

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

**“CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE UN MORTERO, ARENA MÁS FLUJO
PIROCLÁSTICO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CEMENTO PORTLAND”**

Autor:

Gilbert Patricio Orozco Coronel.

Tutor:

Ing. Javier Palacios, MSc.

Riobamba – Ecuador

Año 2021

Revisión tribunal

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE UN MORTERO, ARENA MÁS FLUJO PIROCLÁSTICO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CEMENTO PORTLAND”**. presentado por Gilbert Patricio Orozco Coronel y dirigida por: Ing. Javier Palacios, MSc. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Javier Palacios, MSc.

Director del Proyecto



Firmado electrónicamente por:
0501325476 MARCO
JAVIER PALACIOS
CARVAJAL

.....
Firma

Ing. Marcel Paredes, MSc.

Miembro del tribunal



Firmado electrónicamente por:
MARCO MARCEL
PAREDES HERRERA

.....
Firma

PhD Víctor J García.

Miembro del tribunal

Victor Julio
García

Digitally signed by Victor Julio
García
DN: cn=Victor Julio García,
o=Universidad Nacional de
Chimborazo, ou=Facultad de
Ingeniería, Carreara de Ingeniería
Civil, email=vgarcia@unach.edu.ec,
c=EC
Date: 2021.06.17 14:21:38 -05'00'

.....
Firma

Certificación del tutor

Yo, Ing. Javier Palacios, MSc, en calidad de Tutor de Tesis que lleva como título: **“CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE UN MORTERO, ARENA MÁS FLUJO PIROCLÁSTICO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CEMENTO PORTLAND”**, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a la Señor Gilbert Patricio Orozco Coronel para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,



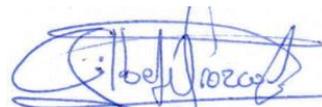
Firmado electrónicamente por:
0501325476 MARCO
JAVIER PALACIOS
CARVAJAL

.....
Ing. Javier Palacios, MSc

Tutor de tesis

Autoría de la investigación

Declaro que la responsabilidad del contenido de este proyecto de graduación corresponde exclusivamente a: Gilbert Patricio Orozco Coronel y al Ing. Marco Javier Palacios Carvajal; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional del Chimborazo.



.....
Sr. Gilbert Patricio Orozco Coronel.

C.I. 060378722-7

Agradecimiento

A Dios y a la Virgen Dolorosa por darme fortaleza, sabiduría y guiar mi camino en esta etapa de mi vida, la cual la culmino con mucha satisfacción.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, en especial a los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil, quienes han sabido compartir sus conocimientos desinteresadamente.

A mi tutor Ing. Javier Palacios por guiarme y compartir su conocimiento durante el desarrollo de este proyecto.

Dedicatoria

A mis padres, a mi mamá que, con su amor infinito, cariño, paciencia, dedicación y perseverancia me enseñó que se puede cumplir los sueños y anhelos que me propongo.

A mi papá quien me enseñó todo lo que un padre puede enseñarle a su hijo, con su ejemplo, dedicación y amor.

A mis queridas hermanas que han sido un pilar fundamental a lo largo de mi vida con su ejemplo y sobre todo con su apoyo incondicional.

Gilbert Patricio Orozco Coronel.

ÍNDICE GENERAL

Introducción	1
Objetivos	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
1. Marco teórico.....	4
1.1. Construcción sostenible	4
1.2. Aislamiento térmico.	4
1.3. Confort térmico	5
<i>1.3.1. Parámetros ambientales del confort térmico</i>	5
1.4. Conductividad Térmica	7
<i>1.4.1. Coeficiente de conductividad térmica (λ)</i>	7
<i>1.4.2. Método de ensayo para determinar el coeficiente de conductividad térmica</i>	7
1.5. Mortero	9
<i>1.5.1. Descripción de los materiales que conforman el mortero.</i>	9
1.6. Materiales piroclásticos	12
2. Metodología.....	14
2.1. Revisión bibliográfica	15
2.2. Materia prima	15
2.3. Ensayos preliminares de la materia prima.	16
<i>2.3.1. Contenido de materia orgánica</i>	16
<i>2.3.2. Granulometría</i>	16
<i>2.3.3. Contenido de Humedad.</i>	16
<i>2.3.4. Densidad y porcentaje de absorción.</i>	17
<i>2.3.5. Ensayo de resistencia a la compresión a corto plazo.</i>	17
<i>2.3.6. Ensayo de resistencia a la compresión a largo plazo.</i>	18
<i>2.3.7. Tiempo de fraguado.</i>	18
<i>2.3.8. Elaboración de las probetas para conductividad térmica.</i>	18
<i>2.3.9. Ensayo de conductividad térmica.</i>	19
3. Análisis de los resultados	21
3.1. Determinación de impurezas orgánicas del árido.	21
3.2. Granulometría.	21

