteradas, una muestra alterada no guarda el mismo estado que cuando se encontraba en el terreno, e inalterada en caso contrario.



**Figura 5.** Muestras alteradas e inalteradas de suelo

**Fuente:** Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Crespo Villalaz [26]

Las muestras inalteradas se desempacan cuidadosamente en el laboratorio, y se practica los ensayos necesarios en las mismas condiciones que se encuentran. Sin embargo, las muestras alteradas necesitan procesos diferentes para su ensaye.

La excavación de pozos a cielo abierto permite obtener una información correcta en los dos tipos de muestras anteriormente mencionadas, posibilitan la inspección visual de los estratos del suelo. Aunque varias investigaciones requieren estudios del terreno a profundidades mayores, los cortes o zanjas abiertas son procesos convenientes para realizar dicho trabajo [26].



**Figura 6.** Toma de muestras en zanjas abiertas o cortes

**Fuente:** Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Crespo Villalaz [26]

### **1.1.3.2 Dosificación de hormigón método de la densidad óptima**

El método de dosificación proporcionado por la Universidad Central del Ecuador (UCE) toma en cuenta las características y propiedades mecánicas de los materiales que componen el hormigón, los autores del método proporcionan tablas de diferentes resistencias y asentamientos producto de su investigación.

**Tabla 7.** Resistencia a la compresión del hormigón método de la UCE

<b>Resistencia a la compresión f'c a los 28 días de edad</b>	<b>Relación Agua/Cemento</b>
140 kg/cm <sup>2</sup>	0.77
180 kg/cm <sup>2</sup>	0.70
210 kg/cm <sup>2</sup>	0.62
240 kg/cm <sup>2</sup>	0.59
280 kg/cm <sup>2</sup>	0.56
300 kg/cm <sup>2</sup>	0.53
350 kg/cm <sup>2</sup>	0.45

**Fuente:** Tesis de grado Ing. Alberto Ortega, Universidad Técnica de Ambato [19]

**Tabla 8.** Asentamiento del hormigón método de la UCE

<b>Asentamiento (cm)</b>	<b>Coefficiente k</b>
0 – 3	1.04
3 – 6	1.08
6 – 9	1.11
9 – 12	1.13
12 – 15	1.14

**Fuente:** Tesis de grado Ing. Alberto Ortega, Universidad Técnica de Ambato [19]

Las propiedades de los agregados requeridas para el desarrollo del método son:

- Densidad real del cemento – DRC
- Densidad real de la arena (agregado fino) – DRA
- Densidad real del ripio (agregado grueso) – DRR
- Porcentaje óptimo de arena – POA
- Porcentaje óptimo del ripio – POR
- Densidad óptima de la mezcla – DOM

El análisis y proceso de dosificación de hormigones, se puede expresar mediante las siguientes ecuaciones:

### Densidad real de la mezcla de agregados – DRM

$$\text{DRM} = \frac{\text{DRA} * \text{POA}}{100} + \frac{\text{DRR} * (100 - \text{POA})}{100} \quad (9)$$

### Porcentaje óptimo de vacíos – POV

$$\text{POV} = \frac{\text{DRM} - \text{DOM}}{\text{DRM}} * 100 \quad (10)$$

### Cantidad de pasta – CP

El valor del coeficiente k depende del asentamiento deseado, por lo tanto:

$$\text{CP} = \text{POV} * k \quad (11)$$

### Cantidad de cemento – C

El valor del coeficiente de relación agua – cemento W/C, depende de la resistencia a la compresión deseada, por lo tanto:

$$C = \frac{\text{CP}}{\frac{W}{C} + \frac{1}{\text{DRC}}} \quad (12)$$

### Cantidad de agua para mezcla – W

$$W = \frac{W}{C} * C \quad (13)$$

### Cantidad de arena para mezcla – A

$$A = \left(1 - \frac{\text{CP}\%}{100}\right) * 1000 * \frac{\text{POA}}{100} * \text{DRA} \quad (14)$$

### Cantidad de ripio para mezcla – R

$$R = \left(1 - \frac{CP\%}{100}\right) * 1000 * \left(1 - \frac{POA}{100}\right) * DRR \quad (15)$$

Las cantidades necesarias de los materiales utilizados en la dosificación de hormigón, se considera para un metro cúbico del mismo y que los agregados se encuentren en el estado saturado superficie seco (sss).

#### 1.1.3.3 Radiaciones Ionizantes

Durante mucho tiempo, científicos creían que el átomo era la parte más pequeña de la materia, por ello su nombre, átomo, que quiere decir “indivisible”. Sin embargo, investigaciones han permitido conocer que el átomo presenta un núcleo y electrones que giran a su alrededor. Los electrones son una especie de recubrimiento, un sobre que protege al núcleo (formado por protones y neutrones). Los protones tienen carga eléctrica positiva y los electrones, negativa, mientras que los neutrones se llaman así porque no tienen carga.

En condiciones normales de equilibrio, las partículas del átomo se mantienen firmemente unidas, pero una demasía o falta de neutrones logran romper ese equilibrio. Entonces se convierten en elementos inestables, con tendencia a transformarse en otros elementos. Para que suceda, las ataduras tienen que romperse y formar nuevas. Este proceso se llama desintegración radiactiva, se obtiene liberando gran cantidad de energía en forma de partículas invisibles y silenciosas que se denomina *radiaciones*.

Al momento que la radiación penetra la materia, y sobre todo en el caso de partículas cargadas (alfa, protones, fragmentos de fisión y electrones), básicamente suele extraer electrones de los átomos circundantes mediante un proceso que se conoce con el nombre de *ionización* [27].

## **Tipos de radiaciones ionizantes**

Las radiaciones ionizantes están formadas por ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia con la energía adecuada para originar la ionización de un átomo y fracturar los enlaces atómicos que mantienen las moléculas unidas en las células. Las modificaciones pueden ser graves según la dosis de radiación recibida.

Existen varios tipos de radiaciones ionizantes:

### ***Partículas Alfa***

Las radiaciones alfa son núcleos de helio 4 que se difunden en determinadas desintegraciones nucleares y que están formados por dos neutrones y dos protones. Tienen bastante masa pero son poco penetrantes: una hoja de papel o la piel humana aseguran la protección antes sus efectos.

### ***Partículas Beta***

Proceso de transformación de un protón en un neutrón o viceversa, con la difusión de una partícula beta (negativa o positiva), que ligeramente actúan con la materia. Tienen menos masa que las alfa, aunque son más penetrantes, capaz de atravesar una hoja de papel y hasta dos centímetros de tejido vivo, pero no pueden pasar una lámina de aluminio.

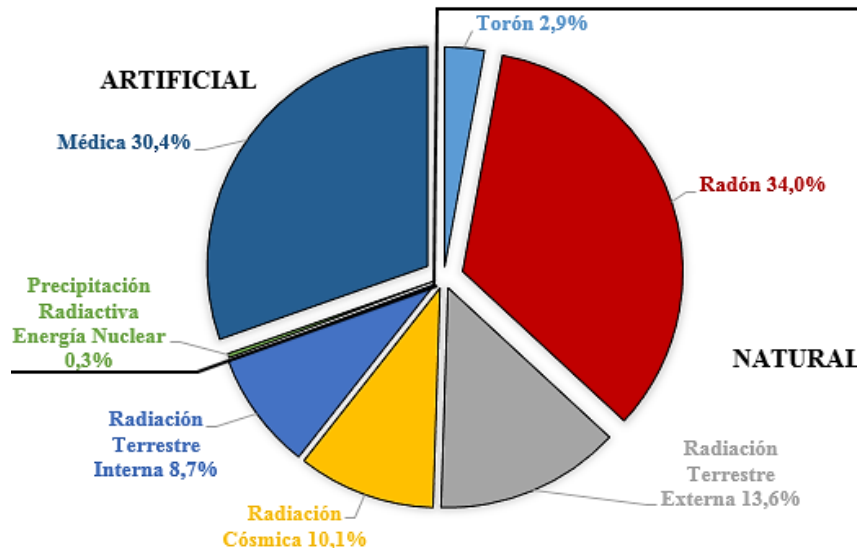
### ***Radiación Gamma***

Los rayos X y gamma son radiaciones electromagnéticas sin carga ni masa. Las radiaciones gamma se originan de la desintegración de los núcleos inestables de algunos elementos radiactivos y los rayos X proceden de las capas externas del átomo, donde se encuentran los electrones. Este tipo de radiaciones son bastantes penetrantes, una lámina de plomo de grosor suficiente frena su acceso [27].

## **Radiación Ionizante Natural**

A partir del origen y formación del planeta Tierra, ha existido radiación ionizante natural presente en el exterior e interior de la corteza terrestre. Los elementos naturales aportan un 75% de radiactividad ionizante al entorno, además de la variabilidad geográfica, actividades como fabricación de cerámica, extracción de petróleo, pueden aumentar dicha dosis, tanto a trabajadores como a la población.





**Figura 7.** Fuentes de exposición de origen artificial y natural

**Fuente:** Radón y Meteorología, Quindós L, Arteché J, Fuente I. [28]

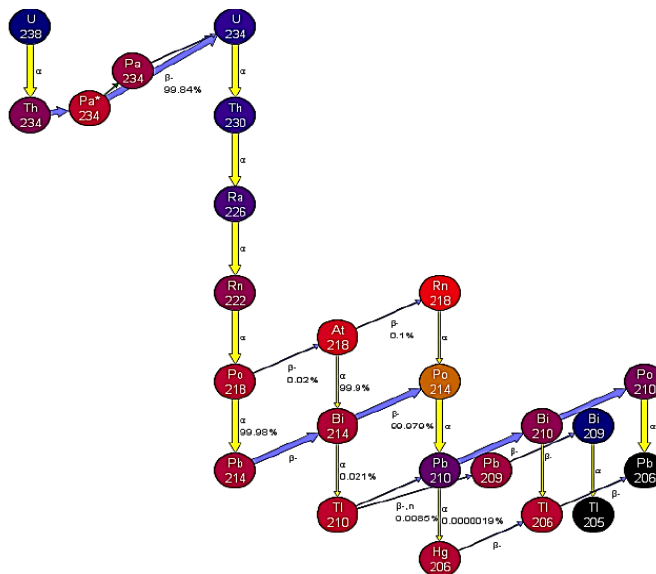
Algunas cordilleras tienen un nivel de radiactividad relativamente elevado, debido a la composición de sus granitos.

En edificaciones puede existir radiactividad, procedentes del gas radón, este se produce de la desintegración del uranio que contienen los elementos naturales. El gas emana de las rocas y/o suelo y se concentra en lugares principalmente cerrados [28].

#### 1.1.3.4 Radón

Gas noble que fue descubierto en 1900, el físico Dorn descubrió que de una sal de radio se producía un gas radiactivo, al cual se le llamó inicialmente “emanación de radio”, pero no es hasta 1923 que se lo denomina como un nuevo elemento y se lo nombra radón [29]; es un elemento incoloro, inodoro e insípido con una alta densidad cuya concentración en suelos y rocas depende de su naturaleza y composición [2].

En la naturaleza se encuentran tres grandes cadenas radiactivas cuyas cabezas de familia son respectivamente el  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ . Todas terminan con la formación de un isótopo estable del plomo, no sin antes producirse una decena de elementos radiactivos en el intermedio. En cada una de las tres series aparece un determinado isótopo del gas radón. El radón de estudio es el  $^{222}\text{Rn}$  que figura en la cadena del  $^{238}\text{U}$ , procedente del  $^{226}\text{Ra}$  [30].



**Figura 8.** Cadena de desintegración del  $^{238}\text{U}$

**Fuente:** Metodología para Medición de Exhalación de Radón-222 / Noverques [31]

- **Fuentes de radón**

Al ser un gas producto de la desintegración del uranio, en primer lugar es necesario definir dónde se encuentra el uranio, un elemento químicamente muy activo, capaz de vincularse y a su vez desplazarse con otros, su concentración depende del tipo de roca y suelo. El estudio de la carta geológica de la zona de estudio definirá la localización del uranio, en general en pequeñas proporciones tales como gramos por toneladas denominadas también ppm (partes por millón).

La porción de gas radón del suelo o de los agregados pétreos que llega a la superficie y se propaga en el medio ambiente (radón exhalado) puede acumularse en lugares cerrados. La acumulación ocurre especialmente en lugares donde el intercambio de aire es bajo, tales como: sótanos, cuevas, minas cerradas, edificios aislados [30].

**Tabla 9.** Concentración aproximada de  $^{238}\text{U}$  en varios tipos de suelos

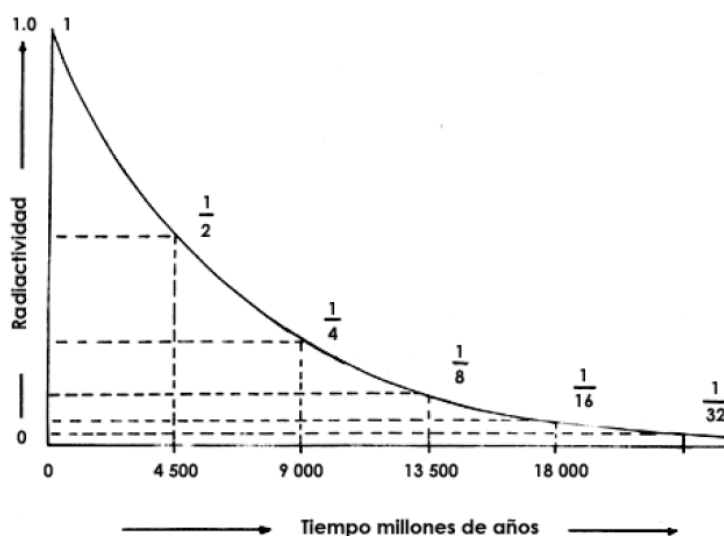
Tipo de Roca	$^{238}\text{U}$ (ppm)
Basálticas	1.0
Granitos	5.0
Arcillas	3.7
Arenas	0.5
Suelos	1.0
Ultrabásicas	0.001

**Fuente:** Radón, un gas radiactivo de origen natural en casa / Quindós [30]

En el suelo la exhalación del radón se produce aproximadamente en los primeros diez metros, en donde interviene la porosidad, la humedad, las condiciones meteorológicas, las propiedades físicas del material, se conoce además que las concentraciones tienen valores más altos en la noche por las condiciones de estabilidad atmosféricas [2].

- **Período de Semidesintegración**

Se denomina período de semidesintegración al tiempo necesario para que un cierto número de átomos se reduzca a la mitad de lo existente en el tiempo inicial y se analiza mediante una curva exponencial.



**Figura 9.** Ley de decaimiento radiactivo

**Fuente:** Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa [32]

Un elemento radiactivo necesita un tiempo equivalente a unos diez períodos de semidesintegración para reducir su radiactividad en lo más mínimo, por ejemplo, el uranio  $^{238}\text{U}$ , que se emplea en la datación de materiales geológicos antiguos [56], posee un período de semidesintegración de 4468 millones de años (esto implica que en la Tierra aún perdura la mitad del  $^{238}\text{U}$  que había primigeniamente).

Todos los elementos radiactivos se caracterizan, por lo tanto, por su período de semidesintegración, el radio  $^{226}\text{Ra}$  con un tiempo de 1660 años y el radón  $^{222}\text{Rn}$  en tan solo 3.8 días [30].

- **Propiedades del radón**

El radón forma parte, pero en muy pequeña proporción, de la composición del aire atmosférico. Su solubilidad en el agua es muy grande, del mismo modo que en otros líquidos, principalmente si son orgánicos [5].

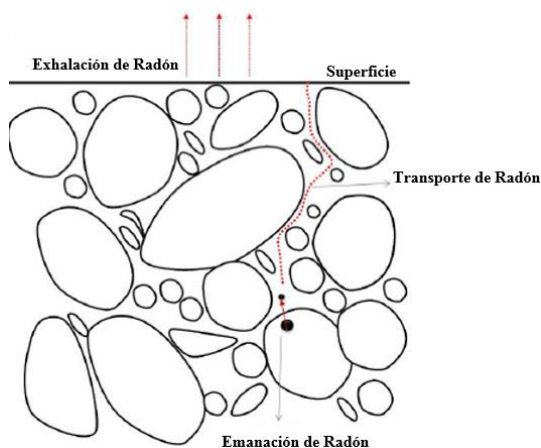
**Tabla 10.** Principales propiedades físicas y químicas del gas radón

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Punto de Ebullición	– 62 °C
Punto de Fusión	– 71 °C
Densidad (0 °C y 1 atm)	9.73 kg/m <sup>3</sup>
Densidad en estado líquido	0.005 kg/m <sup>3</sup> – 0.006 kg/m <sup>3</sup>
Solubilidad en agua a 0 °C	51.0 cm <sup>3</sup> radón / 100 cm <sup>3</sup> agua
Solubilidad en agua a 25 °C	22.4 cm <sup>3</sup> radón / 100 cm <sup>3</sup> agua
Solubilidad en agua a 50 °C	13.0 cm <sup>3</sup> radón / 100 cm <sup>3</sup> agua
Coefficiente de Difusión en el aire	1 x 10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s

### **Permeabilidad**

La permeabilidad relaciona la velocidad aparente del gas ( $^{222}\text{Rn}$ ), a través de los poros, no depende solo del volumen de sus poros, sino también de su tamaño, distribución e interconexión existente entre los mismos, lo cual tiene de suma importancia en el transporte de radón en el suelo.

Los átomos de uranio  $^{238}\text{U}$  fabrican átomos de radio  $^{226}\text{Ra}$ , pero al ser sólidos, ninguno tiene la oportunidad de desplazarse individualmente, si no es junto con la roca o suelo del que forman parte [51]. Por otro lado, los átomos formados de radón pueden desplazarse debido a su estado gaseoso, de este modo rocas agrietadas o suelos porosos permiten que este alcance fácilmente la superficie del suelo y, por tanto, al aire exterior [30].



**Figura 10.** Proceso de transportación de radón y su liberación en la atmósfera

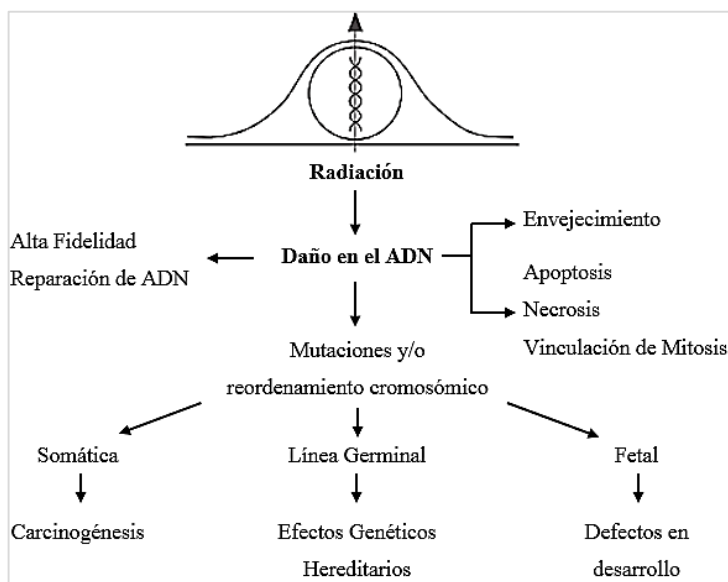
### Factores Atmosféricos

Los factores atmosféricos contribuyen al escape del radón del suelo y alcanzar la superficie [52]. Debido a la fácil disolución del gas en el agua, durante fuertes períodos de lluvias, se saturan los poros del terreno, y por ello se acumula en su interior logrando el desplazamiento de grandes cantidades de radón disueltas en el agua [53]. Como consecuencia una mínima cantidad del gas asciende a la superficie [30].

El radón es químicamente inerte, este factor implica considerablemente en su transportación [54]. Los átomos de radón pueden migrar lejos del sitio de su origen mediante dos procesos básicos, la difusión y la convección, este último depende de la gradiente de presión. El mecanismo de crear este gradiente de presión es la interacción del viento con el suelo y el calentamiento [5].

## Efectos sobre la salud

La energía producida por las radiaciones ionizantes es absorbida por las células muy rápidamente, (en un tiempo de  $10^{-7}$  segundos) causando unas lesiones que no son específicas, es decir, no se pueden distinguir de las causadas por otros agentes físicos o químicos. Estos cambios producidos por las radiaciones ionizantes en las células son siempre de tipo lesivo, suponen una alteración de los procesos normales de las mismas y además no se presentan regularmente de forma inmediata, sino que pueden tardar años en manifestarse [33].



**Figura 11.** Efectos biológicos de la exposición celular a la radiación ionizante

Fuente: UNSCEAR 2006 [34]

- **Medición de radón**

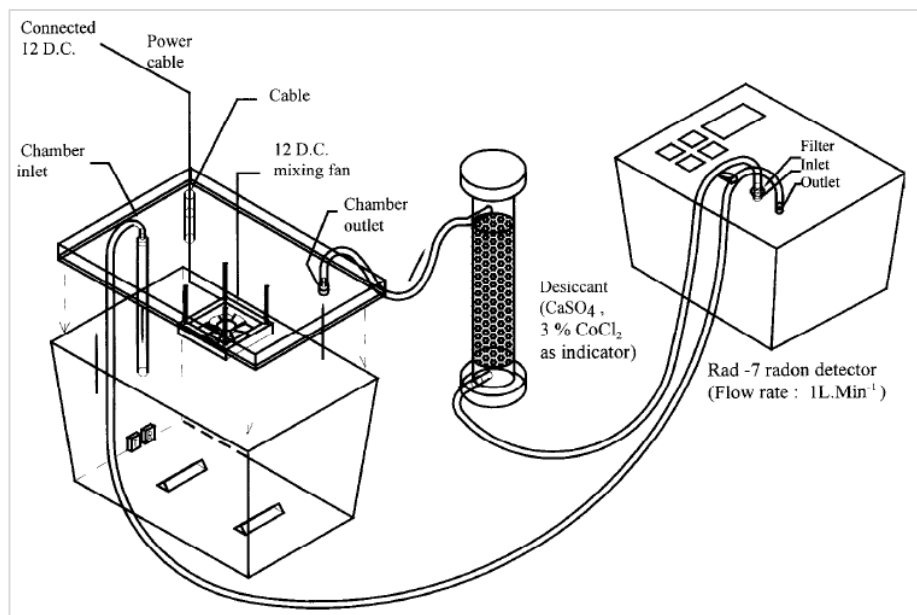
Existen diversos métodos para la detección del gas radón pero el uso de un sistema cerrado, en equilibrio gravitatorio e isotérmico y sin ningún fenómeno conectivo permite que el transporte de radón sea únicamente por difusión y descomposición radiactiva. [55]

La cámara cerrada hermética permite medir el gas radón exhalado de una forma pasiva, el sistema es conectado hacia un detector que registra la concentración, exposición y dosis de radón, basada en el principio de difusión mediante el uso de un detector de silicio [35].

**Tabla 11.** Características del equipo de medición de radón

<b>Principio de detección</b>	Cámara de difusión con diodo de silicio
<b>Unidad de medida</b>	SI (Bq/m <sup>3</sup> ) o US (pCi/l)
<b>Rango de medidas</b>	20 Bq/m <sup>3</sup> – 10 M Bq/m <sup>3</sup> (0.54 pCi/l – 270 000 pCi/l)
<b>Rango de dosis</b>	0 Sv – 1 Sv
<b>Límite inferior de detección</b>	100 Bq/m <sup>3</sup> (2.7 pCi/l) en 12 horas
<b>Tiempo de medición</b>	1 hora – 12 horas (graduable)
<b>Constante de tiempo de difusión</b>	1 hora – 2 horas (90% del valor final)
<b>Rango de temperatura de operación</b>	-20 °C – 50 °C

**Fuente:** Tesis Curi Guapizaca ESPOCH, Manual ALPHA-E [35]



**Figura 12.** Configuración experimental del método de la cámara cerrada

**Fuente:** Determination of Radon Emanation / Chao C. [36]

- **Extrapolación de concentración de radón**

El análisis del balance de masa que muestra la actividad de la cámara de radón, se puede expresar mediante las siguientes ecuaciones [36]:

$$J = \lambda_V * V * \Delta c \quad (5)$$

$$J = E_s * A \quad (6)$$

$$J = E_m * P \quad (7)$$

Dónde:

$J$  = Tasa de exhalación de radón (masa/área), Bq/h

$\lambda_V$  = Tasa de intercambio de aire,  $h^{-1}$

$V$  = Volumen del sector de análisis,  $m^3$

$A$  = Área de sector de análisis,  $m^2$

$P$  = Peso de material usado en sector de análisis, kg

$E_s$  = Exhalación de radón en área, Bq / ( $m^2 * h$ )

$E_m$  = Exhalación de radón en peso, Bq / ( $kg * h$ )

$\Delta c$  = Concentración de radón, Bq/ $m^3$

Mientras que la dosis efectiva debido a la inhalación de radón, se representa de la siguiente manera [35]:

$$DE = D_{FC} * C * T_F * \tau \quad (8)$$

Dónde:

$DE$  = Dosis anual efectiva debido a la inhalación de radón, Sv/año

$C$  = Concentración de radón, Bq/ $m^3$

$D_{FC}$  = Parámetro de Conversión, Sv / (Bq/ $m^3 * h$ )

$T_F$  = Factor de equilibrio, debido a sus descendientes.

$\tau$  = Tiempo medio de exposición, h/año



### 1.1.3.5 Límites y niveles de exposición de radón

La Directiva 2013/59/EUROATOM del Consejo de 5 de Diciembre de 2013 establece normas de seguridad básicas, las cuales aplican a cualquier situación de exposición a radiaciones ionizantes que no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica o en relación con el medio ambiente, a fin de proteger la salud humana a largo plazo.

La Directiva menciona aplicar en uno de sus puntos, en particular, a:

- La exposición de miembros de la población al radón en recintos cerrados y la exposición externa a la radiación procedente de los materiales de construcción.

#### Límite de dosis para la exposición poblacional

- Se fija en **1 mSv** por año el límite de la dosis efectiva para la exposición poblacional.
- Se establece niveles de referencia para las concentraciones de radón en recintos cerrados en lugares de trabajo, el nivel de referencia para el promedio anual de concentración de actividad en el aire no superará los **300 Bq/m<sup>3</sup>** [4].

La UNSCEAR 2006 en base a estudios, establece un valor anual de **1.15 mSv** el límite de dosis efectiva por exposición a fuentes de radón [34].

**Tabla 12.** Concentración de radón en el aire interior de edificaciones en países sudamericanos

País	Población 10 <sup>6</sup>	Radón Interior ( <sup>222</sup> Rn) (Bq/m <sup>3</sup> )			
		Media Aritmética	Media Geométrica	Valor máximo	Desviación Estándar
<b>América del Sur</b>					
Argentina	38.75	35	25	211	2
Brasil	186.40	81.95	–	310.0	–
Chile	14.42	25	–	86	–
<b>Ecuador</b>	<b>13.95</b>	<b>200</b>	–	–	–
Paraguay	4.96	28	–	51	–
Perú	27.97	32.29	–	50.20	–
Venezuela	26.75	52.50	–	346	–

Fuente: UNSCEAR 2006 [34]

La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece niveles de referencia para el radón, tomando en cuenta varios factores como la distribución, el número de hogares existentes con altas concentraciones, el nivel medio aritmético de radón en interiores de edificaciones y la prevalencia del tabaquismo.

De acuerdo a los últimos datos científicos, la OMS propone un nivel de referencia de **100 Bq/m<sup>3</sup>** para minimizar los riesgos a la salud debido a la exposición de radón en interiores.

Sin embargo, las condiciones específicas de cada país no permiten alcanzar el nivel mencionado, existe un valor de referencia que no debe exceder los **300 Bq/m<sup>3</sup>**, lo que representa aproximadamente **10 mSv** por año, según cálculos de la Comisión Internacional de Protección Radiológica [33].

#### **1.1.3.6 Provincia de Tungurahua**

Tungurahua es una provincia de la República del Ecuador, está situada en el centro de la Región Interandina. En extensión territorial presenta un área aproximada de 3336.60 km<sup>2</sup>, siendo la Provincia más pequeña del Ecuador, representando el 1.24% de la superficie nacional, con una densidad poblacional de 134.9 ha/km<sup>2</sup>, repartida en nueve cantones, limita al Norte con las Provincias de Cotopaxi y Napo, al Oriente con la Provincia de Pastaza, al Occidente con las Provincias de Cotopaxi y Bolívar y al Sur Provincias de Chimborazo y Morona Santiago.

La Provincia de Tungurahua presenta un relieve muy desigual en su topografía pues la presencia de volcanes, montes, planicies y valles representan una diversidad geológica alrededor de su territorio, además de presentar suelos que se caracterizan por ser de naturaleza volcánica formados a partir de materiales piroplásticos producto de erupciones pasadas del volcán que lleva su mismo nombre [37].

- **División Política de la provincia de Tungurahua**

La Provincia de Tungurahua presenta 9 cantones:



**Figura 13.** División Política de la provincia de Tungurahua

**Fuente:** Honorable Consejo Provincial de Tungurahua [37]

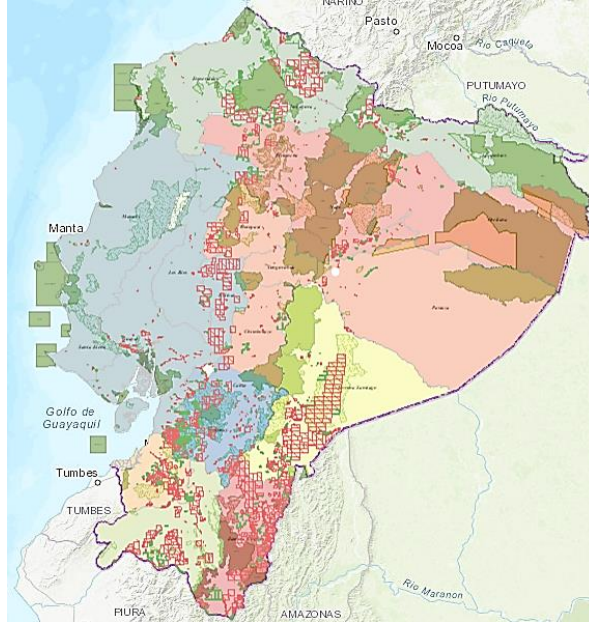
### **1.1.3.7 Agencia de regulación y control minero ARCOM**

La Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) de la República de Ecuador en su 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.
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 [38].

Es importante destacar estos puntos porque permiten establecer una ayuda, guía para el análisis del gas radiactivo natural radón, garantizando el aprovechamiento de recursos naturales del medio ambiente ecuatoriano.

La ARCOM conjuntamente con el Ministerio de Minería ha desarrollado un Catastro Minero con Sistema de Referencia: WGS – 84 UTM 17 SUR, en el cual se representa con un mapa base topográfico de las minas y canteras de la República del Ecuador.



**Figura 14.** Catastro minero con sistema de referencia: WGS – 84 UTM

**Fuente:** Agencia de Regulación y Control Minero ARCOM [38]

#### 1.1.4 Hipótesis

##### **Hipótesis de Trabajo**

La presencia del gas natural radiactivo radón en los agregados pétreos que se expenden en minas y canteras de la provincia de Tungurahua influyen en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales e incide en la construcción de edificaciones.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar la concentración del gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en los agregados pétreos más utilizados en la construcción en la provincia de Tungurahua.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Seleccionar muestras representativas de agregados pétreos que se distribuyen en las minas y canteras de la provincia de Tungurahua.
  
- Elaborar un mapa de red de distribución de agregados pétreos que expenden las minas y canteras de la provincia de Tungurahua.
  
- Relacionar propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos utilizados en la construcción, analizados con la concentración de radón  $^{222}\text{Rn}$  obtenido.
  
- Elaborar un mapa de minas y canteras en función de porcentaje de concentración de radón  $^{222}\text{Rn}$  presentes en los agregados pétreos.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1 Nivel o Tipo de Investigación

A continuación se describen los diferentes tipos de investigación utilizados en el presente proyecto experimental “ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE GAS RADIATIVO RADÓN EN AGREGADOS PÉTREOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU INCIDENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN”.

##### 2.1.1 Investigación exploratoria

Una *investigación exploratoria* permite analizar que los estudios acerca del gas radiactivo radón presente en agregados pétreos tanto en la provincia de Tungurahua como en la República de Ecuador no han sido abordados correctamente en su totalidad, no se detalla la radiación ionizante natural presente en el medio ambiente y no existe normativa aplicable a nivel nacional que permita realizar construcciones sustentables, por aquello se prioriza la creación de un entorno saludable y no tóxico en edificaciones.

##### 2.1.2 Investigación descriptiva

Mediante una *investigación descriptiva*, las propiedades físicas y mecánicas de los agregados gruesos y finos conjuntamente con las propiedades del radón se realiza un análisis cualitativo – cuantitativo que posibilita determinar la presencia del gas radiactivo natural existente en materiales usados en la construcción, basados principalmente en normativa nacional en la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto de Normalización (NTE INEN) e internacional como la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM), Organización Mundial de la Salud (OMS), Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) y la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM).

### 2.1.3 Investigación correccional

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

## 2.2 Población y Muestra

### 2.2.1 Población

La población que se ha establecido para el desarrollo de la investigación fue determinada mediante información obtenida en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) proporcionado por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) de los cantones de la provincia de Tungurahua en donde se obtuvo la siguiente información:

#### 2.2.1.1 Características físicas de cantones de la provincia de Tungurahua

La provincia de Tungurahua ubicada en el centro de la Región Interandina de la República del Ecuador, constituida por 9 cantones:

**Tabla 13.** Características de cantones de provincia de Tungurahua

Nro.	Cantón	Ubicación geográfica	Extensión territorial	Características físicas
1	Ambato	Latitud: 1° 14' Sur Longitud: 78° 37' Occidente	1016.45 km <sup>2</sup>	- Configuración orográfica muy accidentada. - Serie de lomas, colinas, quebradas y barrancos formando amplios valles.

(Continúa)

Nro.	Cantón	Ubicación geográfica	Extensión territorial	Características físicas
2	Baños	Latitud: 2° 55' Sur Longitud: 79° 04' Occidente	1066.00 km <sup>2</sup>	- Litología tipo esquito biótico. - Presencia de arcilla semimetamorfizada debido a repetidas erupciones.
3	Pelileo	Latitud: 1°19'47'' Sur Longitud: 78°32'36'' Occidente	201.50 km <sup>2</sup>	- Relieves de valles y vertientes interandinas. - Graben rellenados con sedimentos volcánicos.
4	Píllaro	Latitud: 1°10' Sur Longitud: 78°32' Occidente	445.43 km <sup>2</sup>	- Unidades litológicas con diferentes períodos de formación. - Diferente material geológico (rocas y sedimentos)
5	Quero	Latitud: 1°14'56'' Sur Longitud: 78°37'0.3'' Occidente	173.81 km <sup>2</sup>	- Procesos geológicos modifican topografía. - Cenizas volcánicas como material predominante.
6	Cevallos	Latitud: 1°21'00'' Sur Longitud: 78°37' Occidente	18.78 km <sup>2</sup>	- Suelo arenoso, derivado de material piroplástico. - Material meteorizado con baja retención de humedad.
7	Mocha	Latitud: 1°25'00'' Sur Longitud: 78°40' Occidente	86.27 km <sup>2</sup>	- Relieve accidentado, escarpado y montañoso. - Páramos y relieve con colinas medianas.
8	Tisaleo	Latitud: 1°21'00'' Sur Longitud: 78°40' Occidente	59.90 km <sup>2</sup>	- Suelos de orden Inceptisoles y Entisoles y sub orden Andes. - Limosos con arena muy fina, negros y profundos
9	Patate	Latitud: 1°19'00'' Sur Longitud: 78°31' Occidente	314.25 km <sup>2</sup>	- Diversidad de pisos climáticos propios de la región interandina.

**Fuente:** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50]



### **2.2.1.2 Minas y Canteras de la provincia de Tungurahua**

La Agencia de Regulación y Control Minero de la República del Ecuador (ARCOM) mediante un visor geográfico del catastro minero facilita el análisis de minas y canteras de la provincia de Tungurahua que se encuentran registradas previo a la extracción, exploración de agregados pétreos [38]. Obteniendo un universo poblacional de 79 minas y canteras: (ver anexo 1)

Los cantones Cevallos, Mocha, Patate, Quero y Tisaleo no cuenta con minas y canteras registradas en la ARCOM, por lo tanto no tienen la autorización de realizar la previa exploración, explotación y extracción de agregados en sectores estratégicos del medio ambiente tungurahense.

Debido al estudio del gas radiactivo radón en agregados pétreos, es importante destacar principales propiedades que abarcan dicho gas y los factores del entorno que influyen en su emanación a la superficie. Mediante un análisis correccional con diferentes investigaciones realizadas a nivel mundial, se ha tomado en cuenta características para determinar minas y canteras que involucren la zona de estudio.

### **2.2.1.3 Factores físicos que favorecen la concentración de radón**

#### **Estructura Geológica**

Los suelos son producto de varios factores (geología, relieve, tiempo, vegetación y clima). Constituye un importante recurso que permite implementar diversas actividades entre ellas la minería e industria. El estudio de la carta geológica de los cantones Ambato, Baños, Pelileo y Píllaro posibilita definir la localización de uranio y a su vez del gas radón en suelos tungurahenses, ya que su concentración depende del tipo de roca y suelo.

#### **- Rocas volcánicas o Ígneas extrusivas**

Son rocas piroclásticas, originadas por la cristalización de los materiales arrojados por los volcanes. Sus propiedades ingenieriles dependen de su solidificación y por este

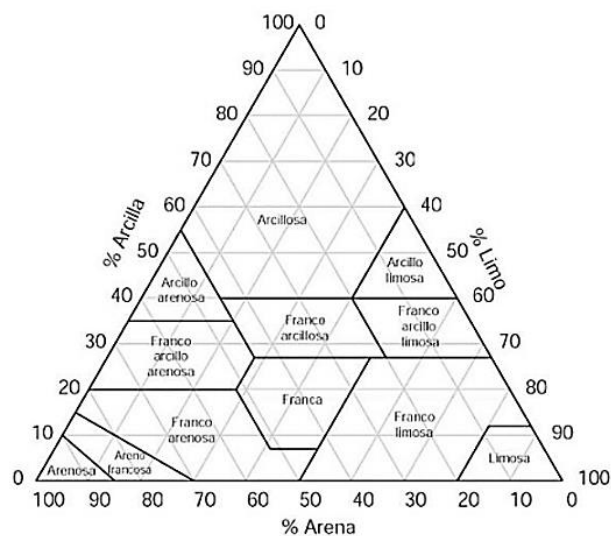
motivo presentan una gran variedad en resistencias y permeabilidad. Una desventaja es su fácil desintegración cuando se secan y humedecen y la presencia de arcillas activas. Las tobas, andesitas y basaltos son estructuras geológicas que destacan en la provincia de Tungurahua, según las variaciones del suelo y el volumen de uranio contenido en ellos dependerá la cantidad de gas radón [39].

- **Rocas sedimentarias**

Las rocas sedimentarias se forman por la sedimentación y cementación de arcilla, arena, grava. El tamaño de sus partículas y estratificación determinan la estabilidad de las rocas. Areniscas, cuarcitas, lutitas, cangahua, ignimbritas son estructuras geológicas que permiten obtener los agregados pétreos como materiales de construcción, la emanación de gas radón en rocas sedimentarias es menor a la producida en rocas extrusivas por los procesos físicos – químicos que sufren para ser materiales consolidados.

- **Textura de los Suelos**

La textura del suelo permite determinar la clasificación de los suelos tungurahueses mediante su aspecto físico, influye únicamente en la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la concentración de radón toma en cuenta la distribución del tamaño de sus partículas [39].



**Figura 15.** Sistema de clasificación de texturas de suelos

**Fuente:** Moreira, F. Tesis de Magister en Vías Terrestres [39]

## **Precipitación**

Las lluvias como factor detonante de desplazamientos del gas radón en el agua se encuentran relacionadas con su duración, intensidad y distribución. Precipitaciones de gran intensidad en períodos cortos de tiempo y precipitaciones de poca intensidad en períodos extensos de tiempo pueden desencadenar un ambiente desfavorable a la saturación de poros, logrando acumulación de agua en su interior y la disolución del gas radiactivo en el agua.

## **Temperatura**

La gran diversidad de pisos climáticos propios de la región interandina en la provincia de Tungurahua, demuestran una variedad de temperatura y presión atmosférica que inciden en los niveles del gas radón tanto en el aire como en agregados ubicados en diferentes zonas. Un suelo húmedo permeable con una presión atmosférica baja y una temperatura suave favorece la emanación de radón, mientras que un suelo seco, una presión atmosférica alta y una temperatura muy baja dificultan la emanación de radón.

## **Población urbana y rural**

La población no influye en lo absoluto con la emanación de radón, sin embargo la población urbana y rural cercana de una producción minera, puede ser afectada por la exhalación que se pueda emitir, además que la construcción de edificaciones de esta población con materiales pétreos con gas radiactivo en ambientes no ventilados produce la inhalación del radón y de sus productos de semidesintegración (polonio, plomo, bismuto), que se depositan en partículas finas y polvo en suspensión, que posteriormente el ser humano respira introduciendo a los elementos radiactivos directamente en el tejido pulmonar y aumentar las posibilidades de cáncer de pulmón, razón por la cual es considerada una variable independiente para seleccionar áreas mineras relacionadas con el radón.

### 2.2.2 Muestra

Se ha realizado un *muestreo no probabilístico deliberado* con los factores que facilitan la concentración de radón de las diferentes concesiones mineras de la provincia de Tungurahua que obtienen agregados pétreos para la construcción, es decir la estructura geológica, precipitación, temperatura y población urbana y rural a las cuales las zonas mineras se encuentran expuestas son variables destacadas que permiten la selección de áreas mineras en relación a la emanación de radón existente en cada sector (ver anexo 2,3,4,5).

Se ha considerado un nivel de importancia para las variables mencionadas, debido a la cantidad de emanación de gas radón que puede presentar los agregados pétreos de las diferentes zonas mineras, conjuntamente con la información geofísica obtenida de cada sector de la provincia de Tungurahua, por lo tanto se considera un valor de:

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

El proceso y selección de muestra se realiza en el capítulo III

## 2.3 Materiales y Equipos

### 2.3.1 Materiales

Para obtener agregados pétreos se considera muestras alteradas e inalteradas, las cuales permiten determinar las propiedades físicas y mecánicas de los áridos finos y gruesos, del mismo modo permite realizar el análisis de gas radón emanado por sus partículas.

**Tabla 14.** Métodos para obtención de agregados

Identificación	Método	Muestra	Tipo de Agregado
A – P – 1	Pozo a cielo abierto	Alterada	Grueso
		Inalterada	Fino
A – P – 2	Pozo a cielo abierto	Alterada	Grueso
		Inalterada	Fino
A – Z – 1	Zanja abierta	Alterada	Grueso
		Alterada	Fino
A – Z – 2	Zanja abierta	Alterada	Grueso
		Alterada	Fino

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

### 2.3.2 Equipos

#### 2.3.2.1 Granulometría de Agregado Fino y Grueso

**Balanza de Laboratorio:** Equipo de precisión electrónico profesional marca T-Scale 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", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200) que permiten separar las partículas de los agregados pétreos en diferentes tamaños.

**Recipientes:** Objetos cóncavos metálicos o de plástico que permiten el pesado y transporte de los agregados pétreos.

**Tamizadora:** Equipo electrónico profesional marca CONTROLS modelo 15-D0407/BZ, con una potencia de 400 W apróx, presenta un temporizador de 0 a 99 minutos en pasos de 1 minuto con funcionamiento continuo, que permite tamizar correctamente el agregado fino.

### 2.3.2.2 Densidad de los Agregados

**Recipiente de medida:** De forma cilíndrica, metálico, de preferencia de manijas. De gran rigidez para conservar su forma con un volumen de 20235 cm<sup>3</sup> y una masa de 9800 gr. Estanco, con sus caras superior e inferior lisas y a nivel de similares dimensiones.

**Varilla de compactación:** Varilla recta, lisa de acero, de 1.6 cm de diámetro y aproximadamente de 60 cm de longitud, con puntas semiesféricas.

**Balanza:** Equipo mecánico profesional de acero altamente durable para aplicaciones industriales con graduación de 0.5 kg.

**Equipo complementario:** Balde de plástico graduado con volumen de 200 litros y soguilla de sostén de balde para determinar la densidad real del agregado grueso, embudo, termómetro y pipeta permite el cálculo de la densidad real del agregado fino.

**Canastilla:** Recipiente cilíndrico metálico mallado para evitar atrapar el aire cuando sea sumergida.

**Picnómetro:** Envase de vidrio de 500 ml marca PYREX, de cuello estrecho permite determinar la densidad real del agregado fino.

### 2.3.2.3 Contenido de Humedad

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

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

### 2.3.2.4 Permeabilidad

**Permeámetro de Carga Constante:** Equipo que permite medir la permeabilidad de los agregados ante el paso de un fluido a través de sus partículas. El equipo viene complementado con las siguientes partes:

- Embudo para colocación de fluido.
- Tubos plásticos de diámetro mínimo, que permite el paso del fluido.
- Soporte.
- Envase cilíndrico de plástico, para colocación de agregado.
- Piedra pómez, necesarias para evitar la pérdida de fluido a través del envase cilíndrico.
- Llaves de paso.
- Flexómetro, permite medir la gradiente hidráulica.
- Cronómetro.
- Calibrador pie de rey, medir el diámetro interior de envase cilíndrico



**Figura 16.** Permeámetro de carga constante – método directo

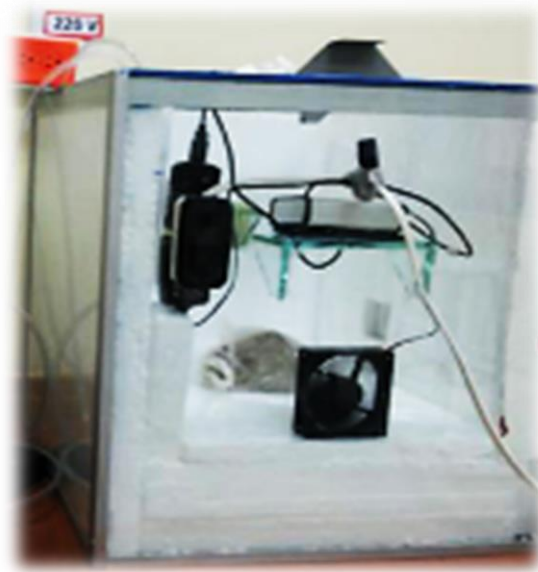
**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

### **2.3.2.6 Medición de radón**

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

- Seis láminas de vidrio crudo 50 x 50 cm, forma de cubo con espesor de 0.5 mm.
- Silicona para unión de vidrios.
- Volumen de 125 L.
- Lámina superior movable.
- Tres agujeros temporales, dos de ellos de 1 cm de diámetro para la conexión de dispositivos y el otro de 2.5 cm de diámetro para ingreso de la muestra [35].

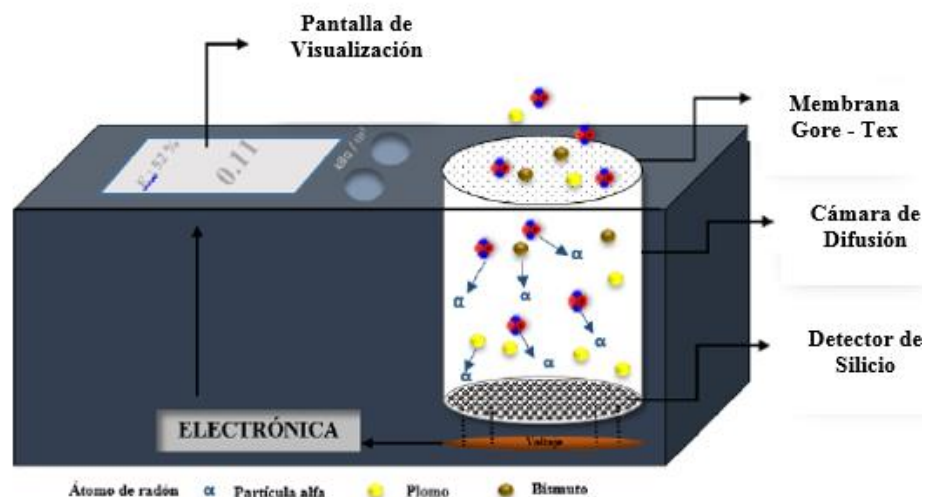




**Figura 17.** Cámara cerrada para medición de radón

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Alpha – E:** Equipo de monitoreo, dispositivo de medición pasiva para detectar y registrar la concentración, exposición y dosis de radón (ver tabla 11). El gas radón se difunde a través de los orificios de entrada hacia el interior de la cámara de difusión. Una membrana Gore – Tex que cubren a los agujeros permite la retención de los productos de decaimiento del radón (bismuto, plomo, polonio) [35].



**Figura 18.** Elementos de control de Alpha – E

**Fuente:** Tesis Curi Guapizaca ESPOCH, Manual ALPHA-E [35]

### **2.3.2.7 Software SIG**

Debido al avance de la tecnología, los ordenadores han mejorado rotundamente su capacidad de procesamiento y reordenamiento de información, los cuales han permitido a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) transformar los datos geográficos en información geográfica, dichos datos comienzan como atributos de retención de características posicionales sin procesar, mientras que la información geográfica a menudo son aplicaciones de software interactivos [40].

Las capacidades de los SIG son tan amplias y sus usos tan generalizados en la sociedad, la geografía, la planificación urbana y regional, y el mundo técnico en general, una colección organizada de hardware y software de computadoras, personas, dinero e infraestructura organizada que hace posible la adquisición y almacenamiento de datos de atributos geográficos, con fines de recuperación, análisis, síntesis y visualización para promover la comprensión y la toma de decisiones [41].

Mediante el uso de la información proporcionada por el ARCOM, se ha procedido a la recolección, manejo de las diferentes ubicaciones geográficas de minas y canteras existentes en la provincia de Tungurahua.

## 2.4 Métodos

### 2.4.1 Plan de recolección de datos

El presente proyecto aplica una metodología experimental, por consiguiente, se establece el siguiente procedimiento:

#### 2.4.1.1 Selección de lugares de extracción

Los agregados pétreos se extraen de puntos estratégicos de la cantera seleccionada de acuerdo al muestreo no probabilístico deliberado, previamente a aquello se realiza un recorrido interno por la mina, como resultado se plantea cuatro lugares específicos, de los cuales dos de ellos se encuentran en zonas en proceso de extracción de material, el tercer lugar se encuentra en una zona sin explotar y finalmente el último lugar seleccionado es una zona explotada.

#### 2.4.1.2 Extracción de agregados pétreos

El proceso de extracción de agregados pétreos se lo realiza por los siguientes métodos:

**Tabla 15.** Extracción de muestras de agregados pétreos.

N°	Método	Muestras	Ubicación	Dimensiones
1	Pozo a cielo abierto	Muestra alterada e inalterada	Zona sin explotar	1 m x 1 m x 1.50 m
2	Zanja abierta	Muestra alterada	Zona en proceso de explotar	Altura de zanja
3	Pozo a cielo abierto	Muestra alterada e inalterada	Zona en proceso de explotar	1 m x 1 m x 1.50 m
4	Zanja abierta	Muestra alterada	Zona explotada	Altura de zanja

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

### 2.4.1.3 Pozos a Cielo Abierto

Pozo cuadrado con dimensiones de 1 m x 1 m con una profundidad de 1.5 m, en esta excavación no pudo llevarse a mayores profundidades debido a un cambio de estrato de suelo y por la presencia de suelos friccionantes (óptimos para el estudio). Se realizaron dos pozos a cielo abierto en la mina de estudio y de cada uno se obtuvo muestras alteradas e inalteradas.



**Figura 19.** Excavación manual de pozos a cielo abierto

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

### 2.4.1.4 Zanjas abiertas o cortes

De un corte ubicado en un lugar apropiado para la extracción de material, se obtuvo muestras de agregado grueso y fino. La altura de los zanjas analizadas presentaban (5.5 m y 2.8 m), de cada zanja se obtuvo muestras alteradas.



**Figura 20.** Extracción de agregados pétreos en zanjas

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

#### **2.4.1.5 Muestras alteradas de agregados**

Las muestras alteradas de agregados fueron sometidas al estado seco al aire durante 48 horas, posteriormente a ser ensayadas, con excepción de la muestra para contenido de humedad, debido a que se realiza inmediatamente después de su extracción.



**Figura 21.** Muestras alteradas de agregado grueso y fino en estado seco al aire

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

#### 2.4.1.6 Muestras inalteradas de agregados

Las muestras inalteradas de agregado pétreo obtenidas en el campo fueron empaquetadas correctamente y envueltas en material de polietileno de alta densidad con espesor de 30 micrómetros y cinta adhesiva para evitar la pérdida de gas radiactivo natural radón en el transporte al laboratorio.

#### 2.4.1.7 Ensayos de propiedades físicas y mecánicas de los agregados

De acuerdo a una normativa nacional e internacional acerca de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, se realiza varios ensayos que permiten verificar la calidad de los agregados pétreos para su posterior uso y elaboración en hormigón.

**Tabla 16.** Ensayos de propiedades físicas y mecánicas de agregados

Ensayo	Norma
Contenido de humedad de los agregados pétreos	ASTM S2216 – 71
Análisis Granulométrico	NTE INEN 696
Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino	NTE INEN 858
Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino	NTE INEN 858
Permeabilidad de los agregados	AASHTO T – 125 – 66 / ASTM D – 2434
Gravedad específica	AASHTO T – 100 – 70 / ASTM D 854 – 58
Resistencia a la Abrasión	ASTM C 131 – 14

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

#### 2.4.2 Plan de procesamiento y análisis de información

Se ha determinado un plan estratégico para el análisis y recolección de información acerca de las propiedades mecánicas y físicas de los agregados pétreos y se lo presenta a continuación:

- Revisión de información bibliográfica referente a investigaciones sobre el gas radón en materiales usados en la construcción.
- Obtención y almacenamiento de muestras de agregados pétreos de zonas más significativas de la cantera seleccionada, debidamente transportadas a los laboratorios respectivos de estudio.
- Lectura y análisis de normas INEN, ASTM, AASHTO para agregados pétreos, encargadas de procedimiento, condiciones y equipos adecuados para obtener resultados veraces.
- Determinación de contenido de humedad, capacidad de absorción, granulometría y permeabilidad, propiedades físicas de los agregados que intervienen con la presencia de gas radón.
- Determinación de propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos que influyen en el cálculo de hormigones tales como densidad aparente suelta y compactada, gravedad específica, densidad real del cemento y resistencia a la abrasión.
- Determinación del gas radón presente en los agregados pétreos de la cantera mediante el método de la cámara cerrada.
- Determinación del gas radón emanado en hormigones elaborados con los agregados pétreos anteriormente mencionados.
- Análisis e interpretación entre resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas de agregados pétreos y el gas radón.
- Planteamiento de conclusiones y recomendaciones en base a los ensayos y resultados obtenidos de los agregados pétreos.

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Análisis y discusión de los resultados**

##### **3.1.1 Condiciones físicas y meteorológicas de canteras de la provincia de Tungurahua**

De acuerdo a la investigación realizada y analizada en el capítulo anterior, las variables independientes que facilitan la emanación, transporte y exhalación de gas radón  $^{222}\text{Rn}$  e inciden en las diferentes concesiones mineras de la provincia de Tungurahua y por ende, en los agregados pétreos utilizados en la construcción son:

- Estructura geológica del suelo con su respectiva textura.
- Precipitación de la zona de las áreas mineras.
- Temperatura anual promedio.
- Población urbana o rural cercana a las zonas de extracción de agregados pétreos.

##### **3.1.1.1 Estructura geológica de canteras**

Los cantones de la provincia de Tungurahua se encuentran asentados sobre depósitos volcánicos cuya dinámica de transporte y asentamiento es altamente destructiva físicamente como radiactivamente debido a las avalanchas de escombros volcánicos, caídas piroclásticas por colapsos gravitacionales de domos de lava y potentes flujos de lodo y escombros, es así que la región dentro del área de estudio, existen distintas clases de formas: relieve escarpado, relieve montañoso, colinas medianas, valles interandinos, vertientes cóncavas, vertientes irregulares y superficies aplanamiento debido a la presencia de la Cordillera Occidental de los Andes, y el Carihuairazo.



**Tabla 17.** Estructura geológica de áreas mineras de la provincia de Tungurahua

N°	Área Minera	Cantón	Estructura Geológica	Textura
1	Las Juntas I	Pelileo	Flujos de lava dacíticas a andesitas	Afloramiento rocoso
2	Valle Hermoso	Pelileo	Flujos piroclásticos, ignimbritas	Afloramiento rocoso
3	Catimbo	Pelileo	Flujos piroclásticos, ignimbritas	Afloramiento rocoso
4	Chumaqui	Pelileo	Flujos piroclásticos, ignimbritas	Afloramiento rocoso
5	Corazón	Pelileo	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
6	Tierra Blanca	Pelileo	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
7	Minera Alfonso	Pelileo	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
8	Condorahua grande	Pelileo	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
9	Rumichaca	Pelileo	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
10	Rumichaca I	Pelileo	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
11	Solar I	Pelileo	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
12	Quillán Alemania	Píllaro	Andesitas a dacíticas y tobas	Franco arcilloso
13	Pucahuaico III	Píllaro	Andesitas a dacíticas y tobas	Franco arcilloso
14	Pucahuaico II	Píllaro	Andesitas a dacíticas y tobas	Franco arcilloso
15	Pucahuaico I	Píllaro	Andesitas a dacíticas y tobas	Franco arcilloso
16	Virginia	Píllaro	Andesititas fíricas con piroxenos	Franco arcilloso
17	Carla I	Píllaro	Andesititas fíricas con piroxenos	Franco arcilloso
18	Alexandra	Píllaro	Andesititas fíricas con piroxenos	Franco arcilloso
19	Los Ángeles	Baños	Cuarcita filita, grafito volcánica	Afloramiento rocoso
20	Mina Guevara	Baños	Cuarcita filita, grafito volcánica	Afloramiento rocoso
21	Gran Salomón	Baños	Cuarcita filita, grafito volcánica	Afloramiento rocoso
22	San Francisco I	Baños	Cuarcita filita, grafito volcánica	Afloramiento rocoso
23	San Francisco II	Baños	Cuarcita filita, grafito volcánica	Afloramiento rocoso
24	Las Palmeras	Baños	Cuarcita filita, grafito volcánica	Afloramiento rocoso
25	Andino	Baños	Arenisca, cuarcita	Franco arenoso
26	Juive La Pampa	Baños	Basalto, toba	Afloramiento rocoso
27	Mina Villegas	Baños	Basalto, toba	Afloramiento rocoso
28	El Arenal	Baños	Basalto, toba	Afloramiento rocoso
29	Cantera Volcán	Baños	Basalto, toba	Afloramiento rocoso
30	El Viejo Minero II	Baños	Arenisca, arcilla roja	Franco arcilloso
31	Cantera Isabelita	Baños	Arenisca, arcilla roja	Franco arcilloso
32	Sixto	Baños	Arenisca, arcilla roja	Franco arcilloso
33	El Viejo Minero I	Baños	Flujos de lava dacíticas a andesitas	Franco arcilloso
34	El Viejo Minero	Baños	Flujos de lava dacíticas a andesitas	Franco arcilloso
35	Los Pájaros	Baños	Flujos de lava dacíticas a andesitas	Franco arcilloso
36	El Viejo Minero III	Baños	Flujos de lava dacíticas a andesitas	Afloramiento rocoso

37	Cantera Medina	Baños	Flujos de lava dacíticas a andesitas	Afloramiento rocoso
38	Mina Mora	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
39	Kumochi	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
40	Canteras Nieto	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
41	Minas Ambato II	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
42	Minas Ambato	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
43	Alvortiz	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
44	Mina Ambato III	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
45	Cachurco	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
46	Villacrescis	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
47	Copeg	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
48	Ecarem	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
49	Atung La Península	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
50	Vazquez&Vazquez	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
51	El Capulí	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
52	Avestruz I	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco arenoso
53	Salomón	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
54	Rocadura	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
55	Piedradura	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
56	Andesita	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
57	Cantera Tigualó	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
58	Constante Cruz	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
59	Omar Elías	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
60	Los Muelles	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
61	Puerta del Sol	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
62	Canteras el Placer	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
63	Acosta	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
64	Toalló	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
65	Ariel	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
66	Luis Miguel	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
67	Marsal I	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
68	Marsal	Ambato	Andesitas piroxénicas y tobas	Franco arenoso
69	San Sebastián	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
70	Corazón de Jesús	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
71	Canteras Tilulúm	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
72	Imeldita	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
73	Playa Llagchoa	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
74	Canteras Salvador	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco

75	Amanta II	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
76	Amanta III	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Franco
77	Cantera M&T	Ambato	Andesitas a dacíticas y tobas	Franco arcilloso
78	El Salado	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Afloramiento rocoso
79	El Salado I	Ambato	Areniscas tobáceas de grano grueso	Afloramiento rocoso

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

### 3.1.1.2 Población, Temperatura y Precipitación de canteras

**Tabla 18.** Condiciones meteorológicas de áreas mineras del cantón Pelileo

N°	Área Minera	Temperatura °C	Precipitación mm/año	Población (hab)	Sector
1	Las Juntas I	14 – 16	1000 – 1500	14511	Pelileo
2	Valle Hermoso	12 – 14	600 – 800	14511	Pelileo
3	Catimbo	12 – 14	600 – 800	6380	García Moreno
4	Chumaqui				
5	Corazón	14 - 16	400 – 600	2638	El Rosario
6	Tierra Blanca				
7	Minera Alfonso				
8	Condorahua Grande	12 – 14	600 – 800	2445	Chiquicha
9	Rumichaca				
10	Rumichaca I				
11	Solar I				

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 19.** Condiciones meteorológicas de áreas mineras del cantón Baños

N°	Área Minera	Temperatura °C	Precipitación mm/año	Población (hab)	Sector
1	Los Ángeles	18 – 20	4000	1246	Río Negro
2	Mina Guevara	18 – 20	3000 – 4000	1246	Río Negro
3	Gran Salomón	16 – 18	3000 – 4000	1246	Río Negro
4	San Francisco I				
5	San Francisco II				
6	Las Palmeras				
7	Andino	14 – 16	1500 – 2000	2532	Ulba
8	Juive la Pampa	14 – 16	1000 – 1500	12995	Baños Cabecera Parroquial
9	Minas Villegas				
10	El Arenal				
11	Cantera Volcán				
12	El Viejo Minero II				
13	Cantera Isabelita				
14	Sixto				
15	El Viejo Minero I				
16	El Viejo Minero				
17	Los Pájaros				
18	El Viejo Minero III				
19	Cantera Medina				

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 20.** Condiciones meteorológicas de áreas mineras del cantón Ambato

N°	Área Minera	Temperatura °C	Precipitación mm/año	Población (hab)	Sector
1	Mina Mora	14 – 16	500 – 600	13353	Ambato
2	Kumochi				
3	Canteras Nieto				
4	Mina Ambato II				
5	Mina Ambato				
6	Alvortiz				
7	Mina Ambato III				
8	Cachurco				
9	Villacrescis				
10	Copeg				
11	Ecarem				
12	Atung La Península				
13	Vazquez&Vazquez	14 – 16	500 – 600	4475	Cunchibamba
14	El Capulí	12 – 14	500 – 600	4475	Cunchibamba
15	Avestruz I				
16	Salomón				
17	Rocadura				
18	Piedradura				
19	Andesita				
20	Cantera Tigualó				
21	Constante Cruz				
22	Omar Elías				
23	Los Muelles				
24	Puerta del Sol				
25	Canteras El Placer				
26	Acosta	12 – 14	500 – 600	21003	Santa Rosa
27	Toalló	12 – 14	600 – 800	21003	Santa Rosa
28	Ariel				
29	Luis Miguel				
30	San Sebastián	10 – 12	600 – 800	21003	Santa Rosa
31	Corazón de Jesús				
32	Canteras Tilulúm				
33	Marsal I	12 – 14	600 – 800	7456	Juan Benigno Vela
34	Marsal				
35	Imeldita	10 – 12	600 – 800	7456	Juan Benigno Vela
36	Playa Llagchoa				
37	Canteras Salvador				
38	Amanta II				
39	Amanta III				
40	Cantera M&T				
41	El Salado	8 – 10	600 – 800	12128	Pilahuín
42	El Salado I				

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 21.** Condiciones meteorológicas de áreas mineras del cantón Píllaro

N°	Área Minera	Temperatura °C	Precipitación mm/año	Población (hab)	Sector
1	Quillán Alemania	12 – 14	600 – 800	1504	Emilio María Terán
2	Pucahuaico I				
3	Pucahuaico II				
4	Pucahuaico III				
5	Virginia	12 – 14	400 – 600	11200	San Andrés
6	Carla I				
7	Alexandra				

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

### **3.1.1.3 Representación gráfica de condiciones físicas y meteorológicas de canteras**

Mediante gráficas estadísticas, se realiza el muestreo no probabilístico deliberado con la población total de 79 concesiones mineras registradas en la ARCOM, debido a la gran cantidad de canteras agregados pétreos en la provincia de Tungurahua, por lo tanto únicamente se registra las zonas mineras más representativas.

Se procede a determinar la relación entre todas las variables independientes que influyen en las zonas mineras de cada cantón, se tiene:

- Estructura geológica
- Precipitación
- Temperatura
- Población
- Estructura geológica – Precipitación
- Estructura geológica – Temperatura
- Precipitación – Temperatura
- Estructura geológica – Precipitación – Temperatura



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

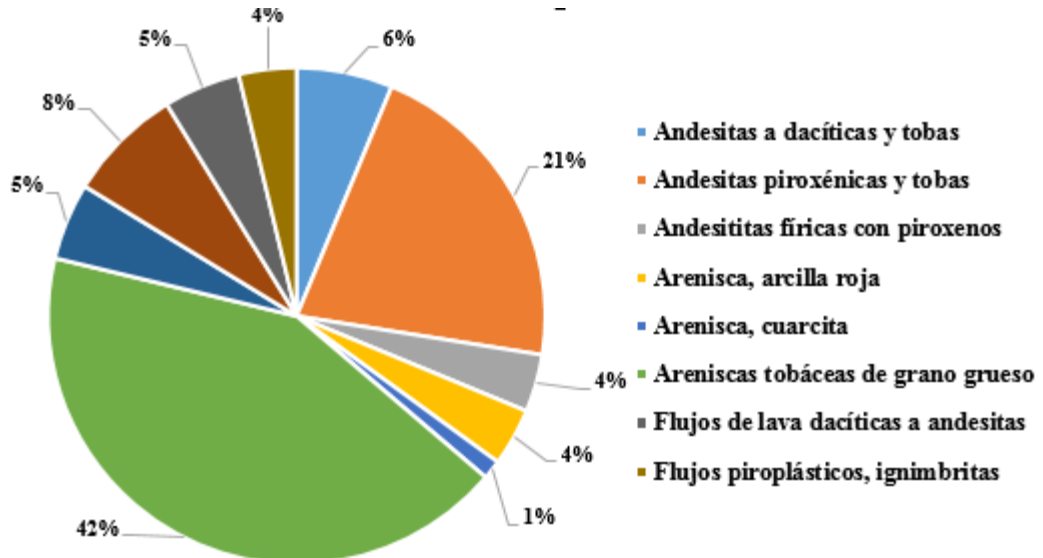
**ESTRUCTURA GEOLÓGICA DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

**ORIGEN:** PDOT Cantones de la Provincia

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 24/Mayo/2019

**Figura 22.** Estructura geológica de canteras de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua



De acuerdo a la figura 22, la estructura geológica del suelo más representativa de la provincia de Tungurahua son las areniscas (forma de arena endurecida por procesos geológicos) tienden a ser resistentes al ser utilizados en cimentaciones de edificaciones, y relativamente débiles cuando su cementación ha sido pobre. Siendo así que un total de 35 concesiones mineras (24 de ellas en el cantón Ambato) presentan dicha formación, por otro lado la estructura geológica andesitas, material utilizado como agregado para la construcción, adoquines y carreteras, resistente al calor, la presión y desgaste ocupan en gran porcentaje en suelos de la provincia (un total de 25 concesiones mineras), pero su diferente composición pueden variar las características de los agregados y la concentración de radón. Basaltos, cuarcitas y flujos de lava estructuras geológicas se encuentra especialmente en el cantón Baños, por ser una zona formada por erupciones volcánicas, rocas duras y difícil de excavar al punto de requerir explosivos, en general, son materiales adecuados como agregados en la construcción.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

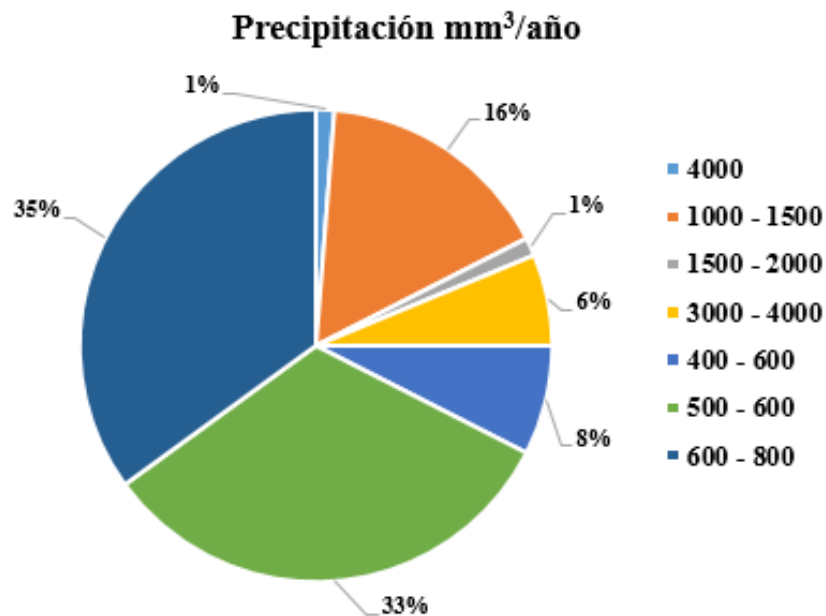
### PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**ORIGEN:** PDOT Cantones de la Provincia

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 25/Mayo/2019

**Figura 23.** Precipitación en canteras de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua



De acuerdo a la figura 23, un total de 28 concesiones mineras (representando el 35%) de la provincia de Tungurahua presentan una precipitación de  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $800 \text{ mm}^3/\text{año}$  de las cuales 16 pertenecen al cantón Ambato, 8 al cantón Pelileo y 4 al cantón Píllaro, mientras que 26 concesiones mineras (representando el 33%) únicamente del cantón Ambato presentan una precipitación de  $500 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$ . El cantón Baños acontece una mayor precipitación media anual, superando los  $1000 \text{ mm}^3/\text{año}$  hasta los  $4000 \text{ mm}^3/\text{año}$ , lo cual produce una saturación del terreno, agregados provocando la disolución del gas radón en el agua.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

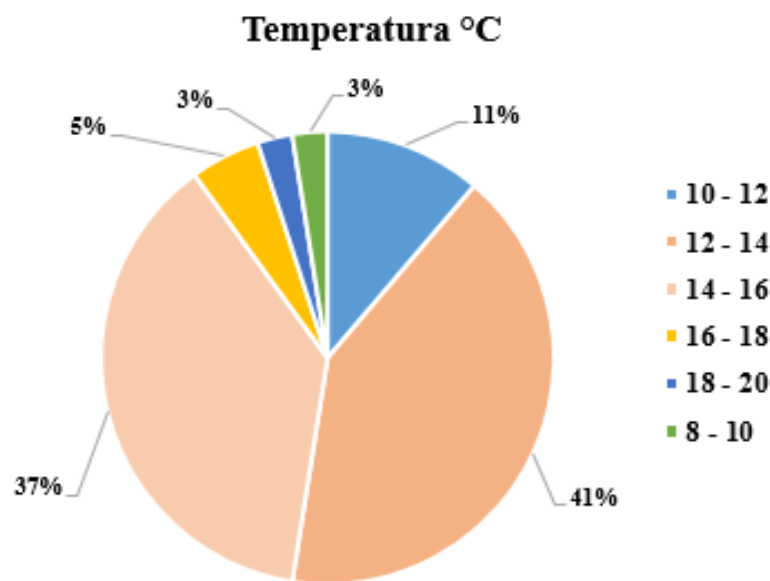
### TEMPERATURA DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**ORIGEN:** PDOT Cantones de la Provincia

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 25/Mayo/2019

**Figura 24.** Temperatura en canteras de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua



De acuerdo a la figura 24, un total de 33 concesiones mineras (representando el 41%) de la provincia de Tungurahua presentan temperatura media anual de 12 °C a 14 °C de las cuales 18 pertenecen al cantón Ambato, 8 al cantón Pelileo y 7 al cantón Píllaro, mientras que 30 concesiones mineras (representando el 37%) presentan una temperatura media anual de 14 °C a 16 °C de las cuales 14 pertenecen al cantón Baños, 13 al cantón Ambato y 3 al cantón Pelileo. El cantón Baños presenta temperaturas medias anuales que varían de 14 °C a 20 °C, condición meteorológica que permite incrementar una mayor exhalación de radón hacia la superficie.





*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

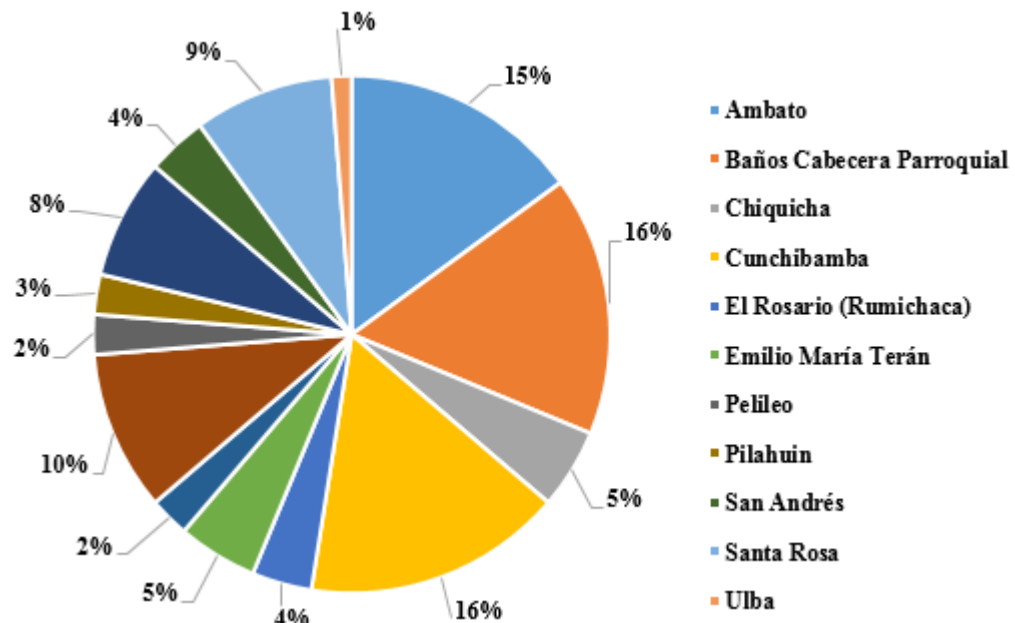
**POBLACIÓN RURAL DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

**ORIGEN:** PDOT Cantones de la Provincia

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 26/Mayo/2019

**Figura 25.** Población rural cercana a canteras de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua



De acuerdo a la figura 25, la población del cantón Ambato es la más afectada porque presenta 42 concesiones mineras que expenden agregados pétreos usados en la construcción, de las cuales 13 zonas mineras se encuentran en la parroquia rural Cunchibamba, donde la exhalación de radón producida en el sector, puede afectar alrededor de 4475 habitantes por la cercanía de la urbanización a las concesiones, de igual manera, las áreas mineras de la parroquia rural Santa Rosa de Ambato, un total de 7, afectan alrededor de 21003 habitantes. Diferentes concesiones mineras se encuentran en zonas lejanas a comunidades, parroquias urbanas y rurales, sin embargo no descarta la posibilidad de la extracción, traslado y construcción con sus respectivos agregados. La población del cantón Baños es la segunda más afectada con un total de 20 concesiones mineras afectando alrededor de 1658 habitantes, la población puede ser afectada debido a la cercanía a las zonas mineras con mayor exhalación de gas radón por los factores meteorológicos del sector.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

**ESTRUCTURA GEOLÓGICA – PRECIPITACIÓN DEL CANTÓN AMBATO**

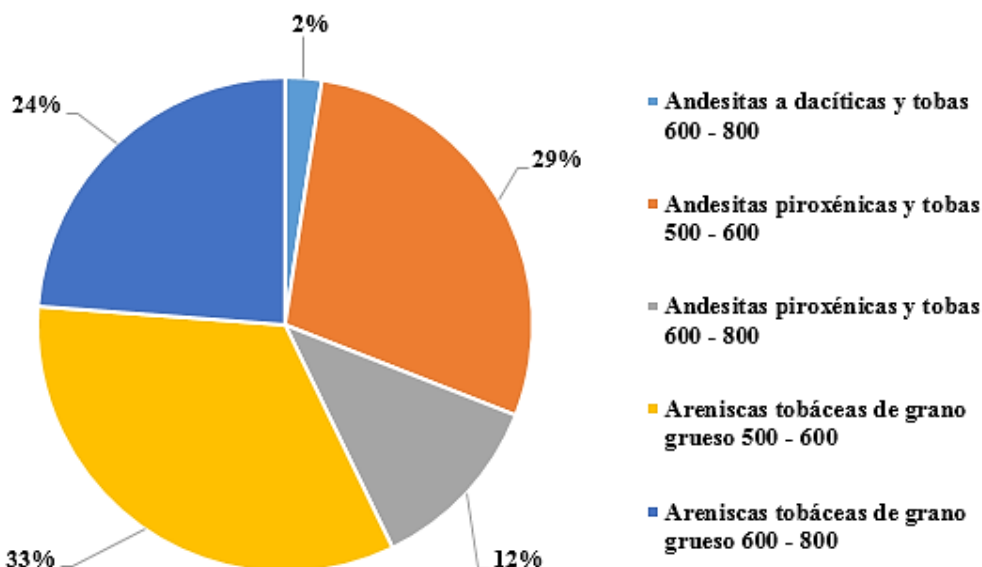
**ORIGEN:** PDOT Cantón Ambato

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 26/Mayo/2019

**Figura 26.** Relación entre estructura geológica y precipitación de canteras del cantón Ambato

**Estructura Geológica - Precipitación mm<sup>3</sup>/año**



De acuerdo a la figura 26, un total de 14 concesiones mineras del cantón Ambato (representando el 33%) presentan una estructura geológica de areniscas tobáceas de grano grueso con una precipitación de 500 mm<sup>3</sup>/año a 600 mm<sup>3</sup>/año, de igual manera 10 concesiones mineras con la misma estructura geológica presentan una precipitación de 600 mm<sup>3</sup>/año a 800 mm<sup>3</sup>/año (representando el 24%). Por otro lado, 12 concesiones mineras con una estructura geológica de andesitas piroxénicas y tobas presentan una precipitación de 500 mm<sup>3</sup>/año a 600 mm<sup>3</sup>/año (representando el 29%). De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Kumochi, Mora y Puerta del Sol son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

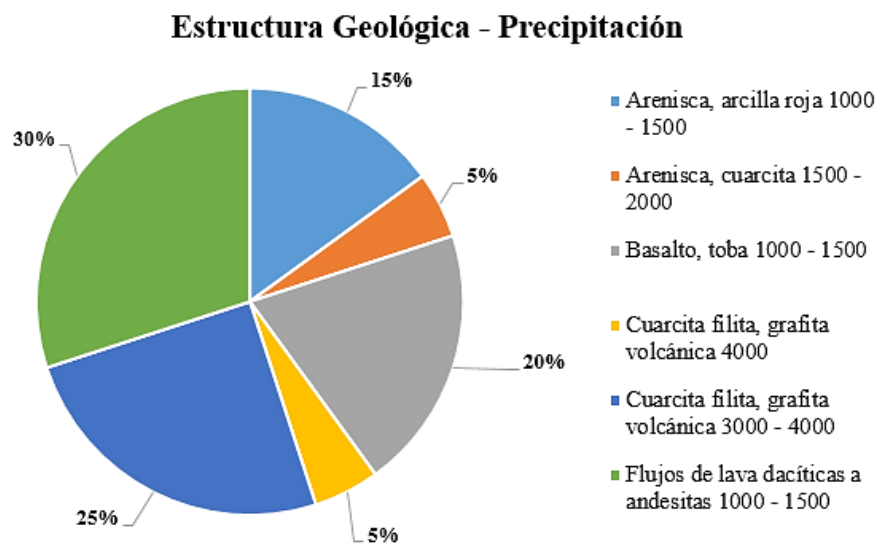
**ESTRUCTURA GEOLÓGICA – PRECIPITACIÓN DEL CANTÓN BAÑOS**

**ORIGEN:** PDOT Cantón Baños

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 26/Mayo/2019

**Figura 27.** Relación entre estructura geológica y precipitación de canteras del cantón Baños



De acuerdo a la figura 27, un total de 6 concesiones mineras del cantón Baños (representando el 30%) presentan una estructura geológica de flujos de lava dacíticas a andesitas, rocas ígneas volcánicas duras y densas con una precipitación de 1000 mm<sup>3</sup>/año a 1500 mm<sup>3</sup>/año, por otro lado, existe 3 concesiones mineras de igual precipitación anual pero con una estructura geológica de arenisca y arcilla roja (representando el 15%). Se ha descartado, las concesiones mineras mayor a 4000 mm<sup>3</sup>/año por su posible saturación de terreno, impidiendo la exhalación de radón hacia la superficie y su disolución en el agua. De los resultados obtenidos, las concesiones mineras El Viejo Minero, Andino y Juive La Pampa son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

### ESTRUCTURA GEOLÓGICA – PRECIPITACIÓN DEL CANTÓN PELILEO

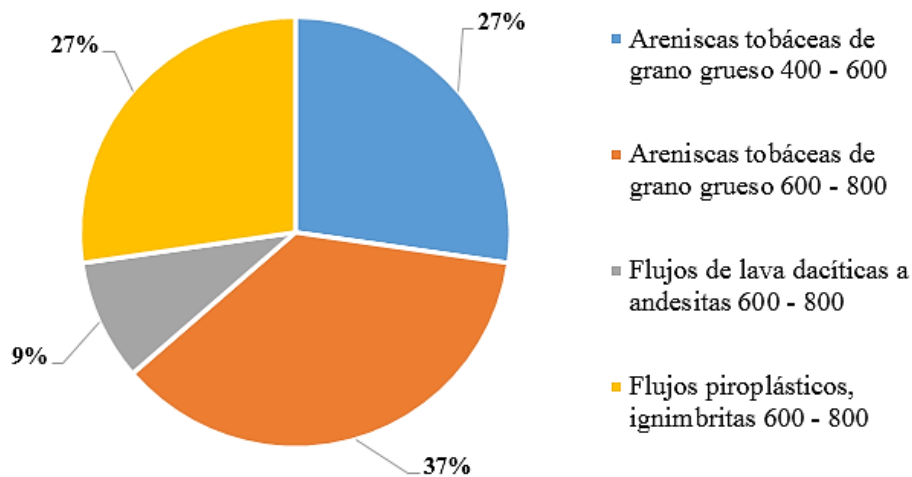
**ORIGEN:** PDOT Cantón Pelileo

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 27/Mayo/2019

**Figura 28.** Relación entre estructura geológica y precipitación de canteras del cantón Pelileo

#### Estructura Geológica - Precipitación $\text{mm}^3/\text{año}$



De acuerdo a la figura 28, de un total de 7 concesiones mineras del cantón Pelileo con una estructura geológica de areniscas tobáceas de grano grueso, 3 concesiones presentan una condición meteorológica de precipitación de  $400 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$ , mientras que las 4 concesiones restantes presentan una precipitación de  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $800 \text{ mm}^3/\text{año}$  (representando conjuntamente el 64%). La zona minera “Las Juntas I”, es la única concesión del cantón que presenta una estructura geológica de flujos de lava – zona volcánica con una precipitación de  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $800 \text{ mm}^3/\text{año}$ , la cual es apta para el estudio de concentración de radón, de igual manera las minas Chumaqui y Catimbo con una estructura de flujos piroplásticos ignimbritas, rocas ígneas en depósitos volcánicos, son aptas para el estudio.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

**ESTRUCTURA GEOLÓGICA – PRECIPITACIÓN DEL CANTÓN PÍLLARO**

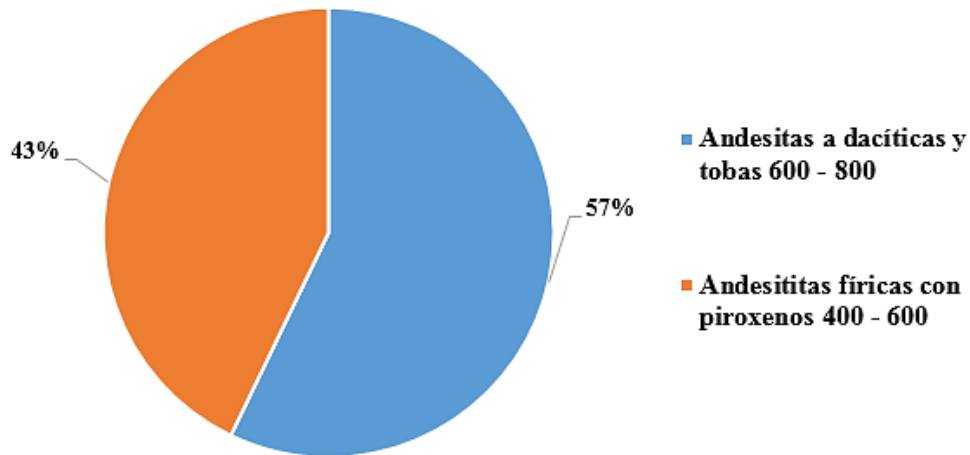
**ORIGEN:** PDOT Cantón Píllaro

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 27/Mayo/2019

**Figura 29.** Relación entre estructura geológica y precipitación de canteras del cantón Píllaro

**Estructura Geológica - Precipitación  $\text{mm}^3/\text{año}$**



De acuerdo a la figura 29, de un total de 7 concesiones mineras del cantón Píllaro, 4 zonas mineras presentan una estructura geológica de andesitas a dacíticas y tobas con una condición meteorológica de precipitación de  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $800 \text{ mm}^3/\text{año}$  (representando el 57%), por otro lado, existe 3 concesiones mineras con una estructura geológica de andesititas fíricas con piroxenos y presentan una precipitación de  $400 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$  (representando el 43%). De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Pucahuaico y Virginia son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

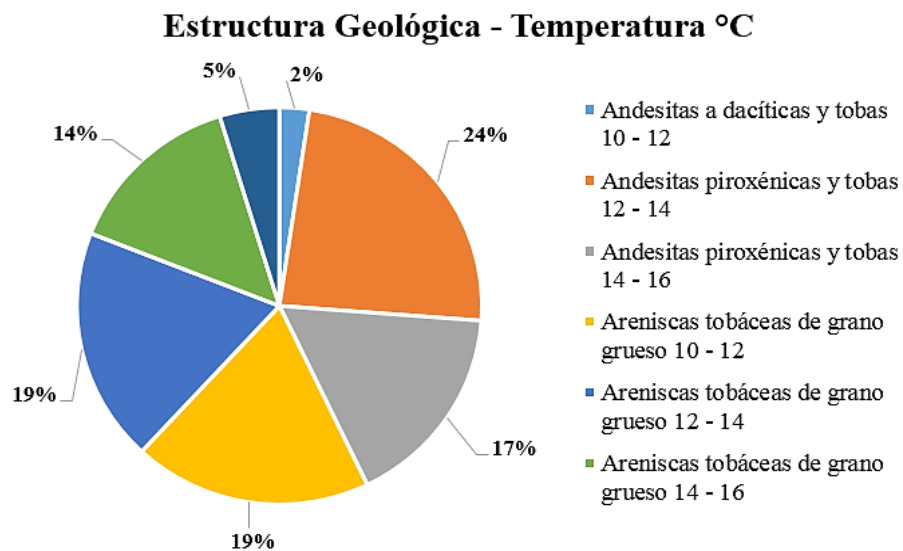
**ESTRUCTURA GEOLÓGICA – TEMPERATURA DEL CANTÓN  
 AMBATO**

**ORIGEN:** PDOT Cantón Ambato

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 28/Mayo/2019

**Figura 30.** Relación entre estructura geológica y temperatura de canteras del cantón Ambato



De acuerdo a la figura 30, un total de 16 concesiones mineras del cantón Ambato (representando el 38%) presentan una estructura geológica de areniscas tobáceas de grano grueso, de las cuales 8 muestran una temperatura media anual de 10 °C a 12 °C, y su restante una temperatura media anual de 12 °C a 14 °C. A su vez, 17 concesiones mineras (representando el 41%) acontecen una estructura geológica de andesitas piroxénicas y tobas, de las cuales 10 muestran una temperatura media anual de 12 °C a 14 °C, y su restante una temperatura media anual de 14 °C a 16 °C. De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Canteras Nieto, Cantera M&T, Kumochi y Salomón son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción

### ESTRUCTURA GEOLÓGICA – TEMPERATURA DEL CANTÓN BAÑOS

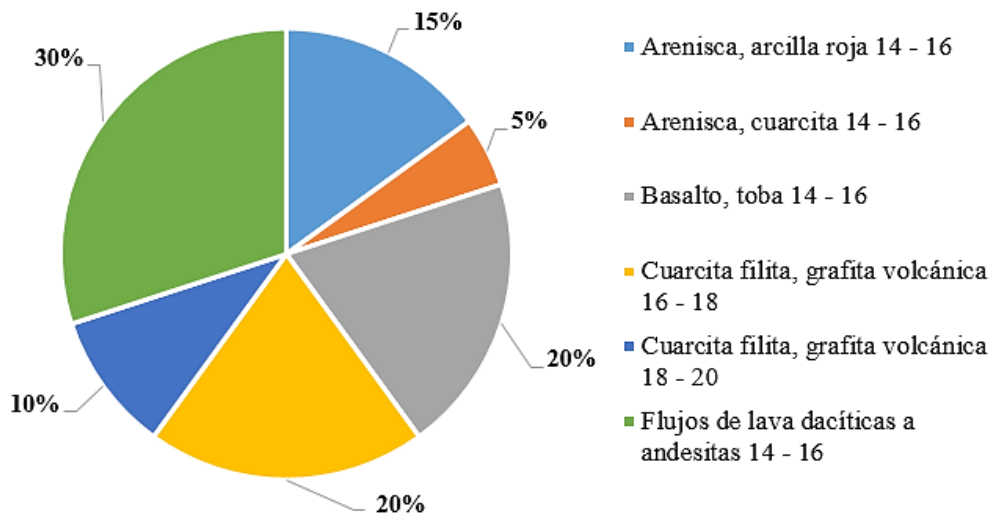
ORIGEN: PDOT Cantón Baños

REALIZADO POR: Néstor F. Chicaiza G.

FECHA: 28/Mayo/2019

Figura 31. Relación entre estructura geológica y temperatura de canteras del cantón Baños

#### Estructura Geológica - Temperatura °C



De acuerdo a la figura 31, un total de 6 concesiones mineras del cantón Baños (representando el 30%) presentan una estructura geológica de flujos de lava dacíticas a andesitas con una temperatura media anual de 14 °C a 16 °C. A su vez, 3 concesiones mineras (representando el 15%) acontecen una estructura geológica de arenisca arcilla roja y muestran una temperatura media anual de 14 °C a 16 °C. De los resultados obtenidos, las concesiones mineras El Viejo Minero, Los Pájaros, El Arenal, Juive La Pampa y Mina Guevara son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción

**ESTRUCTURA GEOLÓGICA – TEMPERATURA DEL CANTÓN PELILEO**

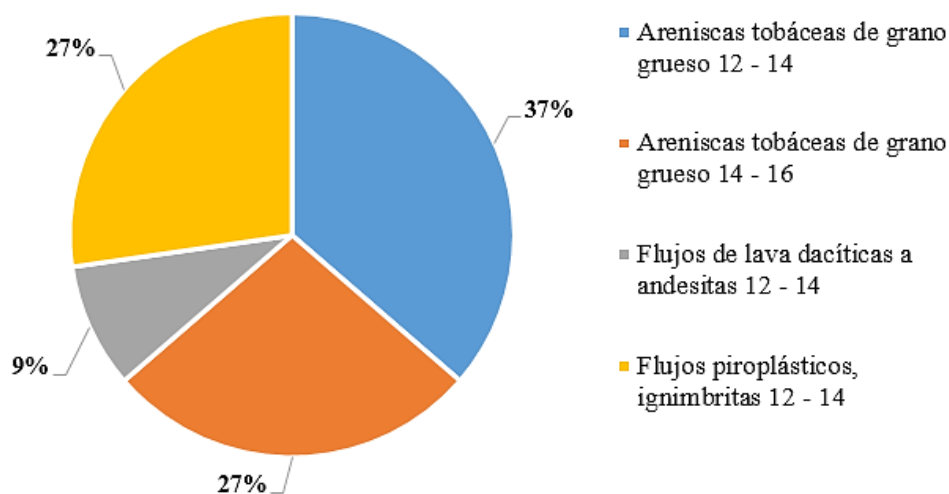
**ORIGEN:** PDOT Cantón Pelileo

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 29/Mayo/2019

**Figura 32.** Relación entre estructura geológica y temperatura de canteras del cantón Pelileo

**Estructura Geológica - Temperatura °C**



De acuerdo a la figura 32, de un total de 7 concesiones mineras del cantón Pelileo con una estructura geológica de areniscas tobáceas de grano grueso, 4 de ellas presentan una temperatura media anual de 12 °C a 14 °C y las 3 concesiones mineras restantes una temperatura media anual de 14 °C a 16°C (representando conjuntamente el 64%), por otro lado de 4 concesiones mineras con una temperatura media anual de 12 °C a 14 °C (representando al 36%) 3 zonas mineras acontecen una estructura geológica de flujos piroplásticos ignimbritas y la restante presenta una estructura geológica de flujos de lava dacíticas a andesitas. De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Catimbo, Chumaqui y Valle Hermoso son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.





*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

**ESTRUCTURA GEOLÓGICA – TEMPERATURA DEL CANTÓN  
PÍLLARO**

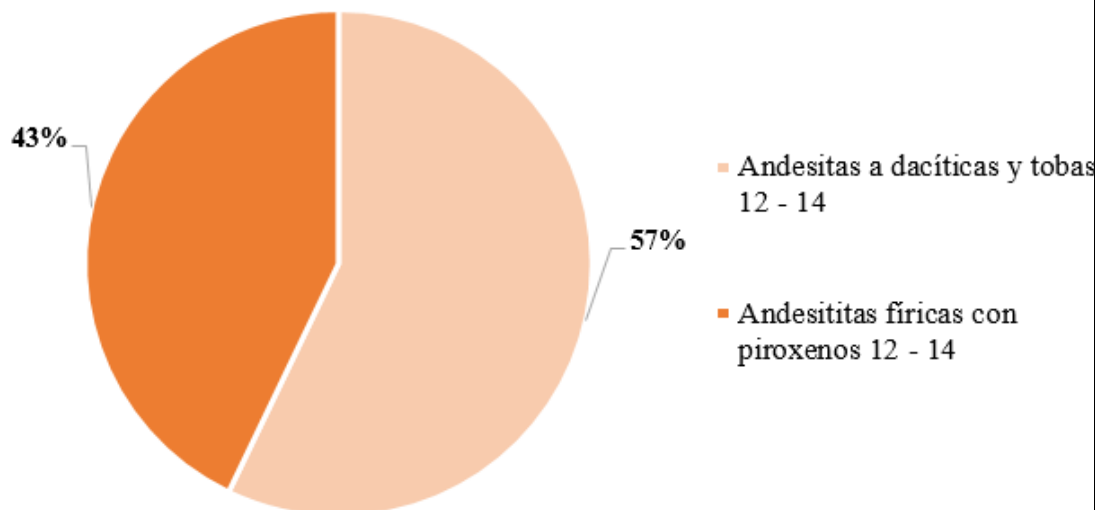
**ORIGEN:** PDOT Cantón Píllaro

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 29/Mayo/2019

**Figura 33.** Relación entre estructura geológica y temperatura de canteras del cantón Píllaro

**Estructura Geológica - Temperatura °C**



De acuerdo a la figura 33, de un total de 7 concesiones mineras del cantón Píllaro, 4 presentan una estructura geológica de andesitas a dacíticas y tobas con una temperatura media anual de 12 °C a 14 °C. A su vez, 3 concesiones mineras acontecen una estructura geológica de andesititas y fíricas con piroxenos y muestran una temperatura similar a la anterior. De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Quillán Alemania, Pucahuaico I, II, III, Virginia, Carla I y Alexandra son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

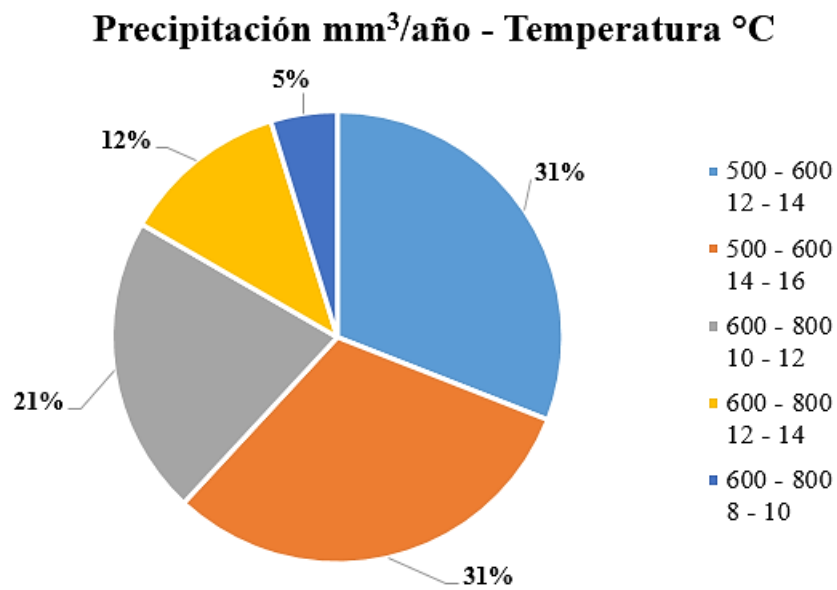
**PRECIPITACIÓN – TEMPERATURA DEL CANTÓN AMBATO**

**ORIGEN:** PDOT Cantón Ambato

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 30/Mayo/2019

**Figura 34.** Relación entre precipitación y temperatura de canteras del cantón Ambato



De acuerdo a la figura 34, de 26 concesiones mineras del cantón Ambato (representando el 62%) presentan una precipitación de 500 mm<sup>3</sup>/año a 600 mm<sup>3</sup>/año, de las cuales 13 de ellas con una temperatura media anual de 12 °C a 14 °C y su restante de 14 °C a 16 °C. Por otro lado, 16 concesiones mineras acontecen una precipitación de 600 mm<sup>3</sup>/año a 800 mm<sup>3</sup>/año, con una variación de temperatura desde 8 °C a 14 °C. De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Villacrescis, Puertas del Sol, Canteras el Placer, El Salado, Canteras Tilulúm, Salomón, Copeg y Mina Mora son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción

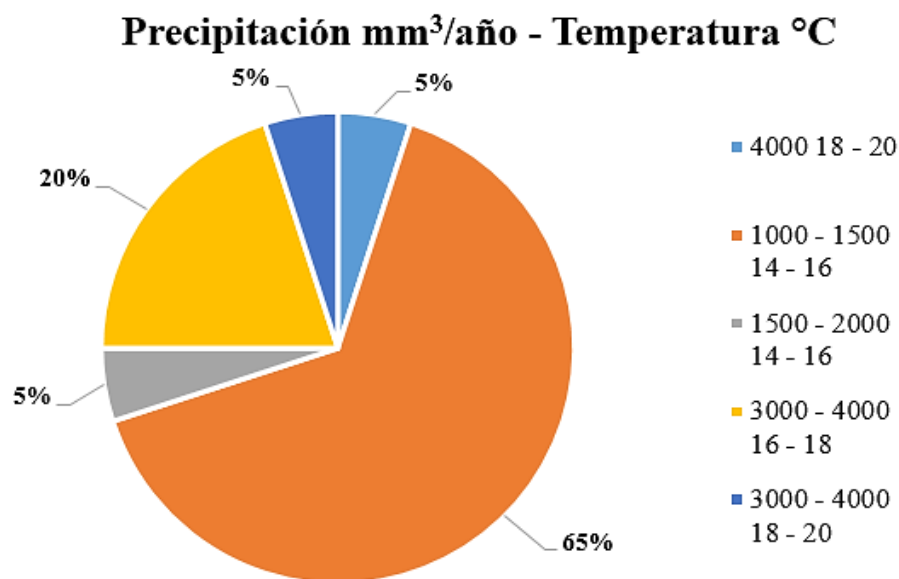
### PRECIPITACIÓN – TEMPERATURA DEL CANTÓN BAÑOS

**ORIGEN:** PDOT Cantón Baños

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 30/Mayo/2019

**Figura 35.** Relación entre precipitación y temperatura de canteras del cantón Baños



De acuerdo a la figura 35, 13 concesiones mineras del cantón Baños (representando el 65%) presentan una precipitación de 1000 mm<sup>3</sup>/año a 1500 mm<sup>3</sup>/año con una temperatura media anual de 14 °C a 16 °C. Por otro lado, 5 concesiones mineras acontecen una precipitación de 3000 mm<sup>3</sup>/año a 4000 mm<sup>3</sup>/año, con una variación de temperatura desde 16 °C a 20 °C (representando el 20%). De los resultados obtenidos, las concesiones mineras El Viejo Minero, Los Pájaros, Juive La Pampa, El Arenal, Minas Villegas y Cantera Isabelita son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

### PRECIPITACIÓN – TEMPERATURA DEL CANTÓN PELILEO

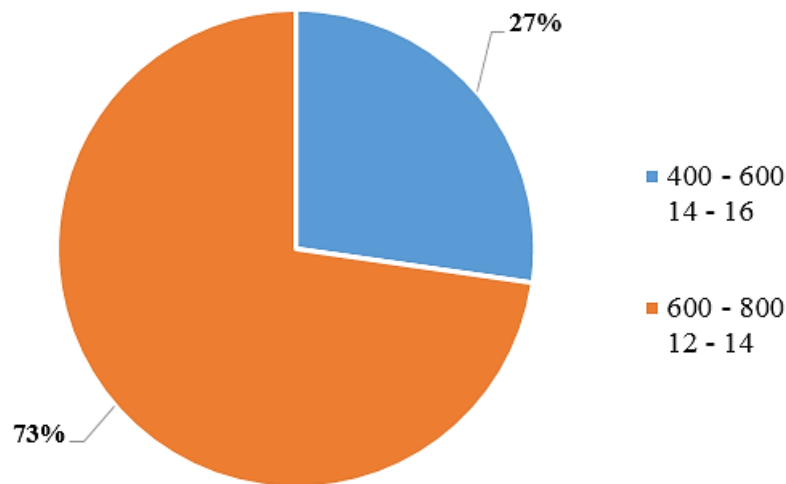
**ORIGEN:** PDOT Cantón Pelileo

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 31/Mayo/2019

**Figura 36.** Relación entre precipitación y temperatura de canteras del cantón Pelileo

#### Precipitación $\text{mm}^3/\text{año}$ - Temperatura $^{\circ}\text{C}$



De acuerdo a la figura 36, de un total de 11 concesiones mineras del cantón Pelileo, 8 de ellas presentan una precipitación de  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $800 \text{ mm}^3/\text{año}$  con una temperatura media anual de  $12^{\circ}\text{C}$  a  $14^{\circ}\text{C}$ . Por otro lado, 3 concesiones mineras acontecen una precipitación de  $400 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$ , con una variación de temperatura desde  $14^{\circ}\text{C}$  a  $16^{\circ}\text{C}$ . De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Chumaqui, Catimbo, Pucahuaico y Quillán Alemania son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