3.3. Contenido de humedad.	22
3.4. Densidad y Porcentaje de Absorción.	23
3.5. Determinación de impurezas orgánicas del material piroclástico.	24
3.6. Granulometría del material piroclástico.	25
3.7. Contenido de humedad material piroclástico.	26
3.8. Ensayo a compresión a corto plazo y largo plazo.	27
3.9. Mesa de Flujo.	31
3.10. Determinación del tiempo de fraguado	33
3.11. Conductividad térmica	33
3.11.1. Formula convencional	33
3.11.2. Obtención de la formula ajustada	34
Conclusiones.....	39
Recomendaciones	41
Bibliografía	42
Anexos	47
Anexo 1. Ensayo de Granulometría de arena de la cantera “Nieto”	47
Anexo 2. Ensayo de Contenido de Humedad de arena de la cantera “Nieto”	48
Anexo 3. Ensayo de Densidad y Porcentaje de Absorción de arena de la cantera “Nieto”	49
Anexo 4. Ensayo de Granulometría del material Piroclástico.	50
Anexo 5. Ensayo de Contenido de Humedad del material Piroclástico.....	51
Anexo 6. Ensayo a Compresión a corto plazo, probetas tipo I.	52
Anexo 7. Ensayo a Compresión a corto plazo, probetas tipo HE.	54
Anexo 8. Ensayo a Compresión a corto plazo, probetas tipo I SP.....	56
Anexo 9. Ensayo a Compresión a corto plazo, probetas tipo HE SP.....	58
Anexo 10. Ensayo a Compresión a largo plazo, probetas tipo I.....	60
Anexo 11. Ensayo a Compresión a largo plazo, probetas tipo HE	62
Anexo 12. Ensayo a Compresión a largo plazo, probetas tipo I SP.....	64
Anexo 13. Ensayo a Compresión a largo plazo, probetas tipo HE SP.....	66
Anexo 14. Determinación del tiempo de fraguado	68
Anexo 15. Evidencia fotográfica	69
Anexo 16. Certificado de haber realizado los ensayos de conductividad térmica en la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales factores y parámetros que afectan el confort térmico.....	6
Figura 2. Esquema del ensayo para determinar la conductividad térmica en sólidos mediante la aplicación del método de placa caliente.....	9
Figura 3. Descripción de la metodología.....	14
Figura 4. Determinación de impurezas orgánicas.....	21
Figura 5. Curva Granulométrica.....	22
Figura 6. Determinación de impurezas orgánicas.....	25
Figura 7. Curva granulométrica.....	26
Figura 8. Resistencia vs Tiempo de Fraguado a Corto Plazo	28
Figura 9. Resistencia vs Tiempo de Fraguado a largo plazo	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Compuestos de Bogue del cemento portland.....	10
Tabla 2. Características del cemento portland tipo I.....	11
Tabla 3. Características del cemento de alta resistencia HE.....	11
Tabla 4. Composición química de material piroclástico.....	12
Tabla 5. Granulometría del Árido Fino.....	22
Tabla 6. Contenido de Humedad.....	23
Tabla 7. Resultados de Densidad y Absorción	24
Tabla 8. Granulometría del material piroclástico.....	25
Tabla 9. Contenido de Humedad.....	26
Tabla 10. Dosificaciones tomadas de investigaciones de la Universidad Nacional de Chimborazo de la facultad de Ingeniería, carrera de Ingeniería Civil.....	27
Tabla 11. Dosificación utilizada para los morteros: cemento + arena	27
Tabla 12. Dosificación utilizada para los morteros: cemento + arena + material piroclástico	27
Tabla 13. Análisis estadístico del ensayo a compresión a corto plazo	29
Tabla 14. Análisis estadístico del ensayo a compresión a largo plazo	30
Tabla 15. Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructuras y condiciones de colocación (Llerena, 2020)	32
Tabla 16. Resultados de Fluidez	32

Tabla 17. Tiempo de Fraguado Método de Vicat	33
Tabla 18. Determinación del coeficiente de conductividad térmica de Tipo I	36
Tabla 19. Determinación del coeficiente de conductividad térmica de Tipo HE	36
Tabla 20. Determinación del coeficiente de conductividad térmica de Tipo I Sp	37
Tabla 21. Determinación del coeficiente de conductividad térmica de Tipo HE Sp	37
Tabla 22. Resumen de valores promedios del coeficiente de conductividad térmica.....	38

Resumen

Ecuador tiene un clima tropical que varía con la altitud y las regiones, debido a ello, se lo ha clasificado en cuatro regiones naturales: Costa, Sierra, Oriente y Región Insular. A partir de estas condiciones climáticas se debe elegir los materiales de construcción idóneos a fin de potenciar el rendimiento energético de las construcciones; obteniéndose como resultado la disminución del consumo eléctrico energético y la quema de combustibles fósiles para climatizar las mismas. En virtud de ello el objetivo de esta investigación es formular un mortero agregándole material piroclástico para lograr incrementar la conductividad térmica del mismo.

Para lo cual se determinó una dosificación para los morteros de cemento más arena como la norma lo específica y se obtuvo la resistencia a compresión y conductividad térmica de los mismos; a continuación, a estos morteros se les añadió flujo piroclástico proveniente del volcán Tungurahua dando como resultado un incremento en la resistencia a compresión, tanto en la mezcla realizada con cemento portland tipo I en un 39.97%, como también en la realizada con cemento tipo HE en un 31.11%; respecto a la conductividad térmica este incremento en la mezcla de cemento tipo I en un 33.36% y en la de cemento tipo HE en un 8.50%.

Es así que este mortero constituye una alternativa constructiva, pues al ocasionar un bajo impacto sobre el ambiente y un ahorro energético; resulta ser una opción más económica en el área de la construcción.

Palabras Clave: mortero, material piroclástico, dosificación, resistencia, conductividad térmica.

Abstract

Ecuador has a tropical climate that varies with altitude and regions, which is why it has been classified into four natural regions: Coast, Highlands, East and Island Region. Based on these climatic conditions, the ideal construction materials should be chosen in order to enhance the energy efficiency of buildings, resulting in the reduction of electricity consumption and the burning of fossil fuels for air conditioning. Therefore, the objective of this research was to formulate a mortar by adding pyroclastic material to increase its thermal conductivity. For which a dosage determined for the mortars of cement plus sand as the norm specifies it and the compressive strength and thermal conductivity of the same obtained; then, to these mortars pyroclastic flow from the Tungurahua volcano added giving as a result an increase in compressive strength, both in the mixture made with Portland cement type I in a 39.97%, as well as in the one made with type HE, cements by 31.11%; with respect to the thermal conductivity, it increased in the type I cement mixture by 33.36% and in the type, HE cement mixture by 8.50%.

Thus, this mortar constitutes a constructive alternative, since it has a low impact on the environment and energy saving; it is a more economical option in the construction area.

Keywords: mortar, pyroclastic material, dosage, resistance, thermal conductivity.

Reviewed by:
Mgs. Maritza Chávez Aguagallo
ENGLISH PROFESSOR
c.c. 0602232324

Introducción

Actualmente la difícil situación económica por la que atraviesa nuestro país y el énfasis otorgado a políticas ambientalistas, nos ubica en un contexto en el cual se busca un desarrollo sustentable para así obtener un ahorro energético y un bajo impacto sobre el medio ambiente. Lo que hace que las personas involucradas en el ámbito de la construcción tomen conciencia de ello y busquen nuevas alternativas constructivas, especialmente en el acondicionamiento térmico de las construcciones.

Por lo que, un parámetro importante es el confort térmico y las estrategias que de este se derivan son: manejo de calor, luz, el soleamiento, la ventilación, etc., mismas que funcionan como fuentes naturales de confort que disminuyen al máximo el uso de fuentes artificiales como luz eléctrica, calefacción, etc.(Jiménez, 2008).

Un parámetro fundamental para la determinación del acondicionamiento térmico es la conductividad térmica de los materiales empleados en la envolvente del edificio. Estos valores se ven alterados por múltiples factores, entre los que destacan la densidad y la temperatura (Montoya, 2011).

En la búsqueda por mitigar el impacto ambiental producido por la demanda de recursos naturales utilizados en el sector de la construcción surge la denominada Construcción Sostenible, definida como aquella que es respetuosa y comprometida con el ambiente, hace un uso eficiente de la energía y del agua, reduce el consumo energético, utiliza materiales no perjudiciales para el ambiente y no los desperdicia sino que reutiliza y recicla, entre otros aspectos, minimizando así los impactos ambientales (Montoya, 2011).

Una pequeña reducción en el consumo de energía de los edificios traerá economía muy importante y un gran impacto ecológico positivo para la sociedad (Mousavi & Vyatkin, 2015).

Considerando estos parámetros esta investigación pretende formular y definir una mezcla para un mortero elaborado con arena de río lavada tomada de la mina “Nieto” y material de origen piroclástico de la provincia de Tungurahua con cemento Portland tipo I y HE, con el propósito de brindar un valor agregado a elementos naturales como lo es el material piroclástico, cuya dispersión natural genera alteraciones en las localidades poblacionales aledañas, debido a los peligros y riesgos, llegando a un resultado de calidad y efectividad correspondiente a las características que debe poseer un mortero.

Objetivos

Objetivo general

- Determinar la conductividad térmica, de los morteros elaborados con arena y particulado de origen piroclástico de la Provincia de Tungurahua y cemento Portland tipo I y HE.

Objetivos específicos

- Obtener la dosificación y la resistencia a compresión del mortero utilizando arena y particulado de origen piroclástico de la Provincia de Tungurahua y cemento Portland tipo I y HE.
- Establecer las diferencias de la conductividad térmicas de cada uno de los morteros.

1. Marco teórico

1.1. Construcción sostenible

Las construcciones sostenibles es más que una simple exigencia en un proyecto. Es un modo de concebir el diseño de manera sostenible, aprovechando los recursos naturales con el menor impacto ambiental posible en los procesos de extracción y elaboración de materiales, construcción y uso de las construcciones (Susunaga, 2014).

La construcción sostenible genera actividades de desarrollo social y económico de los países “generan un impacto en el ambiente, la economía y la sociedad durante todo el ciclo de vida de la edificación u obra construida, a través de la ocupación del espacio y del paisaje, de la extracción de recursos, y de la generación de residuos y contaminación” (Acosta, 2004).

Los principios de estas construcciones sostenibles incluyen las condiciones climáticas locales, la hidrografía y los ecosistemas del entorno; la eficacia de los materiales de construcción; la reducción del consumo de energía para calefacción, refrigeración, iluminación, transporte y otros equipamientos, las fuentes de energía renovables; la minimización del balance energético global de la construcción. Este proceso abarca todas las fases, desde la concepción, construcción, utilización hasta el fin de su vida útil; cumplimiento de los requisitos de confort térmico, salubridad, iluminación y habitabilidad (Rodríguez, 2019).

1.2. Aislamiento térmico.

Aislamiento térmico es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Todos los materiales ofrecen resistencia, en mayor o menor medida, al paso de transferencia de energía térmica a través de ellos. Algunos, materiales presenta muy escasa resistencia, como los metales por lo que se dice de ellos que son buenos conductores; los materiales

de construcción (yesos, Ladrillos, morteros) tienen una resistencia media. Aquellos materiales que ofrecen una resistencia alta, se llaman aislantes térmicos (Proaño, 2014).

1.3. Confort térmico

El confort térmico se refiere al equilibrio que existe entre la satisfacción de un individuo con el ambiente térmico. Las condiciones de confort térmico difieren entre cada persona, dando como resultado que no se satisfaga esta condición para todos (Lozano, 2010).