### PRECIPITACIÓN – TEMPERATURA DEL CANTÓN PÍLLARO

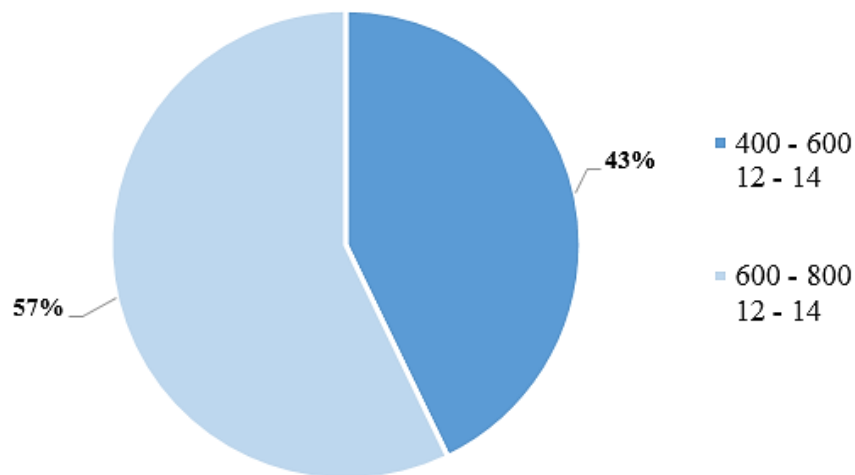
**ORIGEN:** PDOT Cantón Píllaro

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 31/Mayo/2019

**Figura 37.** Relación entre precipitación y temperatura de canteras del cantón Píllaro

#### Precipitación $\text{mm}^3/\text{año}$ - Temperatura $^{\circ}\text{C}$



De acuerdo a la figura 37, de un total de 7 concesiones mineras del cantón Píllaro, 3 de ellas presentan una precipitación de  $400 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$  y las restantes con una precipitación de  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $800 \text{ mm}^3/\text{año}$ , todas con una temperatura media anual de  $12^{\circ}\text{C}$  a  $14^{\circ}\text{C}$ . De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Quillán Alemania, Pucahuaico I, II, III, Virginia, Carla I y Alexandra son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

**ESTRUCTURA GEOLÓGICA – PRECIPITACIÓN – TEMPERATURA  
 DEL CANTÓN AMBATO**

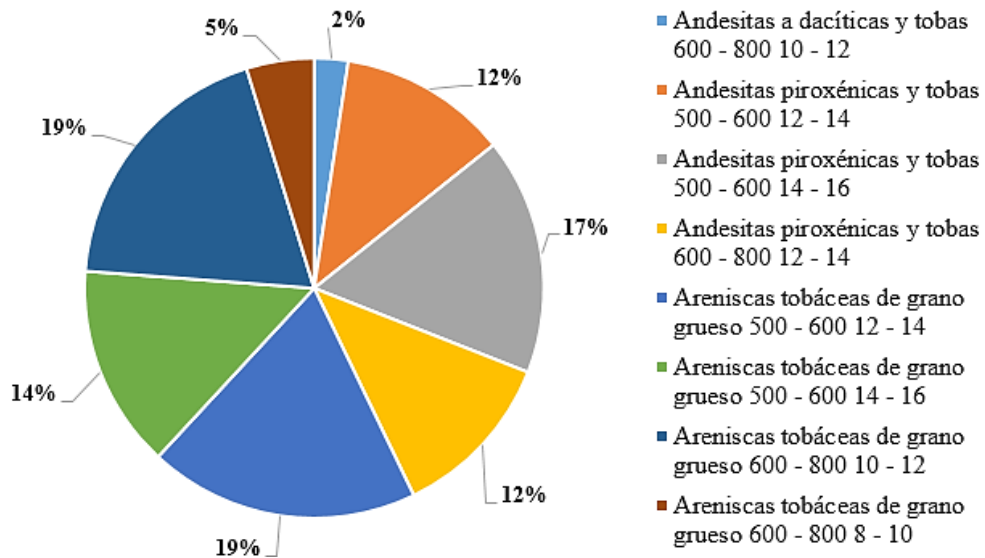
**ORIGEN:** PDOT Cantón Ambato

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 31/Mayo/2019

**Figura 38.** Relación entre estructura geológica, precipitación y temperatura de canteras del cantón Ambato

**Estructura Geológica - Precipitación mm<sup>3</sup>/año -  
 Temperatura °C**



De acuerdo a la figura 38, de 24 concesiones mineras del cantón Ambato con una estructura geológica de areniscas tobáceas de grano grueso, 14 de ellas presentan una precipitación de 500 mm<sup>3</sup>/año a 600 mm<sup>3</sup>/año y las restantes con una precipitación de 600 mm<sup>3</sup>/año a 800 mm<sup>3</sup>/año, con una temperatura media anual que varía de 8 °C a 14 °C (representando el 57%). A su vez, 12 concesiones con geología de andesitas piroxénicas y tobas con una precipitación de 500 mm<sup>3</sup>/año a 800 mm<sup>3</sup>/año, con una temperatura media anual de 12 °C a 16 °C (correspondiente al 41%). De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Kumochi, Mora, Puerta del Sol, Playa Llagchoa, Canteras M&T y Salomón son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

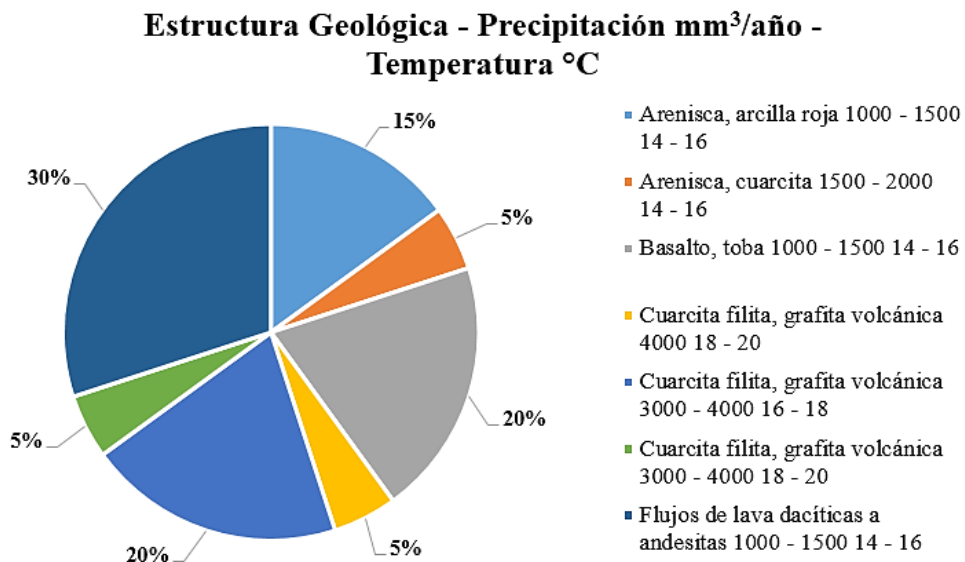
**ESTRUCTURA GEOLÓGICA – PRECIPITACIÓN – TEMPERATURA  
 DEL CANTÓN BAÑOS**

**ORIGEN:** PDOT Cantón Baños

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 01/Junio/2019

**Figura 39.** Relación entre estructura geológica, precipitación y temperatura de canteras del cantón Baños



Observando la figura 39, no se presenta variaciones de acuerdo a la figura 27, un total de 6 concesiones mineras del cantón Baños (representando el 30%) presentan una estructura geológica de flujos de lava dacíticas a andesitas con una precipitación de 1000 mm<sup>3</sup>/año a 1500 mm<sup>3</sup>/año con temperatura media anual de 14 °C a 16 °C, también existe 3 concesiones mineras de igual precipitación y temperatura media anual pero con una estructura geológica de arenisca y arcillar roja (representando el 15%). De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Mina Guevara, El Arenal, Andino, Juive La Pampa y El Viejo Minero son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.



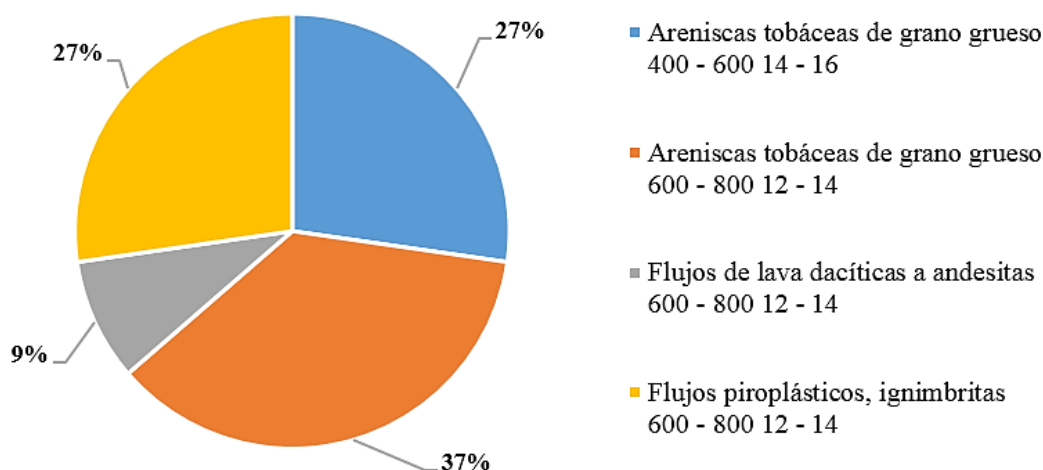
*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

**ESTRUCTURA GEOLÓGICA – PRECIPITACIÓN – TEMPERATURA DEL CANTÓN PELILEO**

**ORIGEN:** PDOT Cantón Pelileo  
**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G. **FECHA:** 01/Junio/2019

**Figura 40.** Relación entre estructura geológica, precipitación y temperatura de canteras del cantón Pelileo

**Estructura Geológica - Precipitación mm<sup>3</sup>/año - Temperatura °C**



Observando la figura 40, no se presenta variaciones de acuerdo a la figura 28. De un total de 4 concesiones mineras del cantón Pelileo (representando el 37%) presentan una estructura geológica de areniscas tobáceas de grano grueso con una precipitación de 600 mm<sup>3</sup>/año a 800 mm<sup>3</sup>/año con una temperatura media anual de 12 °C a 14 °C, también existen 3 concesiones de igual geología pero con una precipitación de 400 mm<sup>3</sup>/año a 600 mm<sup>3</sup>/año con una temperatura media anual de 14 °C a 16°C (representando el 27%). De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Las Juntas, Solar y Chumaqui son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.





*Análisis de la presencia de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$  en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*

**ESTRUCTURA GEOLÓGICA – PRECIPITACIÓN – TEMPERATURA  
DEL CANTÓN PÍLLARO**

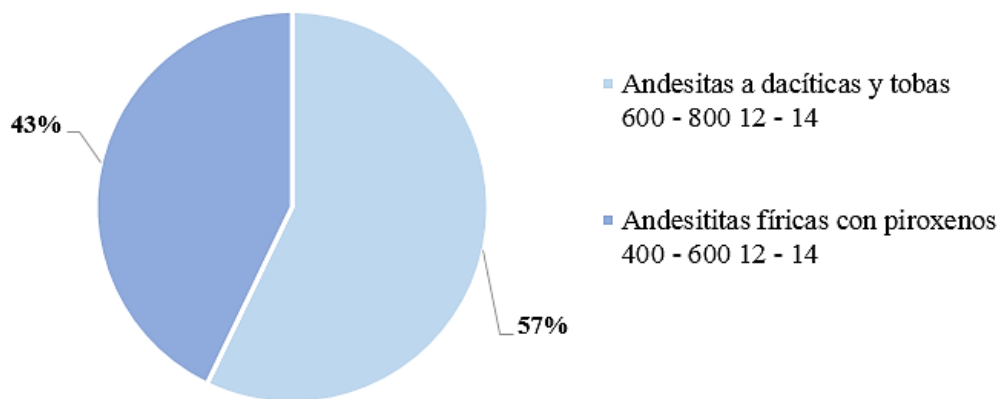
**ORIGEN:** PDOT Cantón Píllaro

**REALIZADO POR:** Néstor F. Chicaiza G.

**FECHA:** 02/Junio/2019

**Figura 41.** Relación entre estructura geológica, precipitación y temperatura de canteras del cantón Píllaro

**Estructura Geológica - Precipitación  $\text{mm}^3/\text{año}$  -  
Temperatura  $^{\circ}\text{C}$**



Observando la figura 41, no se presenta variaciones de acuerdo a la figura 29. De un total de 4 concesiones mineras del cantón Píllaro (representando el 57%) presentan una estructura geológica de andesitas a dacíticas y tobas con una precipitación de  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $800 \text{ mm}^3/\text{año}$ , también existen 3 concesiones de geología Andesititas fíricas con piroxenos con una precipitación de  $400 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $600 \text{ mm}^3/\text{año}$  (representando el 43%), todas las zonas mineras con una temperatura media anual de  $12^{\circ}\text{C}$  a  $14^{\circ}\text{C}$ . De los resultados obtenidos, las concesiones mineras Pucahuaico y Virginia son aptas para el estudio de la concentración de gas radón en los agregados pétreos.

### 3.1.2 Canteras significativas de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua

Mediante el estudio analizado anteriormente con las variables de estructura geológica, precipitación, temperatura y población, se determina una muestra de concesiones mineras pertenecientes a la provincia de Tungurahua, y a la vez se han descartado zonas mineras que no constituyen de acuerdo a los siguientes aspectos porque de esta manera, se puede asegurar una extracción de agregado pétreo calificado 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.

Con dicho análisis se muestra los siguientes resultados de canteras significativas para cada cantón de la provincia de Tungurahua.

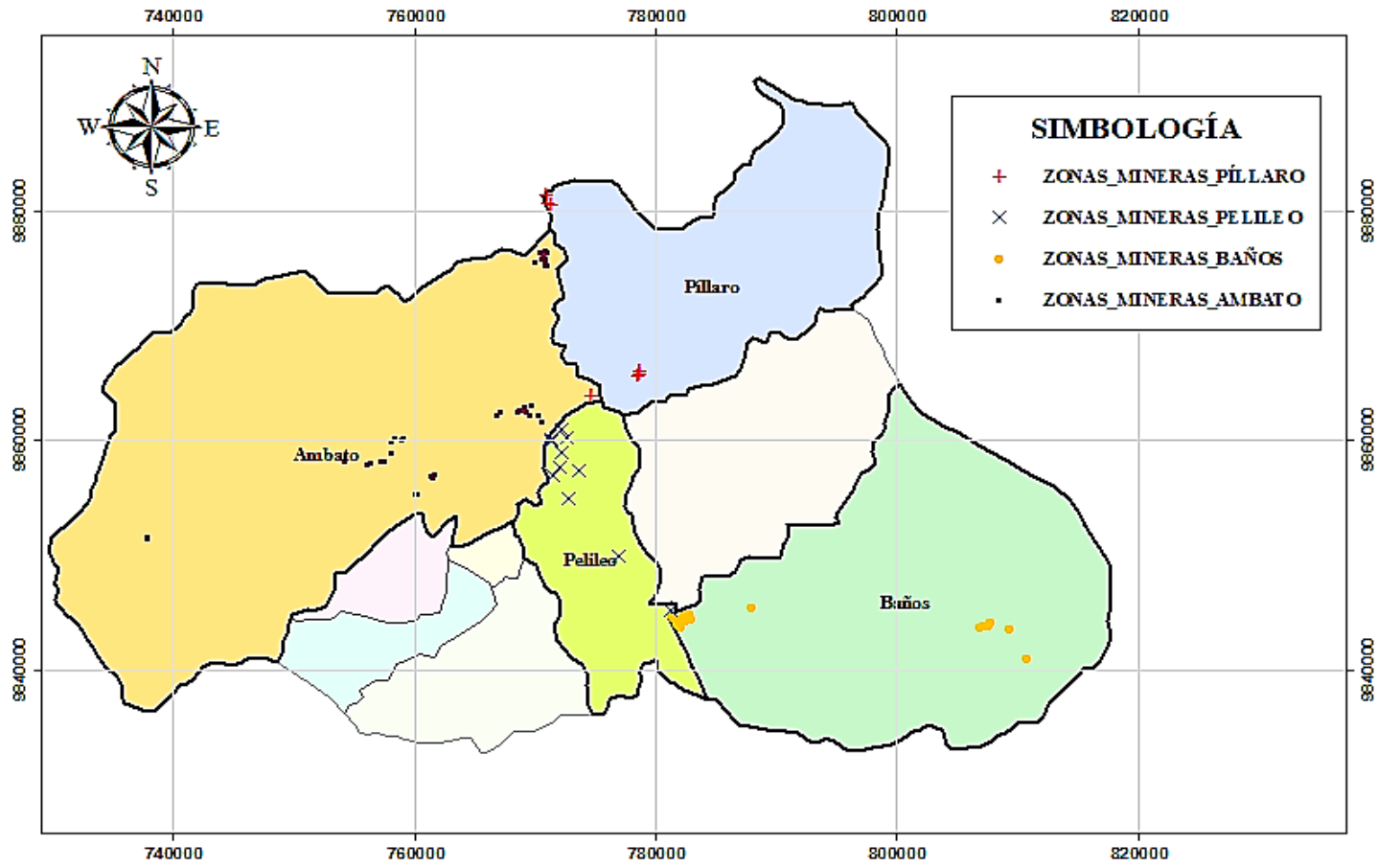
**Tabla 22.** Zonas mineras de estudio de agregados de la provincia de Tungurahua

N°	Área Minera	Estructura Geológica	Precipitación mm <sup>3</sup> /año	Temperatura °C	Población (hab)
<b>Cantón Ambato</b>					
1	Kumochi	Areniscas tobáceas de grano grueso	500 – 600	14 – 16	13353
2	Mina Mora	Areniscas tobáceas de grano grueso	500 – 600	14 – 16	13353
3	Puerta del Sol	Andesitas piroxénicas y tobas	500 – 600	12 – 14	4475
4	Playa Llagchoa	Areniscas tobáceas de grano grueso	600 – 800	10 – 12	7456
5	Cantera M&T	Andesitas a dacíticas y tobas	600 – 800	10 – 12	7456

(Continúa)

6	Salomón	Areniscas tobáceas de grano grueso	500 – 600	12 – 14	4475
<b>Cantón Baños</b>					
7	El Viejo Minero	Flujos de lava dacíticas a andesitas	1000 – 1500	14 – 16	1658
8	Mina Guevara	Cuarcita filita, grafitita volcánica	3000 – 4000	18 – 20	1246
9	El Arenal	Basalto, toba	1000 – 1500	14 – 16	1658
10	Andino	Arenisca, cuarcita	1500 – 200	14 – 16	2532
11	Juive La Pampa	Basalto, toba	1000 – 1500	14 – 16	1658
<b>Cantón Pelileo</b>					
12	Las Juntas I	Flujos de lava dacíticas a andesitas	600 – 800	12 – 14	14511
13	Solar I	Areniscas tobáceas de grano grueso	600 – 800	12 – 14	2445
14	Chumaqui	Flujos piroplásticos, ignimbritas	600 – 800	12 – 14	6380
<b>Cantón Píllaro</b>					
15	Pucahuaico	Andesitas a dacíticas y tobas	600 – 800	12 – 14	1504
16	Virginia	Andesititas fíricas con piroxenos	400 – 600	12 – 14	11200

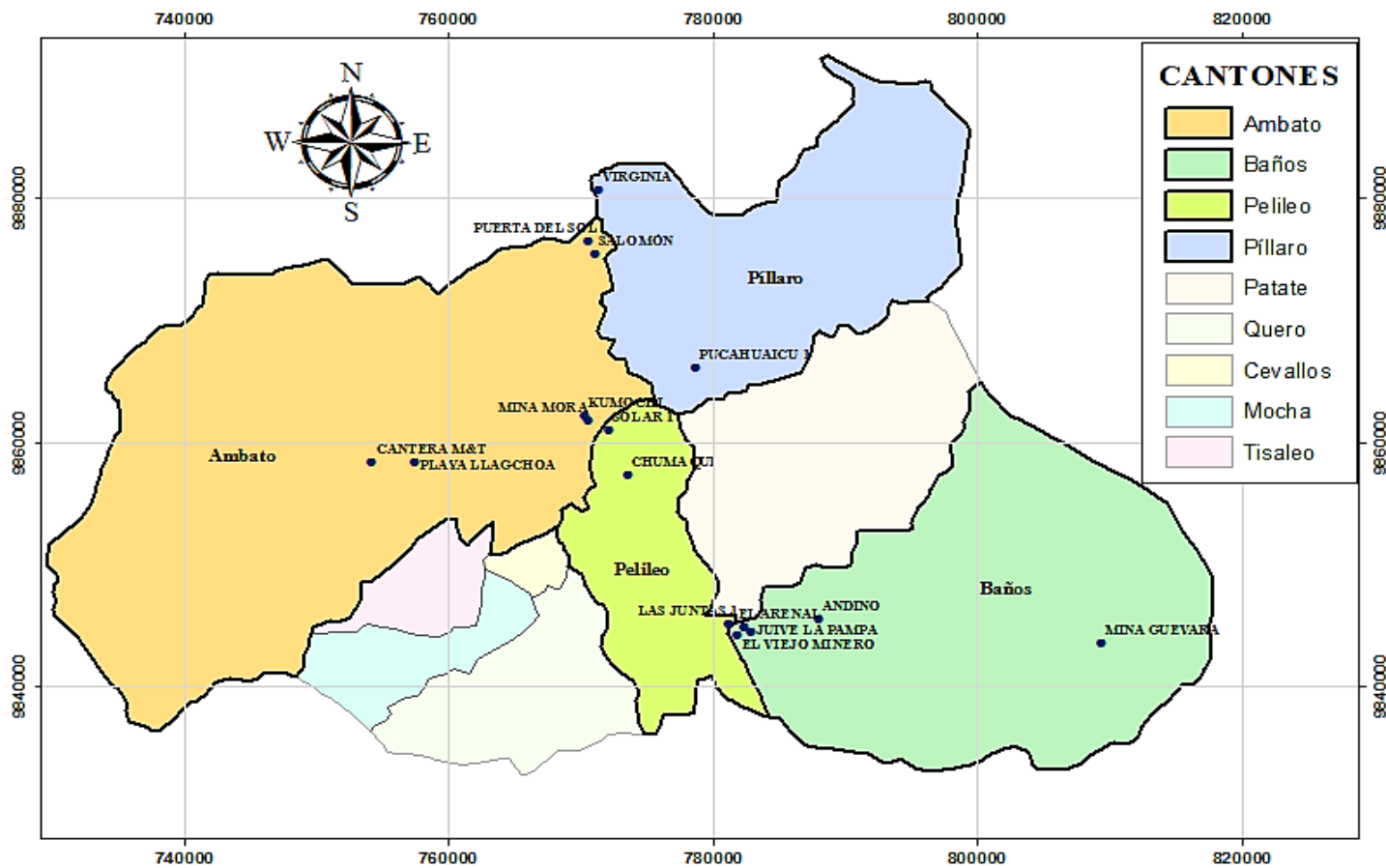
**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Figura 42.** Ubicación de canteras de agregados pétreos de la provincia de Tungurahua en Coordenadas UTM WGS-84

**Fuente:** Agencia de Regulación y Control Minero ARCOM [38]

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Figura 43.** Ubicación de canteras significativas de agregados pétreos en Coordenadas UTM WGS-84

**Fuente:** Agencia de Regulación y Control Minero ARCOM [38]

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

### **3.1.3 Concesión minera de estudio**

Un total de 16 concesiones mineras de la provincia de Tungurahua son seleccionadas para un análisis a futuro del proyecto “ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE GAS RADIATIVO RADÓN EN AGREGADOS PÉTREOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU INCIDENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN”. Es así como la cantera “El Viejo Minero” del cantón Baños es la concesión minera seleccionada para la extracción de agregados pétreos y su posterior análisis de concentración de radón conjuntamente con las propiedades físicas y mecánicas que presenta el material, por las siguientes características:

#### **3.1.3.1 Factores de concesión minera de estudio**

##### **Estructura Geológica**

La estructura geológica que presenta el sector donde se encuentra ubicada la cantera “El Viejo Minero” es flujos de lava dacíticas a andesitas con textura franco arcilloso, considerada roca ígnea volcánica mayoritariamente con textura porfídica (constituida por cristales de feldespato y cuarzo). Además se puede estimar a una roca andesita enriquecida en cuarzo.

Su uso es aceptable para agregados en el hormigón de edificaciones y en su mayoría es utilizada para la estructura de pavimentos en carreteras por su resistencia a la presión y al calor.

El sector donde se encuentra la cantera mencionada, es una zona volcánica, por lo tanto se pretende analizar la concentración de radón existente en rocas fracturadas como consecuencia de los gases volcánicos y actividad sísmica.

##### **Precipitación de la zona minera**

La precipitación de la zona donde se encuentra la cantera “El Viejo Minero”, es de 1000 mm<sup>3</sup>/año a 1500 mm<sup>3</sup>/año, la cantidad de agua a la cual se encuentran expuestos los agregados pétreos permite saturación en los poros del terreno impidiendo la exhalación de radón hacia la superficie con una pérdida mínima de gas radón disuelto en el agua. Además, permite verificar propiedades de los agregados que intervienen directamente con la emanación de radón de sus partículas.

## Ubicación



**Figura 44.** Ubicación de cantera “El Viejo Minero” – Cantón Baños

**Fuente:** Software de visualización mundial Google Earth

## Puntos de extracción de agregados

Los agregados pétreos se extraen de puntos estratégicos de la cantera “El Viejo Minero”, previamente a aquello se realizó un recorrido interno por la mina, como resultado, cuatro lugares seleccionados, de los cuales dos de ellos se encuentran en zonas céntricas con pocos días de extracción de material, el tercer lugar se encuentra en el sur de la concesión una zona alta sin explotar y finalmente el último lugar seleccionado es una zona explotada ubicado al norte de la mina.



**Figura 45.** Ubicación de puntos estratégicos para extraer agregados

**Fuente:** Software de visualización mundial Google Earth.



### 3.1.3.2 Propiedades físicas de los agregados pétreos y su influencia en la concentración de radón

Las características del gas radiactivo natural radón  $^{222}\text{Rn}$ , permiten asociar directamente con ciertas propiedades físicas y mecánicas presentes en los suelos tungurahueses, por ende en los agregados pétreos.

Por lo tanto se procede a analizar los ensayos de contenido de humedad, capacidad de absorción, granulometría y permeabilidad de los agregados pétreos de la cantera “El Viejo Minero”, porque estas propiedades físicas intervienen directamente con la emanación, desplazamiento y disolución del gas radón

- **Contenido de humedad**



**Tabla 23.** Contenido de humedad de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <math>^{222}\text{Rn}</math> en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b>		Cantera El Viejo Minero	<b>NORMA:</b> ASTM S2216 – 71	
<b>ENSAYADO POR:</b>		Egdo. Néstor Chicaiza	<b>FECHA:</b> 21/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b>		Pozo a cielo abierto – Agregado fino	<b>CÓDIGO:</b> AF – P – 1 – CH	
<b>DATO</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa muestra húmeda más recipiente	gr.	123.70	117.00
M2	Masa muestra seca más recipiente	gr.	115.40	109.20
M3	Masa recipiente	gr.	26.50	26.60
M4=M1-M2	Masa de agua	gr.	8.30	7.80
M5=M2-M3	Masa sólido – muestra seca	gr.	88.90	82.60
CH=(M4/M5)*100	Contenido de humedad	%	9.34	9.44
P2=(CH1+CH2)/2	Promedio de Contenido de humedad	%	9.39	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.





**Tabla 24.** Contenido de humedad de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>NORMA:</b> ASTM S2216 – 71	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza			<b>FECHA:</b> 21/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado fino			<b>CÓDIGO:</b> AF – P – 2 – CH	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa muestra húmeda más recipiente	gr.	109.30	115.60
M2	Masa muestra seca más recipiente	gr.	102.50	107.90
M3	Masa recipiente	gr.	25.70	24.20
M4=M1-M2	Masa de agua	gr.	6.80	7.70
M5=M2-M3	Masa sólido – muestra seca	gr.	76.80	83.70
CH=(M4/M5)*100	Contenido de humedad	%	8.85	9.20
P2=(CH1+CH2)/2	Promedio de Contenido de humedad	%	9.03	



**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 25.** Contenido de humedad de agregado fino de zanja abierta nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>NORMA:</b> ASTM S2216 – 71	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza			<b>FECHA:</b> 21/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado fino			<b>CÓDIGO:</b> AF – Z – 1 – CH	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa muestra húmeda más recipiente	gr.	115.50	112.20
M2	Masa muestra seca más recipiente	gr.	109.60	106.50
M3	Masa recipiente	gr.	30.90	25.20
M4=M1-M2	Masa de agua	gr.	5.90	5.70
M5=M2-M3	Masa sólido – muestra seca	gr.	78.70	81.30
CH=(M4/M5)*100	Contenido de humedad	%	7.50	7.01
P2=(CH1+CH2)/2	Promedio de Contenido de humedad	%	7.25	



**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 26.** Contenido de humedad de agregado fino de zanja abierta nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM S2216 – 71		
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 21/Junio/2019		
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado fino		<b>CÓDIGO:</b> AF – Z – 2 – CH		
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa muestra húmeda más recipiente	gr.	105.50   115.40	
M2	Masa muestra seca más recipiente	gr.	100.10   109.30	
M3	Masa recipiente	gr.	30.80   28.10	
M4=M1-M2	Masa de agua	gr.	5.40   6.10	
M5=M2-M3	Masa sólido – muestra seca	gr.	69.30   81.20	
CH=(M4/M5)*100	Contenido de humedad	%	7.79   7.51	
P2=(CH1+CH2)/2	Promedio de Contenido de humedad	%	7.65	



**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 27.** Contenido de humedad de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM S2216 – 71		
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 21/Junio/2019		
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado grueso		<b>CÓDIGO:</b> AG – P – 1 – CH		
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa muestra húmeda más recipiente	gr.	128.50   129.30	
M2	Masa muestra seca más recipiente	gr.	123.40   122.90	
M3	Masa recipiente	gr.	24.20   24.30	
M4=M1-M2	Masa de agua	gr.	5.10   6.40	
M5=M2-M3	Masa sólido – muestra seca	gr.	99.20   98.60	
CH=(M4/M5)*100	Contenido de humedad	%	5.14   6.49	
P2=(CH1+CH2)/2	Promedio de Contenido de humedad	%	5.82	



**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 28.** Contenido de humedad de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM S2216 – 71		
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 21/Junio/2019		
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado grueso		<b>CÓDIGO:</b> AG – P – 2 – CH		
<b>DATO</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa muestra húmeda más recipiente	gr.	119.60   117.30	
M2	Masa muestra seca más recipiente	gr.	114.80   112.80	
M3	Masa recipiente	gr.	26.40   26.50	
M4=M1-M2	Masa de agua	gr.	4.80   4.50	
M5=M2-M3	Masa sólido – muestra seca	gr.	88.40   86.30	
CH=(M4/M5)*100	Contenido de humedad	%	5.43   5.21	
P2=(CH1+CH2)/2	Promedio de Contenido de humedad	%	5.32	



**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 29.** Contenido de humedad de agregado grueso de zanja abierta nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM S2216 – 71		
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 21/Junio/2019		
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado grueso		<b>CÓDIGO:</b> AG – Z – 1 – CH		
<b>DATO</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa muestra húmeda más recipiente	gr.	107.00   121.30	
M2	Masa muestra seca más recipiente	gr.	104.10   117.90	
M3	Masa recipiente	gr.	23.10   25.50	
M4=M1-M2	Masa de agua	gr.	2.90   3.40	
M5=M2-M3	Masa sólido – muestra seca	gr.	81.00   92.40	
CH=(M4/M5)*100	Contenido de humedad	%	3.58   3.68	
P2=(CH1+CH2)/2	Promedio de Contenido de humedad	%	3.63	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

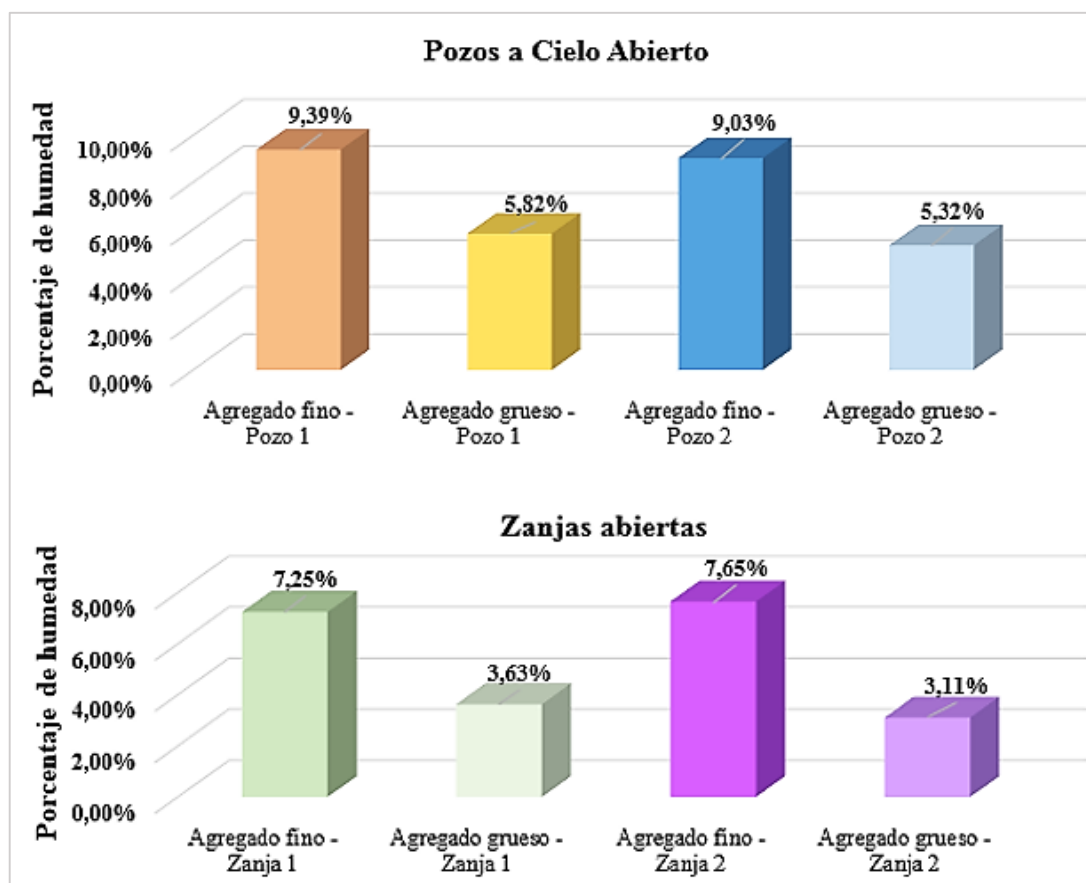
**Tabla 30.** Contenido de humedad de agregado grueso de zanja abierta nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM S2216 – 71	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 21/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado grueso		<b>CÓDIGO:</b> AG – Z – 2 – CH	
<b>DATO</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
M1	Masa muestra húmeda más recipiente	gr.	119.70    122.30
M2	Masa muestra seca más recipiente	gr.	117.20    119.10
M3	Masa recipiente	gr.	25.20    27.60
M4=M1-M2	Masa de agua	gr.	2.50    3.20
M5=M2-M3	Masa sólido – muestra seca	gr.	92.00    91.50
CH=(M4/M5)*100	Contenido de humedad	%	2.72    3.50
P2=(CH1+CH2)/2	Promedio de Contenido de humedad	%	3.11

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Según las tablas 23 a 30, los agregados pétreos presentan diferentes porcentajes de humedad de acuerdo a su ubicación y zona de extracción lo cual se ratifica con el análisis de precipitación de las canteras más significativas, es así como los pozos a cielo abierto presentan un contenido de humedad mayor en comparación a las zanjas abiertas debido a que el material obtenido de dichas zonas, se encuentran expuestas a la superficie. Los agregados finos presentan mayor humedad precisamente por el tamaño de sus partículas.

El porcentaje de humedad varía de acuerdo a las características de la región y las profundidades de estudio, los resultados logrados son aceptables para continuar con el análisis de las propiedades mecánicas y a su vez con la presencia del gas radón. A continuación se realiza un gráfico comparativo de contenido de humedad de los agregados pétreos de la cantera “El Viejo Minero”.





**Figura 46.** Contenido de humedad de los agregados pétreos

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

La figura 46 muestra que, el contenido de humedad puede alcanzar un promedio alrededor de 9% a 10% en agregados finos a profundidades menores de 2 m, dependiendo exclusivamente de la ubicación del nivel freático de la zona, en este estudio la precipitación del sector varía de  $1000 \text{ mm}^3/\text{año}$  a  $1500 \text{ mm}^3/\text{año}$ , por lo tanto el porcentaje de humedad presenta un valor bajo. El contenido de agua en agregado grueso (ripió) por la separación y tamaño de sus partículas tiende a presentar valores de humedad relativamente bajos, llegando a obtener hasta 4%, es decir por cada mililitro de agua (gramo) se presenta 4 gramos de sólidos.


- **Capacidad de Absorción**

**Tabla 31.** Capacidad de Absorción de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM C128		
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 25/Junio/2019		
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado fino		<b>CÓDIGO:</b> AF – P – 1 – CA		
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa recipiente	gr.	28.50	32.10
M2	Masa recipiente + muestra SSS	gr.	157.20	147.60
M3=M2-M1	Masa muestra SSS	gr.	128.70	115.50
M4	Masa recipiente + muestra seca	gr.	147.60	139.20
M5=M4-M1	Masa muestra seca	gr.	119.10	107.10
CA=((M3-M5)/M5)*100	Capacidad de Absorción	%	8.06	7.84
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad Absorción promedio	%	7.95	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 32.** Capacidad de Absorción de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM C128		
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 25/Junio/2019		
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado fino		<b>CÓDIGO:</b> AF – P – 2 – CA		
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa recipiente	gr.	26.50	28.90
M2	Masa recipiente + muestra SSS	gr.	148.70	149.50
M3=M2-M1	Masa muestra SSS	gr.	122.20	120.60
M4	Masa recipiente + muestra seca	gr.	139.80	140.60
M5=M4-M1	Masa muestra seca	gr.	113.10	111.70
CA=((M3-M5)/M5)*100	Capacidad de Absorción	%	7.86	7.97
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad Absorción promedio	%	7.91	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 33.** Capacidad de Absorción de agregado fino de zanja abierta nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>NORMA:</b> ASTM C128	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza			<b>FECHA:</b> 25/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja Abierta – Agregado fino			<b>CÓDIGO:</b> AF – Z – 1 – CA	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa recipiente	gr.	27.80	29.60
M2	Masa recipiente + muestra SSS	gr.	150.50	153.40
M3=M2-M1	Masa muestra SSS	gr.	122.70	123.80
M4	Masa recipiente + muestra seca	gr.	142.00	144.60
M5=M4-M1	Masa muestra seca	gr.	114.20	115.00
CA=((M3-M5)/M5)*100	Capacidad de Absorción	%	7.44	7.65
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad Absorción promedio	%	7.55	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 34.** Capacidad de Absorción de agregado fino de zanja abierta nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>NORMA:</b> ASTM C128	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza			<b>FECHA:</b> 25/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja Abierta – Agregado fino			<b>CÓDIGO:</b> AF – Z – 2 – CA	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa recipiente	gr.	30.70	29.10
M2	Masa recipiente + muestra SSS	gr.	152.00	149.80
M3=M2-M1	Masa muestra SSS	gr.	121.30	120.70
M4	Masa recipiente + muestra seca	gr.	143.90	140.70
M5=M4-M1	Masa muestra seca	gr.	113.20	111.60
CA=((M3-M5)/M5)*100	Capacidad de Absorción	%	7.16	8.15
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad Absorción promedio	%	7.65	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 35.** Capacidad de Absorción de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>NORMA:</b> ASTM C127	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza			<b>FECHA:</b> 25/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado grueso			<b>CÓDIGO:</b> AG – P – 1 – CA	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa recipiente	gr.	28.60	34.10
M2	Masa recipiente + muestra SSS	gr.	215.40	207.90
M3=M2-M1	Masa muestra SSS	gr.	186.80	173.80
M4	Masa recipiente + muestra seca	gr.	206.90	200.40
M5=M4-M1	Masa muestra seca	gr.	178.30	166.30
CA=((M3-M5)/M5)*100	Capacidad de Absorción	%	4.77	4.51
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad Absorción promedio	%	4.64	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 36.** Capacidad de Absorción de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>NORMA:</b> ASTM C127	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza			<b>FECHA:</b> 25/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado grueso			<b>CÓDIGO:</b> AG – P – 2 – CA	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa recipiente	gr.	33.20	29.60
M2	Masa recipiente + muestra SSS	gr.	208.60	212.30
M3=M2-M1	Masa muestra SSS	gr.	175.40	182.70
M4	Masa recipiente + muestra seca	gr.	200.20	204.10
M5=M4-M1	Masa muestra seca	gr.	167.00	174.50
CA=((M3-M5)/M5)*100	Capacidad de Absorción	%	5.03	4.70
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad Absorción promedio	%	4.86	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Tabla 37.** Capacidad de Absorción de agregado grueso de zanja abierta nro. 1

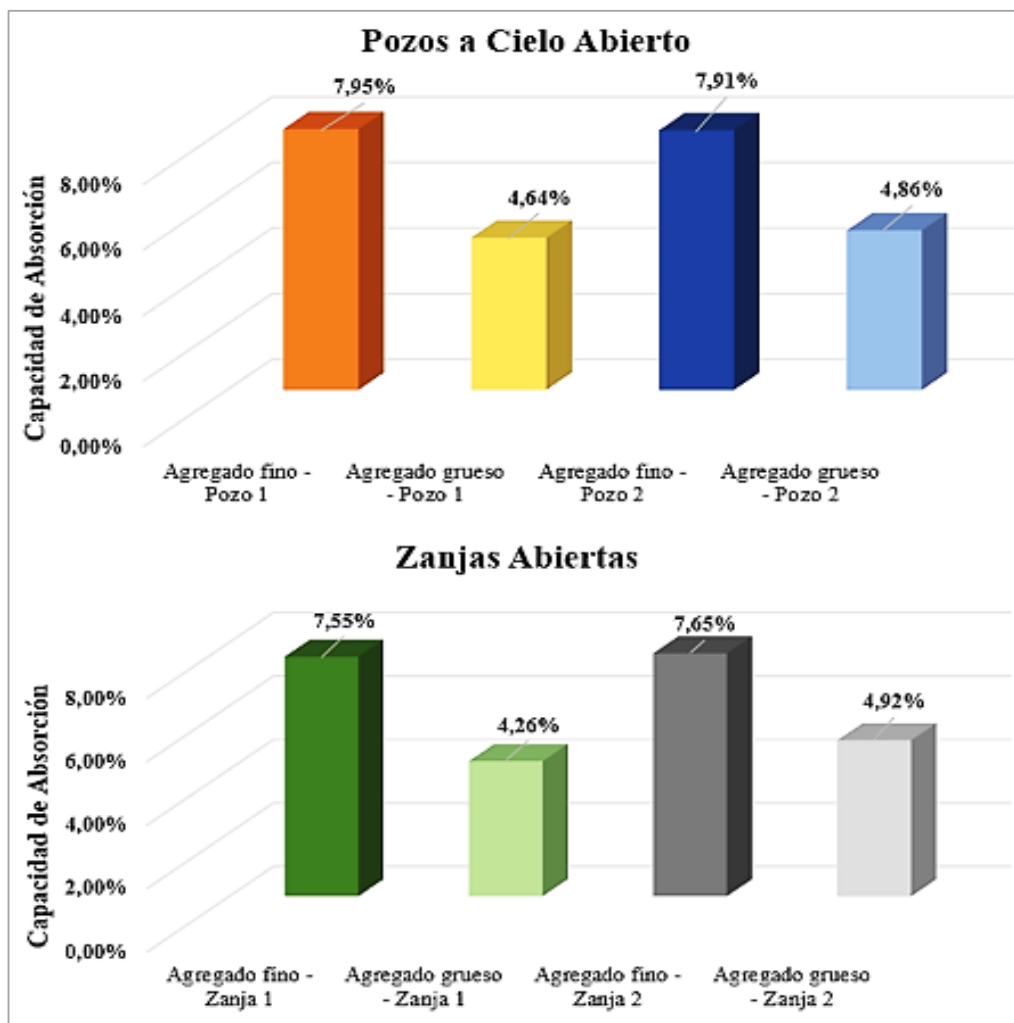
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>NORMA:</b> ASTM C127	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza			<b>FECHA:</b> 25/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado grueso			<b>CÓDIGO:</b> AG – Z – 1 – CA	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa recipiente	gr.	30.50	27.60
M2	Masa recipiente + muestra SSS	gr.	216.60	201.50
M3=M2-M1	Masa muestra SSS	gr.	186.10	173.90
M4	Masa recipiente + muestra seca	gr.	209.10	194.30
M5=M4-M1	Masa muestra seca	gr.	178.60	166.70
CA=((M3-M5)/M5)*100	Capacidad de Absorción	%	4.20	4.32
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad Absorción promedio	%	4.26	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 38.** Capacidad de Absorción de agregado grueso de zanja abierta nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>NORMA:</b> ASTM C127	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza			<b>FECHA:</b> 25/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado grueso			<b>CÓDIGO:</b> AG – Z – 2 – CA	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa recipiente	gr.	26.50	29.40
M2	Masa recipiente + muestra SSS	gr.	198.40	207.60
M3=M2-M1	Masa muestra SSS	gr.	171.90	178.20
M4	Masa recipiente + muestra seca	gr.	190.20	199.40
M5=M4-M1	Masa muestra seca	gr.	163.70	170.00
CA=((M3-M5)/M5)*100	Capacidad de Absorción	%	5.01	4.82
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad Absorción promedio	%	4.92	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Figura 47.** Capacidad de Absorción de los agregados pétreos



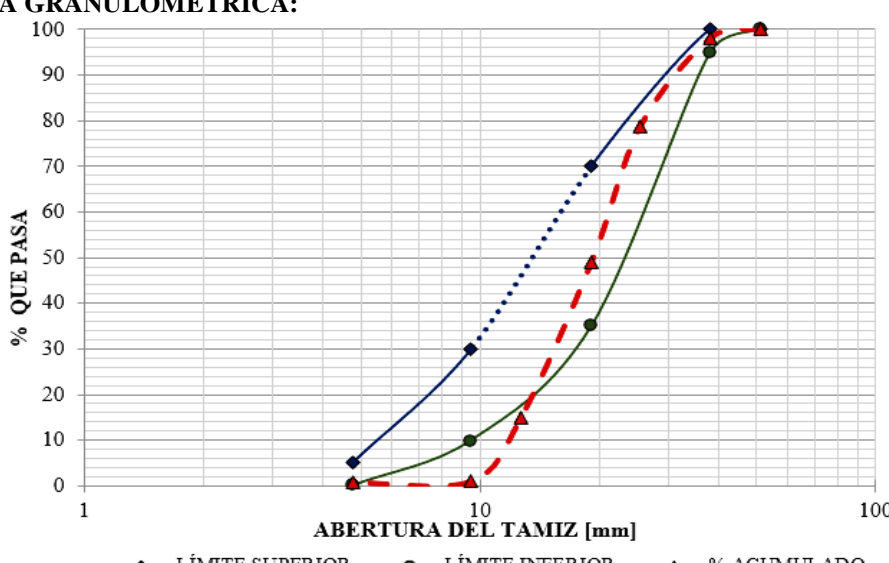
**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

La figura 47 muestra que, la capacidad de absorción de los agregados pétreos de la cantera “El Viejo Minero” presenta un valor promedio de 7.75% para los áridos finos (arena) mientras que los áridos gruesos (ripió) presentan un valor promedio de 4.65%.

Los materiales generalmente tienen niveles de absorción que varía de 0% al 4% (agregado grueso) y del 0.2% al 2% (agregado fino). El valor de absorción del agregado fino demuestra un valor sumamente alto, indicando una gran cantidad de partículas más finas que presenta en su superficie, el valor de absorción del agregado grueso es aceptable para su futuro uso. Cuánto más alta es la capacidad de absorción del agregado, éste es de menor calidad, en este caso perderá trabajabilidad y a su vez disminuirá la resistencia del hormigón permitiendo la disolución del gas radón en el agua presente en sus partículas.



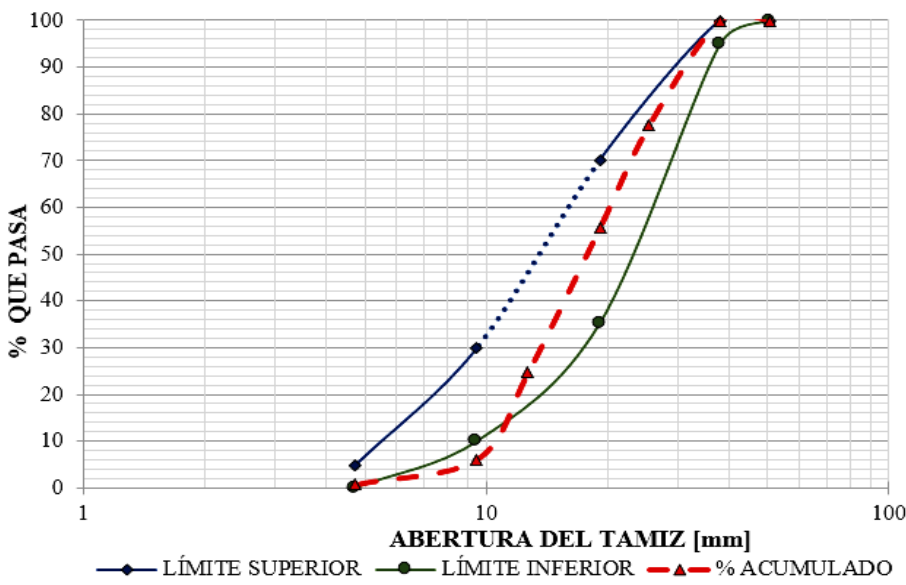
- Granulometría

Tabla 39. Granulometría de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 1

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> </div>  </div>					
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>					
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero <b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza <b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado grueso <b>PÉRDIDA DE MUESTRA [%]:</b> 0.24			<b>NORMA:</b> INEN NTE 696 <b>FECHA:</b> 26/Junio/2019 <b>CÓDIGO:</b> AG – P – 1 – GR <b>PESO MUESTRA [gr]:</b> 7000		
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL [gr]	RETENIDO ACUMULADO [gr]	RETENIDO ACUMULADO [%]	% QUE PASA [%]	LÍMITES ASTM % QUE PASA
2''	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1 1/2''	144.90	144.90	2.07	97.93	95 – 100
1''	1346.50	1491.40	21.31	78.69	–
3/4''	2090.90	3582.30	51.18	48.82	35 – 70
1/2''	2369.30	5951.60	85.02	14.98	–
3/8''	973.40	6925.00	98.93	1.07	10 – 30
#4	23.70	6948.70	99.27	0.73	0 – 5
BANDEJA	34.50	6983.20	99.76	0.24	–
<b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:</b>			<b>1 1/2''</b>		
<b>CURVA GRANULOMÉTRICA:</b>					
 <p style="text-align: center;"> <span style="color: blue;">—●—</span> LÍMITE SUPERIOR              <span style="color: green;">—●—</span> LÍMITE INFERIOR              <span style="color: red;">-▲-</span> % ACUMULADO         </p>					



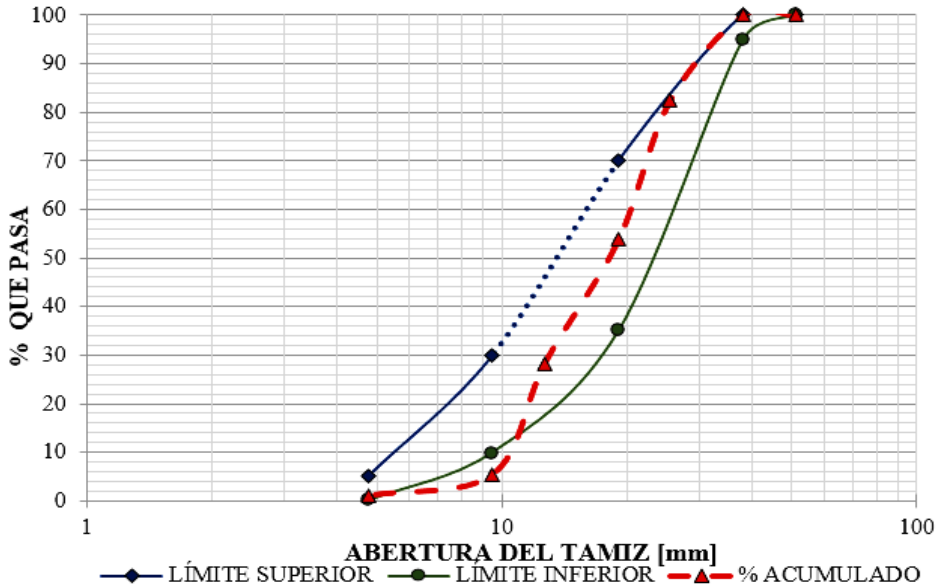
Autor: Néstor F. Chicaiza G.