Según la norma ISO 7730 el confort térmico “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Es decir, el confort se refiere a un estado del ser humano en la que siente una sensación de bienestar, salud y comodidad, al evaluar las condiciones de confort de un espacio, el ambiente térmico debe ser considerado conjuntamente con otros factores, como la calidad del aire, niveles de luz y ruido, etc. Si el usuario siente que su entorno diario no es satisfactorio, su rendimiento disminuirá inevitablemente (Astudillo, 2009).

Para llegar a la sensación de confort, el balance global de pérdidas y ganancias de calor debe ser nulo conservando de esta forma nuestra temperatura normal, es decir se alcanza el equilibrio térmico. El cuerpo humano genera calor al mismo ritmo que lo pierde para mantener nuestra temperatura corporal normal, esto nos lleva sin duda a un concepto de intercambio de temperatura entre el hombre y el ambiente (Astudillo, 2009).

1.3.1. *Parámetros ambientales del confort térmico*

El confort térmico depende de diversos parámetros globales externos como: la temperatura y velocidad del aire, la humedad relativa, y otros específicos internos como la actividad física desarrollada, la cantidad de ropa o el metabolismo de cada persona. Para llegar a la sensación de confort, el balance global de pérdidas y ganancias de calor debe ser nulo conservando de esta forma la temperatura normal del cuerpo, es decir se alcanza el equilibrio térmico (Astudillo, 2009).

Según Roset, (2001), son seis los factores y parámetros básicos que influyen directamente en los porcentajes de pérdida de calor del cuerpo humano, afectando el bienestar térmico .

Estos parámetros están expuestos en la Norma ecuatoriana de la construcción (NEC-11), Cap.13, Eficiencia energética en la construcción en Ecuador y señalan que:

- Temperatura del aire (T_a), entre 18 y 26 °C.
- Humedad relativa (HR), entre el 40 y el 65 %.
- Temperatura media radiante (T_{mr}), entre 18 y 26 °C.
- Velocidad del aire (V), entre 0,05 y 0,15 m/s.
- Tasa metabólica (M).
- La ropa (Clo).

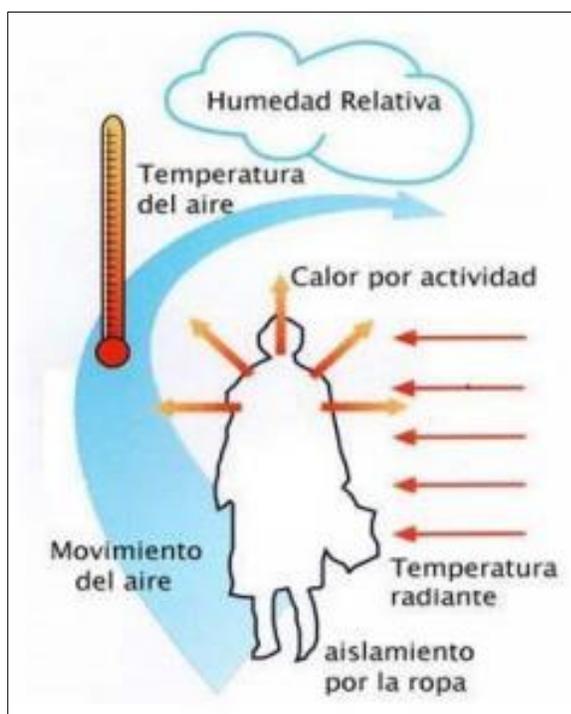


Figura 1. Principales factores y parámetros que afectan el confort térmico.

Fuente: Simancas 2003.

1.4. Conductividad Térmica

La conductividad térmica es la propiedad de un material que posibilita la transmisión de calor. Esta propiedad física implica que, cuando una materia dispone de conductividad térmica, el calor pasa del cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura que se encuentra en contacto con él. Esta transmisión de calor supone un intercambio de energía interna de los electrones, los átomos y las moléculas (Jerry, 2001).

A mayor conductividad térmica, mejor conducción de energía térmica. La propiedad inversa es la resistividad térmica, que señala que, a menor conductividad térmica, mejor aislador de energía térmica.

1.4.1. Coeficiente de conductividad térmica (λ)

El coeficiente de conductividad térmica, es el parámetro que indica el calor cedido en una superficie. Se representa por el símbolo λ (lambda) siendo sus unidades (W / m K). La conductividad térmica de un sólido puede ser más de cuatro órdenes de magnitud más grande que la de un gas. Cuanto menor es el valor de conductividad térmica es mejor su comportamiento como aislante térmico y su resistencia es importante (Viteri, 2017).

En el código técnico de la edificación, elaborado por el Ministerio de la Vivienda de España considera aislante térmico aquel material que tiene su coeficiente de conductividad térmica: $\lambda < 0.050$ W/ m K.

1.4.2. Método de ensayo para determinar el coeficiente de conductividad térmica

El método recomendado por la norma ASTM C177-85 (Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus) método de prueba estándar para mediciones de flujo de calor de estado

estacionario y propiedades de transmisión térmica por medio del aparato de placa caliente protegida.

El aparato de placa caliente protegida consiste en una superficie caliente dividida en dos secciones, la primera la sección de medición y la segunda es conocida como aislamiento térmico primario, también cuenta con dos superficies enfriadas, un aislamiento térmico secundario y una cámara climática. El objetivo principal del aparato es generar un flujo de calor en estado estacionario en la superficie caliente y en una dimensión a través de los materiales en los que se desee realizar la prueba (Quiroga & Vargas, 2018).

1.4.2.1. Determinación de la conductividad térmica de un material sólido mediante la aplicación del método de placa caliente.

La conductividad térmica en materiales sólidos mediante la aplicación del método denominado de placa caliente se utiliza la Ley De Fourier que señala, la transferencia de energía en forma de calor por conducción es un proceso de transmisión de calor, el cual se basa en el contacto directo de los cuerpos sin que estos intercambien materia, donde el calor fluye del cuerpo que posee mayor temperatura hacia el cuerpo que posee una temperatura menor, es por esto que Fourier determinó (Matina, 2003) :

$$Q = \lambda * A * \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

Donde:

Q = Flujo de calor a través del área [W].

λ = Coeficiente de conductividad térmica [W/ m K].

A = Área de la placa de calentamiento [m²].

ΔT = Diferencia de temperaturas entre T1 y T3 [K].

L = Espesor de la probeta [m].

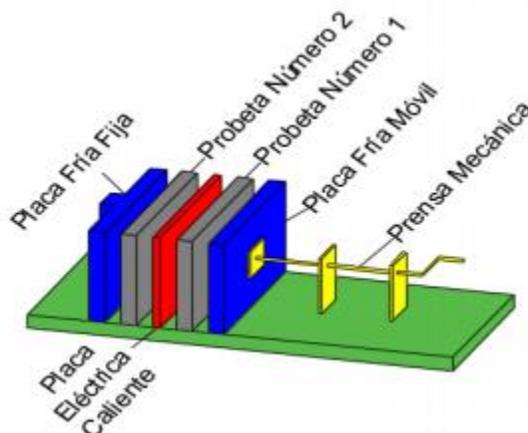


Figura 2. Esquema del ensayo para determinar la conductividad térmica en sólidos mediante la aplicación del método de placa caliente.

Fuente: (Valles, 2019).

1.5. Mortero

El mortero es una mezcla dosificada de cemento portland o hidráulico, agregado fino, agua, con o sin aditivos (Rosell y Cantalapiedra, 2011). Estos materiales deben cumplir las características que están estipuladas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-HM) Estructuras de Hormigón Armado, 2011. El proceso de elaboración de esta mezcla empieza con la mezcla del cemento con el árido fino, más los aditivos para finalmente agregar el agua y realizar un amasado con ayuda de máquinas hasta obtener una mezcla homogénea y trabajable (Hager, 2016).

1.5.1. Descripción de los materiales que conforman el mortero.

1.5.1.1. Árido. - El árido fino debe ser limpio (libre de impurezas orgánicas), duro (solidez), sano y durable, con una distribución granulométrica que se mantenga razonablemente uniforme durante toda la producción (NEC, 2011).

1.5.1.2. Agua. - Si el agua es apta para el consumo humano es buena para hacer mortero (NEC, 2011)

1.5.1.3. Cemento. - Es un material adhesivo y cohesivo capaz de pegar (enlazar, unir, juntar) partículas de un material sólido en una masa compacta. Los cementos usados en la industria de la construcción se pueden clasificar en:

- Cemento hidráulico: Se consolida y endurece en agua (cemento portland).
- Cemento no hidráulico: No se consolida ni endurece en el agua debido a que es inestable en el agua (yeso calcinado) (Mariño, 2018).

Los componentes principales del cemento hidráulico son: cal, sílice y alúmina los que, al combinarse durante la cocción, forman el clinker. Los compuestos que se forman tienen la propiedad de consolidarse y endurecer cuando se exponen al agua y se les conoce con el nombre de compuestos de Bogue los cuales son: Alita (C3S), Belita (C2S), Celita (C3A) y Felita (C4AF), detallados a continuación en la tabla 1:

Tabla 1. *Compuestos de Bogue del cemento portland.*

Compuesto	Fórmula	Nombre	Nomenclatura (Química del cemento)	Propiedades
Silicatos tricálcicos	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Alita	C3S	*Se puede encontrar en una cantidad del 25 al 50% *Hace que el clinker sea fácil de moler *Se endurece rápidamente y aporta resistencia temprana
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Belita	C2S	*Se encuentra en cantidades del 25 al 40%. *Aporta resistencia a agentes químicos. *Incrementar la cantidad de C2S hace al clinker difícil de moler, reduce la resistencia temprana y disminuye el calor de hidratación
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	Celita	C3A	*Se encuentra en cantidades de 5 a 11 %. *Reacciona rápidamente con el agua y es responsable del fraguado rápido del clinker finamente molido.

Compuesto	Fórmula	Nombre	Nomenclatura (Química del cemento)	Propiedades
Ferro- aluminio tetra-cálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	Felita	C4AF	*Se encuentra en cantidades de 8 al 14 %. *Es responsable del fraguado rápido, pero su hidrolisis genera menos calor. *Incrementar el contenido de C4AF reduce ligeramente la resistencia

Fuente: (García, 2018).

Debido a que en la investigación se va a utilizar dos tipos de cemento, cemento portland tipo I y cemento portland tipo HE. En las tablas 2 y 3 se presentan las principales características:

Tabla 2. Características del cemento portland tipo I

Requisitos físicos	Cemento tipo I	Norma NTE INEN 490 ASTM c-595
Peso específico (g/cm ³)	2.85	-
Expansión en autoclave (%)	0.0013	0.80 máx.
Fraguado vicat Inicial (minuto)	160	45 min.
Fraguado vicat Final(minuto)	240	420 máx.
Resistencia a la compresión (Días)	MPa	MPa INEN NTE 488
3	18	13
7	26	20
28	37	25
Resistencia a los sulfatos	Cemento IP	Norma NTE INEN 490
% Expansión a los 14 días	0.018	0.02 máx.