Tabla 40. Granulometría de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>					
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero <b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza <b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado grueso <b>PÉRDIDA DE MUESTRA [%]:</b> 0.18			<b>NORMA:</b> INEN NTE 696 <b>FECHA:</b> 26/Junio/2019 <b>CÓDIGO:</b> AG – P – 2 – GR <b>PESO MUESTRA [gr]:</b> 7000		
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL [gr]	RETENIDO ACUMULADO [gr]	RETENIDO ACUMULADO [%]	% QUE PASA [%]	LÍMITES ASTM % QUE PASA
2’’	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1 1/2’’	0.00	0.00	0.00	100.00	95 – 100
1’’	1573.80	1573.80	22.48	77.52	–
3/4’’	1554.70	3128.50	44.69	55.31	35 – 70
1/2’’	2155.60	5284.10	75.49	24.51	–
3/8’’	1285.60	6569.70	93.85	6.15	10 – 30
#4	379.40	6949.10	99.27	0.73	0 – 5
BANDEJA	38.50	6987.60	99.82	0.18	–
<b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:</b>			<b>1 1/2’’</b>		
<b>CURVA GRANULOMÉTRICA:</b>					
 <p style="text-align: center;"> <span style="color: blue;">◆</span> LÍMITE SUPERIOR                        <span style="color: green;">●</span> LÍMITE INFERIOR                        <span style="color: red;">-▲-</span> % ACUMULADO                 </p>					



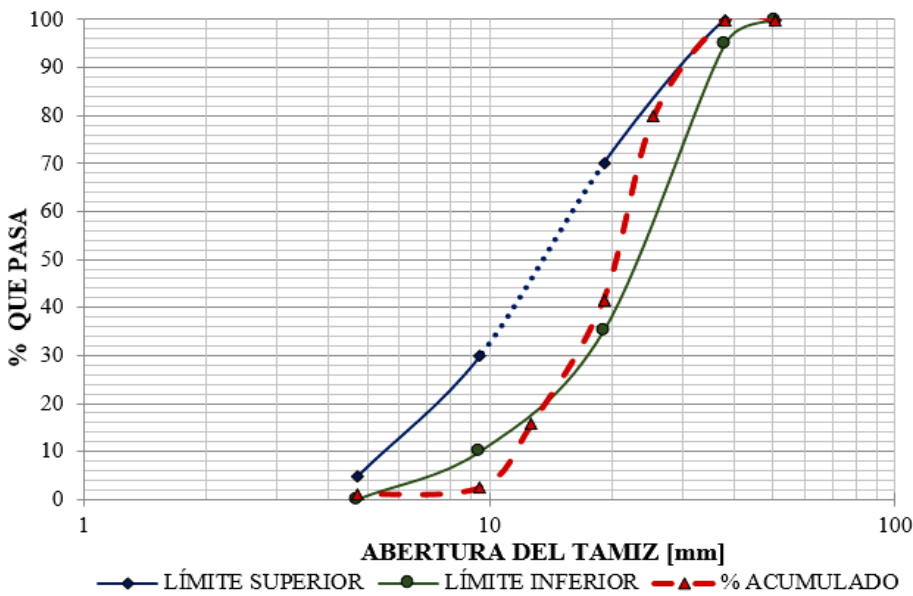
Autor: Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 41.** Granulometría de agregado grueso de zanja abierta nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>					
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero <b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza <b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado grueso <b>PÉRDIDA DE MUESTRA [%]:</b> 0.20			<b>NORMA:</b> INEN NTE 696 <b>FECHA:</b> 26/Junio/2019 <b>CÓDIGO:</b> AG – Z – 1 – GR <b>PESO MUESTRA [gr]:</b> 7000		
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL [gr]	RETENIDO ACUMULADO [gr]	RETENIDO ACUMULADO [%]	% QUE PASA [%]	LÍMITES ASTM % QUE PASA
2’’	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1 1/2’’	0.00	0.00	0.00	100.00	95 – 100
1’’	1235.50	1235.50	17.65	82.35	–
3/4’’	2007.00	3242.50	46.32	53.68	35 – 70
1/2’’	1775.30	5017.80	71.68	28.32	–
3/8’’	1599.00	6616.80	94.53	5.47	10 – 30
#4	310.40	6927.20	98.96	1.04	0 – 5
BANDEJA	58.80	6986.00	99.80	0.20	–
<b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:</b>			<b>1 1/2’’</b>		
<b>CURVA GRANULOMÉTRICA:</b>					
 <p style="text-align: center;"> <span style="color: blue;">—◆—</span> LÍMITE SUPERIOR                        <span style="color: green;">—●—</span> LÍMITE INFERIOR                        <span style="color: red;">- -▲- -</span> % ACUMULADO                 </p>					

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 42.** Granulometría de agregado grueso de zanja abierta nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>					
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero <b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza <b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado grueso <b>PÉRDIDA DE MUESTRA [%]:</b> 0.18			<b>NORMA:</b> INEN NTE 696 <b>FECHA:</b> 26/Junio/2019 <b>CÓDIGO:</b> AG – Z – 2 – GR <b>PESO MUESTRA [gr]:</b> 7000		
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL [gr]	RETENIDO ACUMULADO [gr]	RETENIDO ACUMULADO [%]	% QUE PASA [%]	LÍMITES ASTM % QUE PASA
2’’	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1 1/2’’	0.00	0.00	0.00	100.00	95 – 100
1’’	1408.50	1408.50	20.12	79.88	–
3/4’’	2682.50	4091.00	58.44	41.56	35 – 70
1/2’’	1812.50	5903.50	84.34	15.66	–
3/8’’	922.40	6825.90	97.51	2.49	10 – 30
#4	110.60	6936.50	99.09	0.91	0 – 5
BANDEJA	50.60	6987.10	99.82	0.18	–
<b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:</b>			<b>1 1/2’’</b>		
<b>CURVA GRANULOMÉTRICA:</b>					
 <p style="text-align: center;"> <span style="color: blue;">◆</span> LÍMITE SUPERIOR                        <span style="color: green;">●</span> LÍMITE INFERIOR                        <span style="color: red;">▲</span> % ACUMULADO                 </p>					

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



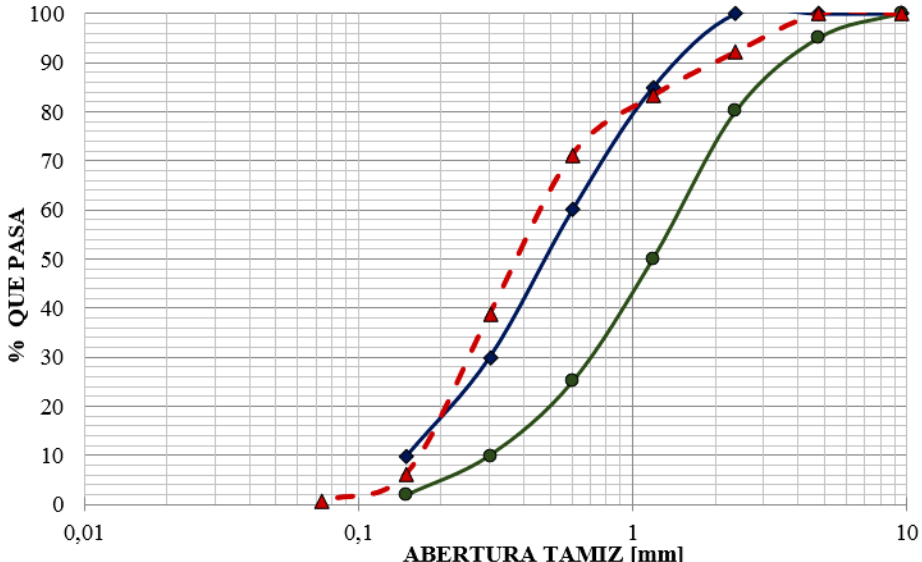
En las tablas 39 a 42, se muestran resultados de granulometría del agregado grueso obtenido en pozos a cielo abierto y zanjas abiertas, se determina el tamaño nominal máximo de las partículas, dando como resultado para todos los casos, el valor de 1 ½" (37.5 mm), lo cual es recomendable su uso para hormigones normales porque se estima que el tamaño nominal se encuentre entre ¾" (19 mm) a 1 ½" (37.5 mm). Un tamaño nominal menor al indicado de ¾", provocará que la superficie específica del material aumente y por ende la cantidad de aglomerante, por otro lado, tamaños nominales mayores a 1 ½" causarán un bloqueo entre el concreto y el acero de refuerzo al momento de su elaboración, generando vacíos y pérdida de resistencia del hormigón.

El agregado grueso con un tamaño nominal de 1 ½" puede presentar una considerable probabilidad de encontrarse con fisuras o fallas en sus partículas (mayor tamaño) por el proceso de explotación y trituración para la obtención del material, lo cual compromete a ser un material despreciable para el uso en hormigones y el escape de gas radón desde su interior.

Como se visualiza en las curvas granulométricas figuras de las tablas 40 – 43, el agregado grueso de la cantera “El Viejo Minero”, presenta variaciones en partículas que pasan el tamiz 3/8" (9.50 mm), debido a su incumplimiento con el porcentaje límite ASTM establecido que las partículas deben pasar (10% a 30%), y los valores que se han encontrado son de 6.15% y 1.07% como máximo y mínimo respectivamente y aquello se ve reflejado en la curva con pequeños tramos que atraviesan el límite inferior en el tamaño de partícula anteriormente mencionado.

Diferentes tamaños de partículas constituirán un agregado pétreo grueso con mejor superficie específica (suma de las superficies individuales que conforman el agregado), lo cual permitiría que este valor sea el mínimo posible, para que la cantidad de aglomerante necesario sea el mínimo y a su vez el costo del hormigón reduzca.

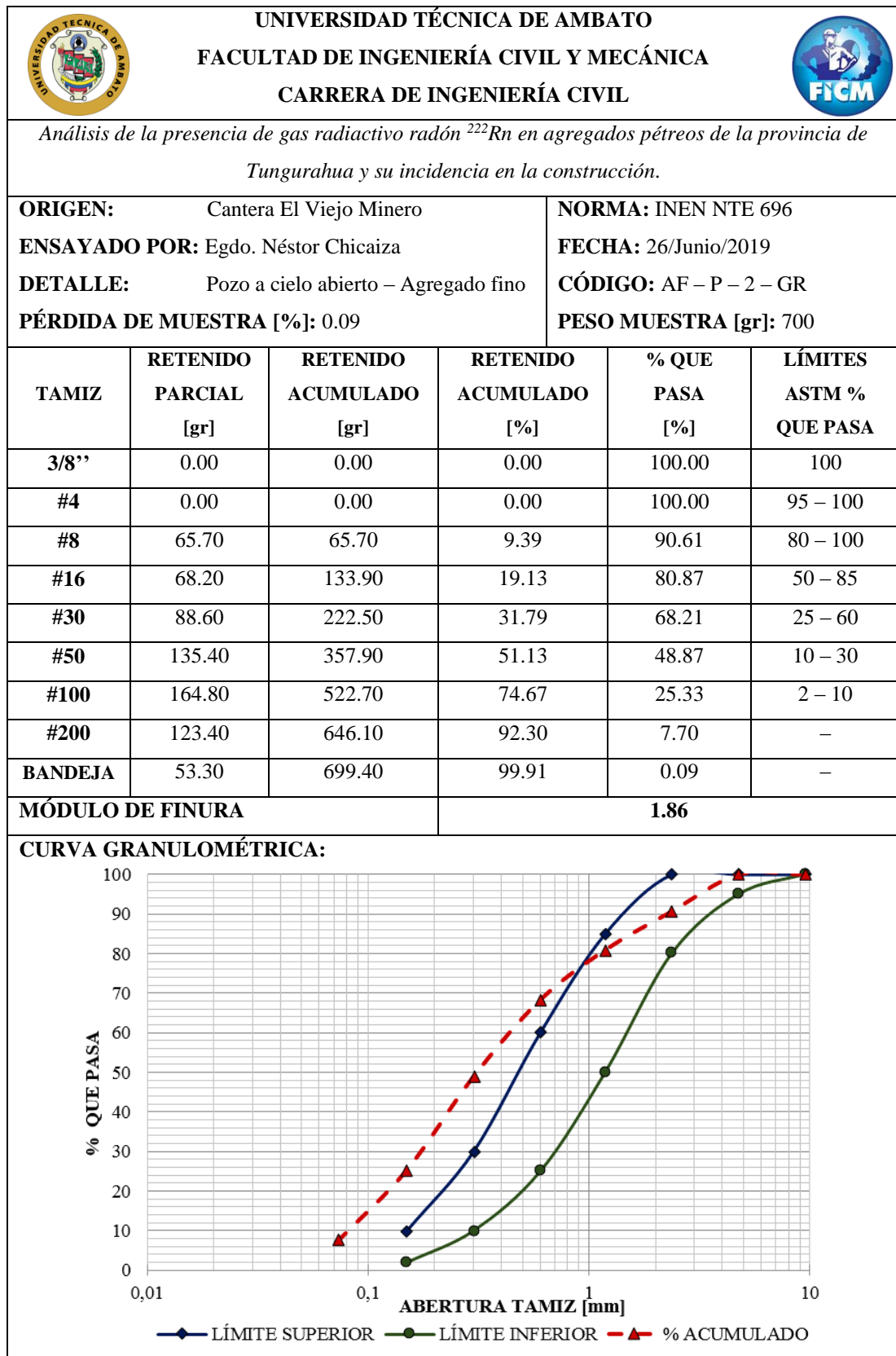
**Tabla 43.** Granulometría de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>					
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero <b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza <b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado fino <b>PÉRDIDA DE MUESTRA [%]:</b> 0.21			<b>NORMA:</b> INEN NTE 696 <b>FECHA:</b> 26/Junio/2019 <b>CÓDIGO:</b> AF – P – 1 – GR <b>PESO MUESTRA [gr]:</b> 700		
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL [gr]	RETENIDO ACUMULADO [gr]	RETENIDO ACUMULADO [%]	% QUE PASA [%]	LÍMITES ASTM % QUE PASA
3/8’’	0.00	0.00	0.00	100.00	100
#4	0.00	0.00	0.00	100.00	95 – 100
#8	55.20	55.20	7.89	92.11	80 – 100
#16	62.00	117.20	16.74	83.26	50 – 85
#30	84.80	202.00	28.86	71.14	25 – 60
#50	228.00	430.00	61.43	38.57	10 – 30
#100	226.10	656.10	93.73	6.27	2 – 10
#200	39.20	695.30	99.33	0.67	–
BANDEJA	3.20	698.50	99.79	0.21	–
<b>MÓDULO DE FINURA</b>			<b>2.09</b>		
<b>CURVA GRANULOMÉTRICA:</b>					
					
<span style="color: blue;">—◆—</span> LÍMITE SUPERIOR <span style="color: green;">—●—</span> LÍMITE INFERIOR <span style="color: red;">- -▲- -</span> % ACUMULADO					

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

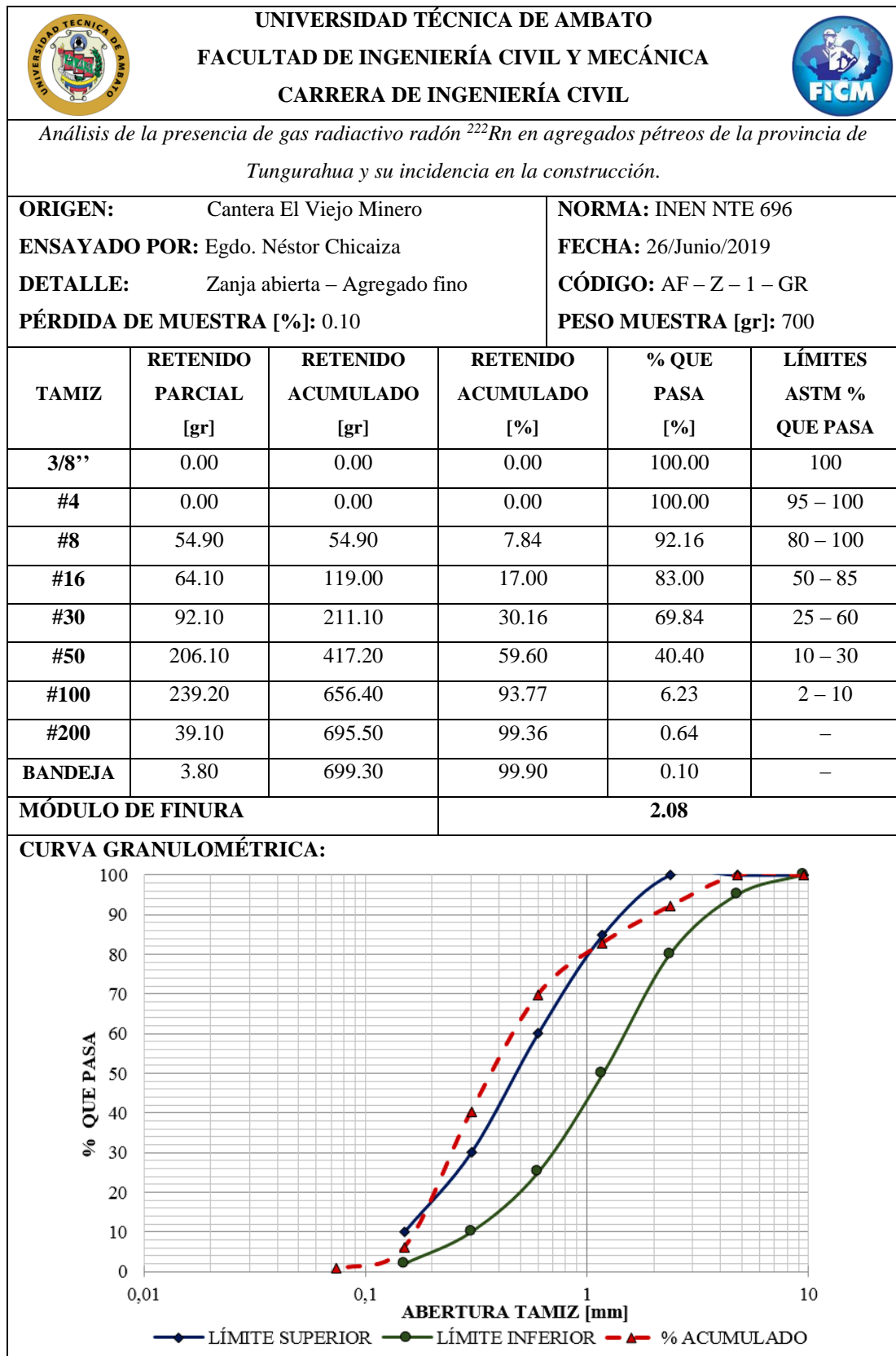


**Tabla 44.** Granulometría de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 2



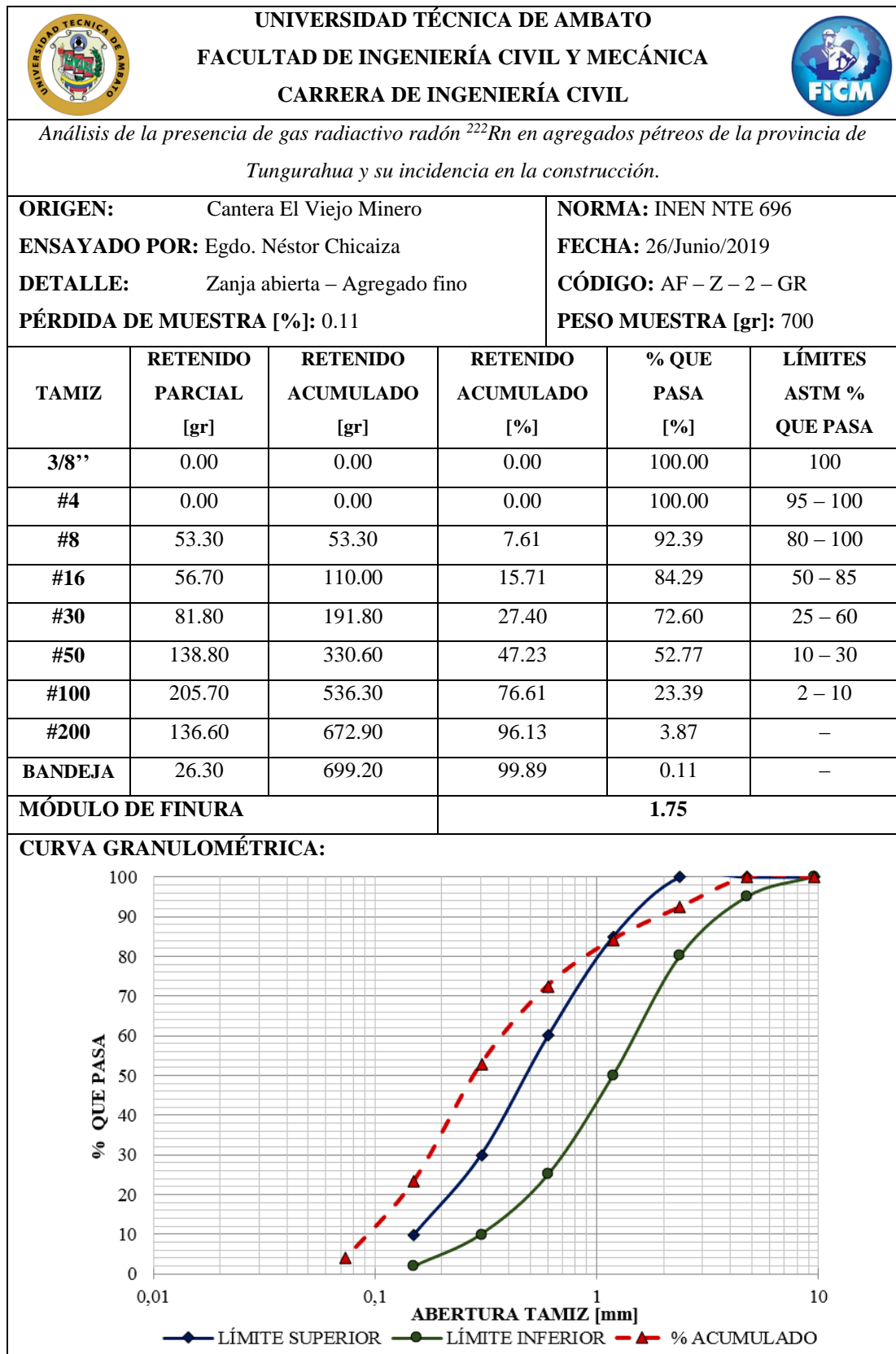
**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 45.** Granulometría de agregado fino de zanja abierta nro. 1



**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 46.** Granulometría de agregado fino de zanja abierta nro. 2



**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

En el medio ecuatoriano, se adopta un módulo de finura para agregado fino de 2.3 a 3.1, valores proporcionados por ASTM C125, se ha verificado resultados de dicho módulo del agregado fino (tablas 43 a 46), logrando resultados menores a lo proporcionado por la norma, como 2.09 y 1.75 máximo y mínimo respectivamente. Si el módulo de finura (fineza) disminuye como es en el caso, el material es más fino y por lo tanto la superficie específica aumenta y consecuentemente lo hará la cantidad de aglomerante para hormigones.



El agregado fino ensayado no es recomendable para el uso de hormigones debido a que el porcentaje que pasa en los tamices #30 (0.60 mm) y # 50 (0.30 mm) excede el límite permitido que es de 10% a 30% y 25% a 60% respectivamente para cada tamiz, se puede encontrar valores que pasan hasta el 52% en el tamiz #30, y de 72% en el tamiz #50, y esto se puede detallar en la curva granulométrica que tiende a sobrepasar los límites superiores designados por la ASTM.

Por otro lado, cuando se utiliza agregados con partículas con una medida pequeña en mezclas pobres (debido a lo representado en la curva granulométrica), es conveniente usar la granulometría que se ajuste al porcentaje máximo que pasa por cada tamiz para lograr una buena trabajabilidad y será reflejado en una aceptable resistencia en hormigones. En los agregados finos de la cantera “El Viejo Minero”, el porcentaje que pasa de partículas en los tamices #4, #8 y #16, representan un valor aceptable debido a que se encuentran al límite del porcentaje máximo establecido, por lo tanto el método de tamizado en obra permitirá adquirir una conveniente granulometría y a su vez un excelente aprovechamiento de material.

Las arenas obtenidas en la cantera, presentan partículas sumamente finas con una mezcla de limos y arcillas, esto influirá directamente en el desplazamiento del gas radón en su interior y no permitirá que alcance la superficie del suelo en el ambiente, y su escape al momento de la elaboración de hormigones.



- **Permeabilidad**

**Tabla 47.** Permeabilidad de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM D – 2434	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 27/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado fino		<b>CÓDIGO:</b> AF – P – 1 – PB	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
V	Volumen de muestra	cm <sup>3</sup>	25.00
L	Longitud de muestra	cm	4.50
D	Diámetro interior de permeámetro	cm	6.38
$A = (\pi * D^2) / 4$	Sección de muestra	cm <sup>2</sup>	31.97
H	Altura de carga hidráulica	cm	57.50
T	Tiempo de prueba	seg	83.32
$K = (V*L) / (A*H*T)$	Coeficiente de permeabilidad	cm/seg	7.35 E-4

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 48.** Permeabilidad de agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM D – 2434	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b>	
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado fino		<b>CÓDIGO:</b> AF – P – 2 – PB	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
V	Volumen de muestra	cm <sup>3</sup>	25.00
L	Longitud de muestra	cm	5.20
D	Diámetro interior de permeámetro	cm	6.38
$A = (\pi * D^2) / 4$	Sección de muestra	cm <sup>2</sup>	31.97
H	Altura de carga hidráulica	cm	58.30
T	Tiempo de prueba	seg	87.53
$K = (V*L) / (A*H*T)$	Coeficiente de permeabilidad	cm/seg	7.97 E-4

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 49.** Permeabilidad de agregado fino de zanja abierta nro. 1

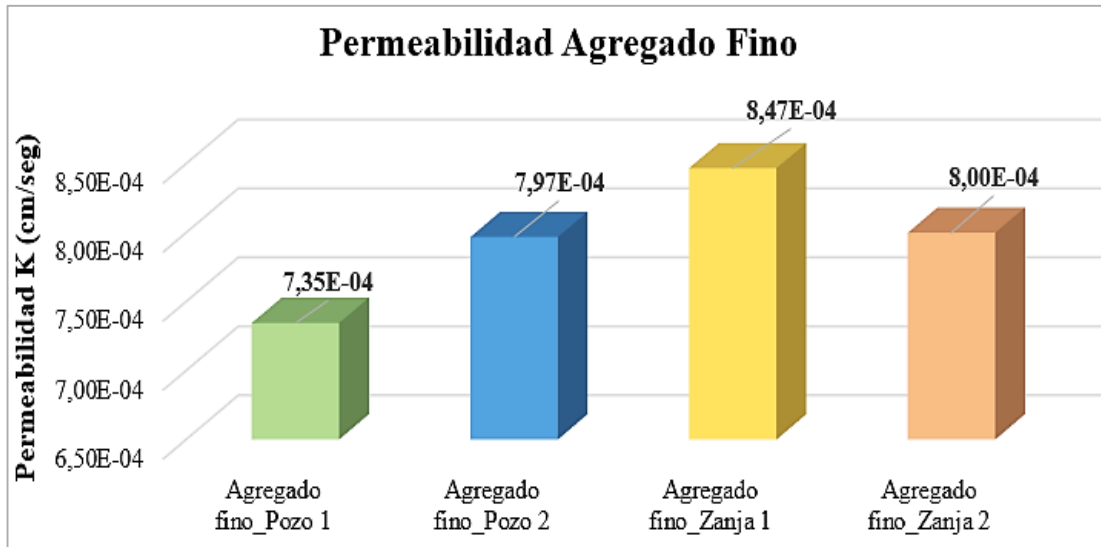
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM D – 2434	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 27/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado fino		<b>CÓDIGO:</b> AF – Z – 1 – PB	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
V	Volumen de muestra	cm <sup>3</sup>	25.00
L	Longitud de muestra	cm	4.60
D	Diámetro interior de permeámetro	cm	6.38
$A = (\pi * D^2) / 4$	Sección de muestra	cm <sup>2</sup>	31.97
H	Altura de carga hidráulica	cm	54.20
T	Tiempo de prueba	seg	78.38
$K = (V*L) / (A*H*T)$	Coeficiente de permeabilidad	cm/seg	8.47 E-4

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 50.** Permeabilidad de agregado fino de zanja abierta nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM D – 2434	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 27/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado fino		<b>CÓDIGO:</b> AF – Z – 2 – PB	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
V	Volumen de muestra	cm <sup>3</sup>	25.00
L	Longitud de muestra	cm	5.20
D	Diámetro interior de permeámetro	cm	6.38
$A = (\pi * D^2) / 4$	Sección de muestra	cm <sup>2</sup>	31.97
H	Altura de carga hidráulica	cm	63.30
T	Tiempo de prueba	seg	80.30
$K = (V*L) / (A*H*T)$	Coeficiente de permeabilidad	cm/seg	8.00 E-4

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Figura 48.** Permeabilidad de Agregado Fino

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



La figura 48, muestra una variación menos significativa de valores del coeficiente de permeabilidad K (cm/seg), velocidad con la que un fluido puede desplazarse entre las partículas del agregado fino. La cantera “El Viejo Minero”, presenta áridos pétreos homogéneos en el aspecto de permeabilidad.

Los resultados son de  $7.35 \times 10^{-4}$  cm/seg hasta  $8.47 \times 10^{-4}$  cm/seg como mínimo y máximo respectivamente, valores que permiten determinar la permeabilidad y calidad de drenaje del agregado, obteniendo como producto los siguientes aspectos:

- Drenaje pobre.
- Permeabilidad relativa baja.
- Considerado arena muy fina con limos orgánicos, sucia.
- Arena considerada impermeable modificada por la descomposición mecánica y/o química de los suelos, o por la vegetación existente en la zona.
- Mezclas de arena, limos y arcillas morenas y glaciales, debido a los depósitos de arcilla estratificada.


La permeabilidad en el agregado fino, es una propiedad que permitirá analizar la existencia y desplazamiento del gas radón a través de sus partículas.

**Tabla 51.** Permeabilidad de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM D – 2434	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 28/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado grueso		<b>CÓDIGO:</b> AG – P – 1 – PB	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
V	Volumen de muestra	cm <sup>3</sup>	25.00
L	Longitud de muestra	cm	6.60
D	Diámetro interior de permeámetro	cm	6.38
$A = (\pi * D^2) / 4$	Sección de muestra	cm <sup>2</sup>	31.97
H	Altura de carga hidráulica	cm	39.60
T	Tiempo de prueba	seg	12.89
$K = (V*L) / (A*H*T)$	Coficiente de permeabilidad	cm/seg	1.01 E-2

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 52.** Permeabilidad de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM D – 2434	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 28/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado grueso		<b>CÓDIGO:</b> AG – P – 2 – PB	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
V	Volumen de muestra	cm <sup>3</sup>	25.00
L	Longitud de muestra	cm	7.70
D	Diámetro interior de permeámetro	cm	6.38
$A = (\pi * D^2) / 4$	Sección de muestra	cm <sup>2</sup>	31.97
H	Altura de carga hidráulica	cm	35.10
T	Tiempo de prueba	seg	16.56
$K = (V*L) / (A*H*T)$	Coficiente de permeabilidad	cm/seg	1.04 E-4

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Tabla 53.** Permeabilidad de agregado grueso de zanja abierta nro. 1

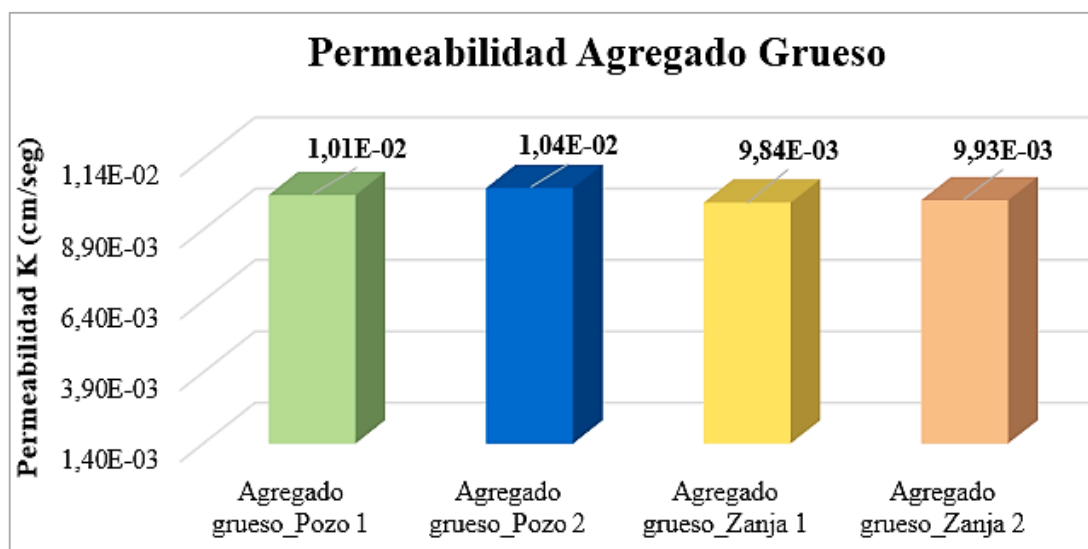
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM D – 2434	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 28/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado grueso		<b>CÓDIGO:</b> AG – Z – 1 – PB	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
V	Volumen de muestra	cm <sup>3</sup>	25.00
L	Longitud de muestra	cm	7.40
D	Diámetro interior de permeámetro	cm	6.38
$A = (\pi * D^2) / 4$	Sección de muestra	cm <sup>2</sup>	31.97
H	Altura de carga hidráulica	cm	37.40
T	Tiempo de prueba	seg	15.72
$K = (V*L) / (A*H*T)$	Coeficiente de permeabilidad	cm/seg	9.85 E-3

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 54.** Permeabilidad de agregado grueso de zanja abierta nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> ASTM D – 2434	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 28/Junio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado grueso		<b>CÓDIGO:</b> AG – Z – 2 – PB	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
V	Volumen de muestra	cm <sup>3</sup>	25.00
L	Longitud de muestra	cm	7.50
D	Diámetro interior de permeámetro	cm	6.38
$A = (\pi * D^2) / 4$	Sección de muestra	cm <sup>2</sup>	31.97
H	Altura de carga hidráulica	cm	34.50
T	Tiempo de prueba	seg	17.12
$K = (V*L) / (A*H*T)$	Coeficiente de permeabilidad	cm/seg	9.93 E-3

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Figura 49.** Permeabilidad de Agregado Grueso

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

La figura 49, muestra una variación menos significativa de valores del coeficiente de permeabilidad K (cm/seg), velocidad con la que un fluido puede desplazarse entre las partículas del agregado grueso. La cantera “El Viejo Minero”, presenta áridos pétreos homogéneos en el aspecto de permeabilidad.

Los resultados son de  $9.84 \times 10^{-3}$  cm/seg hasta  $1.04 \times 10^{-2}$  cm/seg como mínimo y máximo respectivamente, valores que permiten determinar la permeabilidad y calidad de drenaje del agregado, obteniendo como producto los siguientes aspectos:

- Buen drenaje.
- Permeabilidad relativa media.
- Considerado una mezcla de grava con varias partículas de arena.
- Grava considerada medianamente permeable modificada por la descomposición mecánica y/o química de los suelos, o por la vegetación existente en la zona.

La permeabilidad en el agregado grueso, es una propiedad que permitirá analizar la existencia y desplazamiento del gas radón a través de sus partículas.

### 3.1.3.3 Propiedades mecánicas de los agregados pétreos para dosificación de hormigones

Se procede a analizar los ensayos de la densidad aparente suelta y compactada de los áridos, gravedad específica (densidad real), resistencia a la abrasión del agregado grueso, densidad real del cemento, propiedades mecánicas que intervienen en la dosificación de hormigones de diferentes resistencias y asentamientos, el método a utilizar es el desarrollado por la Universidad Central del Ecuador.

- **Densidad aparente suelta**

**Tabla 55.** Densidad aparente suelta de los agregados

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> INEN NTE 858		
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 01/Julio/2019		
<b>DETALLE:</b> Agregados pétreos		<b>CÓDIGO:</b> A – P/Z – 1/2 – DS		
<b>VOLUMEN RECIPIENTE [cm<sup>3</sup>]:</b> 20235		<b>MASA RECIPIENTE [gr]:</b> 9800		
AGREGADO	Agregado + Recipiente [gr]	Agregado [gr]	Peso Unitario [gr/cm <sup>3</sup> ]	Peso Unitario Promedio [gr/cm <sup>3</sup> ]
FINO Pozo a Cielo Abierto	33900	24100	1.191	<b>1.171</b>
	33100	23300	1.151	
FINO Zanja Abierta	33500	23700	1.171	<b>1.161</b>
	33100	23300	1.151	
GRUESO Pozo a Cielo Abierto	30600	20800	1.028	<b>1.011</b>
	29900	20100	0.993	
GRUESO Zanja Abierta	31100	21300	1.053	<b>1.035</b>
	30400	20600	1.018	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

De acuerdo a la tabla 55, no existe un rango que determine los valores de densidad aparente suelta de los agregados, puesto que los resultados son definidos únicamente en términos de ensayo. Se considera aceptable el producto obtenido, debido a que la precisión de un solo operador al momento de ejecutar el ensayo en un material similar, sus resultados no deben diferir en  $\pm 0.04 \text{ gr/cm}^3$ .

- **Densidad aparente compactada**

**Tabla 56.** Densidad aparente compactada de los agregados

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> INEN NTE 858		
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 01/Julio/2019		
<b>DETALLE:</b> Agregados pétreos		<b>CÓDIGO:</b> A – P/Z – 1/2 – DAC		
<b>VOLUMEN RECIPIENTE [cm<sup>3</sup>]:</b> 20240		<b>MASA RECIPIENTE [gr]:</b> 9800		
AGREGADO	Agregado + Recipiente [gr]	Agregado [gr]	Peso Unitario [gr/cm <sup>3</sup> ]	Peso Unitario Promedio [gr/cm <sup>3</sup> ]
FINO Pozo a Cielo Abierto	37300	27500	1.359	<b>1.369</b>
	37700	27900	1.378	
FINO Zanja Abierta	37900	28100	1.388	<b>1.386</b>
	37800	28000	1.383	
GRUESO Pozo a Cielo Abierto	32100	22300	1.102	<b>1.092</b>
	31700	21900	1.082	
GRUESO Zanja Abierta	33200	23400	1.156	<b>1.136</b>
	32400	22600	1.117	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

De acuerdo a la tabla 56, no existe un rango que determine los valores de densidad aparente compactada de los agregados, puesto que los resultados son definidos únicamente en términos de ensayo. Se considera aceptable el producto obtenido, debido a que la precisión de un solo operador al momento de ejecutar el ensayo en un material similar, sus resultados no deben diferir en  $\pm 0.04 \text{ gr/cm}^3$ .

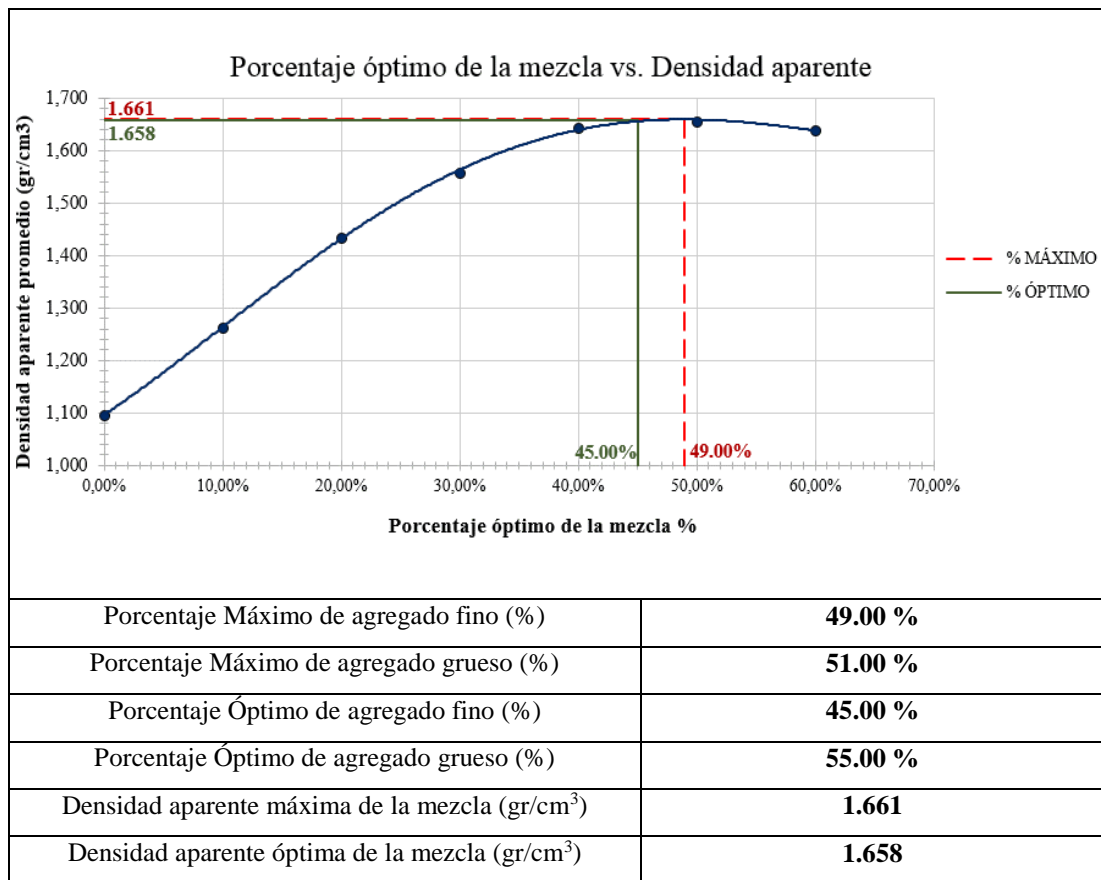
- **Densidad aparente compactada de la mezcla**

**Tabla 57.** Densidad aparente compactada de la mezcla de los agregados de pozo a cielo abierto

%Mezcla		Cantidad [kg]		Fino añadido [kg]	Agregado + Recipiente [kg]	Agregado [kg]	Peso unitario mezcla [gr/cm <sup>3</sup> ]	Peso unitario promedio [gr/cm <sup>3</sup> ]
Grueso	Fino	Grueso	Fino	Fino	AGREGADO FINO + GRUESO			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	31.90	22.10	1.092	1.097
					32.10	22.30	1.102	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	35.50	25.70	1.270	1.263
					35.20	25.40	1.255	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	38.80	29.00	1.433	1.436
					38.90	29.10	1.438	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	41.70	31.90	1.576	1.559
					41.00	31.20	1.542	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	42.80	33.00	1.631	1.643
					43.30	33.50	1.656	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	43.30	33.50	1.656	1.658
					43.40	33.60	1.660	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	43.00	33.20	1.641	1.638
					42.90	33.10	1.636	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

De acuerdo a la tabla 57, no existe un rango que determine los valores de densidad aparente compactada de la mezcla, puesto que los resultados son definidos únicamente en términos de ensayo. Se considera aceptable el producto obtenido, debido a que la precisión de un solo operador al momento de ejecutar el ensayo en un material similar, sus resultados no deben diferir en  $\pm 0.04 \text{ gr/cm}^3$ .



**Figura 50.** Porcentaje óptimo de la mezcla de agregados de pozo a cielo abierto

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Como se observa en la figura 50, la línea entrecortada refleja el porcentaje máximo de la mezcla que corresponde a una densidad aparente compactada máxima de 1.661 gr/cm<sup>3</sup> son 49% de agregado fino y 51% de agregado grueso. Mientras que el porcentaje máximo de la mezcla que corresponde a una densidad aparente compactada óptima de 1.658 gr/cm<sup>3</sup> son 45% de agregado fino y 55% de agregado grueso.

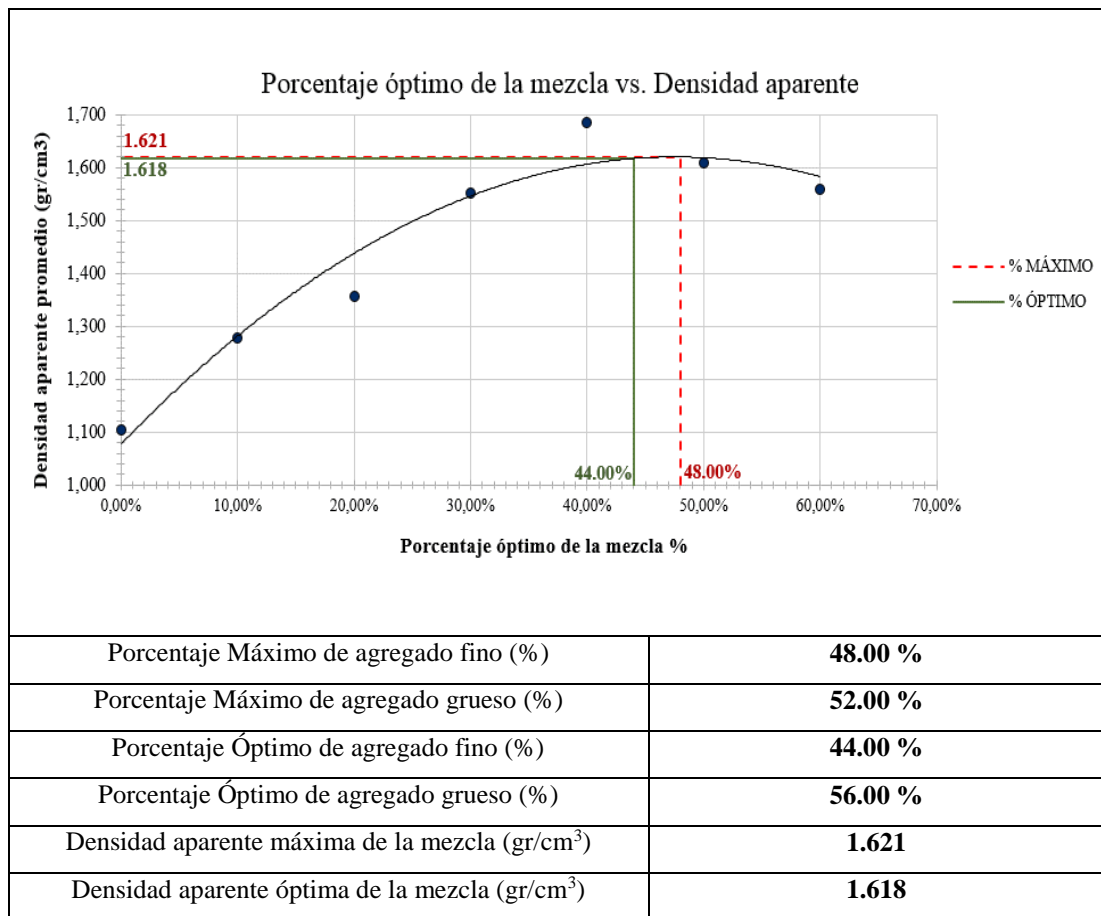
Las densidades aparentes compactadas máxima y óptima no representan un elevado valor, por lo tanto su superficie específica se verá incrementada y así aumentará la cantidad de aglomerante en la elaboración de hormigones.

**Tabla 58.** Densidad aparente compactada de la mezcla de los agregados de zanja abierta

%Mezcla		Cantidad [kg]		Fino añadido [kg]	Agregado + Recipiente [kg]	Agregado [kg]	Peso unitario mezcla [gr/cm <sup>3</sup> ]	Peso unitario promedio [gr/cm <sup>3</sup> ]
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	32.30	22.50	1.112	1.105
					32.00	22.20	1.097	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	35.50	25.70	1.270	1.280
					35.90	26.10	1.290	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	37.00	27.20	1.344	1.357
					37.50	27.70	1.369	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	41.00	31.20	1.542	1.554
					41.50	31.70	1.567	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	43.90	34.10	1.685	1.688
					44.00	34.20	1.690	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	42.20	32.40	1.601	1.609
					42.50	32.70	1.616	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	41.30	31.50	1.557	1.562
					41.50	31.70	1.567	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

De acuerdo a la tabla 58, no existe un rango que determine los valores de densidad aparente compactada de la mezcla, puesto que los resultados son definidos únicamente en términos de ensayo. Se considera aceptable el producto obtenido, debido a que la precisión de un solo operador al momento de ejecutar el ensayo en un material similar, sus resultados no deben diferir en  $\pm 0.04 \text{ gr/cm}^3$ .



**Figura 51.** Porcentaje óptimo de la mezcla de agregados de zanja abierta

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Como se observa en la figura 51, la línea entrecortada refleja el porcentaje máximo de la mezcla que corresponde a una densidad aparente compactada máxima de 1.621 gr/cm<sup>3</sup> son 48% de agregado fino y 52% de agregado grueso. Mientras que el porcentaje máximo de la mezcla que corresponde a una densidad aparente compactada óptima de 1.618 gr/cm<sup>3</sup> son 44% de agregado fino y 56% de agregado grueso.

Las densidades aparentes compactadas máxima y óptima no representan un elevado valor, siendo inclusive menores que las presentadas anteriormente, por lo tanto su superficie específica se verá incrementada y así aumentará la cantidad de aglomerante en la elaboración de hormigones.