Fuente: Adaptado de UCEM

Tabla 3. Características del cemento de alta resistencia HE

Requisitos físicos	Cemento Chimborazo superior portland puzolánico tipo HE	
Peso específico (g/cm ³)	2.92	INEN NTE 856
Expansión en autoclave (%)	0.0013	INEN NTE 200
Fraguado Vicat Inicial (min)	150	INEN NTE 158
Fraguado Vicat Final(min)	240	INEN NTE 158
Resistencia a la compresión (Días)	kg/cm ²	MPa INEN NTE 488
1	184	18
3	255	25
7	337	33
28	459	45
Resistencia a los sulfatos	Cemento IP	
% Expansión a los 14 días		0.04 máx.

Fuente: Adaptado de UCEM

1.6. Materiales piroclásticos

También conocidos como nubes ardientes, son uno de los fenómenos más destructivos que se conocen; se desplazan sobre cualquier superficie calcinando todo lo que toca. Los flujos piroclásticos bajan por las laderas de los volcanes a velocidades sorprendentes, mismas que se ven incrementadas cuando son producidas por una explosión, o cuando se generan por el colapso de una columna eruptiva (EcuRed, 2012).

Estos flujos son nubes extremadamente calientes ($300^{\circ} > 900^{\circ}\text{C}$) formadas de gases, cenizas y fragmentos de roca, que descienden por los flancos del volcán a gran velocidad (160 a 240 km/h aprox.) en erupciones explosivas importantes (Erreiz & Rosero, 2011).

La parte inferior y más densa del flujo se encuentra restringida a los fondos de las quebradas y los valles, mientras que la parte superior, menos densa puede sobrepasar los valles y alcanzar alturas importantes sobre el fondo de los valles e inclusive sobrepasar relieves importantes. En el caso de flujos piroclásticos producidos por el colapso de una columna eruptiva densa, o por el desborde del magma del cráter, varios flancos del volcán podrían estar afectados por este fenómeno (Samaniego et al., 2008).

Tabla 4. *Composición química de material piroclástico*

Sustancia Química	Porcentaje (%)
Óxido de silicio (SiO_2)	58.45
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	16.92
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	6.61
Óxido de magnesio (MgO)	4.23
Óxido de calcio (CaO)	6.86
Óxido de sodio (Na_2O)	3.95
Óxido de potasio (K_2O)	1.74
Óxido de titanio (TiO_2)	0.89
Óxido de fósforo (P_2O_5)	0.24
Óxido de manganeso (MnO)	0.11

Fuente: (Myers et al., 2014)

Puzolanas.

Las puzolanas son materiales naturales o artificiales que contienen sílice reactiva y/o aluminio, que tienen poca o ninguna capacidad aglomerante, que, mezcladas con cal en presencia de agua, fraguan y endurecen como un cemento. Asimismo, son ingredientes importantes en la producción de materiales alternativos al cemento Portland (Juarez, 2012).

1.6.1.1 Puzolanas naturales.

Las puzolanas naturales son materiales de origen piroclástico como resultado de erupciones volcánicas explosivas, donde los fragmentos producto de la erupción son transportados por aire para ser finalmente depositados en la superficie del suelo o el agua (Quintana, 2019).

El proceso de los materiales puzolánicos naturales incluye, usualmente, trituración, molienda y clasificación por tamaños, en algunos casos también se realiza una activación térmica, exceptuando las diatomitas todas las puzolanas naturales se derivan de rocas y minerales volcánicos (Juarez, 2012).

Las puzolanas naturales son materiales sílicos o sílico-aluminosos, este nombre se debe al alto contenido en silicio y aluminio que contienen, por sí solos poseen poco o nulo valor cementante, pero finamente divididos, y en presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio $\{Ca(OH)_2\}$ a temperatura ordinaria para formar compuestos con propiedades cementantes (Delgado & Negrete, 2012).

2. Metodología

La investigación fue de tipo explorativa en base a los conocimientos previos ya estudiados, se elaborará una dosificación óptima mediante ensayos en laboratorio, para la elaboración de un mortero con: arena mas cemento portland (tipo I y HE) mas material de origen piroclástico, así fabricando un nuevo material cementante útil para diferentes edificaciones, construcciones civiles. La variable independiente en la investigación fue la cantidad de arena y material de origen piroclastico añadido a la mezcla del mortero, lo cual influenció en su conductividad termica, siendo esta la variable dependiente.

En la figura 3 se presenta el esquema en el que se detalla de manera general el procedimiento utilizado para el desarrollo de la presente investigación.

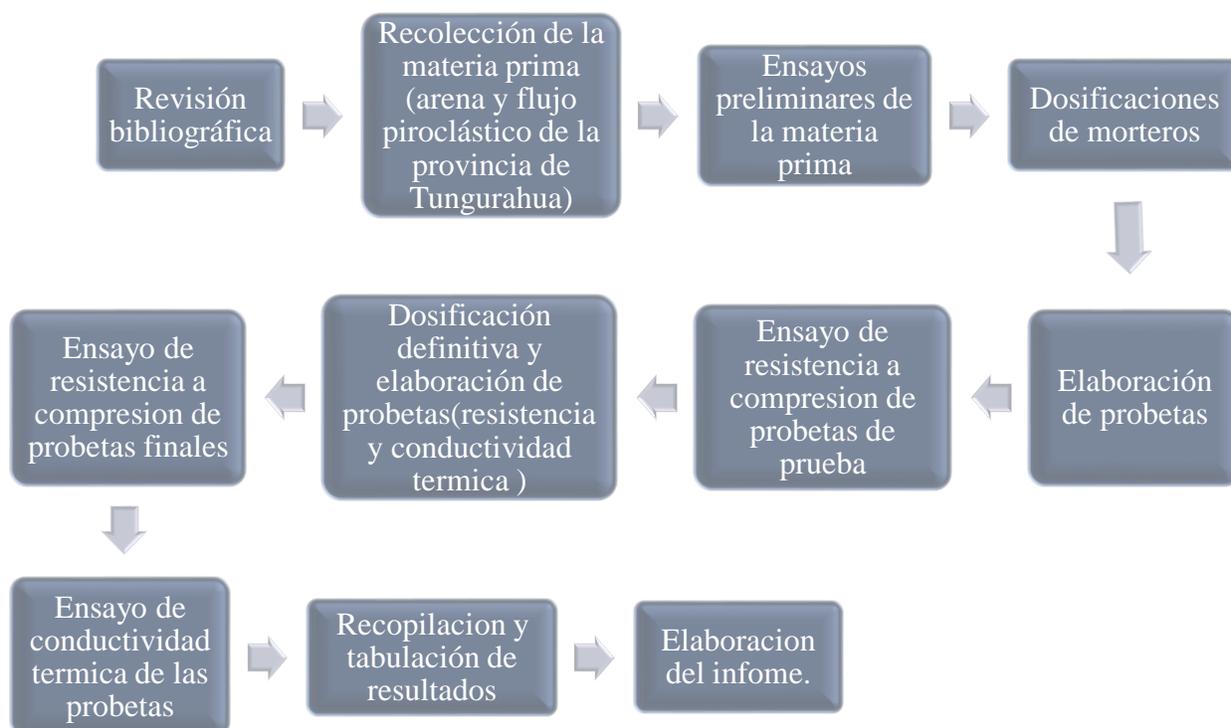


Figura 3. Descripción de la metodología

2.1. Revisión bibliográfica

Para obtener información bibliográfica se manejó bibliotecas virtuales tales como: Web Of Science, Google Académico, Scopus, entre otras, con palabras claves como: morteros incluyendo material piroclástico, conductividad térmica, materiales aislantes térmicos para la construcción, ventajas de la utilización de materiales aislantes térmicos, propiedades de origen piroclástico, etc.

2.2. Materia prima

La materia prima empleada en el presente estudio es:

- **Cemento:** Se utilizó dos tipos de cemento, el cemento tipo I que se le denominó (I) y el cemento de alta resistencia HE que se le denominó (HE), los mismos que pertenecen a la empresa Unión Cementera Nacional (UCEM). Que cumplen con los requisitos establecidos en la norma NTE INEN 490 “CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS, REQUISITOS” (INEN, 2011).
- **Áridos:** El árido fino del mortero debe estar libre de impurezas orgánicas además de ser duro, sano y durable, con una distribución granulométrica que se mantenga razonablemente uniforme durante toda la producción. En el documento NTE INEN 872 ó ASTM C330 se indican los ensayos que se deben ejecutar en el árido y los requisitos que deben cumplir para su aceptación.
- **Agua:** Si el agua es apta para el consumo humano es buena para hacer mortero (NEC, 2011).
- **Sika Plastocrete 161 HE.-** Es un aditivo químico minimizador de agua y acelerante de resistencias que ayuda a disminuir el tiempo de fraguado (para un desencofrado más rápido).

2.3. Ensayos preliminares de la materia prima.

Las muestras de la materia prima, arena lavada de la cantera “Nieto” se ensayaron en el “LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN” ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba, donde se realizarán los análisis físicos y mecánicos con el propósito de establecer: granulometría, porcentaje de absorción, densidad y contenido de humedad.

2.3.1. *Contenido de materia orgánica*

En la norma INEN NTE 866 se encuentra el ensayo de contenido de materia orgánica. Que indica que a la muestra de arena se le añade agua e hidróxido de sodio y procedemos agitarla, pasadas las 24 horas se compara el color del líquido de la muestra con el color del comparador de colores para determinar el contenido de impurezas orgánicas. El ensayo consiente en comprobar la cantidad de impurezas orgánicas que tiene la muestra estudiada.

2.3.2. *Granulometría*

INEN NTE 696 este ensayo cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de las partículas en suelos. El procedimiento del ensayo comienza secando la muestra a una temperatura de 110°C hasta obtener una masa constante, posteriormente tomamos 1000 g de la muestra y la colocamos en la serie de tamices ubicados descendientemente: 3/8”, N° 4, 8, 16,30,50, 100, 200. Los tamices fueron ubicados en orden en la máquina tamizadora por 6 minutos, una vez finalizado el tamizado retiramos y procedemos a registrar los pesos almacenados en cada uno de los tamices, finalmente se recopila y tabula los datos obtenidos.

2.3.3. *Contenido de Humedad.*

En la norma INEN NTE 862, propone: Una porción representativa de arena fue colocada en un recipiente, el mismo que debe ser pesado anteriormente, después, se procede a pesar en conjunto

el recipiente con la muestra y lo introducimos al horno de secado, con una temperatura de 110°C por 24 h. luego de este tiempo, el recipiente con la muestra fue pesado con el propósito de obtener el contenido de humedad.

2.3.4. Densidad y porcentaje de absorción.

En la norma INEN 856 (INEN, 2010), Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.