- **Densidad real de los agregados**

**Tabla 59.** Densidad Real de agregado fino de zanja abierta



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <math>^{222}\text{Rn}</math> en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> NTE INEN 857	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 03/Julio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado fino		<b>CÓDIGO:</b> AF – Z – 1/2 – DR	
<b>DATO</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
M1	Masa picnómetro	gr.	165.50
M2	Masa picnómetro + muestra SSS	gr.	235.00
M3	Masa picnómetro+muestra SSS+agua	gr.	693.10
M4 = M3 – M1	Masa agua añadida	gr.	458.10
M5	Masa picnómetro + 500cm <sup>3</sup> de agua	gr.	653.30
M6 = M5 – M1	Masa de 500cm <sup>3</sup> de agua	gr.	487.80
DA=M6 / 500cm <sup>3</sup>	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.98
M7 = M6 – M4	Masa de agua desalojada por muestra	gr.	29.70
Msss = M2 – M1	Masa del agregado	gr.	69.50
V <sub>sss</sub> = M7 / DA	Volumen del agua desalojada	cm <sup>3</sup>	30.44
DRA = Msss / V <sub>sss</sub>	Densidad real del agregado fino	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2.283</b>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Como se observa en los datos de la tabla 59, se obtiene una densidad real del agregado fino con un valor de 2.283 gr/cm<sup>3</sup>. Se considera una arena aceptable debido a que se encuentra en el límite del rango proporcionado de experimentaciones anteriores el cual establece como mínimo una densidad real no menor a 2.3 gr/cm<sup>3</sup>, y en el agregado fino se obtuvo un valor con un margen de error de – 0.017 gr/cm<sup>3</sup>.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el material presente no es de excelente calidad, pero será considerado para continuar con el proceso de dosificación, porque el objetivo principal de esta investigación es el análisis de concentración y exhalación del gas radón en función de las propiedades mecánicas de los agregados pétreos.

**Tabla 60.** Densidad Real de agregado fino de pozo a cielo abierto


 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <math>^{222}\text{Rn}</math> en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> NTE INEN 857	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 03/Julio/2019	
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado fino		<b>CÓDIGO:</b> AF – P – 1/2 – DR	
<b>DATO</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
M1	Masa picnómetro	gr.	165.50
M2	Masa picnómetro + muestra SSS	gr.	284.20
M3	Masa picnómetro+muestra SSS+agua	gr.	727.40
M4 = M3 – M1	Masa agua añadida	gr.	443.20
M5	Masa picnómetro + 500cm <sup>3</sup> de agua	gr.	659.60
M6 = M5 – M1	Masa de 500cm <sup>3</sup> de agua	gr.	494.10
DA=M6 / 500cm <sup>3</sup>	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.99
M7 = M6 – M4	Masa de agua desalojada por muestra	gr.	50.90
M <sub>sss</sub> = M2 – M1	Masa del agregado	gr.	118.70
V <sub>sss</sub> = M7 / DA	Volumen del agua desalojada	cm <sup>3</sup>	51.51
DRA = M <sub>sss</sub> / V <sub>sss</sub>	Densidad real del agregado fino	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2.305</b>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Como se observa en los datos de la tabla 60, se obtiene una densidad real del agregado fino con un valor de 2.305 gr/cm<sup>3</sup>. Se considera una arena aceptable debido a que se encuentra en el límite del rango proporcionado de experimentaciones anteriores el cual establece como mínimo una densidad real no menor a 2.3 gr/cm<sup>3</sup>, y en el agregado fino no presenta un valor de margen de error.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el material presente no es de excelente calidad, pero será considerado para continuar con el proceso de dosificación, porque el objetivo principal de esta investigación es el análisis de concentración y exhalación del gas radón en función de las propiedades mecánicas de los agregados pétreos.

**Tabla 61.** Densidad Real de agregado grueso de zanja abierta

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> NTE INEN 857	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 03/Julio/2019	
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta – Agregado grueso		<b>CÓDIGO:</b> AG – Z – 1/2 – DR	
<b>DATO</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
M1	Masa canastilla en el aire	gr.	1184.00
M2	Masa canastilla en el agua	gr.	1025.00
M3	Masa canastilla+muestra SSS en el aire	gr.	3264.00
M4	Masa canastilla+muestra SSS en el agua	gr.	2209.00
DA	Densidad real del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.00
M5 = M3 – M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr.	2082.00
M6 = M4 – M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr.	1185.00
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm <sup>3</sup>	895.00
DR = M5 / VR	Densidad real del agregado	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2.324</b>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Como se observa en los datos de la tabla 61, se obtiene una densidad real del agregado grueso con un valor de 2.324 gr/cm<sup>3</sup>. Se considera una grava aceptable debido a que se encuentra en el límite del rango proporcionado de experimentaciones anteriores el cual establece como mínimo una densidad real no menor a 2.3 gr/cm<sup>3</sup>, y en el agregado grueso no presenta un valor de margen de error.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el material presente no es de excelente calidad, pero será considerado para continuar con el proceso de dosificación, porque el objetivo principal de esta investigación es el análisis de concentración y exhalación del gas radón en función de las propiedades mecánicas de los agregados pétreos.

**Tabla 62.** Densidad Real de agregado grueso de pozo a cielo abierto

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>NORMA:</b> NTE INEN 857	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 03/Julio/2019	
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto – Agregado grueso		<b>CÓDIGO:</b> AG – P – 1/2 – DR	
<b>DATO</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
M1	Masa canastilla en el aire	gr.	1184.00
M2	Masa canastilla en el agua	gr.	1025.00
M3	Masa canastilla+muestra SSS en el aire	gr.	3409.00
M4	Masa canastilla+muestra SSS en el agua	gr.	2306.00
DA	Densidad real del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.00
M5 = M3 – M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr.	2225.00
M6 = M4 – M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr.	1281.00
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm <sup>3</sup>	944.00
DR = M5 / VR	Densidad real del agregado	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2.357</b>



**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Como se observa en los datos de la tabla 62, se obtiene una densidad real del agregado grueso con un valor de 2.357 gr/cm<sup>3</sup>. Se considera una grava aceptable debido a que se encuentra en el límite del rango proporcionado de experimentaciones anteriores el cual establece como mínimo una densidad real no menor a 2.3 gr/cm<sup>3</sup>, y en el agregado grueso no presenta un valor de margen de error.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el material presente no es de excelente calidad, pero será considerado para continuar con el proceso de dosificación, porque el objetivo principal de esta investigación es el análisis de concentración y exhalación del gas radón en función de las propiedades mecánicas de los agregados pétreos.

- Densidad real del cemento

**Tabla 63.** Densidad Real del cemento



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>DETALLE:</b> Cemento Selva Alegre		<b>NORMA:</b> NTE INEN 156	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 04/Julio/2019	
<b>TIPO:</b> Portland Tipo IP		<b>CÓDIGO:</b> C – DR	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa picnómetro	gr.	165.50
M2	Masa picnómetro + muestra	gr.	331.00
M3	Masa picnómetro+muestra+gasolina	gr.	650.60
M4 = M3 – M1	Masa gasolina añadida	gr.	319.60
M5	Masa picnómetro + 500cm <sup>3</sup> de gasolina	gr.	525.40
M6 = M5 – M1	Masa de 500cm <sup>3</sup> de agua	gr.	359.90
DA=M6 / 500cm <sup>3</sup>	Densidad de la gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0.72
M7 = M6 – M4	Masa de gasolina desalojada por muestra	gr.	40.30
M <sub>sss</sub> = M2 – M1	Masa del cemento	gr.	165.50
V <sub>sss</sub> = M7 / DA	Volumen de gasolina desalojada	cm <sup>3</sup>	55.99
DRA = M <sub>sss</sub> / V <sub>sss</sub>	Densidad real del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2.956</b>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

De los resultados obtenidos en la tabla 63, se obtiene una densidad real del cemento con un valor de 2.956 gr/cm<sup>3</sup>. Se considera un cemento aceptable debido a que se encuentra en el rango de 2.900 gr/cm<sup>3</sup> y 3.150 gr/cm<sup>3</sup>, valores proporcionados por NTE INEN 156 – Cemento Hidráulico.

- **Resistencia a la Abrasión**

**Tabla 64.** Resistencia a la Abrasión de agregado grueso

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero <b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza <b>DETALLE:</b> Agregado grueso <b>N° ESFERAS:</b> 12 <b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:</b> 1 1/2"		<b>NORMA:</b> ASTM C 131 – 14 <b>FECHA:</b> 05/Julio/2019 <b>CÓDIGO:</b> AG – P/Z – 1/2 – AB <b>MASA DE LA CARGA [gr]:</b> 5000	
<b>POZO A CIELO ABIERTO</b>			
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa inicial	gr.	5000.00
M2	Masa final (Retenido tamiz #12)	gr.	2828.00
M3 = M1 – M2	Masa desgastada	gr.	2172.00
D1 = (M3/M1) * 100	Desgaste	%	43.44
<b>ZANJA ABIERTA</b>			
M1	Masa inicial	gr.	5000.00
M2	Masa final (Retenido tamiz #12)	gr.	2913.00
M3 = M1 – M2	Masa desgastada	gr.	2087.00
D2 = (M3/M1) * 100	Desgaste	%	41.74
D = (D1+D2)/2	Desgaste Promedio	%	<b>42.59</b>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

De los resultados obtenidos en la tabla 64, se obtiene un desgaste promedio de 42.59% del agregado grueso extraído de la cantera “El Viejo Minero”. Se considera un desgaste aceptable debido a que se encuentra en el rango de 10% a 45%, valores proporcionados por ASTM C 131 – 14, además que la precisión de un solo operador al momento de ejecutar el ensayo en un material similar, sus resultados no deben diferir en  $\pm 2\%$ .

- **Propiedades mecánicas de agregados de zanja abierta**

### **Agregado grueso**

Mediante los ensayos efectuados en el laboratorio al agregado grueso (ripio) de la cantera “El Viejo Minero”, se obtuvo valores pertenecientes a las propiedades mecánicas y realizando su debida comparación a los límites admisibles de las diferentes normativas utilizadas se determina que los resultados alcanzados son considerados aptos para el empleo en hormigones.

**Tabla 65.** Propiedades mecánicas del agregado grueso de zanja abierta

<b>Agregado Grueso (Ripio)</b>		
<b>Propiedad Mecánica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Tamaño Nominal Máximo	1 1/2"	plg
Densidad Aparente Suelta	1.035	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente Compactada	1.136	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Real del Agregado	2.324	gr/cm <sup>3</sup>
Capacidad de Absorción	4.59	%
Resistencia a la Abrasión	41.74	%

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

### **Agregado fino**

Mediante los ensayos efectuados en el laboratorio al agregado fino (arena) de la cantera “El Viejo Minero”, se obtuvo valores pertenecientes a las propiedades mecánicas y realizando su debida comparación a los límites admisibles de las diferentes normativas utilizadas se determina que los resultados alcanzados no son considerados aptos para el empleo en hormigones, especialmente en el caso de módulo de finura y capacidad de absorción, valores que son bajos y altos respectivamente.

**Tabla 66.** Propiedades mecánicas del agregado fino de zanja abierta

<b>Agregado Fino (Arena)</b>		
<b>Propiedad Mecánica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Módulo de finura	2.080	plg
Densidad Aparente Suelta	1.161	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente Compactada	1.386	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Real del Agregado	2.283	gr/cm <sup>3</sup>
Capacidad de Absorción	7.60	%

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

## Mezcla de los agregados

Finalizado el ensayo de las propiedades mecánicas del agregado grueso y fino, se procede a realizar la mezcla de los áridos obtenidos de la zanja abierta, logrando los siguientes resultados:

**Tabla 67.** Mezcla de los agregados de zanja abierta

<b>Mezcla óptima de los agregados</b>		
<b>Propiedad Mecánica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Porcentaje Óptimo de agregado fino	44.00	%
Porcentaje Óptimo de agregado grueso	56.00	%
Densidad aparente máxima de la mezcla	1.621	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad aparente óptima de la mezcla	1.618	gr/cm <sup>3</sup>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

- **Propiedades mecánicas de agregados de pozo a cielo abierto**

## Agregado grueso

Mediante los ensayos efectuados en el laboratorio al agregado grueso (ripio) de la cantera “El Viejo Minero”, se obtuvo valores pertenecientes a las propiedades mecánicas y realizando su debida comparación a los límites admisibles de las diferentes normativas utilizadas se determina que los resultados alcanzados son considerados aptos para el empleo en hormigones.

**Tabla 68.** Propiedades mecánicas del agregado grueso de pozo a cielo abierto

<b>Agregado Grueso (Ripio)</b>		
<b>Propiedad Mecánica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Tamaño Nominal Máximo	1 1/2"	plg
Densidad Aparente Suelta	1.011	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente Compactada	1.092	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Real del Agregado	2.357	gr/cm <sup>3</sup>
Capacidad de Absorción	4.75	%
Resistencia a la Abrasión	43.44	%

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



## Agregado fino

Mediante los ensayos efectuados en el laboratorio al agregado fino (arena) de la cantera “El Viejo Minero”, se obtuvo valores pertenecientes a las propiedades mecánicas y realizando su debida comparación a los límites admisibles de las diferentes normativas utilizadas se determina que los resultados alcanzados no son considerados aptos para el empleo en hormigones, especialmente en el caso de módulo de finura y capacidad de absorción, valores que son bajos y altos respectivamente.

**Tabla 69.** Propiedades mecánicas del agregado fino de pozo a cielo abierto

<b>Agregado Fino (Arena)</b>		
<b>Propiedad Mecánica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Módulo de finura	2.090	plg
Densidad Aparente Suelta	1.171	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente Compactada	1.369	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Real del Agregado	2.305	gr/cm <sup>3</sup>
Capacidad de Absorción	7.93	%

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

## Mezcla de los agregados

Finalizado el ensayo de las propiedades mecánicas del agregado grueso y fino, se procede a realizar la mezcla de los áridos obtenidos de la zanja abierta, logrando los siguientes resultados:



**Tabla 70.** Mezcla de los agregados de pozo a cielo abierto

<b>Mezcla óptima de los agregados</b>		
<b>Propiedad Mecánica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Porcentaje Óptimo de agregado fino	45.00 %	%
Porcentaje Óptimo de agregado grueso	55.00 %	%
Densidad aparente máxima de la mezcla	1.661	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad aparente óptima de la mezcla	1.658	gr/cm <sup>3</sup>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



### 3.1.3.4 Dosificación de hormigones

**Tabla 71.** Dosificación de hormigones con agregados de zanja abierta

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>					
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Dosificación de la Universidad Central			
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 08/Julio/2019			
<b>DETALLE:</b> Áridos de zanja abierta		<b>CÓDIGO:</b> A – Z – 1/2 – D			
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS		
Propiedad	Valor	Unidad	Propiedad	Valor	Unidad
f <sub>c</sub>	210	kg/cm <sup>2</sup>	Relación W/C	0.62	–
Asentamiento	3 – 6	cm	Coeficiente k	1.08	–
DRC	2.956	gr/cm <sup>3</sup>	<b>CÁLCULOS</b>		
DRA	2.283	gr/cm <sup>3</sup>	DRM	2.306	gr/cm <sup>3</sup>
DRR	2.324	gr/cm <sup>3</sup>	POV	29.834	%
DSA	1.161	gr/cm <sup>3</sup>	CP	322.207	dm <sup>3</sup>
DSR	1.035	gr/cm <sup>3</sup>	C	336.230	kg
POA	44	%	W	208.462	lts
POR	56	%	A	680.856	kg
DOM	1.618	gr/cm <sup>3</sup>	R	882.107	kg
DOSIFICACIÓN AL PESO					
Material	Cantidad por m <sup>3</sup> [kg]	Dosificación al Peso	Cantidad por saco de 50 kg		
C	336.230	1.00	50.00		
W	208.462	0.62	31.00		
A	680.856	2.02	101.25		
R	882.107	2.62	131.18		
<b>TOTAL</b>	<b>2107.655</b>	<b>kg/m<sup>3</sup> densidad hormigón</b>			



**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 72.** Dosificación de hormigones con agregados de pozo a cielo abierto

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>					
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Dosificación de la Universidad Central			
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 08/Julio/2019			
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto		<b>CÓDIGO:</b> A – P – 1/2 – D			
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS		
Propiedad	Valor	Unidad	Propiedad	Valor	Unidad
f <sub>c</sub>	210	kg/cm <sup>2</sup>	Relación W/C	0.62	–
Asentamiento	3 – 6	cm	Coeficiente k	1.08	–
DRC	2.956	gr/cm <sup>3</sup>	<b>CÁLCULOS</b>		
DRA	2.305	gr/cm <sup>3</sup>	DRM	2.334	gr/cm <sup>3</sup>
DRR	2.357	gr/cm <sup>3</sup>	POV	28.951	%
DSA	1.171	gr/cm <sup>3</sup>	CP	312.671	dm <sup>3</sup>
DSR	1.011	gr/cm <sup>3</sup>	C	326.278	kg
POA	45	%	W	202.292	lts
POR	55	%	A	712.932	kg
DOM	1.658	gr/cm <sup>3</sup>	R	891.020	kg
DOSIFICACIÓN AL PESO					
Material	Cantidad por m <sup>3</sup> [kg]	Dosificación al Peso	Cantidad por saco de 50 kg		
C	326.278	1.00	50.00		
W	202.292	0.62	31.00		
A	712.932	2.19	109.25		
R	891.020	2.73	136.54		
<b>TOTAL</b>	<b>2132.522</b>	<b>kg/m<sup>3</sup> densidad hormigón</b>			



**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 73.** Dosificación de hormigones con agregados de zanja abierta

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>					
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Dosificación de la Universidad Central			
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 08/Julio/2019			
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto		<b>CÓDIGO:</b> A – P – 1/2 – D			
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS		
Propiedad	Valor	Unidad	Propiedad	Valor	Unidad
f <sub>c</sub>	180	kg/cm <sup>2</sup>	Relación W/C	0.70	–
Asentamiento	3 – 6	cm	Coeficiente k	1.08	–
DRC	2.956	gr/cm <sup>3</sup>	<b>CÁLCULOS</b>		
DRA	2.283	gr/cm <sup>3</sup>	DRM	2.306	gr/cm <sup>3</sup>
DRR	2.324	gr/cm <sup>3</sup>	POV	29.834	%
DSA	1.161	gr/cm <sup>3</sup>	CP	322.207	dm <sup>3</sup>
DSR	1.035	gr/cm <sup>3</sup>	C	310.323	kg
POA	44	%	W	217.226	lts
POR	56	%	A	680.856	kg
DOM	1.618	gr/cm <sup>3</sup>	R	882.107	kg
DOSIFICACIÓN AL PESO					
Material	Cantidad por m <sup>3</sup> [kg]	Dosificación al Peso	Cantidad por saco de 50 kg		
C	310.323	1.00	50.00		
W	217.226	0.70	35.00		
A	680.856	2.19	109.70		
R	882.107	2.84	142.15		
<b>TOTAL</b>	<b>2090.512</b>	<b>kg/m<sup>3</sup> densidad hormigón</b>			

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 74.** Dosificación de hormigones con agregados de pozo a cielo abierto

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>					
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Dosificación de la Universidad Central			
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 08/Julio/2019			
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto		<b>CÓDIGO:</b> A – P – 1/2 – D			
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS		
Propiedad	Valor	Unidad	Propiedad	Valor	Unidad
f <sub>c</sub>	180	kg/cm <sup>2</sup>	Relación W/C	0.70	–
Asentamiento	3 – 6	cm	Coeficiente k	1.08	–
DRC	2.956	gr/cm <sup>3</sup>	<b>CÁLCULOS</b>		
DRA	2.305	gr/cm <sup>3</sup>	DRM	2.334	gr/cm <sup>3</sup>
DRR	2.357	gr/cm <sup>3</sup>	POV	28.951	%
DSA	1.171	gr/cm <sup>3</sup>	CP	312.671	dm <sup>3</sup>
DSR	1.011	gr/cm <sup>3</sup>	C	301.138	kg
POA	45	%	W	210.797	lts
POR	55	%	A	712.932	kg
DOM	1.658	gr/cm <sup>3</sup>	R	891.020	kg
<b>DOSIFICACIÓN AL PESO</b>					
Material	Cantidad por m <sup>3</sup> [kg]	Dosificación al Peso	Cantidad por saco de 50 kg		
C	301.138	1.00	50.00		
W	210.797	0.70	35.00		
A	712.932	2.37	118.50		
R	891.020	2.96	148.00		
<b>TOTAL</b>	<b>2115.887</b>	<b>kg/m<sup>3</sup> densidad hormigón</b>			

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 75.** Nomenclatura de dosificación de agregados pétreos



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Dosificación de la Universidad Central	
<b>ENSAYADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 08/Julio/2019	
<b>DETALLE:</b> Agregados pétreos		<b>CÓDIGO:</b> A – P/Z – 1/2 – D	
Propiedad	Referencia	Propiedad	Referencia
DRC	Densidad Real del Cemento	DRM	Densidad Real de la Mezcla
DRA	Densidad Real de la Arena	POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos
DRR	Densidad Real del Ripio	CP	Cantidad de Pasta
DSA	Densidad Suelta de la Arena	C	Cantidad de Cemento
DSR	Densidad Suelta del Ripio	W	Cantidad de Agua
POA	Porcentaje Óptimo de Arena	A	Cantidad de Arena
POR	Porcentaje Óptimo del Ripio	R	Cantidad de Ripio
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla	k	Coeficiente para Cantidad de Pasta
W/C	Relación Agua/Cemento		

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

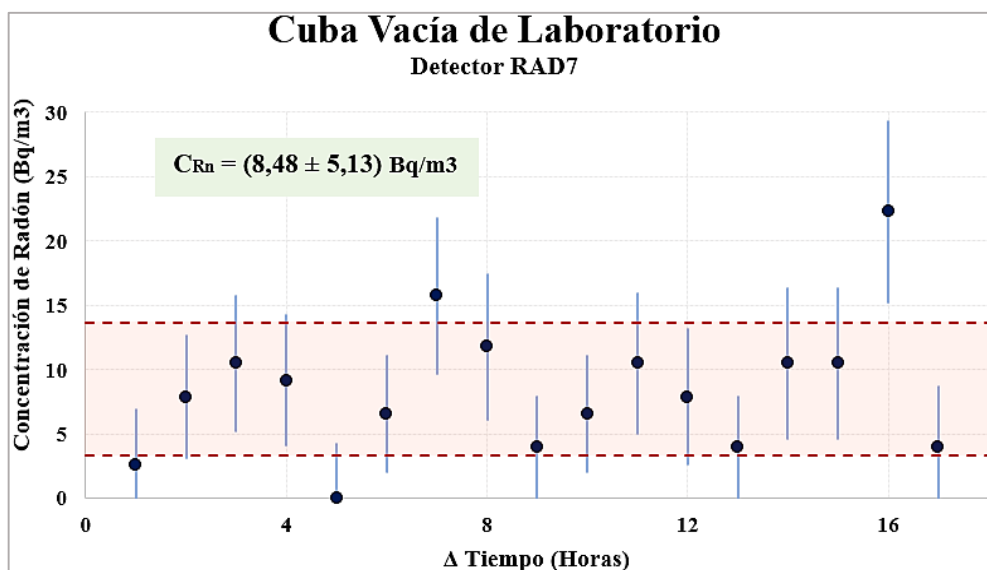
### 3.1.3.5 Concentración de radón

- **Concentración de radón en cuba de laboratorio**

**Tabla 76.** Concentración de radón en cuba vacía de laboratorio

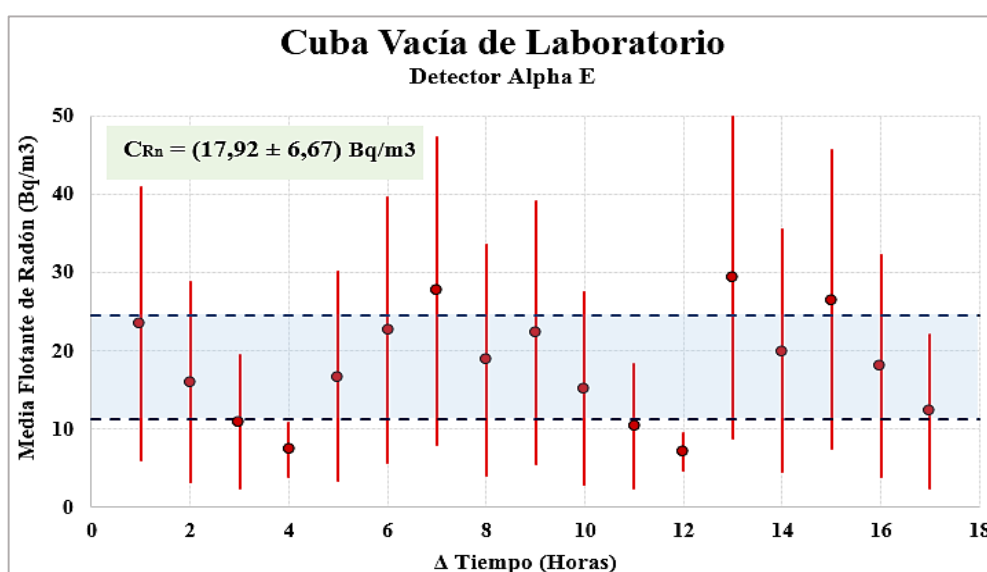
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>						
<b>ORIGEN:</b>		Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b>		Cámara Cerrada
<b>ENSAYADO POR:</b>		LTN/ESPOCH		<b>FECHA:</b>		15-16/Julio/2019
<b>DETALLE:</b>		Cuba vacía de laboratorio		<b>CÓDIGO:</b>		C – RD
<b>HUMEDAD RAD7 [%]:</b>		44.35		<b>HUMEDAD ALPHA E [%]:</b>		46.59
At (hora)	DETECTOR RAD7			DETECTOR ALPHA E		
	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C
1	2.62063	4.24027	25.70	23.44	17.44	25.00
2	7.86189	4.77708	26.00	15.97	12.78	25.00
3	10.48251	5.24126	25.70	10.88	8.50	25.00
4	9.17220	5.01644	24.80	7.39	3.46	25.00
5	0	4.24027	24.50	16.75	13.34	24.50
6	6.55157	4.51992	23.90	22.63	16.94	24.50
7	15.72377	6.03472	23.60	27.63	19.63	24.50
8	11.79283	5.65614	23.30	18.81	14.69	24.50
9	3.93094	3.93094	23.30	22.31	16.81	24.50
10	6.55157	4.51992	23.00	15.22	12.22	24.50
11	10.49184	5.45875	23.00	10.34	7.97	24.50
12	7.86538	5.24359	22.70	7.05	2.34	24.00
13	3.93094	3.93094	22.40	29.38	20.50	23.50
14	10.49651	5.85719	22.10	20.00	15.44	23.50
15	10.49184	5.85458	22.10	26.50	19.06	23.50
16	22.29516	7.02809	21.80	18.06	14.19	23.00
17	3.93269	4.77920	21.80	12.28	9.84	23.00

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Figura 52.** Concentración de radón en detector RAD7 de cuba vacía de laboratorio

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Figura 53.** Concentración de radón en detector ALPHA E de cuba vacía de laboratorio



**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Las figuras 52 y 53, muestran una concentración de radón a través del tiempo mediante el uso de los detectores RAD7 y ALPHA E con valores de  $(8.48 \pm 5.13) \text{ Bq/m}^3$  y  $(17.92 \pm 5.13) \text{ Bq/m}^3$  respectivamente. En función de que el cálculo del fondo de la cuba de laboratorio se considera un factor esencial para realizar el análisis de varios parámetros tales como la tasa de fuga  $\lambda_L$  y el coeficiente de exhalación másico E.

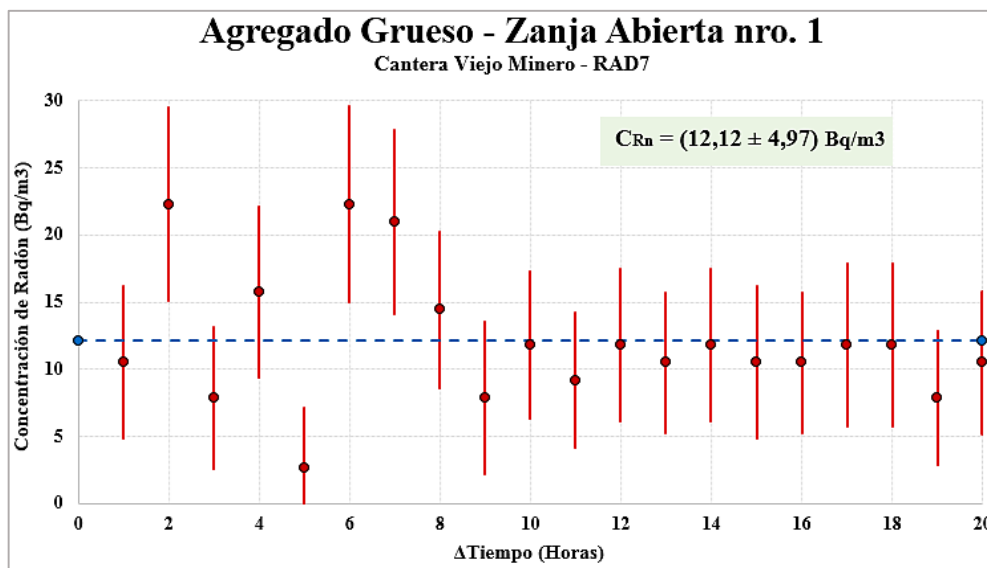


- **Concentración de radón en agregado grueso**

**Tabla 77.** Concentración de radón en agregado grueso de zanja abierta nro. 1

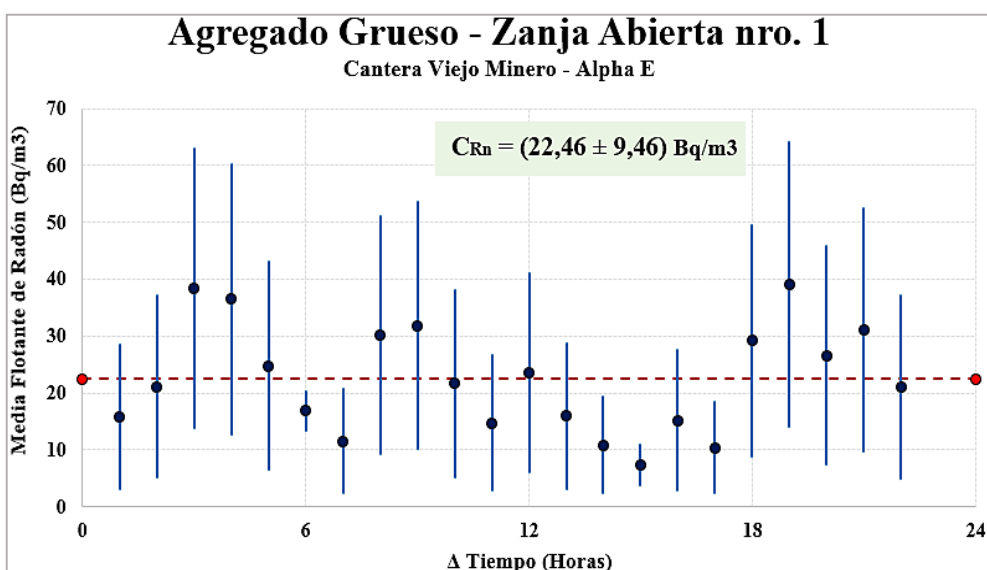
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>						
<b>ORIGEN:</b>		Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada		
<b>ENSAYADO POR:</b>		LTN/ESPOCH		<b>FECHA:</b> 30-31/Julio/2019		
<b>DETALLE:</b>		Zanja abierta nro. 1		<b>CÓDIGO:</b> AG – Z – 1 – RD		
<b>HUMEDAD RAD7 [%]:</b>		63.70		<b>HUMEDAD ALPHA E [%]:</b> 93.23		
At (hora)	<b>DETECTOR RAD7</b>			<b>DETECTOR ALPHA E</b>		
	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C
1	10.48251	5.65614	21.80	15.84	12.69	22.50
2	22.27534	7.17022	22.40	21.13	16.06	23.50
3	7.86189	5.24126	22.70	38.38	24.63	24.50
4	15.72377	6.38514	23.30	36.50	23.81	25.00
5	2.62063	4.51992	23.30	24.81	18.19	25.50
6	22.27534	7.31493	23.30	16.88	3.44	25.50
7	20.96503	6.86951	23.60	11.50	9.13	25.50
8	14.41346	5.84938	23.30	30.25	20.94	25.50
9	7.86189	5.65614	23.00	31.81	21.69	25.50
10	11.79283	5.45389	23.00	21.63	16.38	25.00
11	9.17220	5.01644	23.00	14.75	11.88	25.00
12	11.79807	5.65865	23.00	23.50	17.44	25.00
13	10.48718	5.24359	22.70	16.00	12.81	25.00
14	11.79807	5.65865	22.70	10.88	8.53	24.50
15	10.48718	5.65865	22.70	7.42	3.51	24.50
16	10.48251	5.24126	22.40	15.22	12.25	24.50
17	11.79807	6.03741	22.40	10.38	7.98	24.50
18	11.79807	6.03741	22.10	29.19	20.38	24.50
19	7.86538	5.01868	22.10	39.13	24.94	24.00
20	10.48718	5.24359	22.10	26.63	19.13	24.00
21	–	–	–	31.06	21.31	23.50
22	–	–	–	21.13	16.13	24.00

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Figura 54.** Concentración en detector RAD7 de agregado grueso de zanja nro.1

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.





**Figura 55.** Concentración en detector Alpha E de agregado grueso de zanja nro.1

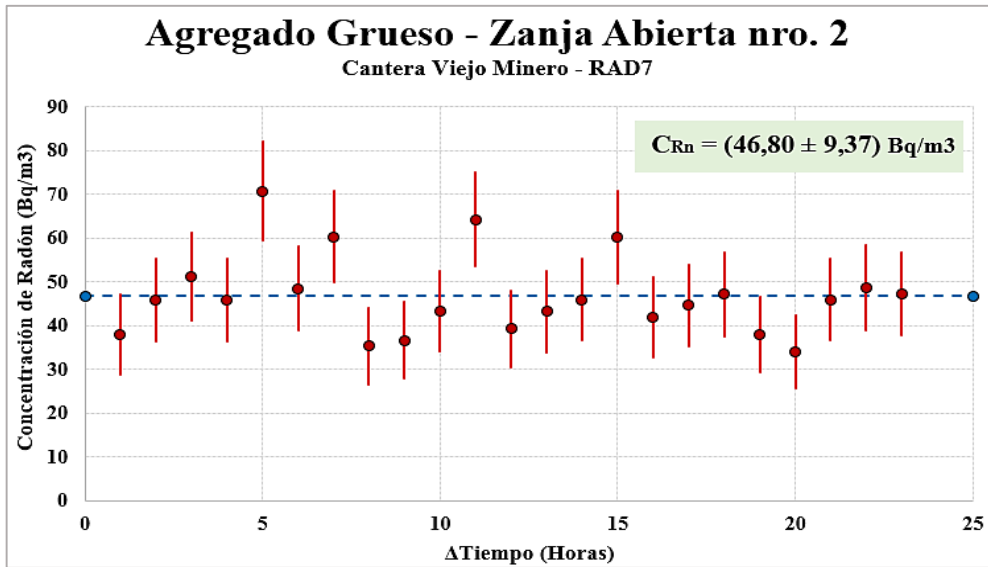
**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Las figuras 54 y 55, muestran que la diferencia de la concentración de radón del agregado grueso realizado por los dos detectores obtenido en la zanja nro. 1 no es muy notoria y su valor conseguido es sumamente bajo y constante. El detector RAD7 presenta datos dispersos en las primeras horas, pero con el pasar del tiempo se vuelven constantes, dando como resultado un promedio de  $(12,12 \pm 4,97) \text{ Bq/m}^3$ . El detector ALPHA E no presenta datos dispersos en toda su análisis logrando un promedio de  $(22,46 \pm 9,46) \text{ Bq/m}^3$ .

**Tabla 78.** Concentración de radón en agregado grueso de zanja abierta nro. 2

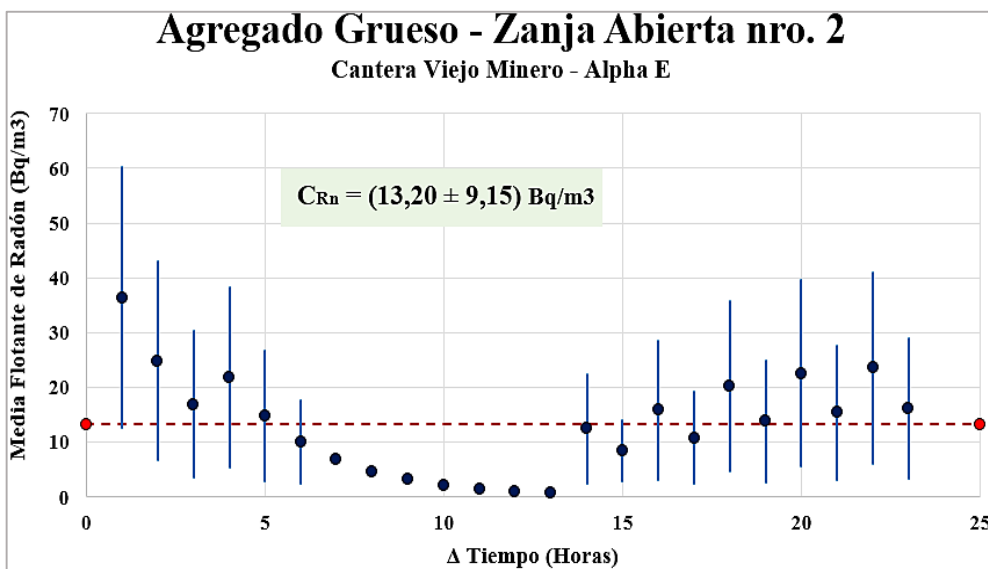
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>						
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada			
<b>ENSAYADO POR:</b> LTN/ESPOCH			<b>FECHA:</b> 05-06/Agosto/2019			
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta nro. 2			<b>CÓDIGO:</b> AG – Z – 2 – RD			
<b>HUMEDAD RAD7 [%]:</b> 65.57			<b>HUMEDAD ALPHA E [%]:</b> 95.96			
Δt (hora)	DETECTOR RAD7			DETECTOR ALPHA E		
	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C
1	38.01601	9.06627	24.20	36.38	23.81	23.00
2	45.86100	9.49323	24.50	24.81	18.19	24.00
3	51.12499	10.00641	24.20	16.88	13.41	24.50
4	45.86100	9.49323	23.90	21.69	16.44	24.50
5	70.78843	11.20796	23.90	14.78	11.88	24.50
6	48.48163	9.59747	23.60	10.06	7.63	25.00
7	60.27446	10.38844	23.60	6.84	0	25.00
8	35.37849	8.72257	23.30	4.66	0.01	24.50
9	36.68880	8.72257	23.30	3.17	0.01	25.00
10	43.27885	9.18036	23.00	2.16	0.01	25.00
11	64.26253	10.67733	23.00	1.47	0.01	25.00
12	39.32691	8.72645	22.70	1.00	0	25.00
13	43.27885	9.28890	22.70	0.68	0	24.50
14	45.90180	9.28890	22.70	12.41	9.97	25.00
15	60.32808	10.58505	22.70	8.44	5.53	24.50
16	41.94871	9.17628	22.70	15.84	12.69	24.50
17	44.59033	9.28890	22.40	10.78	8.41	24.50
18	47.21329	9.60601	22.40	20.25	15.59	24.50
19	38.03292	8.61350	22.10	13.78	11.13	24.50
20	34.09849	8.25118	21.80	22.56	16.94	24.00
21	45.90180	9.28890	21.80	15.34	12.34	24.00
22	48.54636	9.71337	21.80	23.50	17.44	24.00
23	47.21329	9.39599	22.10	16.06	12.84	24.50

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Figura 56.** Concentración en detector RAD7 de agregado grueso de zanja nro.2

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.





**Figura 57.** Concentración en detector Alpha E de agregado grueso de zanja nro.2

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Las figuras 56 y 57, muestran que la diferencia de la concentración de radón del agregado grueso realizado por los dos detectores obtenido en la zanja nro. 2 es notoria y su valor conseguido es bajo y constante. El detector RAD7 presenta datos dispersos de incremento cada cinco horas, pero con el pasar del tiempo se vuelven constantes, dando como resultado un promedio de  $(46.80 \pm 9.37) \text{ Bq/m}^3$ . El detector ALPHA E presenta datos dispersos de decaimiento en las primeras horas y después su concentración se mantiene constante logrando un promedio de  $(13.20 \pm 9.15) \text{ Bq/m}^3$ .

**Tabla 79.** Concentración de radón en agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>						
<b>ORIGEN:</b>		Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada		
<b>ENSAYADO POR:</b>		LTN/ESPOCH		<b>FECHA:</b> 07-08/Agosto/2019		
<b>DETALLE:</b>		Pozo a cielo abierto nro. 1		<b>CÓDIGO:</b> AG – P – 1 – RD		
<b>HUMEDAD RAD7 [%]:</b>		65.04		<b>HUMEDAD ALPHA E [%]:</b> 95.21		
Δt (hora)	DETECTOR RAD7			DETECTOR ALPHA E		
	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C
1	2.62063	3.57985	23.00	71.75	51.13	24.50
2	10.48251	5.24126	23.60	53.63	33.63	25.00
3	13.10314	5.65614	23.60	35.38	23.31	25.00
4	6.55157	4.51992	23.60	24.06	17.75	25.00
5	11.79283	5.45389	23.60	16.38	13.09	25.00
6	2.62063	3.93094	23.60	11.16	8.81	25.00
7	5.24126	4.77708	23.60	17.81	14.06	25.00
8	13.10314	5.84938	23.60	22.75	17.06	25.50
9	15.72377	6.03472	23.60	15.50	12.44	25.00
10	9.17220	5.01644	23.30	10.56	8.16	25.00
11	5.24126	4.51992	23.30	7.19	2.84	25.50
12	13.10897	6.03741	23.30	27.88	19.75	25.00
13	15.73076	6.21583	23.60	29.56	20.63	25.00
14	15.72377	6.21306	23.60	20.13	15.50	25.50
15	14.41987	5.85198	23.60	13.69	11.06	25.50
16	11.79283	6.03472	23.60	21.13	16.06	25.00
17	5.24126	4.24027	23.30	14.38	11.59	25.00
18	7.86189	4.77708	23.30	9.78	7.31	25.00
19	9.17220	5.01644	23.30	6.66	0	25.00
20	17.04166	6.38798	23.00	4.53	0.01	25.00
21	22.28525	6.87256	23.00	3.09	0.01	24.50
22	18.35256	6.55449	22.70	2.10	0.01	24.50
23	5.24359	5.01868	22.70	1.43	0.01	24.50
24	–	–	–	0.97	0	24.50

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

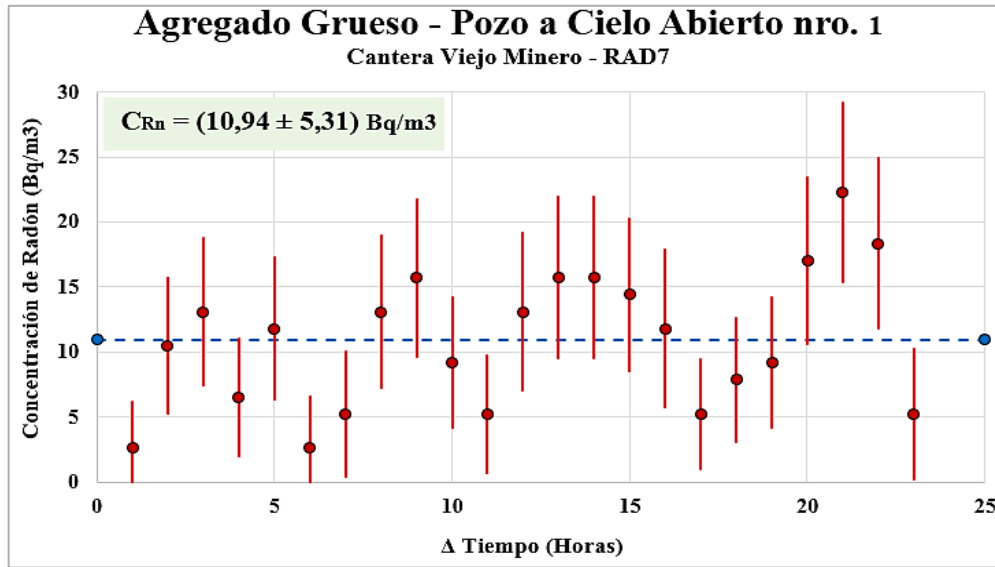


Figura 58. Concentración en detector RAD7 de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro.1

Autor: Néstor F. Chicaiza G.

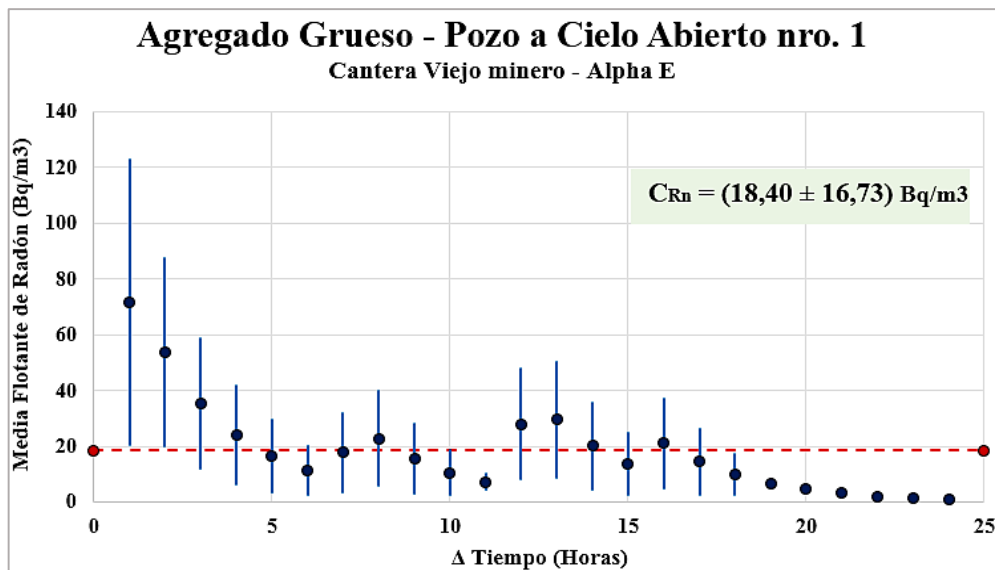




Figura 59. Concentración en detector Alpha E de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro.1

Autor: Néstor F. Chicaiza G.

Las figuras 58 y 59, muestran que la diferencia de la concentración de radón del agregado grueso realizado por los dos detectores, obtenido en el pozo nro. 1 no es muy notoria y su valor conseguido es sumamente bajo y variable. El detector RAD7 presenta datos dispersos de incremento en todo su análisis, dando como resultado un promedio de  $(10.94 \pm 5.31) \text{ Bq/m}^3$ . El detector ALPHA E presenta datos dispersos de decaimiento en todo su análisis inclusive en sus últimas horas tendiendo a un valor nulo de concentración de radón pero logrando un promedio de  $(18.40 \pm 16.73) \text{ Bq/m}^3$ .

**Tabla 80.** Concentración de radón en agregado grueso de pozo a cielo abierto nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>						
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada			
<b>ENSAYADO POR:</b> LTN/ESPOCH			<b>FECHA:</b> 08-09/Agosto/2019			
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto nro. 2			<b>CÓDIGO:</b> AG – P – 2 – RD			
<b>HUMEDAD RAD7 [%]:</b> 67.39			<b>HUMEDAD ALPHA E [%]:</b> 94.04			
Δt (hora)	DETECTOR RAD7			DETECTOR ALPHA E		
	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C
1	13.10314	5.84938	23.30	0	0	25.00
2	17.03409	6.21306	23.30	0	0	25.00
3	9.17220	5.45389	23.30	13.31	10.75	25.00
4	7.86189	5.01644	23.30	32.25	21.94	25.00
5	14.41346	5.84938	23.30	34.75	23.06	25.00
6	11.79283	5.45389	23.30	23.69	17.56	25.00
7	5.24126	4.51992	23.30	16.13	12.88	25.00
8	11.79283	6.03472	23.30	24.38	17.94	24.50
9	13.10314	6.03472	23.00	16.56	13.22	25.00
10	9.17628	5.01868	23.00	23.25	17.31	25.00
11	15.73076	6.03741	23.30	15.81	12.66	25.00
12	13.10897	5.85198	23.00	10.75	8.41	25.00
13	19.66345	6.55449	23.00	19.75	15.25	25.00
14	11.79807	5.65865	23.00	34.75	23.00	25.00
15	10.48718	5.85198	22.70	23.63	17.50	25.00
16	6.55449	4.52193	23.00	16.06	12.88	24.50
17	11.79283	5.84938	22.70	10.97	8.59	24.50
18	17.04166	6.55449	22.40	7.47	3.63	24.50
19	13.10897	5.85198	22.10	29.63	20.63	24.00
20	5.24126	4.51992	22.40	52.75	30.38	24.00
21	15.73076	6.21583	22.40	35.88	23.56	24.00
22	9.17628	5.24359	22.40	24.44	17.94	24.50
23	7.86538	5.45632	22.70	16.63	13.25	24.50

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

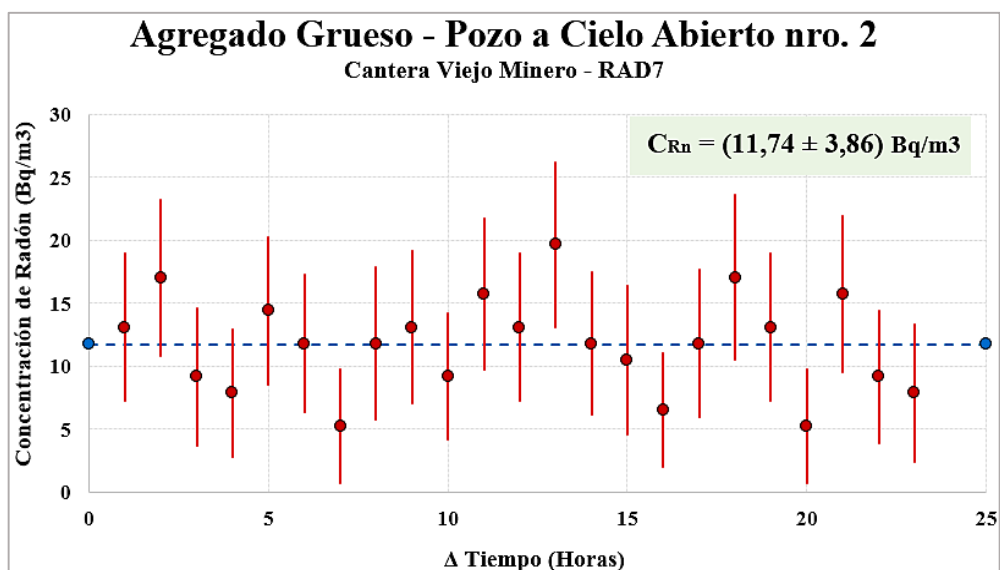


Figura 60. Concentración en detector RAD7 de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro.2

Autor: Néstor F. Chicaiza G.

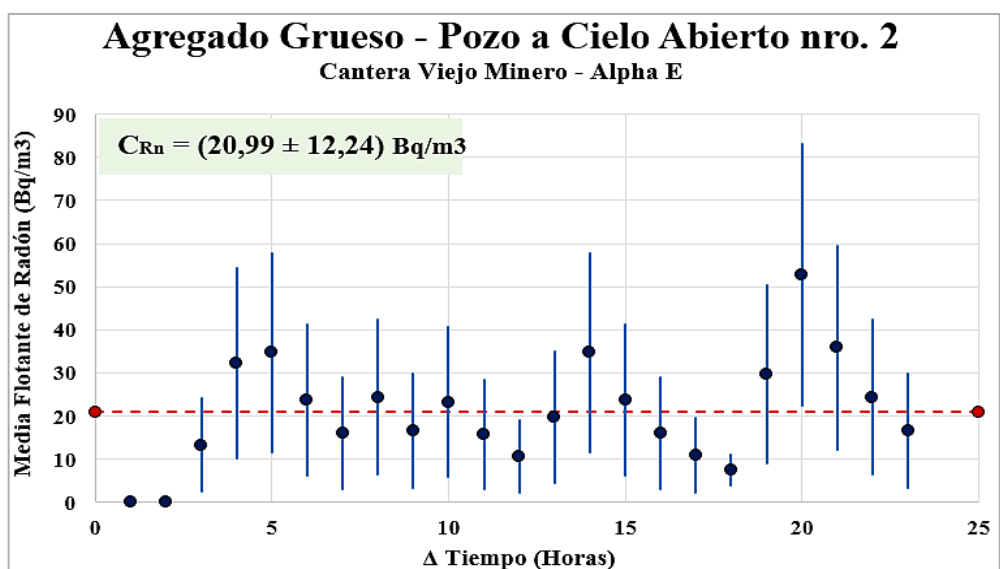


Figura 61. Concentración en detector Alpha E de agregado grueso de pozo a cielo abierto nro.2



Autor: Néstor F. Chicaiza G.

Las figuras 60 y 61, muestran que la diferencia de la concentración de radón del agregado grueso realizado por los dos detectores, obtenido en el pozo nro. 2 no es muy notoria y su valor conseguido es sumamente bajo y variable. El detector RAD7 presenta datos dispersos continuos en todo su análisis, dando como resultado un promedio de  $(11.74 \pm 3.86) \text{ Bq/m}^3$ . El detector ALPHA E presenta datos dispersos de decaimiento e incremento en todo su análisis inclusive en sus primeras horas tendiendo a un valor nulo de concentración de radón pero logrando un promedio de  $(20.99 \pm 12.24) \text{ Bq/m}^3$ .

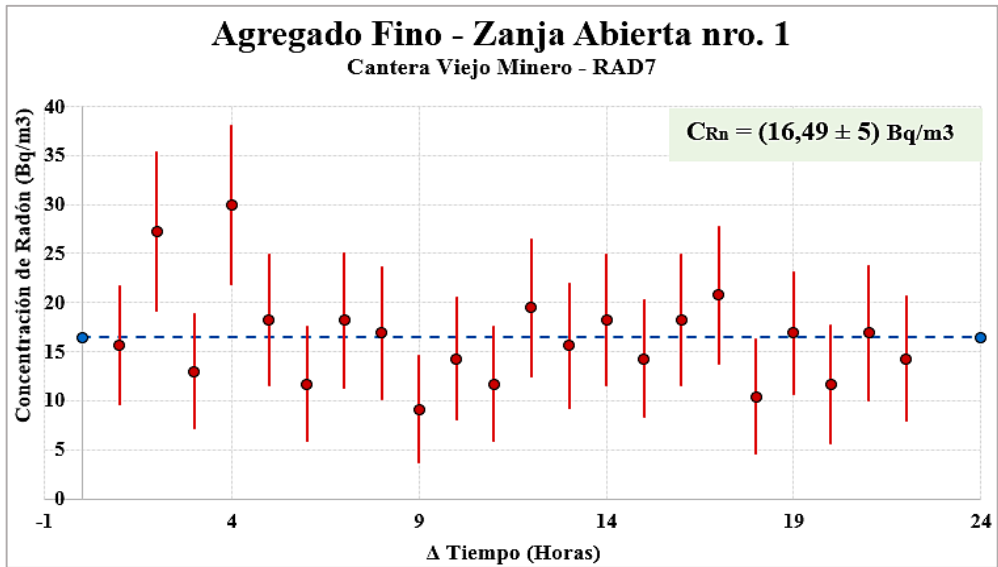


- **Concentración de radón en agregado fino**

**Tabla 81.** Concentración de radón en agregado fino de zanja abierta nro. 1

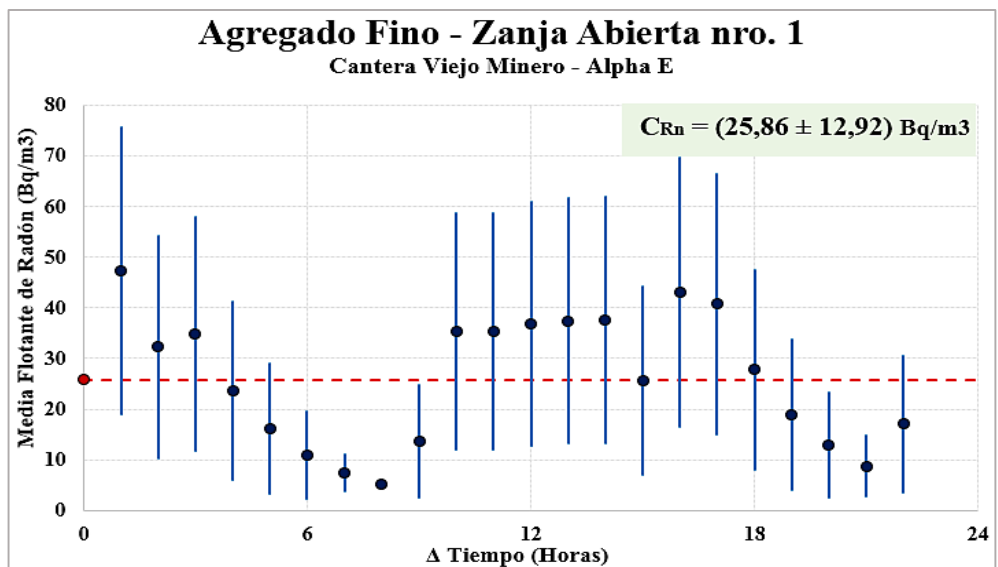
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>						
<b>ORIGEN:</b>		Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada		
<b>ENSAYADO POR:</b>		LTN/ESPOCH		<b>FECHA:</b> 29-30/Julio/2019		
<b>DETALLE:</b>		Zanja abierta nro. 1		<b>CÓDIGO:</b> AF – Z – 1 – RD		
<b>HUMEDAD RAD7 [%]:</b>		51.32		<b>HUMEDAD ALPHA E [%]:</b> 88.68		
At (hora)	<b>DETECTOR RAD7</b>			<b>DETECTOR ALPHA E</b>		
	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C
1	15.66113	6.01068	22.40	47.38	28.31	23.50
2	27.29822	8.05447	22.70	32.25	21.88	24.50
3	12.99915	5.80295	22.70	34.75	23.06	25.00
4	29.89805	8.05447	23.00	23.69	17.56	25.00
5	18.19881	6.65961	23.30	16.13	12.88	25.00
6	11.69924	5.80295	23.30	10.97	8.63	25.00
7	18.19881	6.81499	23.30	7.47	3.66	25.50
8	16.89890	6.65961	23.30	5.08	0.01	25.00
9	9.09941	5.41061	23.30	13.66	11.03	25.00
10	14.29907	6.16375	23.00	35.38	23.31	25.00
11	11.69924	5.80295	23.00	35.38	23.38	25.00
12	19.49873	6.96612	23.00	36.88	24.00	25.00
13	15.59898	6.33447	23.00	37.38	24.19	25.00
14	18.19881	6.65961	22.70	37.63	24.31	24.50
15	14.29907	5.98683	22.70	25.63	18.63	24.50
16	18.19881	6.65961	22.70	43.00	26.56	24.50
17	20.79864	6.96612	22.70	40.75	25.69	24.50
18	10.39932	5.80295	22.40	27.81	19.69	24.50
19	16.89890	6.16375	22.10	18.94	14.75	24.00
20	11.69924	5.98683	22.10	12.88	10.38	24.00
21	16.89890	6.81499	22.10	8.75	6.00	23.50
22	14.29907	6.33447	21.80	17.06	13.53	21.50

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Figura 62.** Concentración en detector RAD7 de agregado fino de zanja abierta nro.1

Autor: Néstor F. Chicaiza G.





**Figura 63.** Concentración en detector Alpha E de agregado fino de zanja abierta nro.1

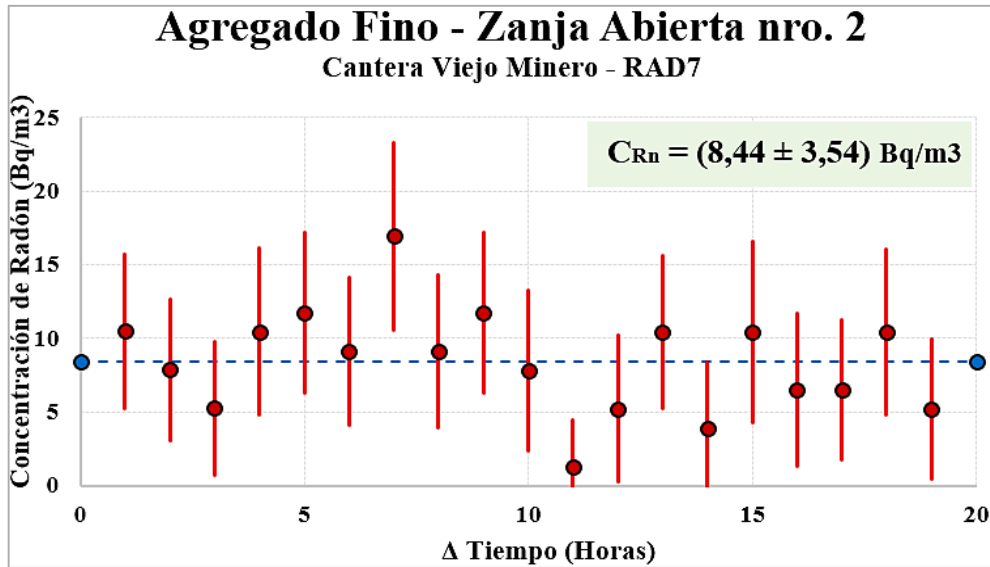
Autor: Néstor F. Chicaiza G.

Las figuras 62 y 63, muestran que la diferencia de la concentración de radón del agregado fino realizado por los dos detectores, obtenido en la zanja nro. 1 es notoria y su valor conseguido es bajo y constante. El detector RAD7 presenta datos dispersos en las primeras horas de análisis, pero con el pasar del tiempo se vuelven constantes, dando como resultado un promedio de  $(16.49 \pm 5) \text{ Bq/m}^3$ . El detector ALPHA E presenta datos dispersos de decaimiento en las primeras y últimas horas, su concentración se mantiene constante a la mitad de su análisis logrando un promedio de  $(25.86 \pm 12.92) \text{ Bq/m}^3$ .

**Tabla 82.** Concentración de radón en agregado fino de zanja abierta nro. 2

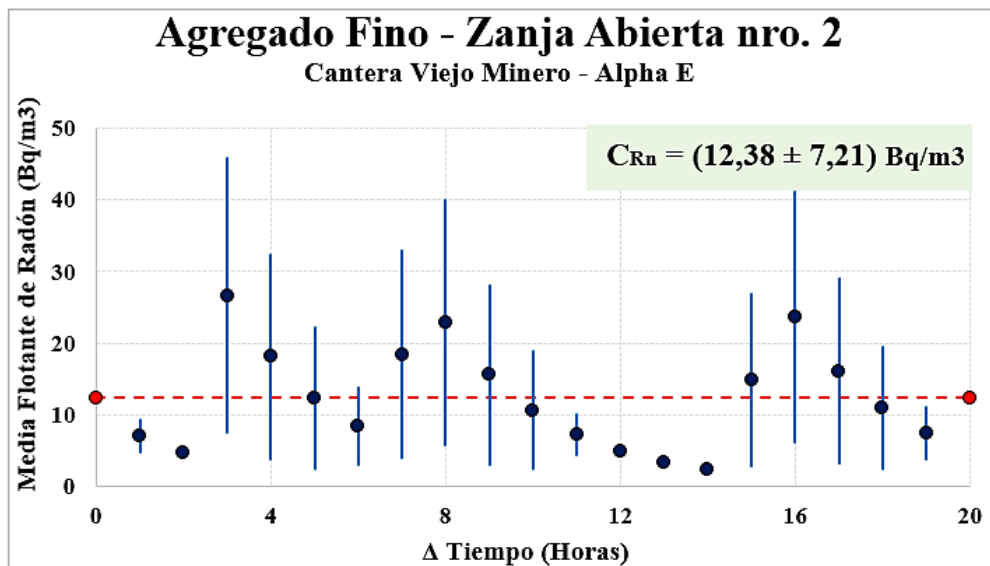
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>						
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada			
<b>ENSAYADO POR:</b> LTN/ESPOCH			<b>FECHA:</b> 31-01/Julio-Agosto/2019			
<b>DETALLE:</b> Zanja abierta nro. 2			<b>CÓDIGO:</b> AF – Z – 2 – RD			
<b>HUMEDAD RAD7 [%]:</b> 69.16			<b>HUMEDAD ALPHA E [%]:</b> 92.05			
Δt (hora)	DETECTOR RAD7			DETECTOR ALPHA E		
	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C
1	10.48251	5.24126	23.30	7.03	2.27	24.50
2	7.86189	4.77708	23.30	4.78	0.01	25.00
3	5.24126	4.51992	23.30	26.63	19.13	25.00
4	10.45464	5.64109	23.30	18.13	14.25	25.50
5	11.71473	5.41778	23.30	12.34	9.91	25.00
6	9.11146	4.98322	23.30	8.41	5.44	25.50
7	16.92128	6.34286	23.00	18.44	14.44	25.00
8	9.11146	5.20655	23.00	22.81	17.06	25.00
9	11.71473	5.41778	23.00	15.53	12.47	25.00
10	7.80982	5.41778	23.00	10.56	8.19	25.00
11	1.30164	8.14243	22.70	7.20	2.88	24.50
12	5.20655	4.98322	22.70	4.89	0.01	24.50
13	10.41309	5.20655	22.70	3.34	0.01	24.50
14	3.90491	4.48998	22.40	2.27	0.01	24.50
15	10.41309	6.17192	22.40	14.81	11.94	24.50
16	6.50818	5.20655	22.10	23.63	17.50	24.00
17	6.50818	4.74544	21.80	16.06	12.84	23.50
18	10.41309	5.61868	21.80	10.94	8.56	23.50
19	5.20655	4.74544	21.80	7.45	3.59	23.00

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Figura 64.** Concentración en detector RAD7 de agregado fino de zanja abierta nro.2

Autor: Néstor F. Chicaiza G.





**Figura 65.** Concentración en detector Alpha E de agregado fino de zanja abierta nro.2

Autor: Néstor F. Chicaiza G.

Las figuras 64 y 65, muestran que la diferencia de la concentración de radón del agregado fino realizado por los dos detectores, obtenido en la zanja nro. 2 no es notoria y su valor conseguido es sumamente bajo y constante. El detector RAD7 presenta datos no muy variables en todo su tiempo de análisis de concentración, dando como resultado un promedio de  $(8.44 \pm 3.54) \text{ Bq/m}^3$ . El detector ALPHA E presenta datos dispersos de decaimiento cada cuatro horas de análisis, logrando un promedio de  $(12.38 \pm 7.21) \text{ Bq/m}^3$ .

**Tabla 83.** Concentración de radón en agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>						
<b>ORIGEN:</b>		Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada		
<b>ENSAYADO POR:</b>		LTN/ESPOCH		<b>FECHA:</b> 01-02/Agosto/2019		
<b>DETALLE:</b>		Pozo a cielo abierto nro. 1		<b>CÓDIGO:</b> AF – P – 1 – RD		
<b>HUMEDAD RAD7 [%]:</b>		71.00		<b>HUMEDAD ALPHA E [%]:</b> 93.92		
Δt (hora)	DETECTOR RAD7			DETECTOR ALPHA E		
	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C
1	13.09151	5.84418	22.10	20.25	15.59	23.00
2	15.59898	6.49958	22.40	13.81	11.13	24.00
3	20.80781	6.81800	22.40	9.38	6.84	24.00
4	12.99915	5.80295	22.70	46.00	27.81	24.00
5	6.49958	5.19966	22.70	31.38	21.44	24.50
6	11.70440	5.61372	23.00	33.50	22.50	24.50
7	18.19881	6.65961	23.00	22.81	17.06	24.50
8	22.10830	7.11645	23.00	15.56	12.47	24.50
9	20.79864	6.81499	23.00	10.59	8.22	24.50
10	15.59898	6.49958	23.00	7.20	2.92	24.50
11	9.09941	5.61125	23.00	4.91	0.01	25.00
12	5.19966	4.20661	23.00	3.34	0.01	25.00
13	15.59898	6.49958	23.00	2.27	0.01	25.00
14	16.89890	6.49958	23.00	10.97	8.59	25.00
15	19.50733	6.96919	23.00	20.75	15.91	25.00
16	11.69924	5.80295	22.70	25.13	18.31	24.50
17	12.99915	6.16375	23.00	26.69	19.13	24.50
18	10.39932	5.98683	23.00	18.13	14.25	24.50
19	15.59898	6.33447	22.70	12.34	9.91	25.00
20	12.99915	6.16375	22.70	8.41	5.47	24.50
21	15.59898	6.16375	22.70	5.72	0	24.50
22	16.89890	6.49958	22.40	23.13	17.25	24.50
23	10.39932	5.80295	22.70	15.78	12.63	24.50
24	–	–	–	10.72	8.34	23.00

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

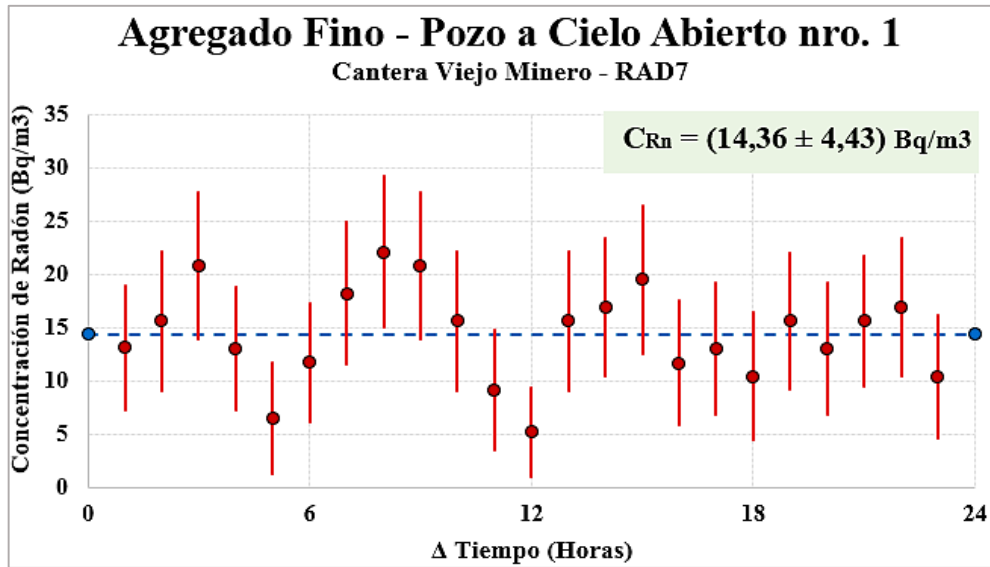


Figura 66. Concentración en detector RAD7 de agregado fino de pozo a cielo abierto nro.1

Autor: Néstor F. Chicaiza G.

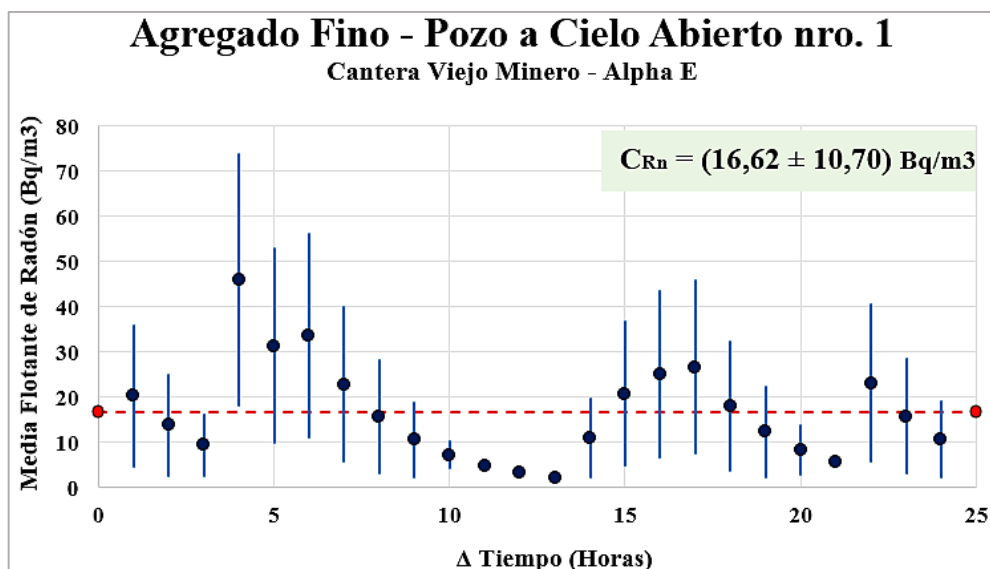




Figura 67. Concentración en detector Alpha E de agregado fino de pozo a cielo abierto nro.1

Autor: Néstor F. Chicaiza G.

Las figuras 66 y 67, muestran que la diferencia de la concentración de radón del agregado fino realizado por los dos detectores, obtenido en el pozo nro. 1 no es notoria y su valor conseguido es sumamente bajo y variable. El detector RAD7 presenta datos dispersos continuos en todo su análisis, dando como resultado un promedio de  $(14,36 \pm 4,43) \text{ Bq/m}^3$ . El detector ALPHA E presenta datos dispersos de decaimiento e incremento en todo su análisis inclusive en sus primeras horas tendiendo a un valor nulo de concentración de radón pero logrando un promedio de  $(16,62 \pm 10,70) \text{ Bq/m}^3$ .

**Tabla 84.** Concentración de radón en agregado fino de pozo a cielo abierto nro. 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>						
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero			<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada			
<b>ENSAYADO POR:</b> LTN/ESPOCH			<b>FECHA:</b> 02-03/Agosto/2019			
<b>DETALLE:</b> Pozo a cielo abierto nro. 2			<b>CÓDIGO:</b> AF – P – 2 – RD			
<b>HUMEDAD RAD7 [%]:</b> 68.26			<b>HUMEDAD ALPHA E [%]:</b> 96.83			
Δt (hora)	DETECTOR RAD7			DETECTOR ALPHA E		
	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C	Concentración (Bq/m <sup>3</sup> )	Error Concentración ± (Bq/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C
1	57.65383	10.66783	21.80	30.88	21.19	23.00
2	61.58477	10.57564	21.80	31.50	21.56	24.50
3	70.78843	11.12075	21.80	21.44	16.31	24.50
4	65.51572	10.93912	22.10	14.59	11.78	24.50
5	69.44666	11.28937	22.10	9.94	7.50	25.00
6	62.89509	10.57564	22.10	6.77	0	25.50
7	94.38458	12.73904	22.40	4.61	0.01	25.50
8	87.83010	12.51121	22.40	3.13	0.01	25.50
9	76.03203	11.46506	22.40	2.13	0.01	25.50
10	69.50845	11.21294	22.40	1.45	0.01	25.50
11	59.01660	10.49184	22.40	0.99	0	25.50
12	76.06584	11.63809	22.40	10.38	8.00	25.50
13	70.81993	11.21294	22.40	19.31	15.00	25.50
14	76.06584	11.47016	21.10	22.75	17.00	25.50
15	70.81993	11.47016	21.10	15.50	12.44	25.00
16	72.13140	11.29942	21.10	22.94	17.13	25.00
17	66.88550	10.76870	21.10	15.63	12.53	25.00
18	62.97906	10.68207	21.10	10.63	8.25	25.00
19	56.39365	10.30254	21.10	7.23	3.02	25.00
20	78.72382	11.72625	21.80	4.92	0.01	24.50
21	65.60318	10.95373	21.50	3.35	0.01	24.50
22	49.85842	9.81521	21.80	15.00	12.06	24.50
23	74.78763	11.30445	21.80	10.22	7.80	24.50
24	–	–	–	6.95	1.82	24.50

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

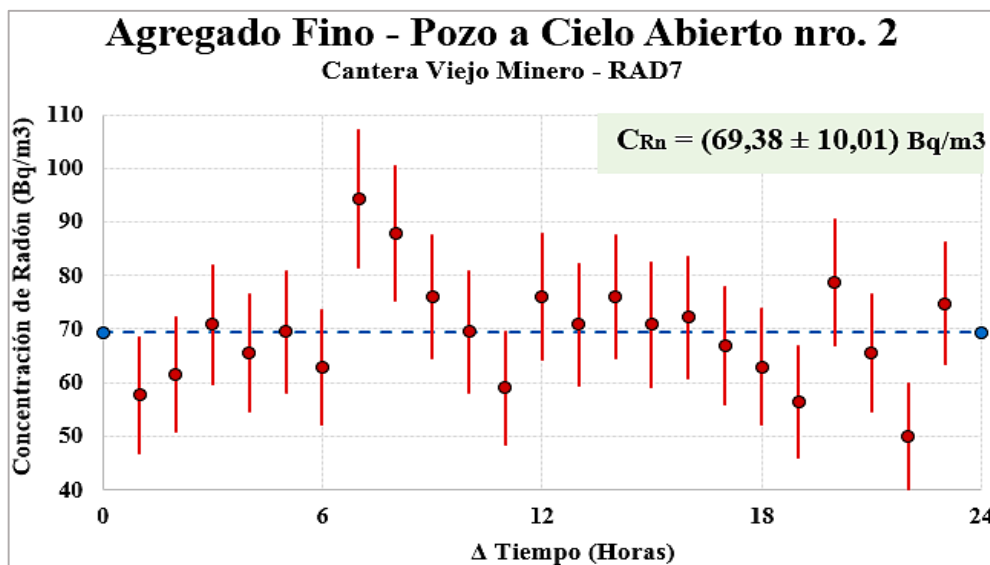


Figura 68. Concentración en detector RAD7 de agregado fino de pozo a cielo abierto nro.2

Autor: Néstor F. Chicaiza G.

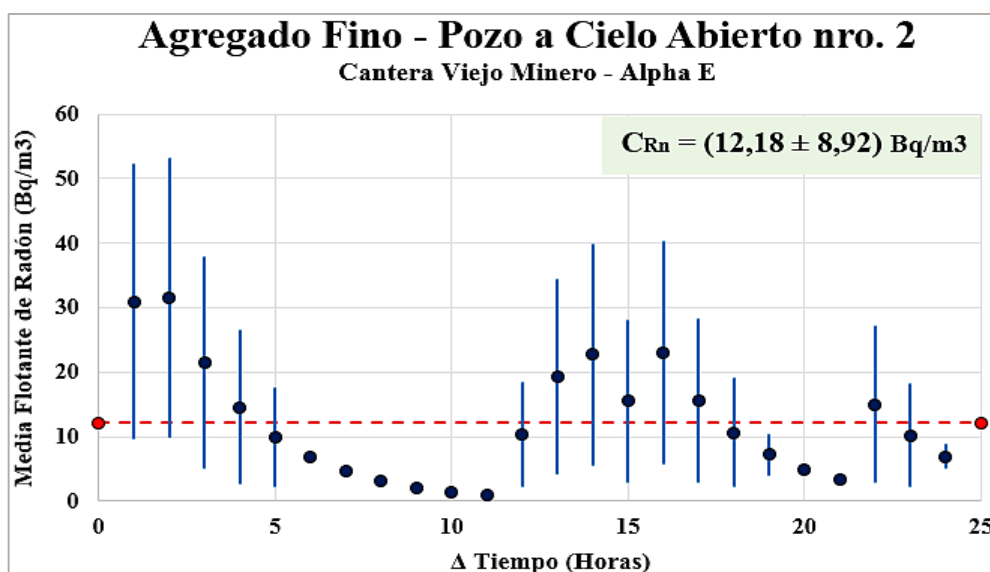


Figura 69. Concentración en detector Alpha E de agregado fino de pozo a cielo abierto nro.2

Autor: Néstor F. Chicaiza G.

Las figuras 68 y 69, muestran que la diferencia de la concentración de radón del agregado fino realizado por los dos detectores, obtenido en el pozo nro. 2 es muy notoria y su valor conseguido es normal y variable. El detector RAD7 presenta datos dispersos en todo su análisis, dando como resultado un promedio de  $(69.38 \pm 10.01) \text{ Bq/m}^3$ . El detector ALPHA E presenta datos dispersos de decaimiento e incremento en todo su análisis inclusive en sus primeras horas tendiendo a un valor nulo de concentración de radón pero logrando un promedio de  $(12.18 \pm 8.92) \text{ Bq/m}^3$ .



### 3.1.3.6 Tasa de exhalación superficial de radón

- Tasa de exhalación superficial de radón en agregado grueso

Tabla 85. Tasa de exhalación superficial de radón en agregado grueso

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada	
<b>ENSAYADO POR:</b> LTN/ESPOCH		<b>FECHA:</b> 06/Agosto/2019	
<b>DETALLE:</b> Tasa de exhalación de radón		<b>CÓDIGO:</b> AG – Z/P – 1/2 – TERD	
ORIGEN	TASA DE EXHALACIÓN SUPERFICIAL	INCERTIDUMBRE	ERROR PORCENTUAL
Unidad	Bq * kg <sup>-1</sup> * h <sup>-1</sup>	Bq * kg <sup>-1</sup> * h <sup>-1</sup>	%
Zanja nro.1	0.019	0.006	30.307
Zanja nro.2	0.014	0.005	32.939
Pozo a cielo abierto nro.1	0.028	0.007	23.945
Pozo a cielo abierto nro.2	0.029	0.007	24.875
ORIGEN	TASA DE EXHALACIÓN SUPERFICIAL	INCERTIDUMBRE	ERROR PORCENTUAL
Unidad	mBq * kg <sup>-1</sup> * s <sup>-1</sup>	mBq * kg <sup>-1</sup> * s <sup>-1</sup>	%
Zanja nro.1	0.005	0.002	0.303
Zanja nro.2	0.004	0.001	0.329
Pozo a cielo abierto nro.1	0.008	0.002	0.239
Pozo a cielo abierto nro.2	0.008	0.002	0.249


**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Para el cálculo de la tasa de exhalación superficial de radón, se realiza mediante el uso de la ecuación 5, y tomando en cuenta los parámetros de la cuba vacía de laboratorio de la figura 52 y 53, obteniendo así los siguientes resultados:

- Media de tasa de exhalación: 0.022 Bq \* kg<sup>-1</sup> \* h<sup>-1</sup>
- Desviación estándar de tasa de exhalación: 0.007 Bq \* kg<sup>-1</sup> \* h<sup>-1</sup>
- Media de tasa de exhalación: 0.0062 mBq \* kg<sup>-1</sup> \* s<sup>-1</sup>
- Desviación estándar de tasa de exhalación: 0.0020 mBq \* kg<sup>-1</sup> \* s<sup>-1</sup>

- **Tasa de exhalación superficial de radón en agregado fino**

**Tabla 86.** Tasa de exhalación superficial de radón en agregado fino

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada	
<b>ENSAYADO POR:</b> LTN/ESPOCH		<b>FECHA:</b> 06/Agosto/2019	
<b>DETALLE:</b> Tasa de exhalación de radón		<b>CÓDIGO:</b> AF – Z/P – 1/2 – TERD	
ORIGEN	TASA DE EXHALACIÓN SUPERFICIAL	INCERTIDUMBRE	ERROR PORCENTUAL
Unidad	Bq * kg <sup>-1</sup> * h <sup>-1</sup>	Bq * kg <sup>-1</sup> * h <sup>-1</sup>	%
Zanja nro.1	0.012	0.004	35.194
Zanja nro.2	0.011	0.004	37.782
Pozo a cielo abierto nro.1	0.012	0.004	35.405
Pozo a cielo abierto nro.2	0.017	0.005	28.693
ORIGEN	TASA DE EXHALACIÓN SUPERFICIAL	INCERTIDUMBRE	ERROR PORCENTUAL
Unidad	mBq * kg <sup>-1</sup> * s <sup>-1</sup>	mBq * kg <sup>-1</sup> * s <sup>-1</sup>	%
Zanja nro.1	0.003	0.001	0.352
Zanja nro.2	0.003	0.001	0.378
Pozo a cielo abierto nro.1	0.003	0.001	0.354
Pozo a cielo abierto nro.2	0.005	0.001	0.287

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



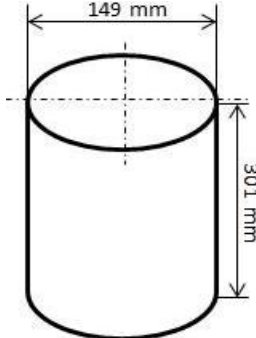
Para el cálculo de la tasa de exhalación superficial de radón, se realiza mediante el uso de la ecuación 5, y tomando en cuenta los parámetros de la cuba vacía de laboratorio de la figura 52 y 53, obteniendo así los siguientes resultados:

- Media de tasa de exhalación: 0.013 Bq \* kg<sup>-1</sup> \* h<sup>-1</sup>
- Desviación estándar de tasa de exhalación: 0.003 Bq \* kg<sup>-1</sup> \* h<sup>-1</sup>
- Media de tasa de exhalación: 0.0036 mBq \* kg<sup>-1</sup> \* s<sup>-1</sup>
- Desviación estándar de tasa de exhalación: 0.0008 mBq \* kg<sup>-1</sup> \* s<sup>-1</sup>

- **Tasa de exhalación superficial de radón en probetas de hormigón**



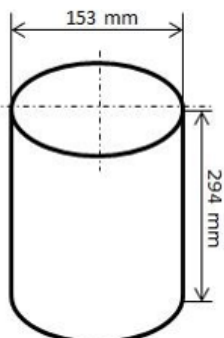
Se procede con la fabricación y elaboración de cilindros (probetas) de hormigón, con la dosificación propuesta anteriormente, para la verificación de la cantidad de gas natural radiactivo que existe y emiten los agregados pétreos de la cantera “El Viejo Minero”, pero de una forma diferente en conjunto con el aglomerante y el agua.

**Tabla 87.** Tasa de exhalación de radón en probeta de hormigón con agregados pétreos de zanja abierta

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
					
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>					
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada			
<b>ENSAYADO POR:</b> LTN/ESPOCH		<b>FECHA:</b> 13-14/Agosto/2019			
<b>DETALLE:</b> Tasa de exhalación de radón		<b>CÓDIGO:</b> PR – Z – 1/2 – TERD			
DESCRIPCIÓN	MEDIDAS DE SUPERFICIE [mm <sup>2</sup> ]		MATERIAL	PESO [kg]	
Probeta de Hormigón	Área Lateral	140897.28	Agregado Fino	10.25	
	Área Superior	17436.62	Agregado Grueso		
	Área Total	158333.90	Cemento Agua		
MEDIDAS			MATERIAL	CANTIDAD	
			Volumen de Probeta	0.0052484 m <sup>3</sup>	
			Agregado Grueso (Ripio)	4.630 kg	
			Agregado Fino (Arena)	3.573 kg	
			Cemento	1.765 kg	
			Agua	1.094 lts	
ORIGEN	TASA DE EXHALACIÓN SUPERFICIAL		INCERTIDUMBRE	ERROR PORCENTUAL	
Unidad	Bq * kg <sup>-1</sup> * h <sup>-1</sup>		Bq * kg <sup>-1</sup> * h <sup>-1</sup>	%	
Probeta de Hormigón	0.013		0.002	19.180	
Unidad	mBq * kg <sup>-1</sup> * s <sup>-1</sup>		mBq * kg <sup>-1</sup> * s <sup>-1</sup>	%	
Probeta de Hormigón	0.003		0.001	0.192	

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

**Tabla 88.** Tasa de radón en probeta de hormigón con agregados pétreos de pozo a cielo abierto

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>				
<b>ORIGEN:</b> Cantera El Viejo Minero		<b>MÉTODO:</b> Cámara Cerrada		
<b>ENSAYADO POR:</b> LTN/ESPOCH		<b>FECHA:</b> 14-15/Agosto/2019		
<b>DETALLE:</b> Tasa de exhalación de radón		<b>CÓDIGO:</b> PR – P – 1/2 – TERD		
DESCRIPCIÓN	MEDIDAS DE SUPERFICIE [mm <sup>2</sup> ]		MATERIAL	PESO [kg]
Probeta de Hormigón	Área Lateral	138821.32	Agregado Fino	9.56
	Área Superior	17742.21	Agregado Grueso	
	Área Total	156563.53	Cemento Agua	
MEDIDAS			MATERIAL	CANTIDAD
			Volumen de Probeta	0.0052162 m <sup>3</sup>
			Agregado Grueso (Ripio)	4.648 kg
			Agregado Fino (Arena)	3.719 kg
			Cemento	1.702 kg
			Agua	1.055 lts
ORIGEN	TASA DE EXHALACIÓN SUPERFICIAL		INCERTIDUMBRE	ERROR PORCENTUAL
Unidad	Bq * kg <sup>-1</sup> * h <sup>-1</sup>		Bq * kg <sup>-1</sup> * h <sup>-1</sup>	%
Probeta de Hormigón	0.013		0.003	19.397
Unidad	mBq * kg <sup>-1</sup> * s <sup>-1</sup>		mBq * kg <sup>-1</sup> * s <sup>-1</sup>	%
Probeta de Hormigón	0.004		0.001	0.194

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

Para el cálculo de la tasa de exhalación superficial de radón, se realiza mediante el uso de la ecuación 5, y tomando en cuenta los parámetros de la cuba vacía de laboratorio de la figura 52 y 53, obteniendo así los siguientes resultados:

- Media de tasa de exhalación:  $0.01275 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
- Desviación estándar de tasa de exhalación:  $0.00033 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
- Media de tasa de exhalación:  $0.00354 \text{ mBq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
- Desviación estándar de tasa de exhalación:  $0.00009 \text{ mBq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

### **3.1.3.7 Concentración de radón en una edificación por agregados pétreos**

El hormigón es la mezcla uniforme y homogénea de agregados pétreos (ripio y arena), aglomerante (cemento) y agua, proporcionando así resistencia ante diferentes tipos de fuerzas que requiera una estructura, he ahí la base de estudio acerca de la presencia de un gas radiactivo en los áridos y su influencia en la construcción.

Un profundo análisis de gas radón se debe detallar en una edificación, principalmente en ambientes con poca o nula capacidad de ventilación, debido que el gas tiene la facilidad de disiparse con el aire. Un ambiente idóneo para el estudio será el sótano de una vivienda por dos principales características que puede presentar: (ver anexo 9)

- Poca o nula ventilación en todo el ambiente.
- El sótano de construye con muros de hormigón armado en su totalidad, debido al empuje de suelo que debe soportar.

La planta baja o primer nivel de una edificación igual puede presenciar el gas radón, pero debido a su alta ventilación, la separación de sus ambientes y conjuntamente con su fachada interior y exterior, se lo realiza con mampostería (ladrillo, bloque) en donde no interviene la presencia de hormigón, es decir, agregado pétreo (material de estudio).

## Características de la Edificación

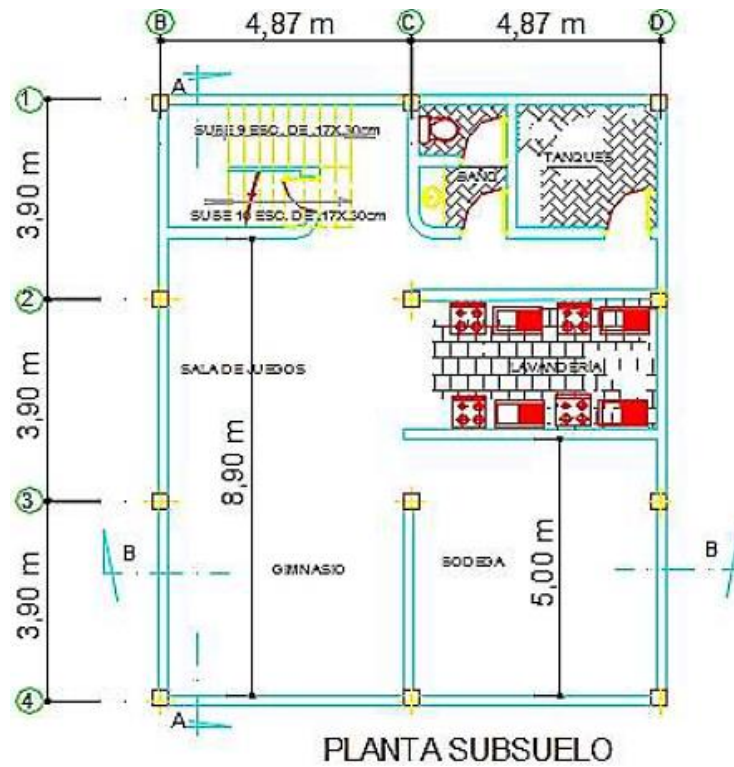
La Edificación es una vivienda multifamiliar de 5 niveles con sótano, el ambiente de estudio será el último mencionado, mediante un cálculo y diseño se ha determinado las dimensiones de los elementos estructurales que conforman la estructura (ver anexo 10), obteniendo así los siguientes resultados:

**Tabla 89.** Elementos estructurales de hormigón armado que conforman el sótano

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>					
<b>TEMA:</b>		Análisis estructural		<b>ANÁLISIS:</b> Volumen de Hormigón	
<b>REALIZADO POR:</b>		Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 19/Agosto/2019	
<b>DETALLE:</b>		Edificación de estudio		<b>VOLUMEN [m<sup>3</sup>]:</b> 89.595	
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></b>					
Elemento Estructural	Nro.	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Columnas	6	0.45	0.45	3.20	3.888
Columnas	6	0.50	0.45	3.20	4.320
Muro de Sótano	6	3.45	0.30	2.90	18.009
Muro de Sótano	4	4.42	0.20	2.90	10.254
Cadenas de Amarre	9	3.45	0.30	0.30	2.795
Cadenas de Amarre	8	4.42	0.30	0.30	3.182
Zapatas de Columnas	12	2.10	1.40	0.35	12.348
Plintos	6	0.45	0.45	1.00	1.215
Plintos	6	0.50	0.45	1.00	1.350
Zapatas de Muros	2	10.69	1.60	0.35	11.973
Zapatas de Muros	2	8.80	1.60	0.35	9.856
<b>Total</b>					<b>79.190</b>
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN <math>f'c = 180 \text{ kg/cm}^2</math></b>					
Contrapiso	1	11.20	9.29	0.10	10.405
<b>Total</b>					<b>10.405</b>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

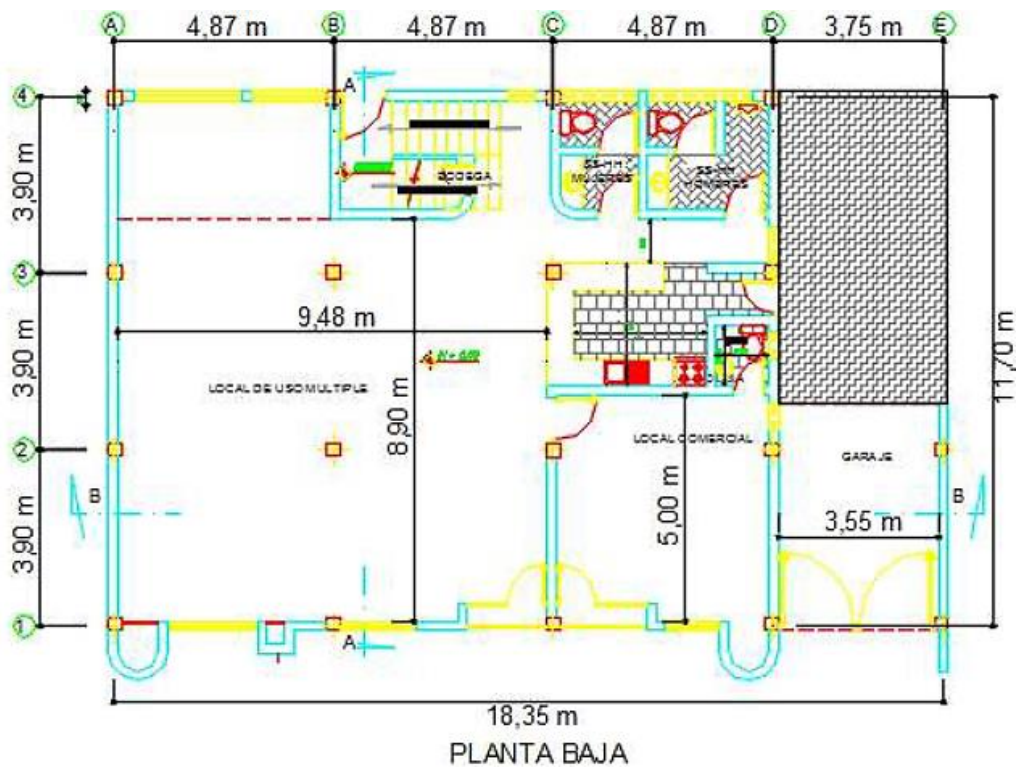
Para el análisis de concentración de radón J (Bq/h), se utiliza la ecuación 6, donde  $\lambda v$  es la tasa de intercambio de aire (asumida normalmente  $0.5 \text{ h}^{-1}$ ), V es el volumen de la habitación de la estructura (sótano). Así se obtiene los siguientes resultados.



PLANTA SUBSUELO

Figura 70. Planta Subsuelo de edificación a analizar

Autor: Néstor F. Chicaiza G.





PLANTA BAJA

Figura 71. Planta Baja de edificación a analizar

Autor: Néstor F. Chicaiza G.



**Tabla 90.** Concentración de radón con dosificación de agregados de zanja abierta

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>TEMA:</b> Concentración de Radón		<b>MÉTODO:</b> Cámara cerrada	
<b>REALIZADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 22/Agosto/2019	
<b>DETALLE:</b> Radón en agregados pétreos		<b>RADÓN [Bq/m<sup>3</sup>]:</b> 15.207	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
<b>Elementos con f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup></b>			
Vh	Volumen de hormigón en sótano	m <sup>3</sup>	79.190
Ema	Tasa de exhalación de radón en arena	Bq / (kg*h)	0.013
Emr	Tasa de exhalación de radón en ripio	Bq / (kg*h)	0.022
A	Arena por metro cúbico de hormigón	kg	680.856
R	Ripio por metro cúbico de hormigón	kg	882.107
A1 = A * Vh	Arena en hormigón de sótano	kg	53916.987
R1 = R * Vh	Ripio en hormigón de sótano	kg	69854.053
J1 = Ema* A1	Tasa de exhalación de radón en arena	Bq / h	700.921
J2 = Emr* R1	Tasa de exhalación de radón en ripio	Bq / h	1536.789
λv	Tasa de Intercambio de aire	h <sup>-1</sup>	0.5
V	Volumen de habitación (sótano)	m <sup>3</sup>	332.954
Ca = J1/(λv * V)	Concentración de radón en arena	Bq / m <sup>3</sup>	4.210
Cr = J2/(λv * V)	Concentración de radón en ripio	Bq / m <sup>3</sup>	9.231
C1 = Ca + Cr	Concentración de radón	Bq / m <sup>3</sup>	13.441
<b>Elementos con f'c = 180 kg/cm<sup>2</sup></b>			
Vh	Volumen de hormigón en sótano	m <sup>3</sup>	10.405
A2 = A * Vh	Arena en hormigón de sótano	kg	7084.307
R2 = R * Vh	Ripio en hormigón de sótano	kg	9178.323
J1 = Ema* A2	Tasa de exhalación de radón en arena	Bq / h	92.096
J2 = Emr* R2	Tasa de exhalación de radón en ripio	Bq / h	201.923
Ca = J1/(λv * V)	Concentración de radón en arena	Bq / m <sup>3</sup>	0.553
Cr = J2/(λv * V)	Concentración de radón en ripio	Bq / m <sup>3</sup>	1.213
C2 = Ca + Cr	Concentración de radón	Bq / m <sup>3</sup>	1.766
<b>C = C1 + C2</b>	<b>Concentración de radón en sótano</b>	<b>Bq / m<sup>3</sup></b>	<b>15.207</b>
<b>C límite</b>	<b>Concentración de radón EURATOM</b>	<b>Bq / m<sup>3</sup></b>	<b>300</b>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.



**Tabla 91.** Concentración de radón con dosificación de agregados de pozo a cielo abierto



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>TEMA:</b> Concentración de Radón		<b>MÉTODO:</b> Cámara cerrada	
<b>REALIZADO POR:</b> Egdo. Néstor Chicaiza		<b>FECHA:</b> 22/Agosto/2019	
<b>DETALLE:</b> Radón en agregados pétreos		<b>RADÓN [Bq/m<sup>3</sup>]:</b> 15.538	
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
<b>Elementos con f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup></b>			
Vh	Volumen de hormigón en sótano	m <sup>3</sup>	79.190
Ema	Tasa de exhalación de radón en arena	Bq / (kg*h)	0.013
Emr	Tasa de exhalación de radón en ripio	Bq / (kg*h)	0.022
A	Arena por metro cúbico de hormigón	kg	712.932
R	Ripio por metro cúbico de hormigón	kg	891.020
A1 = A * Vh	Arena en hormigón de sótano	kg	56457.085
R1 = R * Vh	Ripio en hormigón de sótano	kg	70559.874
J1 = Ema* A1	Tasa de exhalación de radón en arena	Bq / h	733.942
J2 = Emr* R1	Tasa de exhalación de radón en ripio	Bq / h	1552.317
λv	Tasa de Intercambio de aire	h <sup>-1</sup>	0.5
V	Volumen de habitación (sótano)	m <sup>3</sup>	332.954
Ca = J1/(λv * V)	Concentración de radón en arena	Bq / m <sup>3</sup>	4.409
Cr = J2/(λv * V)	Concentración de radón en ripio	Bq / m <sup>3</sup>	9.325
C1 = Ca + Cr	Concentración de radón	Bq / m <sup>3</sup>	13.734
<b>Elementos con f'c = 180 kg/cm<sup>2</sup></b>			
Vh	Volumen de hormigón en sótano	m <sup>3</sup>	10.405
A2 = A * Vh	Arena en hormigón de sótano	kg	7418.057
R2 = R * Vh	Ripio en hormigón de sótano	kg	9271.063
J1 = Ema* A2	Tasa de exhalación de radón en arena	Bq / h	96.435
J2 = Emr* R2	Tasa de exhalación de radón en ripio	Bq / h	203.963
Ca = J1/(λv * V)	Concentración de radón en arena	Bq / m <sup>3</sup>	0.579
Cr = J2/(λv * V)	Concentración de radón en ripio	Bq / m <sup>3</sup>	1.225
C2 = Ca + Cr	Concentración de radón	Bq / m <sup>3</sup>	1.804
<b>C = C1 + C2</b>	<b>Concentración de radón en sótano</b>	<b>Bq / m<sup>3</sup></b>	<b>15.538</b>
<b>C límite</b>	<b>Concentración de radón EURATOM</b>	<b>Bq / m<sup>3</sup></b>	<b>300</b>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

### 3.1.3.8 Concentración de radón en una edificación por probetas de hormigón

Anteriormente se analizó la concentración de radón por elementos individuales, tales como el agregado fino y agregado grueso, en esta ocasión se verifica la misma edificación con iguales características conjuntamente con el gas natural radiactivo emanado por las probetas de hormigón, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 92.** Concentración de radón en hormigón de sótano

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>TEMA:</b>	Concentración de Radón	<b>MÉTODO:</b>	Cámara cerrada
<b>REALIZADO POR:</b>	Egdo. Néstor Chicaiza	<b>FECHA:</b>	27/Agosto/2019
<b>DETALLE:</b>	Radón en agregados pétreos	<b>RADÓN [Bq/m<sup>3</sup>]:</b>	13.244
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
<b>Probeta con agregados de zanja abierta</b>			
V <sub>p</sub>	Volumen de hormigón en probeta	m <sup>3</sup>	0.0052484
V <sub>h</sub>	Volumen de hormigón en sótano	m <sup>3</sup>	89.595
P	Masa de probeta	kg	10.25
Em	Tasa de exhalación de radón en hormigón	Bq / (kg*h)	0.013
H = (P*V <sub>h</sub> )/V <sub>p</sub>	Peso de hormigón en sótano	kg	174976.898
J = Em * H	Tasa de exhalación de radón en hormigón	Bq / h	2274.700
λ <sub>v</sub>	Tasa de Intercambio de aire	h <sup>-1</sup>	0.5
V	Volumen de habitación (sótano)	m <sup>3</sup>	332.954
<b>C = J / (λ<sub>v</sub> * V)</b>	<b>Concentración de radón en hormigón</b>	<b>Bq / m<sup>3</sup></b>	<b>13.664</b>
<b>Probeta con agregados de pozo a cielo abierto</b>			
V <sub>p</sub>	Volumen de hormigón en probeta	m <sup>3</sup>	0.0052162
V <sub>h</sub>	Volumen de hormigón en sótano	m <sup>3</sup>	89.595
P	Masa de probeta	kg	9.56
Em	Tasa de exhalación de radón en hormigón	Bq / (kg*h)	0.013
H = (P*V <sub>h</sub> )/V <sub>p</sub>	Peso de hormigón en sótano	kg	164205.399
J = Em * H	Tasa de exhalación de radón en hormigón	Bq / h	2134.670
λ <sub>v</sub>	Tasa de Intercambio de aire	h <sup>-1</sup>	0.5
V	Volumen de habitación (sótano)	m <sup>3</sup>	332.954
<b>C = J / (λ<sub>v</sub> * V)</b>	<b>Concentración de radón en hormigón</b>	<b>Bq / m<sup>3</sup></b>	<b>12.823</b>
<b>C límite</b>	<b>Concentración de radón EURATOM</b>	<b>Bq / m<sup>3</sup></b>	<b>300</b>



Autor: Néstor F. Chicaiza G.

### 3.1.3.9. Dosis efectiva debida a la inhalación de radón

- **Dosis efectiva debido a la inhalación de radón en una edificación por agregados**

Mediante el uso de la ecuación 8, se determina la dosis efectiva por inhalación de radón que una persona puede experimentar, se recalca un parámetro de conversión de unidades con un valor de  $9 \times 10^{-9}$  el cual permite transformar de Becquerel Bq (actividad radiactiva) a sievert Sv (dosis de radiación ionizante) y un factor de equilibrio con un valor de 0.4 el cual indica la pérdida por los descendientes de radón.

**Tabla 93.** Dosis efectiva debido a la inhalación de radón



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <sup>222</sup>Rn en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>TEMA:</b>	Dosis efectiva de Radón	<b>MÉTODO:</b>	Cámara cerrada
<b>REALIZADO POR:</b>	Egdo. Néstor Chicaiza	<b>FECHA:</b>	23/Agosto/2019
<b>DETALLE:</b>	Radón en agregados pétreos	<b>DOSIS EFECTIVA [mSv/año]:</b>	0.260
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
<b>Dosis efectiva con agregados de zanja abierta</b>			
C	Concentración de radón	Bq / m <sup>3</sup>	15.207
T <sub>F</sub>	Factor de equilibrio	–	0.4
τ	Tiempo medio de exposición	h / año	4750
D <sub>FC</sub>	Parámetro de conversión	Sv/[(Bq/m <sup>3</sup> )*h]	9 E – 9
D <sub>E</sub> = D <sub>FC</sub> *τ*T <sub>F</sub> *C	Dosis anual efectiva por inhalación	Sv / año	2.6004 E – 4
<b>D<sub>E</sub></b>	<b>Dosis anual efectiva por inhalación</b>	<b>mSv / año</b>	<b>0.260</b>
<b>D<sub>E</sub></b>	<b>Dosis anual límite inhalación UNSCEAR</b>	<b>mSv / año</b>	<b>1.150</b>
<b>Dosis efectiva con agregados de pozo a cielo abierto</b>			
C	Concentración de radón	Bq / m <sup>3</sup>	15.538
T <sub>F</sub>	Factor de equilibrio	–	0.4
τ	Tiempo medio de exposición	h / año	4750
D <sub>FC</sub>	Parámetro de conversión	Sv/[(Bq/m <sup>3</sup> )*h]	9 E – 9
D <sub>E</sub> = D <sub>FC</sub> *τ*T <sub>F</sub> *C	Dosis anual efectiva por inhalación	Sv / año	2.6570 E – 4
<b>D<sub>E</sub></b>	<b>Dosis anual efectiva por inhalación</b>	<b>mSv / año</b>	<b>0.266</b>
<b>D<sub>E</sub></b>	<b>Dosis anual límite inhalación UNSCEAR</b>	<b>mSv / año</b>	<b>1.150</b>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

- **Dosis efectiva debido a la inhalación de radón en una edificación por probetas de hormigón**

Mediante el uso de la ecuación 8, se determina la dosis efectiva por inhalación de radón que una persona puede experimentar, se recalca un parámetro de conversión de unidades con un valor de  $9 \times 10^{-9}$  el cual permite transformar de Becquerel Bq (actividad radiactiva) a sievert Sv (dosis de radiación ionizante) y un factor de equilibrio con un valor de 0.4 el cual indica la pérdida por los descendientes de radón, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 94.** Dosis efectiva debido a la inhalación de radón

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<i>Análisis de la presencia de gas radiactivo radón <math>^{222}\text{Rn}</math> en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción.</i>			
<b>TEMA:</b>	Dosis efectiva de Radón	<b>MÉTODO:</b>	Cámara cerrada
<b>REALIZADO POR:</b>	Egdo. Néstor Chicaiza	<b>FECHA:</b>	27/Agosto/2019
<b>DETALLE:</b>	Radón en agregados pétreos	<b>DOSIS EFECTIVA [mSv/año]:</b>	0.234
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
<b>Dosis efectiva de probeta con agregados de zanja abierta</b>			
C	Concentración de radón	Bq / m <sup>3</sup>	13.664
T <sub>F</sub>	Factor de equilibrio	–	0.4
τ	Tiempo medio de exposición	h / año	4750
D <sub>FC</sub>	Parámetro de conversión	Sv/[(Bq/m <sup>3</sup> )*h]	9 E – 9
D <sub>E</sub> = D <sub>FC</sub> *τ*T <sub>F</sub> *C	Dosis anual efectiva por inhalación	Sv / año	2.3365 E – 4
<b>D<sub>E</sub></b>	<b>Dosis anual efectiva por inhalación</b>	<b>mSv / año</b>	<b>0.234</b>
<b>D<sub>E</sub></b>	<b>Dosis anual límite inhalación UNSCEAR</b>	<b>mSv / año</b>	<b>1.150</b>
<b>Dosis efectiva de probeta agregados de pozo a cielo abierto</b>			
C	Concentración de radón	Bq / m <sup>3</sup>	12.823
T <sub>F</sub>	Factor de equilibrio	–	0.4
τ	Tiempo medio de exposición	h / año	4750
D <sub>FC</sub>	Parámetro de conversión	Sv/[(Bq/m <sup>3</sup> )*h]	9 E – 9
D <sub>E</sub> = D <sub>FC</sub> *τ*T <sub>F</sub> *C	Dosis anual efectiva por inhalación	Sv / año	2.1927 E – 4
<b>D<sub>E</sub></b>	<b>Dosis anual efectiva por inhalación</b>	<b>mSv / año</b>	<b>0.219</b>
<b>D<sub>E</sub></b>	<b>Dosis anual límite inhalación UNSCEAR</b>	<b>mSv / año</b>	<b>1.150</b>

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

### 3.1.3.10 Concentración de gas radón en concesiones mineras

Mediante el análisis realizado de las variables independientes que facilitan la emanación, transporte y exhalación de gas radón  $^{222}\text{Rn}$  de cada concesión minera, tales como:

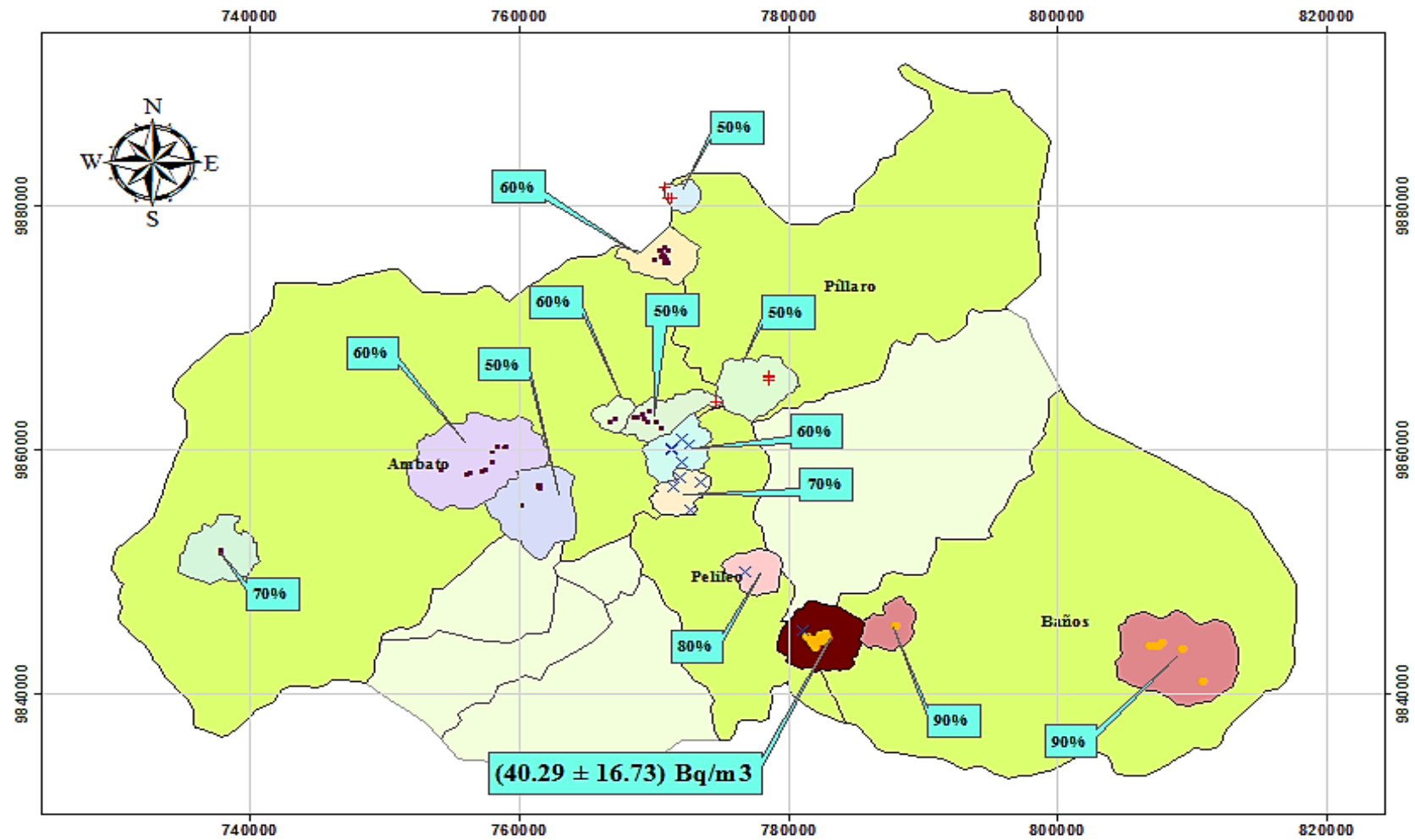
- La estructura geológica del suelo.
- Precipitación de la zona.
- Temperatura anual promedio.
- Población urbana o rural cercana a cada zona minera

Se ha elaborado un mapa de minas y canteras con el posible porcentaje de concentración de radón en base a los resultados obtenidos en la cantera “El Viejo Minero”, los cuales fueron los siguientes:

- $(18.33 \pm 8.89) \text{ Bq/m}^3$  en agregado fino.
- $(21.96 \pm 7.84) \text{ Bq/m}^3$  en agregado grueso.
- Total promedio de  $(40.29 \pm 16.73) \text{ Bq/m}^3$

Los valores en porcentaje de las concesiones mineras, se han realizado de acuerdo a la siguiente evaluación y nivel de importancia de cada variable independiente, conjuntamente con la información geofísica obtenida de cada sector de la provincia de Tungurahua, considerando los siguientes valores:

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



**Figura 72.** Concentración aproximada de gas radón en diferentes concesiones mineras de la provincia de Tungurahua

**Autor:** Néstor F. Chicaiza G.

### 3.2 Verificación de hipótesis

De acuerdo a la hipótesis de trabajo planteada para el proyecto de investigación: “ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE GAS RADIATIVO RADÓN EN AGREGADOS PÉTREOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU INCIDENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN”, se verificó que los agregados pétreos extraídos de canteras de la provincia de Tungurahua no presentan un alto valor de gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$ , presentando una concentración de radón exhalados en la zona minera de  $(18.33 \pm 8.89) \text{ Bq/m}^3$  en agregados gruesos y  $(21.96 \pm 7.84) \text{ Bq/m}^3$  en agregados finos, valores menores al establecido de  $300 \text{ Bq/m}^3$  dispuesto por la EURATOM, también el gas radón influye desfavorablemente en las propiedades mecánicas de los áridos, por otro lado algunas propiedades como el contenido de humedad, capacidad de absorción, granulometría y permeabilidad influyen directamente a la emanación y transporte de radón hacia la superficie. En cuanto a la concentración de radón que puede existir en el sótano de una edificación construida con los materiales analizados, se determina que los valores emanados y exhalados de gas radón por los áridos pétreos son bajos que no exponen a un mayor riesgo a la población.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

Por medio del presente trabajo experimental se puede exponer las siguientes conclusiones:

- La investigación ha analizado un nuevo proceso de construcción sustentable enfocándose primordialmente a los materiales de construcción utilizados en el hormigón, como son los agregados pétreos (grueso y fino), obtenidos de la técnica de extracción y/o trituración en zonas mineras de la provincia de Tungurahua y la relación existente de estos materiales con la presencia del gas radiactivo radón  $^{222}\text{Rn}$ , obteniendo valores emanados, transportados y exhalados hacia la superficie dentro de la cantera “El Viejo Minero” de  $(18.33 \pm 8.89) \text{ Bq/m}^3$  en arena y  $(21.96 \pm 7.84) \text{ Bq/m}^3$  en ripio, como resultado un total promedio de  $(40.29 \pm 16.73) \text{ Bq/m}^3$  existente en la concesión minera.
- Al realizar la selección de muestras representativas de agregado grueso y fino mediante las técnicas de pozo a cielo y zanja abierta con medidas de 1.5 m de profundidad y 2.8 m y 5.5 m de altura respectivamente se determinó la existencia de gas radiactivo natural radón de forma natural, en los subsuelos tungurahueses a 1.5 m de profundidad aproximadamente, que es emanado y transportado hacia la superficie en mayor o menor medida, dependiendo los factores ambientales como la estructura geológica del suelo, precipitación y temperatura de la zona de ubicación de las distintas concesiones mineras.



- Se determinó que las propiedades físicas de los agregados pétreos específicamente el contenido de humedad, capacidad de absorción, granulometría y permeabilidad influyen directamente con el proceso de emanación, transporte de gas radiactivo natural radón hacia la superficie y por ende su aparición en elementos estructurales, en este caso hormigón que es elaborado en gran porcentaje por los áridos, se observa:
  - El contenido de humedad se relaciona con la precipitación de la zona, los valores obtenidos con un promedio de 9% a 10% en agregados finos y de 5% a 6% en agregados gruesos, permiten que la emanación de radón disminuya debido al agua acumulada en su interior y su fácil disolución en el líquido, como resultado una menor medida alcanza la superficie.
  - La capacidad de absorción del agregado fino y grueso alcanzan porcentajes promedio de 7.75% y 4.65% respectivamente, valores altos que saturan la superficie de las partículas de los áridos e impidiendo el escape del gas al momento de ser utilizado en la elaboración de hormigón.
  - Diferentes tamaños de partículas constituyen al agregado grueso con un tamaño nominal 1 ½" (37.5 mm), valor que tiende a generar mayores vacíos entre partículas, facilitando el transporte del gas radón hacia la superficie y reduciendo en un mínimo valor la calidad del hormigón, por otro lado el módulo de finura del agregado fino con valores menores a 2.3 (ASTM C125) demuestran que el árido es más fino, imposibilitando el transporte del gas radón hacia la superficie y encareciendo el precio del hormigón.
  - Al detallar la velocidad de transporte que puede movilizarse el gas radón a través de las partículas de agregado grueso y fino mediante la propiedad de permeabilidad, se obtuvo resultados de  $9.84E-03$  cm/seg y  $7.35 E-04$  cm/seg respectivamente, valores que demuestran un buen

drenaje del ripio con permeabilidad relativamente media facilitando el transporte de radón mientras que el valor de la arena indica un pobre drenaje con una permeabilidad relativa baja impidiendo el transporte del gas.

- Se determinó que las propiedades mecánicas de los agregados pétreos específicamente densidad aparente suelta, compactada y real, resistencia a la abrasión y densidad óptima de la mezcla son inversamente proporcional a los niveles de radón que puede presentar una edificación, mediante el proceso de dosificación de hormigones que dispone la cantidad de arena y ripio necesario para su elaboración, así la concentración de radón será de mayor o menor medida, por lo que se obtiene para agregados pétreos de zanja abierta y pozo a cielo abierto respectivamente los siguientes resultados:
  - En un sótano de una edificación previamente calculado y diseñado con una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$  se necesita  $89.595 \text{ m}^3$  de hormigón (de acuerdo a elementos estructurales) interviene  $680.856 \text{ kg}$  de arena por cada metro cúbico, con una densidad real de  $2.283 \text{ gr/cm}^3$ , densidad suelta de  $1.161 \text{ gr/cm}^3$  y porcentaje óptimo en la mezcla de 44% y de igual manera interviene  $882.107 \text{ kg}$  de ripio por cada metro cúbico, con una densidad real de  $2.324 \text{ gr/cm}^3$ , densidad suelta de  $1.035 \text{ gr/cm}^3$  y porcentaje óptimo en la mezcla de 56%, se produce una concentración de radón  $15.207 \text{ Bq/m}^3$  en una habitación con un volumen de  $332.954 \text{ m}^3$ , valor que se encuentra bajo el límite de  $300 \text{ Bq/m}^3$  dispuesto por la EURATOM.
  - En un sótano de una edificación previamente calculado y diseñado con una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$  se necesita  $89.595 \text{ m}^3$  de hormigón (de acuerdo a elementos estructurales) interviene  $712.932 \text{ kg}$  de arena por cada metro cúbico, con una densidad real de  $2.305 \text{ gr/cm}^3$ , densidad suelta de  $1.171 \text{ gr/cm}^3$  y porcentaje óptimo en la mezcla de 45% y de igual manera interviene  $891.020 \text{ kg}$  de ripio por cada metro cúbico, con una densidad real de  $2.357 \text{ gr/cm}^3$ , densidad suelta de  $1.011 \text{ gr/cm}^3$  y

porcentaje óptimo en la mezcla de 55% se produce una concentración de radón  $15.538 \text{ Bq/m}^3$  en una habitación con un volumen de  $332.954 \text{ m}^3$ . valor que se encuentra bajo el límite de  $300 \text{ Bq/m}^3$  dispuesto por la EURATOM.

- Se determinó la dosis anual efectiva por inhalación a la que una persona puede ser sometida en un sótano con un volumen de  $332.954 \text{ m}^3$  elaborado con los agregados pétreos obtenidos en zanja abierta de la cantera “El Viejo Minero”, obteniendo como resultado una dosis de  $0.260 \text{ mSv/año}$ , valor que se encuentra bajo el límite de  $1.150 \text{ mSv}$  dispuesto por la UNSCEAR, de igual manera se determinó la dosis anual efectiva por inhalación a la que una persona puede ser sometida al mismo sótano pero es elaborado con los agregados pétreos obtenidos en los pozos a cielo abierto, obteniendo como resultado una dosis de  $0.266 \text{ mSv/año}$ , valor que se encuentra bajo el límite establecido.
- Se seleccionó las minas de agregados pétreos más representativas de la provincia de Tungurahua para el análisis de gas radón de acuerdo a variables físicas, ambientales que favorecen la emanación, transporte y emanación de radón, obteniendo un total de 16 zonas mineras, siendo estas “Kumochi, Mina Mora, Puerta del Sol, Playa Llagchoa, Canteras M&T y Salomón” pertenecientes al cantón Ambato, “El Viejo Minero, Mina Guevara, El Arenal, Andino y Juive La Pampa” pertenecientes al cantón Baños, “Las Juntas I, Solar I y Chumaqui” pertenecientes al cantón Pelileo y finalmente “Pucahuaico y Virginia” pertenecientes al cantón Píllaro (ver anexo 7)
- Se estimó el porcentaje de concentración del gas en las diferentes concesiones mineras mediante la relación de la estructura geológica del suelo, precipitación y temperatura de la zona de ubicación de las distintas canteras que expenden agregados pétreos, a partir de la concentración de radón obtenido en la zona minera “El Viejo Minero” con un valor de  $(40.29 \pm 16.73) \text{ Bq/m}^3$ . (ver figura 72)

## 4.2 Recomendaciones

- Realizar un análisis de las propiedades físicas y mecánicas y de concentración de radón de agregados pétreos que se expenden en la provincia de Tungurahua de cada zona minera establecida por los factores establecidos en esta investigación para determinar una emanación y exhalación de gas más exacta en los diferentes sitios de la provincia.
- Analizar la emanación de radón que produce los elementos no estructurales tales como bloques, ladrillos y acabados, materiales que son elaborados por partículas extraídas de la minería y utilizados en la construcción de una edificación, para determinar la concentración y dosis anual por inhalación de gas real a la cual puede estar sometida una persona.
- Se recomienda realizar ensayos de permeabilidad, densidad de campo y concentración de radón en los agregados pétreos in situ de cada concesión minera y comparar los resultados obtenidos en laboratorio.
- Investigar ensayos alternativos de toma de muestras de agregados pétreos relacionando la Ingeniería Civil con concentración de gas radiactivo radón que puede existir en las partículas que emiten los agregados pétreos utilizados en la construcción.
- Fomentar a personas profesionales y no profesionales a la práctica de construcciones sustentables, priorizando la creación de entornos saludables, adecuados y no tóxicos en edificaciones.

## MATERIALES DE REFERENCIA

### Referencias Bibliográficas

- [1] B. Piedecausa, S. Chinchón, M. Morales y M. Sanjuán, "Radiactividad natural de los materiales de construcción. Aplicación al hormigón. Parte I. Radiación externa: índice de riesgo radiactivo," *Cemento Hormigón*, nº 945, pp. 40-41, Julio - Agosto, 2011.
- [2] M. Berenguer, "Radón en Ambientes Interiores," *Normas Técnicas de Protección de España*, nº 440, pp. 1-2, 1995.
- [3] J. Baro, A. Fernandez, J. Cusido y A. Isalgue, "Radiactividad natural en materiales de construcción," *Materiales de Construcción*, vol. 35, nº 197, p. 31, 1985.
- [4] Consejo de la Unión Europea, "DIRECTIVA 2013/59/EUROATOM," *Diario Oficial de la Unión Europea*, vol. VI, p. 13/1, 2014.
- [5] 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.
- [6] S. Pillai, S. Hammed y M. Nazeeb, "A Study on Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) Exhalation Rate in the Rocks Used as Building Materials in Tiruchirappalli District, Tn, India," *J. Environment Nanotechnology*, vol. IV, nº 1, pp. 27-28, 2015.
- [7] F. Pacheco y S. Jalali, "Toxicity of building materials: a key issue in sustainable construction," *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. I, pp. 1-2, 2011.
- [8] S. Righi y L. Bruzzi, "Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings," *ElSevier*, pp. 158-159, 2006.

- [9] B. Piedecausa, S. Chinchón, M. Morales y S. Miguel, "Radiactividad natural de los materiales de construcción. Aplicación al hormigón. Parte II. Radiación Interna," *Cemento Hormigón*, n° 946, pp. 34-35, Julio - Agosto, 2011.
- [10] R. Barreto, A. Perna, D. Narloch, F. Claro, J. Correa y S. Paschuk, "Determining radium-226 concentration from radon-222 emanation in building materials: a theoretical model," *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, vol. VII, pp. 1-2, 2019.
- [11] M. Shoeib y K. Thabayneh, "Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation rate in various samples of Egyptian building materials," *Science Direct*, vol. VII, n° 2, pp. 174-175, 2014.
- [12] L. Muntean, C. Cosma y D. Moldovan, "Measurement of natural radioactivity and radiation hazards for some natural and artificial building materials available in Romania," *Springer*, n° 299, pp. 523-524, 2014.
- [13] J. Chen, N. Rahman y I. Atiya, "Radon exhalation from building materials for decorative use," *Elsevier*, pp. 1-2, 2010.
- [14] A. Neville y J. Brooks, "Concrete Technology", England: Pearson, 2010.
- [15] A. Rodríguez, "Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante ensaye de pista," *Tesis de Grado, Universitat Politècnica de Catalunya*, pp. Capítulo 2, 5, 2004.
- [16] S. Medina, "Hormigón," Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [17] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Áridos. Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Grueso," *Norma Técnica Ecuatoriana*, n° 0857, pp. 1-2, 2011.
- [18] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Áridos. Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) y el Porcentaje de Vacíos," *Norma Técnica Ecuatoriana*, n° 0858, p. 2, 2011.

- [19] A. Ortega, "La Calidad de lo Agregados de Tres Canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la Resistencia del Hormigón empleado en la Construcción de Obras Civiles," *Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato*, 2013.
- [20] K. Terzagui y P. Ralph, "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica," Universidad de Harvard: El Ateneo, 1973.
- [21] American Society for Testing and Materials, "Standard Specification for Concrete Aggregates," *ASTM-C33*.
- [22] American Society for Testing and Materials, "Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates," *ASTM-C125*.
- [23] L. Pérez, "Mecánica de Suelos," Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [24] A. Martínez, "Humedad de los Agregados," Guía Corta para Estudiantes - Materiales de Construcción, Managua, 2015.
- [25] American Society for Testing and Materials, "Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión en la Máquina de los Ángeles," *ASTM-C131*, 2014.
- [26] C. Crespo, "Mecánica de Suelos y Cimentaciones," Monterrey: Limusa, 2017.
- [27] Consejo de Seguridad Nuclear, "CSN-Consejo de Seguridad Nuclear," 22 Abril 1980. [En línea]. Available: <https://www.csn.es/radiaciones-ionizantes>. [Último acceso: 15 Agosto 2019].
- [28] L. Quindós, J. Arteché y I. Fuente, "Radón y Meteorología," *Natural gamma radiation map and indoor radon levels in Spain*, n° 29, pp. 1091-1095, 2004.
- [29] P. Salazar, W. Hincapié y Garzón, "El Gas Radón: Una amenaza Radiactiva Natural," *Boletín de Geología*, vol. 26, n° 42, p. 89, 2004.
- [30] L. Quindós, "Radón, un gas radiactivo de origen natural en casa," Cantabria: Consejo de Seguridad Nuclear, 1995.

- [31] A. Noverques, "Desarrollo de Metodologías para la realización de mediciones de exhalación de Radón-222," *Tesis de Máster, Universidad Politécnica de Valencia*, 2016.
- [32] G. Carpio, "Detección de las Concentraciones de Radio-226 y Exhalación de Radón-222 en algunos materiales de construcción de la ciudad de Cuenca-Ecuador," *Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca*, 2016.
- [33] Organización Mundial de la Salud, "WHO Handbook on Indoor Radon," France: A Public Health Perspective, 2009.
- [34] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources to effects assessment for radon in homes and workplaces," *UNSCEAR*, vol. Annex E, pp. 203-223, 2006.
- [35] C. Guapizaca, "Implementación de un método de detección del gas radón-222 en agua proveniente de las vertientes naturales del Volcán Carihuairazo," *Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 2018.
- [36] C. Chao, "Determination of Radon Emanation and Back Diffusion Characteristics of Building Materials in Small Chamber Tests," *Building and Environment*, vol. 32, n° 4, pp. 355-366, 1997.
- [37] Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, "Tungurahua Tierra de Oportunidades," HGPT, [En línea]. Available: <https://www.tungurahua.gob.ec/>. [Último acceso: 2019 Agosto 24].
- [38] Control Minero, "Agencia de Regulación y Control Minero," Gobierno de la República del Ecuador, [En línea]. Available: <http://www.controlminero.gob.ec/>. [Último acceso: 2019 Junio 22].
- [39] F. Moreira, "Vulnerabilidad Vial en función de los Riesgos Naturales para el Cantón Ambato," *Tesis de Magister en Vías Terrestres, Universidad Técnica de Ambato*, 2011.



- [40] S. Galati, "Geographic Information Systems Demystified," *Artech House Books*, pp. 1-2, 2016.
- [41] M. Kennedy, "Introducing Geographic Information Systems with ArcGIS," *Workbook Approach to Learning*, pp. 4-5, 2013.
- [42] Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón San Pedro de Pelileo, "Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón San Pedro de Pelileo," Pelileo, 2015.
- [43] Gobierno Autónomo Descentralizado Cantón Baños de Agua Santa, "Diagnóstico del Cantón Baños de Agua Santa", Baños, 2014.
- [44] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato, "Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial", Ambato, 2015.
- [45] GADM Santiago de Píllaro, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Santiago de Píllaro", Píllaro: GeoIngeniería, 2015.
- [46] GADM Santiago de Quero, "Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Santiago de Quero", Quero: Cueva Consultores, 2014.
- [47] GADM Cantón Cevallos, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial", Cevallos, 2011.
- [48] GADM Mocha, "Diagnóstico del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Mocha", Mocha, 2014.
- [49] GADM de Tisaleo, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial", Tisaleo, 2015.
- [50] GADM Patate, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial", Patate, 2015.
- [51] Benoit Cushman - Roisin. "Environmental transport and fate," *Thayer School of Engineering Dartmouth College*, University Lecture, 2012.
- [52] G. Akerblom, P. Andersson y B. Clevenso. "Soil gas radon a source for indoor radon daughters," *Radiation Protection Dosimetry*, n° 7(1-4), pp. 49-54, 1984

[53] Anthony V. Nero y WW Nazaroff. "Charasterising the source of radon indoors," *Radiation Protection Dosimetry*, n° 7(1-4), pp. 23-39, 1984.

[54] William W Nazaroff, H Feustel, Anthony V. Nero, Kenneth L. Revzan, DT Grimsrud, MA Essling y RE. Toohey. "Radon transport into a detached one-story house with a basement," *Atmospheric Environment*, n° 19, pp. 31-46, 1985.

[55] G. Akerblom y H. Mellander, 1.2 geology and radon. "Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection," *Earth Sciences and the Environment*, pp. 21, 1997.

[56] William W. Nazaroff. Radon transport from soil to air. *Reviews of Geophysics*, n° 30, pp. 137-160, 1992.

## Anexos

### Anexo 1. Áreas mineras de la provincia de Tungurahua

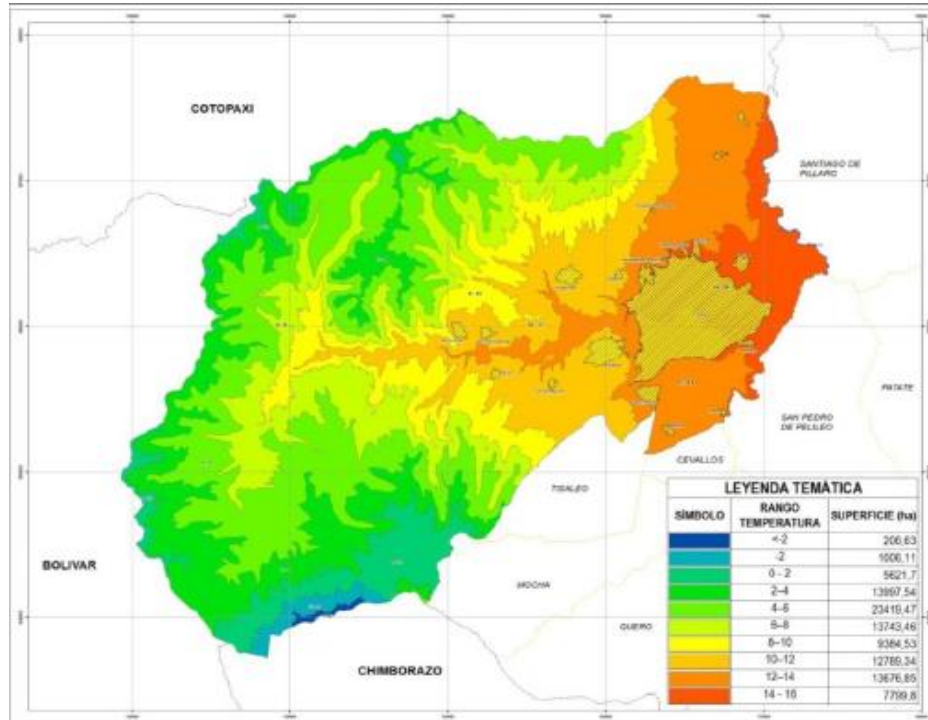
N°	Área Minera	Cantón	Coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) WGS-84 Zona 17 S.	
			Este	Norte
1	Las Juntas I	Pelileo	781200	9845100
2	Valle Hermoso	Pelileo	776900	9849900
3	Catimbo	Pelileo	772800	9855000
4	Chumaqui	Pelileo	773600	9857300
5	Corazón	Pelileo	772100	9857700
6	Tierra Blanca	Pelileo	771500	9856900
7	Minera Alfonso	Pelileo	772200	9859000
8	Condorahua Grande	Pelileo	772700	9860300
9	Rumichaca	Pelileo	771400	9860000
10	Rumichaca I	Pelileo	771400	9860100
11	Solar I	Pelileo	772200	9860900
12	Quillán Alemania	Píllaro	774700	9863900
13	Pucahuaico III	Píllaro	778600	9865700
14	Pucahuaico II	Píllaro	778700	9865900
15	Pucahuaico I	Píllaro	778700	9866100
16	Virginia	Píllaro	771400	9880600
17	Carla I	Píllaro	770900	9881500
18	Alexandra	Píllaro	771100	9880700
19	Los Ángeles	Baños	810850	9841000
20	Mina Guevara	Baños	809400	9843600
21	Gran Salomón	Baños	807800	9844100
22	San Francisco I	Baños	807600	9843900
23	San Francisco II	Baños	807300	9843900
24	Las Palmeras	Baños	807000	9843800
25	Andino	Baños	788000	9845500
26	Juive La Pampa	Baños	782920	9844500
27	Minas Villegas	Baños	782800	9844900
28	El Arenal	Baños	782400	9844800
29	Cantera Volcán	Baños	782600	9844300
30	El Viejo Minero II	Baños	782100	9844000
31	Cantera Isabelita	Baños	782100	9843700

32	Sixto	Baños	781900	9844000
33	El Viejo Minero I	Baños	781900	9844000
34	El Viejo Minero	Baños	781900	9844200
35	Los Pájaros	Baños	781800	9844100
36	El Viejo Minero III	Baños	781900	9844400
37	Cantera Medina	Baños	781700	9844400
38	Mina Mora	Ambato	770600	9861700
39	Kumochi	Ambato	770300	9862200
40	Canteras Nieto	Ambato	770300	9862200
41	Minas Ambato II	Ambato	769600	9862300
42	Minas Ambato	Ambato	769400	9862500
43	Alvortiz	Ambato	769200	9862900
44	Mina Ambato III	Ambato	769800	9863100
45	Cachurco	Ambato	768900	9862700
46	Villacrescis	Ambato	768800	9862700
47	Copeg	Ambato	768600	9862600
48	Ecarem	Ambato	767200	9862500
49	Atung La Península	Ambato	766880	9862250
50	Vazquez & Vazquez	Ambato	770100	9875600
51	El Capulí	Ambato	770900	9875300
52	Avestruz I	Ambato	771000	9875400
53	Salomón	Ambato	771100	9875300
54	Rocadura	Ambato	771000	9875600
55	Piedradura	Ambato	770900	9875700
56	Andesita	Ambato	770900	9875900
57	Cantera Tigualó	Ambato	770700	9875900
58	Constante Cruz	Ambato	770800	9876000
59	Omar Elías	Ambato	771100	9876400
60	Los Muelles	Ambato	770900	9876600
61	Puerta del Sol	Ambato	770600	9876400
62	Canteras el Placer	Ambato	770500	9876400
63	Acosta	Ambato	761600	9856830
64	Toalló	Ambato	761700	9857100
65	Ariel	Ambato	761500	9857000
66	Luis Miguel	Ambato	761500	9856900
67	Marsal I	Ambato	760300	9855400
68	Marsal	Ambato	760200	9855400
69	San Sebastián	Ambato	759100	9860200

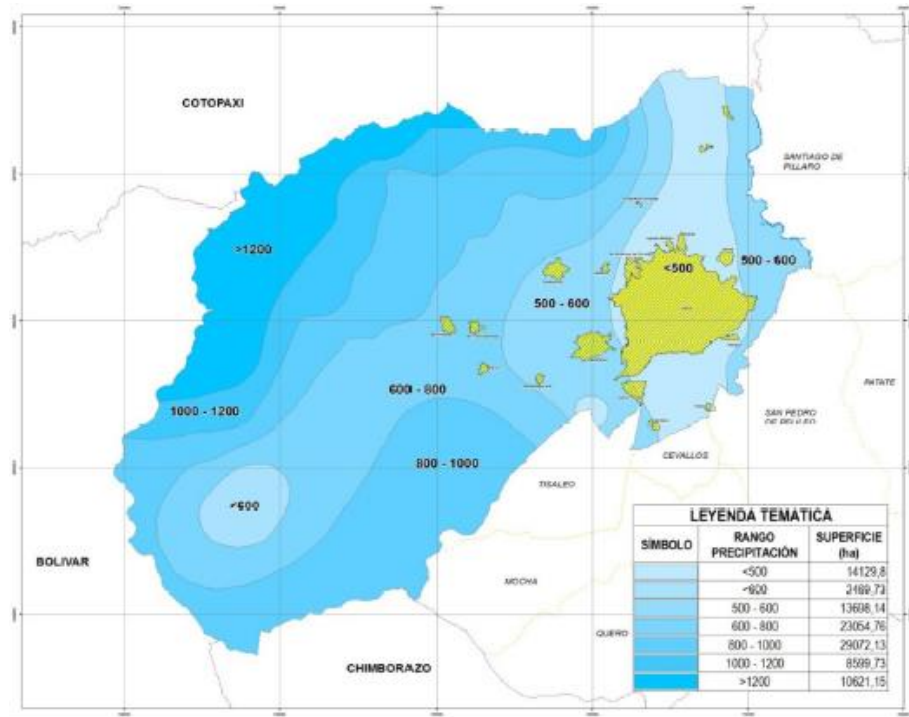
70	Corazón de Jesús	Ambato	759000	9860100
71	Canteras Tilulúm	Ambato	758100	9859900
72	Imeldita	Ambato	758100	9859000
73	Playa Llagchoa	Ambato	757560	9858300
74	Canteras Salvador	Ambato	757360	9858240
75	Amanta II	Ambato	756400	9858100
76	Amanta III	Ambato	756200	9857900
77	Cantera M&T	Ambato	754300	9858300
78	El Salado	Ambato	737900	9851500
79	El Salado I	Ambato	737900	9851700

**Anexo 2.** Condiciones meteorológicas que influyen en la concentración de radón del cantón Ambato.

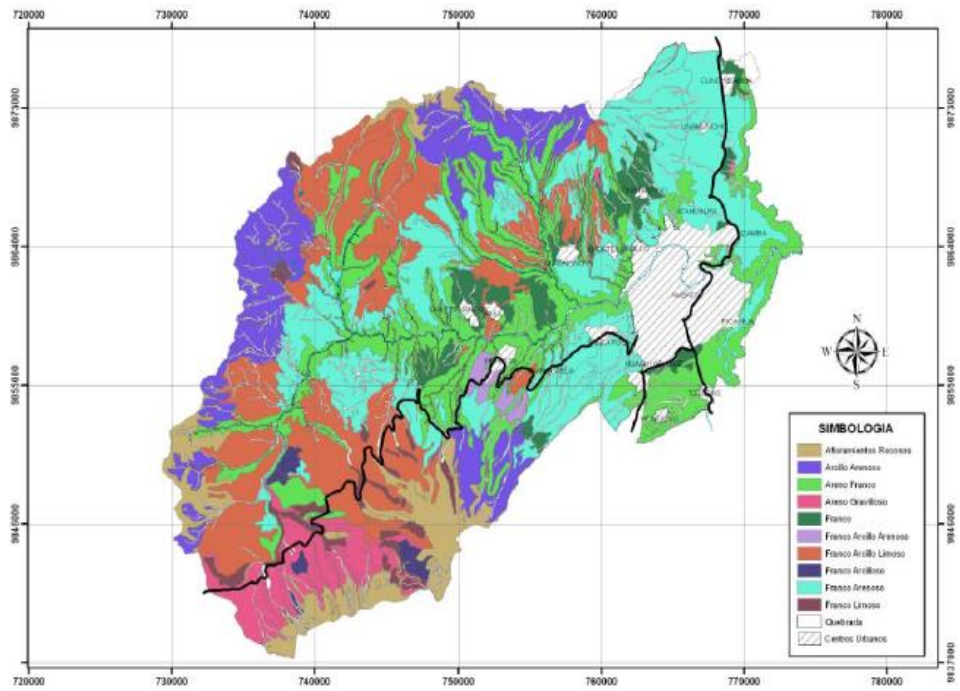
**Temperatura**



**Precipitación**

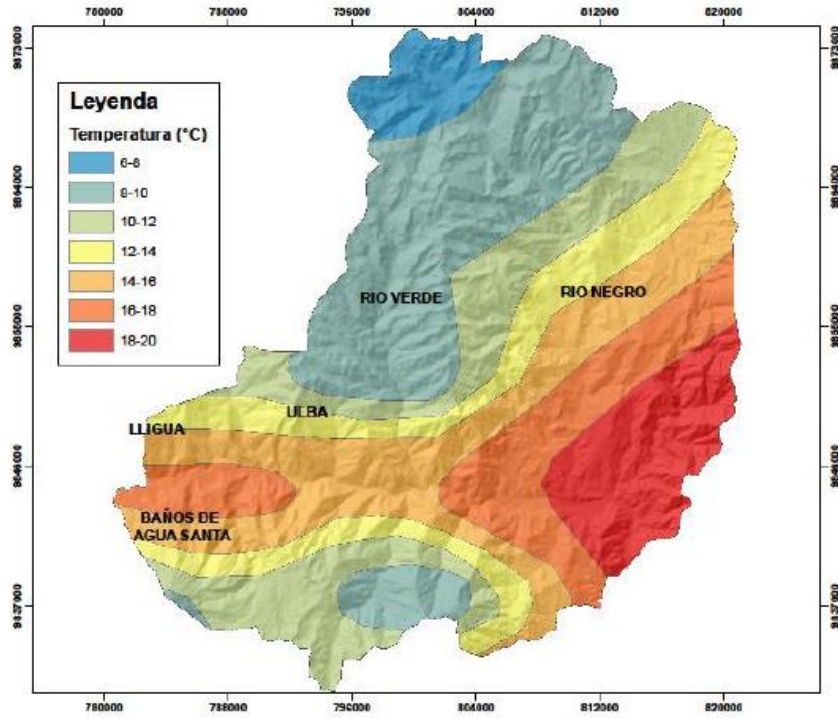


## Estructura Geológica del Suelo

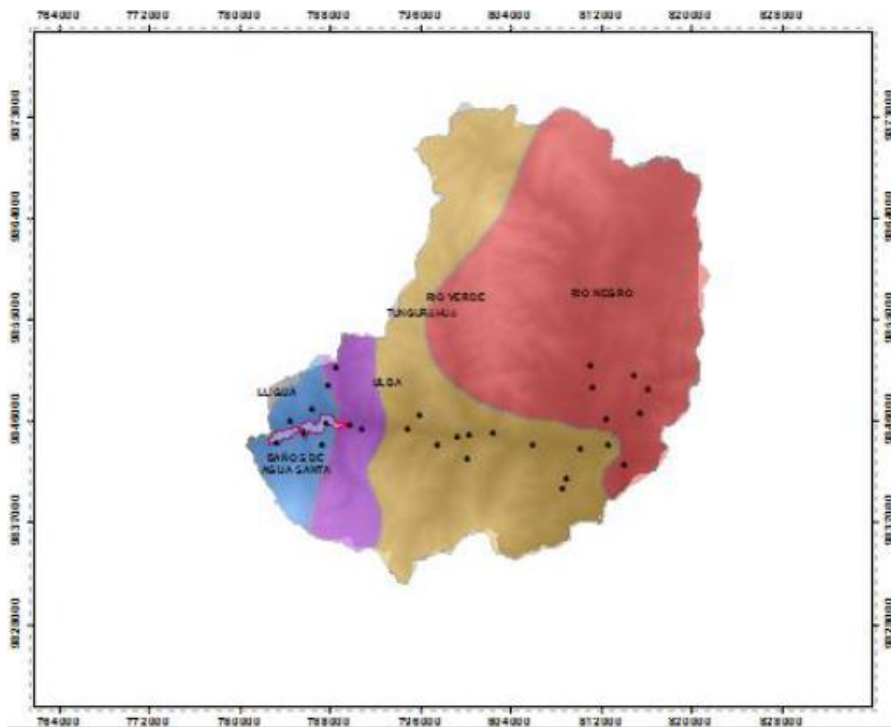


**Anexo 3.** Condiciones meteorológicas que influyen en la concentración de radón del cantón Baños.

**Temperatura**

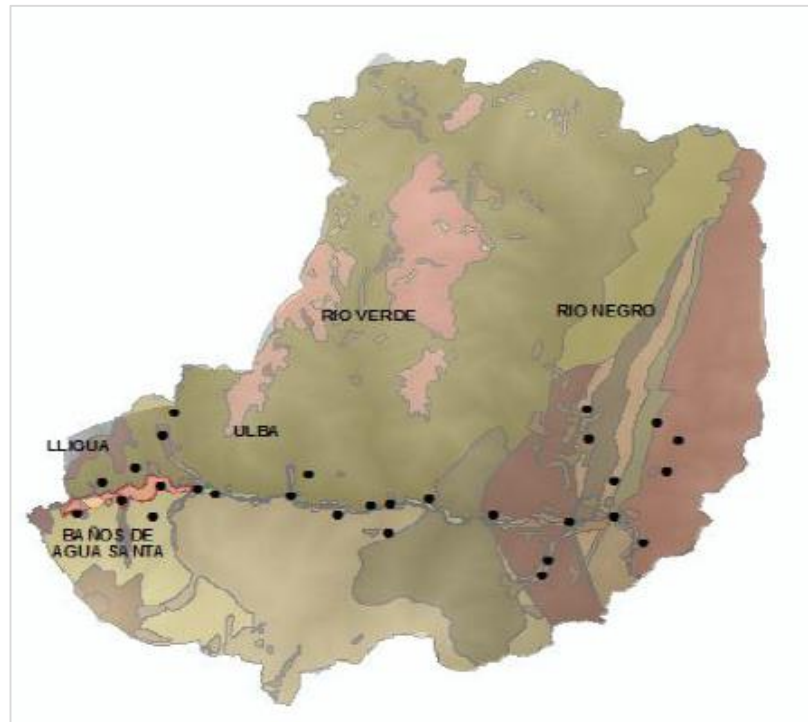


**Precipitación**



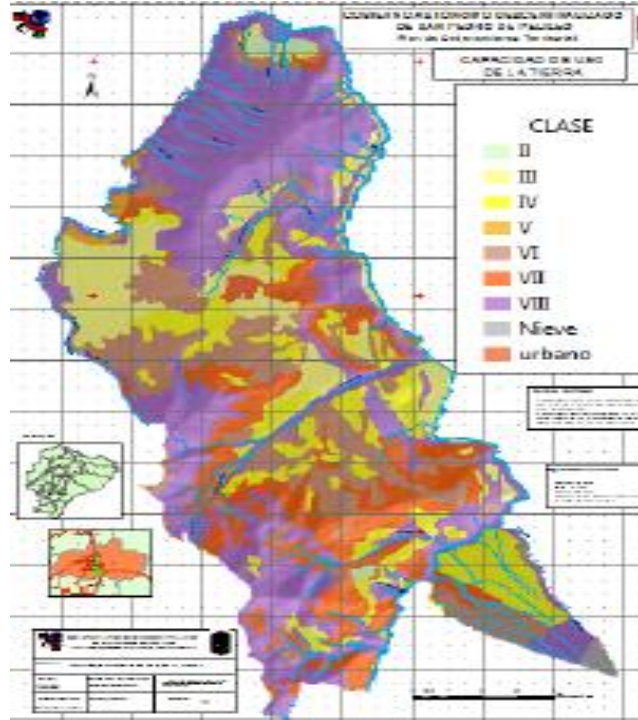


## Estructura Geológica del Suelo

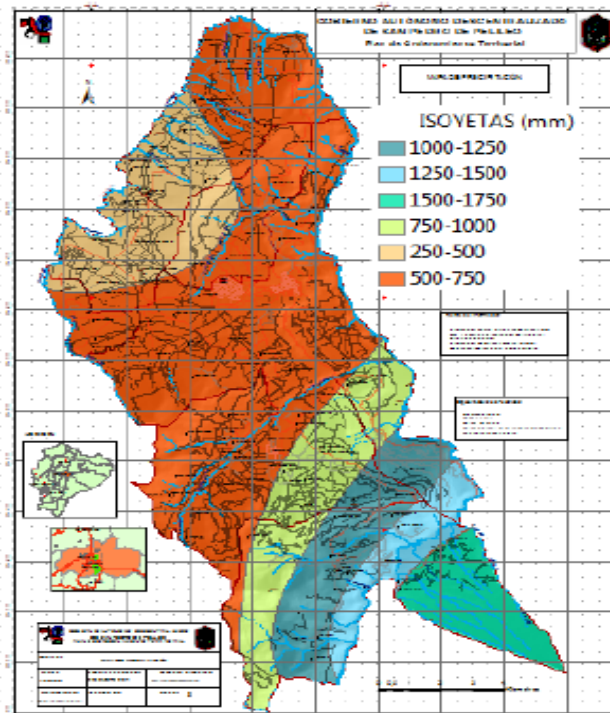


**Anexo 4.** Condiciones meteorológicas que influyen en la concentración de radón del cantón Pelileo.

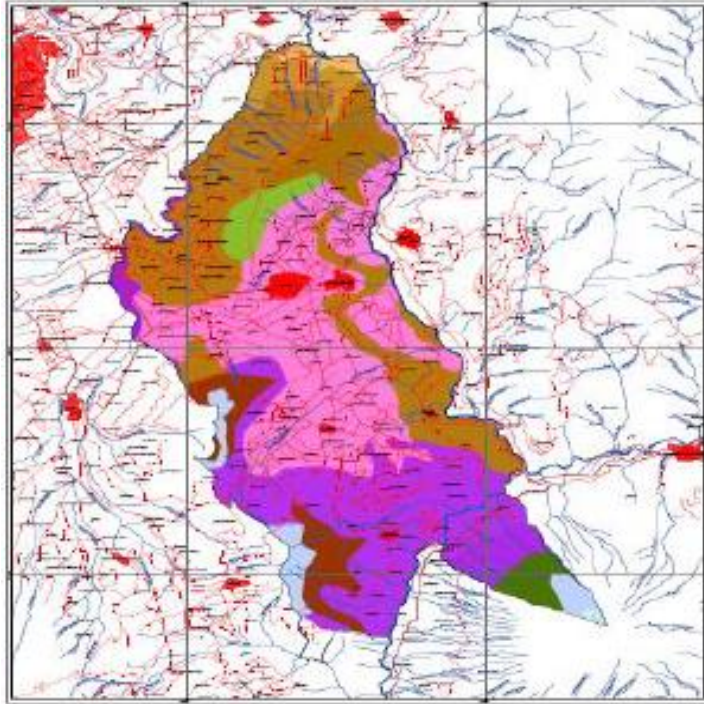
### Temperatura



### Precipitación

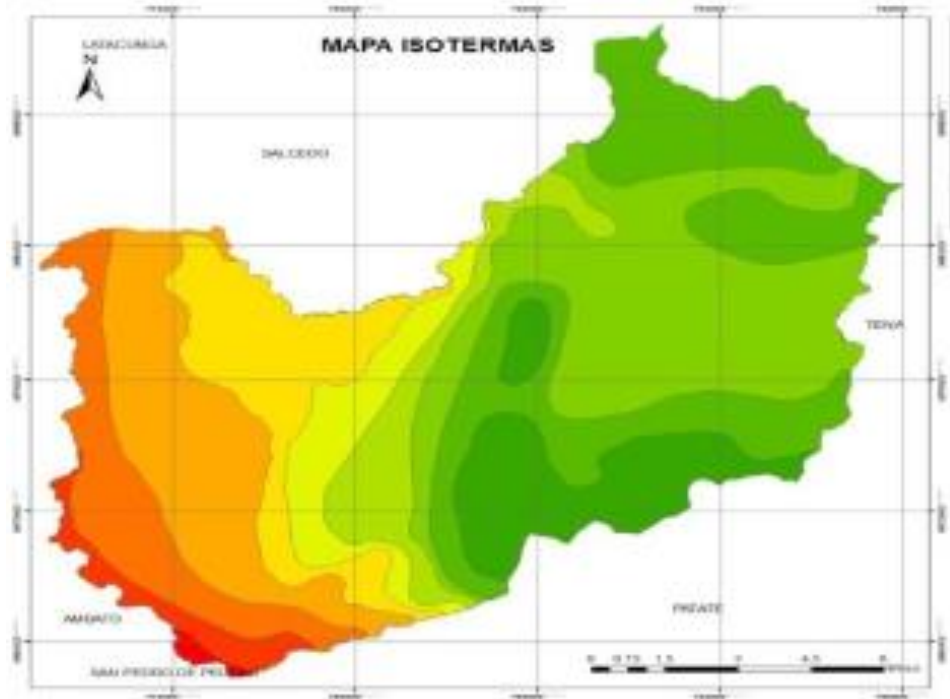


## Estructura Geológica del Suelo

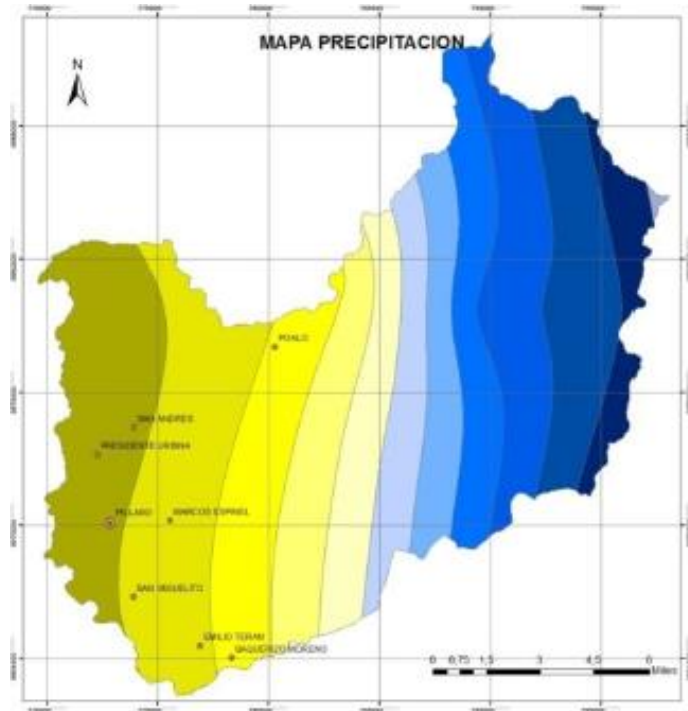


**Anexo 5.** Condiciones meteorológicas que influyen en la concentración de radón del cantón Píllaro.

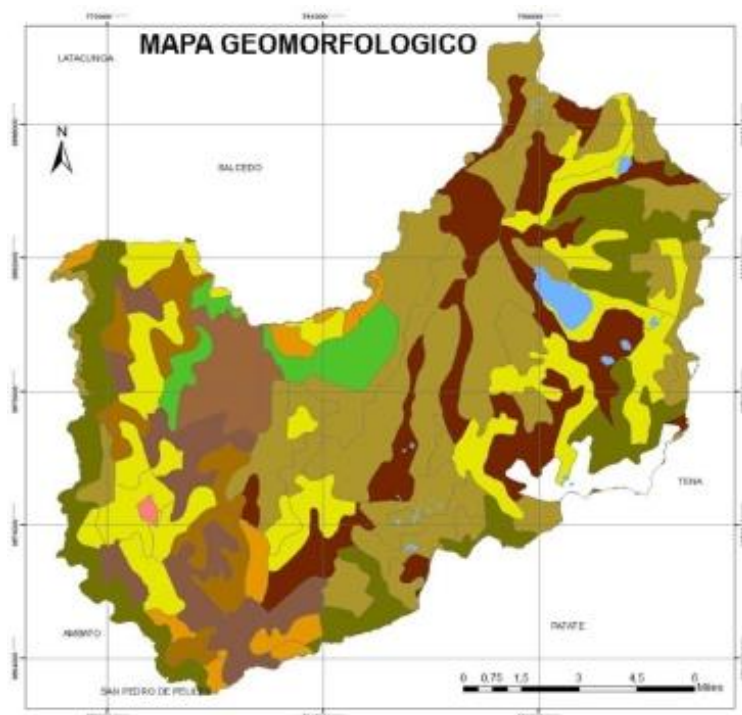
### Temperatura



### Precipitación

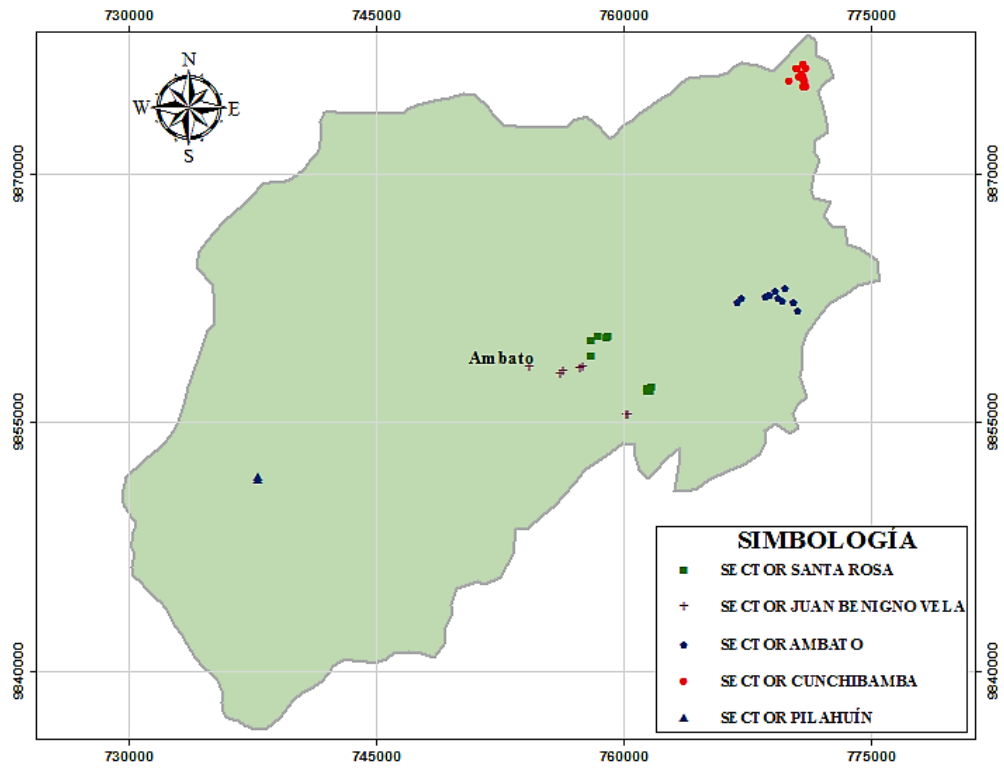


## Estructura Geológica del Suelo

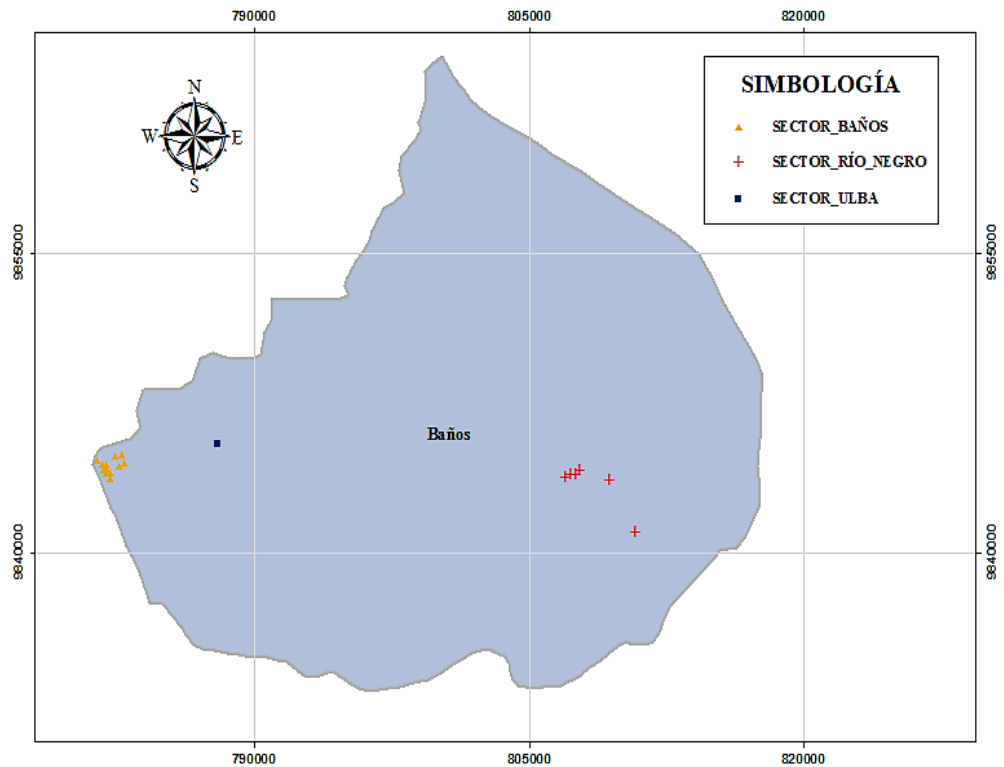


Anexo 6. Concesiones mineras de la provincia de Tungurahua.

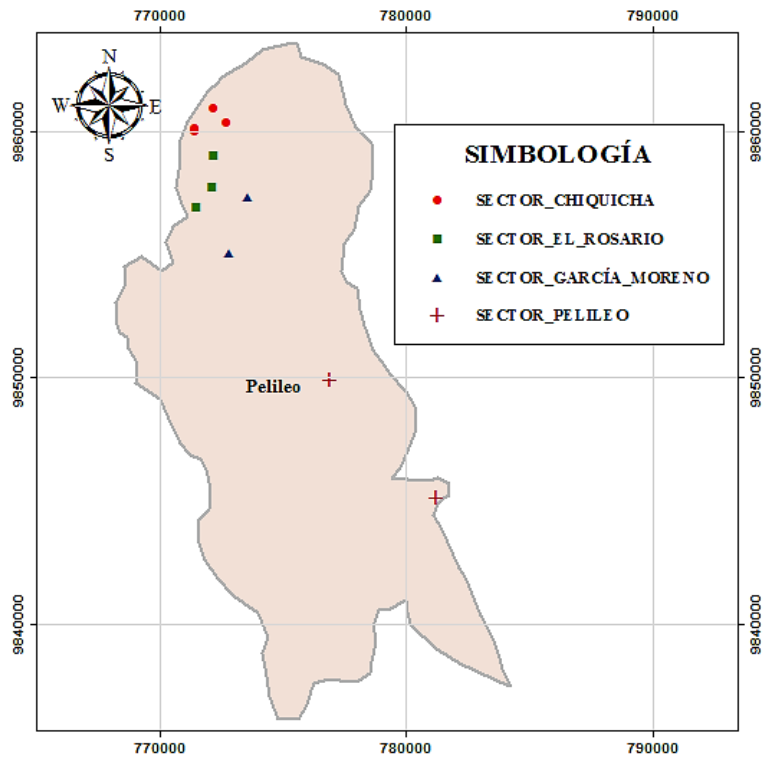
**Ambato**



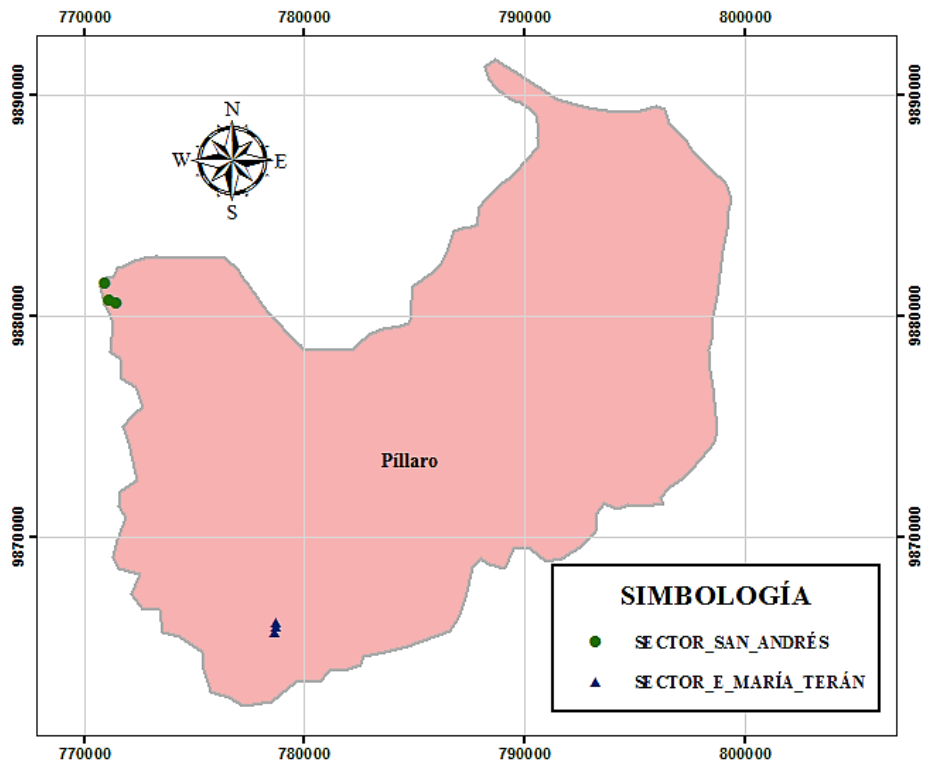
**Baños**

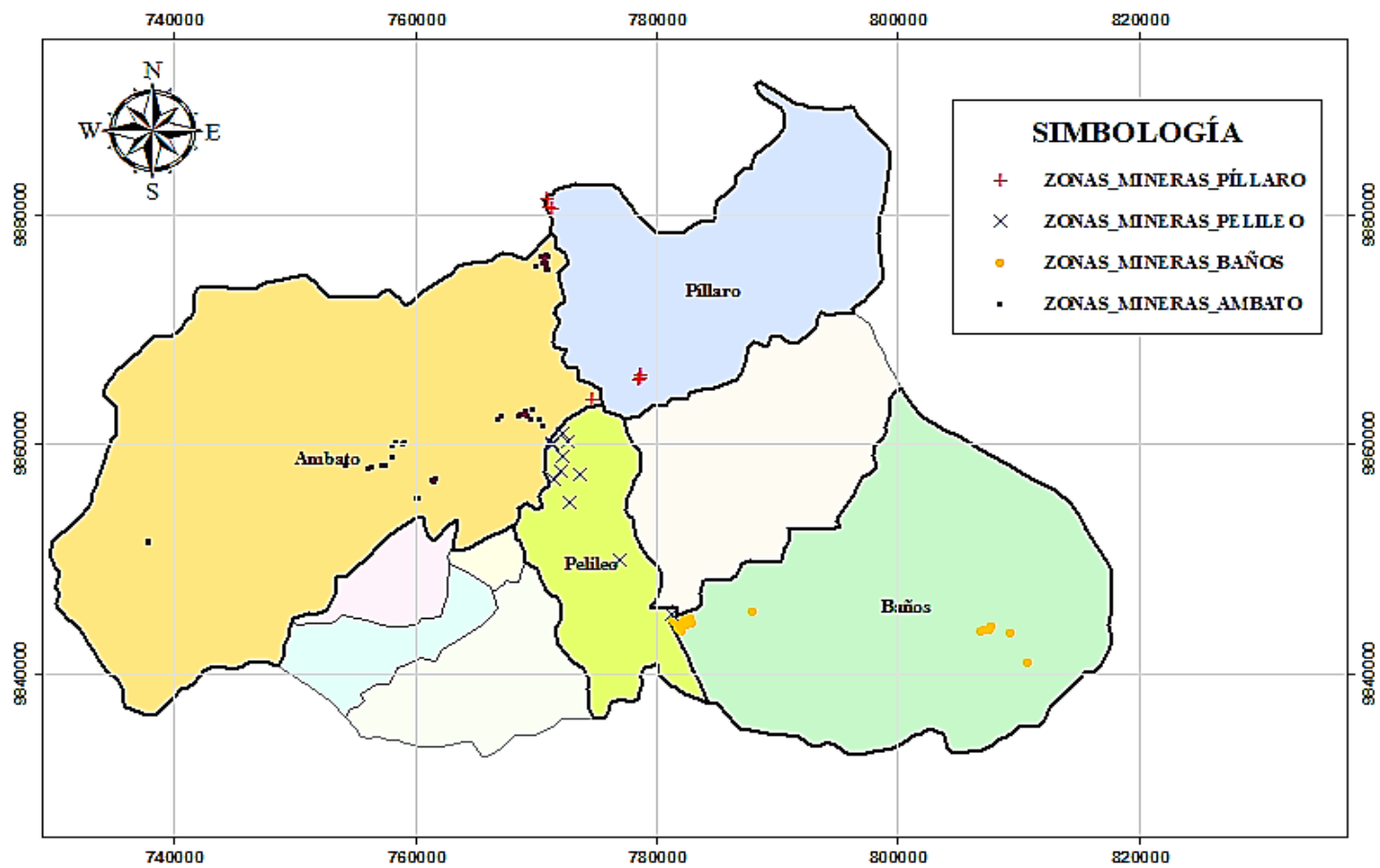


## Pelileo



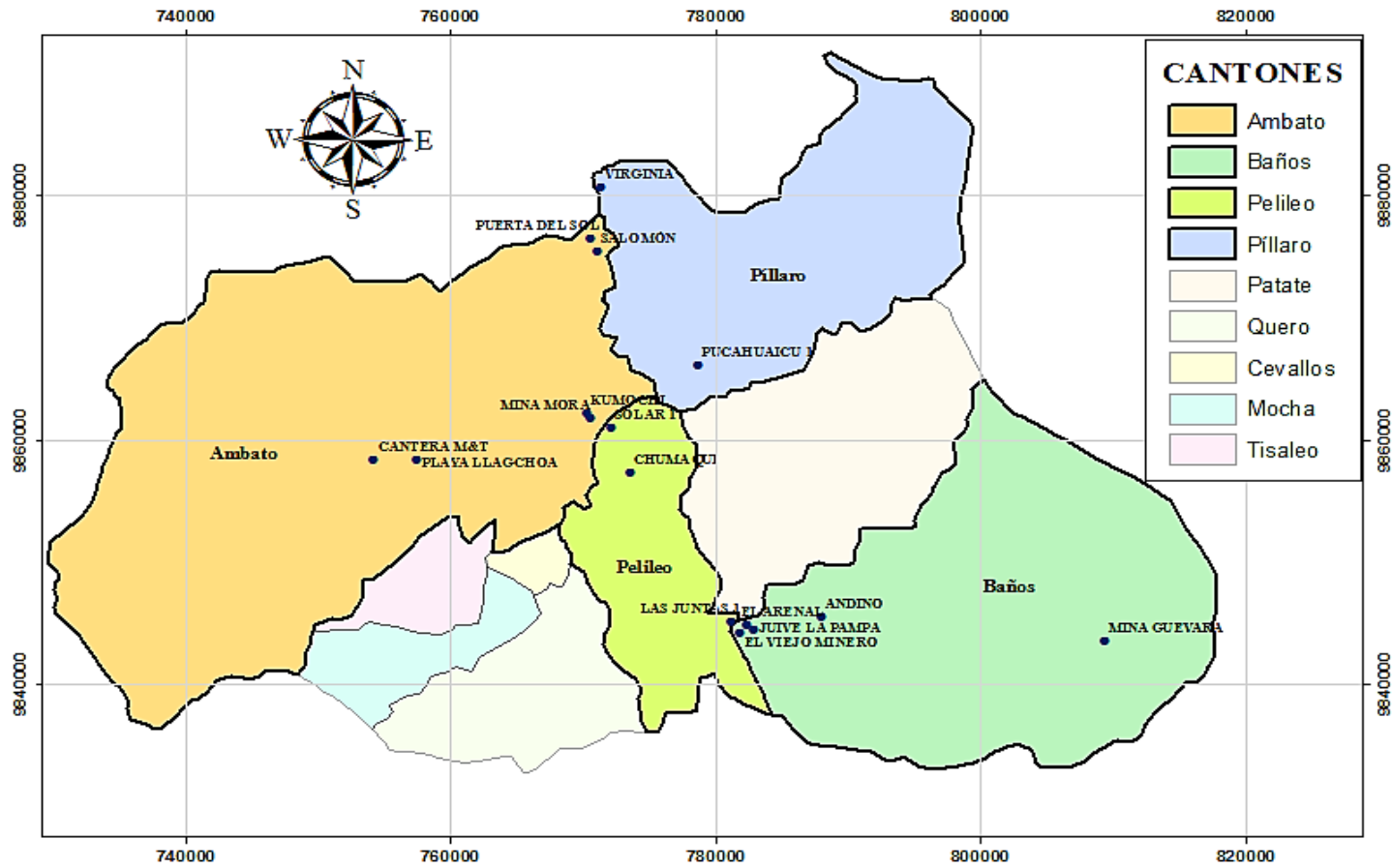
## Píllaro







**Anexo 7.** Concesiones mineras significativas de la provincia de Tungurahua.



Anexo 8. Anexos fotográficos



Reconocimiento de Cantera "El Viejo Minero"



Pozos a Cielo Abierto

Zanjas abiertas



Extracción de agregados pétreos para ensayos



Secado de agregados pétreos al aire



Granulometría de agregado grueso

Granulometría de agregado fino



Densidad real del agregado grueso

Densidad real del agregado fino



Densidad suelta del agregado grueso



Densidad suelta del agregado fino



Densidad aparente de la mezcla



Capacidad de absorción de los áridos



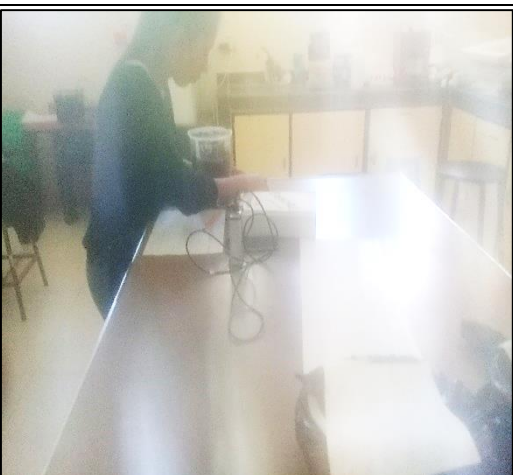
Permeabilidad de los agregados



Resistencia a la Abrasión del agregado grueso



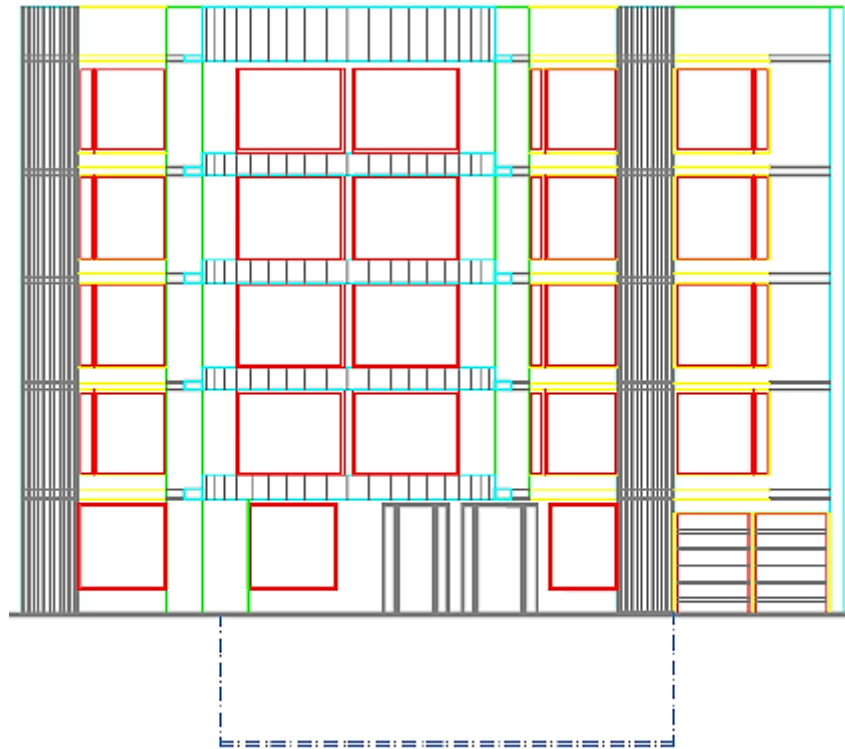
Elaboración de cilindros de hormigón



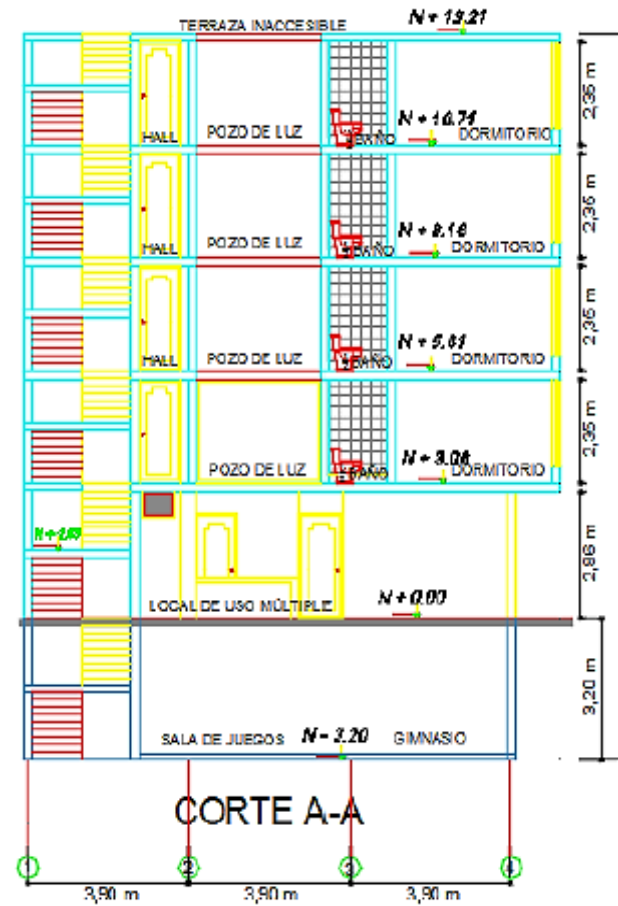
Análisis de concentración de radón método cámara cerrada

	
<p>Balanza electrónica de laboratorio</p>	<p>Tamizadora automática para agregado fino</p>
	
<p>Recipiente cilíndrico metálico</p>	<p>Varilla de compactación punta semiesférica</p>
	
<p>Equipo para determinar densidad</p>	<p>Canastilla cilíndrica metálica</p>

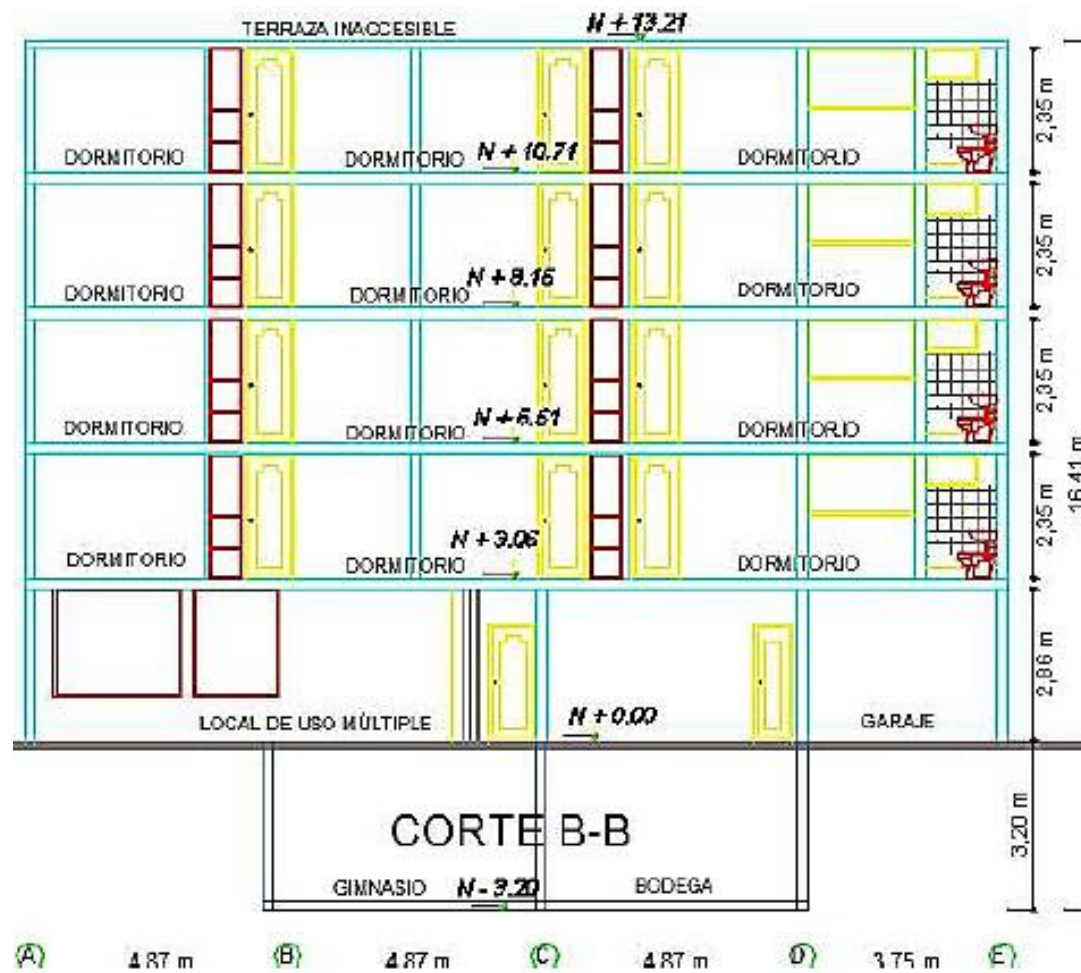
**Anexo 9.** Planos Arquitectónicos de edificación analizada sin escala.



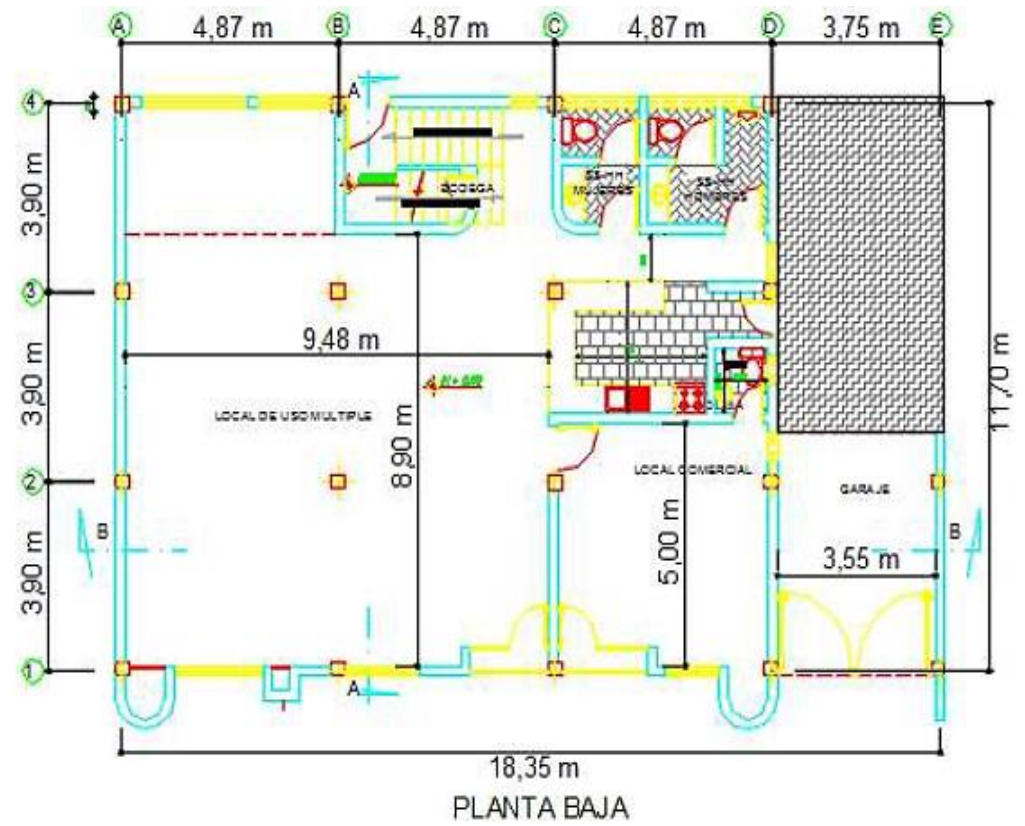
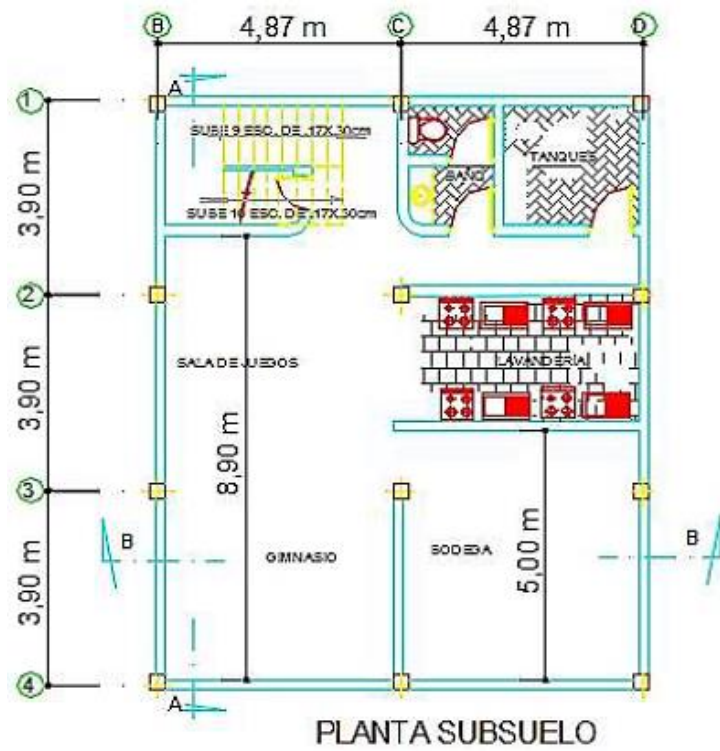
FACHADA FRONTAL

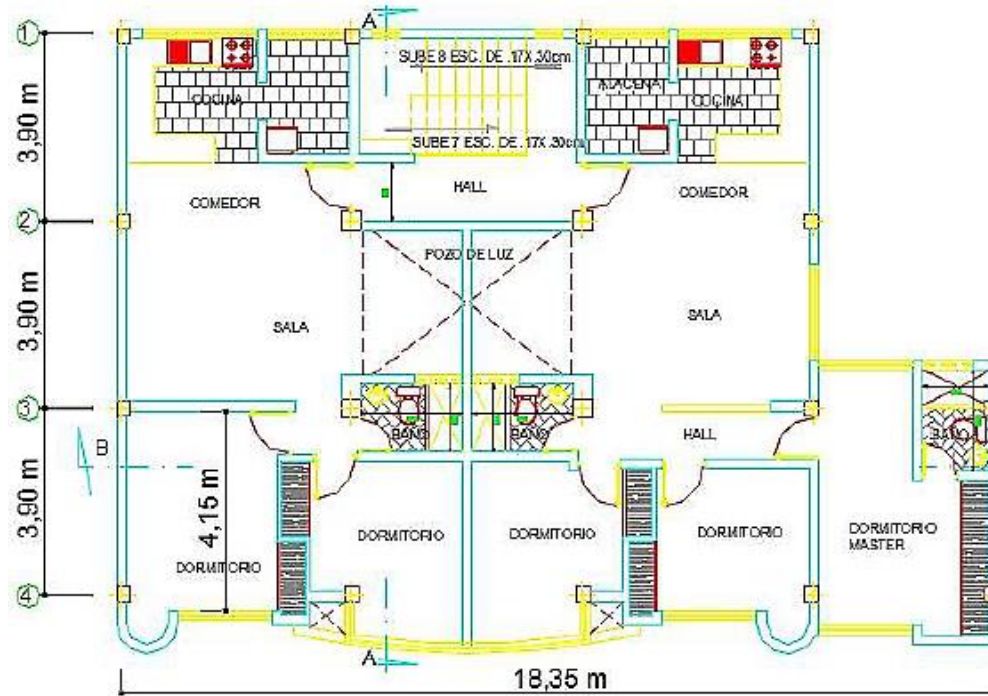


CORTE A-A

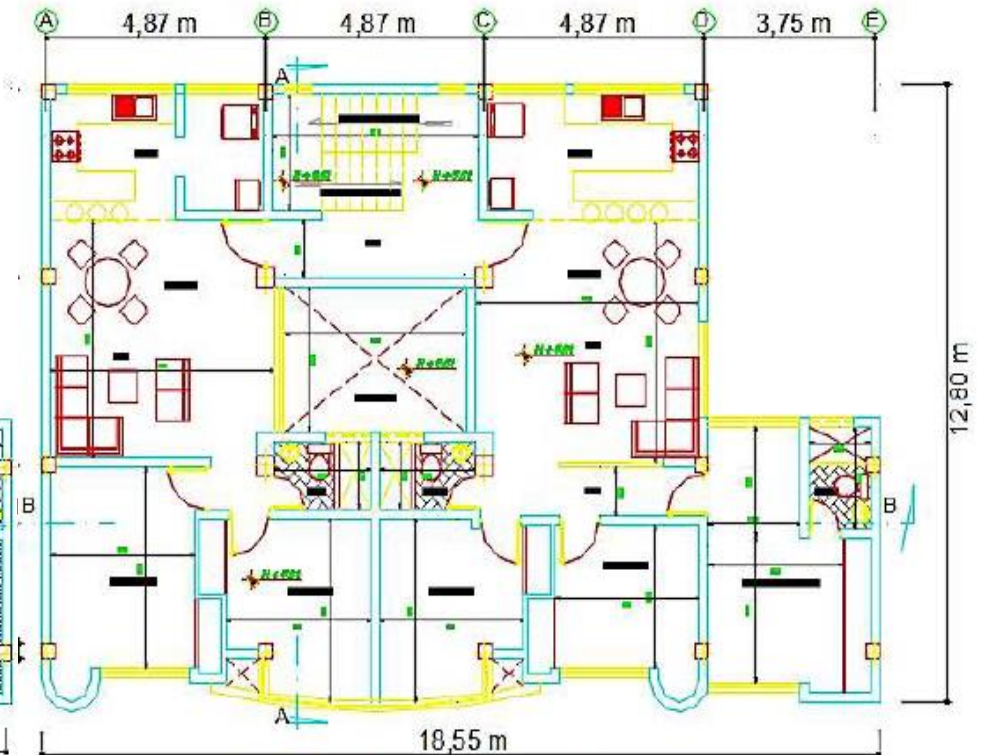








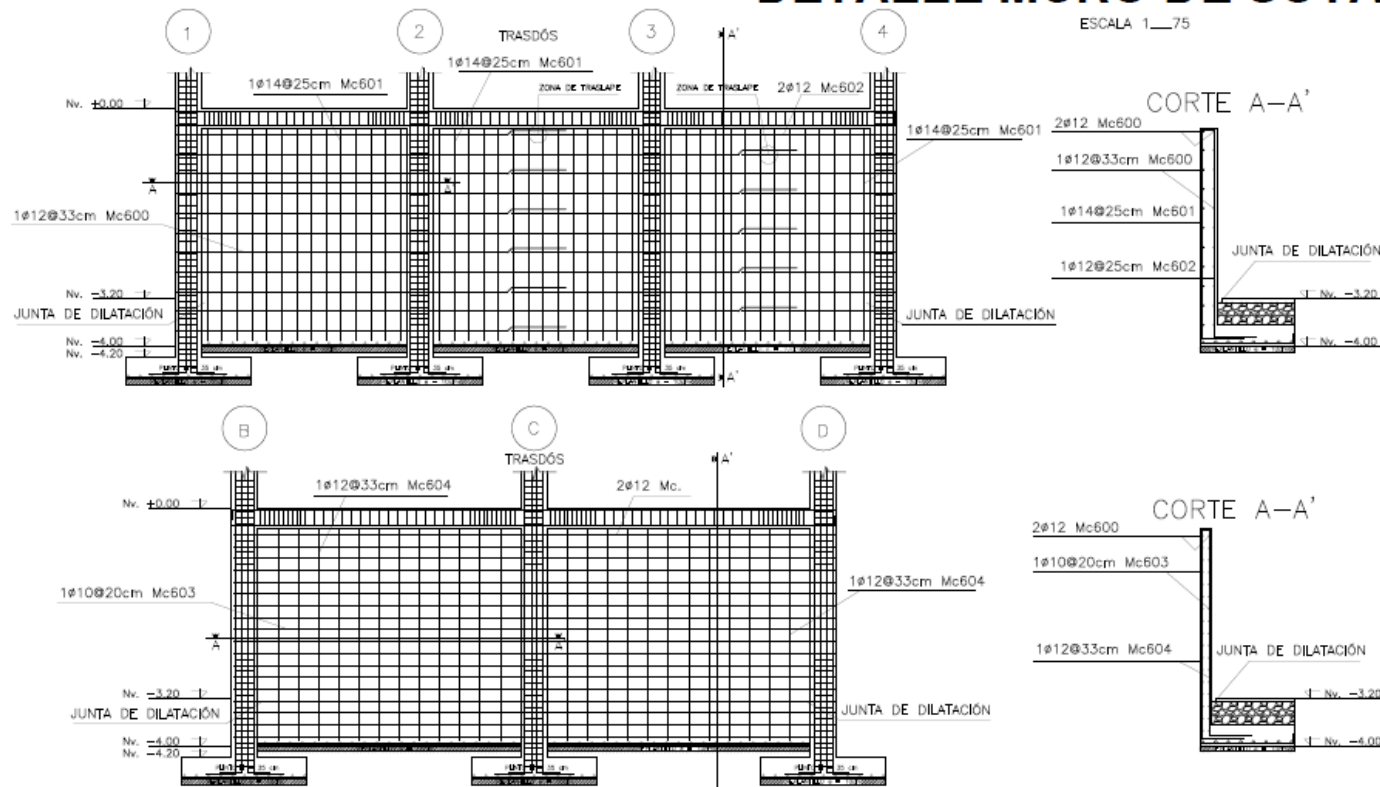
PLANTA N+3.06



PLANTA N+5.61, N+8.16, N+10.71

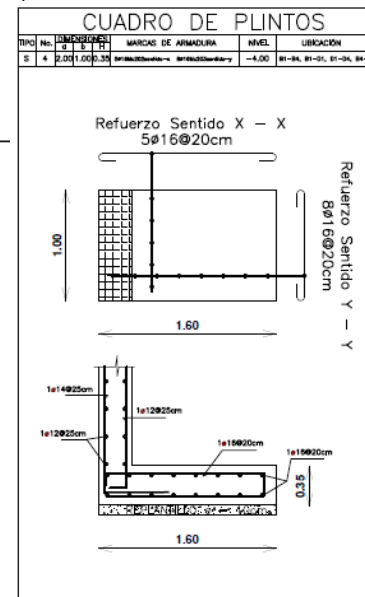
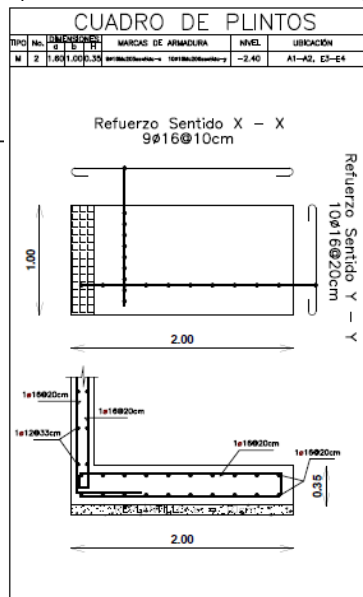
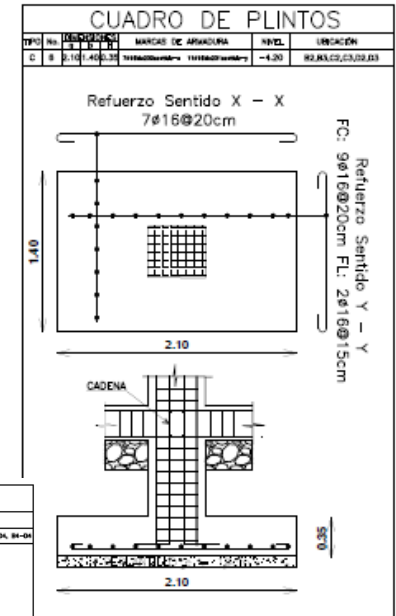
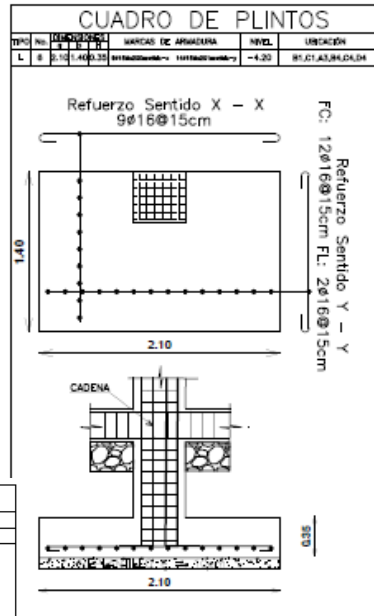
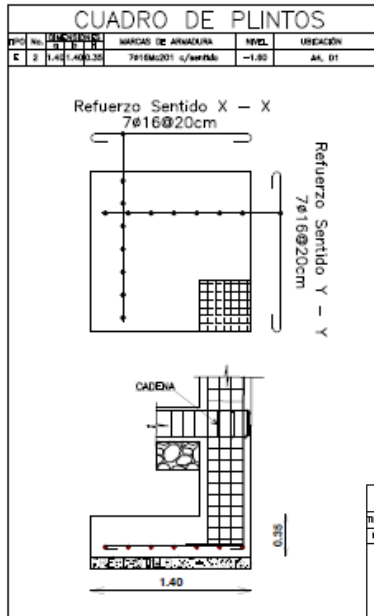
**Anexo 10.** Plano estructural de sótano de hormigón armado de edificación

## DETALLE MURO DE SÓTANO



CUADRO DE MURO DE SÓTANO		
	LONGITUD	3,45 m
	ANCHO	0,30 m
	Nro. Muros	2
Nv. + 0,00	AS. LONG INTRADÓS	1φ12@25cm Mc602
Nv. - 3,20	AS. LONG TRASDÓS	1φ14@25cm Mc601
Nv. - 4,00	ARMAD. TRANSV.	1φ12@33cm Mc600
	UBICACIÓN	E/E D 1-4, E/E B 1-4
CORTE B-B'		

CUADRO DE MURO DE SÓTANO		
	LONGITUD	4,42 m
	ANCHO	0,20 m
	Nro. Muros	2
Nv. + 0,00	AS. LONG INTRADÓS	1φ12@33cm Mc604
Nv. - 3,20	AS. LONG TRASDÓS	1φ12@33cm Mc604
Nv. - 4,00	ARMAD. TRANSV.	1φ10@20cm Mc604
	UBICACIÓN	E/E 1 B-D, E/E 4 B-D
CORTE B-B'		



**Anexo 11.** Especificaciones técnicas de detector de radón en cámara cerrada



**DurrIDGE Company**  
 524 Boston Road, Billerica, MA 01821  
 Tel: (978) 667-9556, Fax: (978) 667-9557  
 www.durrIDGE.com

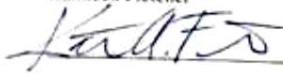
**Certificate of Calibration**

**RAD7 PROFESSIONAL RADON DETECTOR (NRSB Device Code - 31810 CR)**

Calibration Date:	December 1, 2017	Date of Previous Calibration:	_____
Serial Number:	4670	Previous Sensitivity, Normal mode:	_____
Model Number:	RAD7-716	Previous Sensitivity, Sniff mode:	_____
Firmware Version:	3.1a 151208	Previous CB Spill Factor:	_____
RADLINK Version:	311		
Dates of Calibration Run:	November 29, 2017 to December 1, 2017		
Reference Unit Number(s):	504, 961, 1277, 4232		
Mean Temperature:	22.2 °C		
Mean Radon Concentration:	63.2 pCi/L, 2340 Bq/m <sup>3</sup>		
Sensitivity, Normal Mode:	0.502 CPM/(pCi/L), 0.0136 CPM/(Bq/m <sup>3</sup> )		
Sensitivity, Sniff Mode:	0.241 CPM/(pCi/L), 0.00651 CPM/(Bq/m <sup>3</sup> )		
CB Spill Factor:	0.015		
Calibration Uncertainty:	2% 2-Sigma (See Notes 1, 2)		
Conversion Factor, Normal:	1.99 (pCi/L)/cpm, 73.7 (Bq/m <sup>3</sup> )/cpm		
Conversion Factor, Sniff:	4.15 (pCi/L)/cpm, 154 (Bq/m <sup>3</sup> )/cpm		

Note 1: Based on counting statistics of the reference and this unit.  
 Note 2: No account has been made for the calibration uncertainty of the reference unit relative to an absolute standard, which we estimate to be within +/- 5%.

**NRSB Accredited Radon Chamber Certificate Number: NRSB TRC0003**

NRSB Certification Number: 10SS010  
 Calibration Technician: Kathleen Fletcher  
 Signature:  Date: 1 Dec. 2017

Per EPA recommendation, this unit should be calibrated again on or before: December 1, 2018



**DURRIDGE COMPANY Inc**  
524 Boston Road, Billerica, Massachusetts 01821  
Phone: 978.667.9656 • Fax: 978.667.9657  
Web: www.durrIDGE.com • Email: info@durrIDGE.com

## Certificate of Origin

THIS IS TO CERTIFY THAT THE FOLLOWING COMMODITY WAS  
MANUFACTURED IN THE COUNTRY STATED BELOW.

PRODUCT: ELECTRONIC RADON DETECTOR

MODEL: RAD7

SERIAL NUMBER: 4670

COUNTRY OF ORIGIN: USA

SUPPLIER: DURRIDGE COMPANY INC.

SIGNATURE: L.M. Alberelli

OF THE AUTHORIZED PERSON: L.M. ALBERELLI

DATE: December 18, 2017