Seleccionamos el material en estado saturado superficialmente seco (SSS), para comprobar que el árido se encuentre en este estado, la arena se compacta en el cono con la ayuda de un pinzón y se enraza para que al retirar el molde se mantenga la forma de pirámide truncada, se toma una muestra de este material y se lo divide en dos partes iguales y se lo pesa, en un picnómetro se coloca agua y se elimina las burbujas existentes y se pesa el conjunto, luego colocamos una parte de la muestra en el picnómetro y con la ayuda de la placa de vidrio eliminamos la mayor cantidad de burbujas y se procede a pesar nuevamente. La muestra sobrante se coloca en el horno por 24 horas y luego de este tiempo procedemos a pesar y por finalmente tabulamos los resultados obtenidos.

2.3.5. Ensayo de resistencia a la compresión a corto plazo.

Se fabricaron probetas cúbicas de 50 x 50 mm, las mismas que fueron ensayadas a compresión a tempranas edades, como son a 6, 9 y 12 horas, siguiendo la norma INEN 488 (INEN, 2009). Cada muestra fue, colocada en la máquina de ensayo, bajo el centro del cabezal de apoyo superior, de manera que la carga se aplique a dos caras del cubo previamente medido y que está en contacto con la superficie plana del molde. Se aplicó carga hasta llegar al punto de ruptura del material. Repetimos el procedimiento para todas las probetas, a las diferentes edades de elaboración.

2.3.6. Ensayo de resistencia a la compresión a largo plazo.

Según la norma INEN 488 (INEN, 2009), las probetas se realizaron con la dosificación establecida previamente, para luego ser colocadas en la piscina de curado, luego se tomó las medidas y el área de las probetas para ser ensayadas, posterior a ello con la ayuda de unas placas metálicas, se colocó las probetas en el eje donde se aplicó la carga hasta obtener su resistencia a compresión, a la edad de 7, 14, 21 y 28 días. Este proceso se ejecutó en todas las probetas.

2.3.7. Tiempo de fraguado.

Según lo recomendado por la norma INEN 158 (INEN, 2009), se ejecutó penetraciones periódicas en la mezcla empleando la aguja de Vicat. El tiempo de fraguado inicial Vicat, es el tiempo transcurrido entre el contacto de la mezcla y el instante en el cual la penetración medida o calculada es de 25 mm. El tiempo de fraguado final Vicat, es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial de la mezcla y el instante en el cual la aguja no deja una impresión circular completa en la superficie de la mezcla.

2.3.8. Elaboración de las probetas para conductividad térmica.

La geometría juega un papel importante en términos de transferencia de temperatura. Las dimensiones se establecen a partir del tamaño del equipo, que se puede definir considerando la capacidad del laboratorio o la finalidad del mismo. Al mismo tiempo, se necesita un material que sea una mezcla homogénea para que la distribución de la temperatura sea uniforme. Cabe resaltar que al tener inhomogeneidad, se incrementa el valor de incertidumbre de los resultados y se generan pérdidas de calor por los bordes, que para mantenerlas con un valor por debajo de un 0.5%, el espesor máximo recomendado debe ser un tercio de la dimensión lineal máxima de la sección de medida. La superficie necesita estar adecuada de tal forma que sea posible garantizar que se encuentran en paralelo con los platos y así asegurar el óptimo contacto ya mencionado.

Las probetas para ser ensayadas a conductividad térmica se realizaron con las siguientes dimensiones: 300 milímetros de largo, 300 milímetros de alto y 50 milímetros de ancho.

2.3.9. Ensayo de conductividad térmica.

Inicialmente se seleccionó las muestras para el ensayo, se midieron y registraron sus dimensiones, se instaló las placas en el equipo de ensayo, luego se procedió a ubicar los sensores de monitoreo, se ajustó los sistemas para la calefacción o refrigeración de los platos y se estableció y registro las condiciones ambientales donde se llevó a cabo la experimentación. Tan pronto se encontraron listos los pasos anteriores, se registró: la fecha, la hora y los datos que iban siendo obtenidos durante intervalos de tiempo establecidos para el ensayo.

Las probetas con las dosificaciones seleccionadas deberán ser ensayadas una vez cumplidos los 28 días de edad.

Instrumentos

Los instrumentos para poder cumplir los objetivos planteados, serán los siguientes:

1. Tamices: Establecer la granulometría del material (arena).
2. Balanza: Según lo que indique la norma a manejar.
3. Picnómetro: Para obtener el volumen.
4. Recipiente para muestras: Facilitara el manejo de las muestras a ser ensayadas.
5. Horno: Secado de las muestras según estipule la norma.
6. Molino: Para reducir el tamaño del material piroclástico.
7. Piscina de curado: Para que las probetas alcancen su resistencia.
8. Encofrados: Según el ensayo a ejecutarse.

Aditivo químico.

1. Sika Plastocrete 161 HE: Acelerante de resistencias.

Reactivo.

1. Solución de Hidróxido de sodio: Para eliminar las impurezas orgánicas

3. Análisis de los resultados

Para la presente investigación se empleó arena de río lavada de la cantera “Nieto”, ubicada en la parroquia Pishilata de la provincia de Tungurahua a 3.5 km de la nueva Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ambato con coordenadas UTM (770014.3; 9861697.8).

El material piroclástico que se empleó fue del volcán Tungurahua, recolectado de la quebrada ubicada en la antigua vía Penipe-Baños con coordenadas UTM (776892.9; 9836228.5), mismo que para ser empleado en la investigación paso por un proceso de triturado manual.

Para la dosificación del mortero se consideró, información primaria realizada en investigaciones de la Universidad Nacional de Chimborazo, misma que se indica en la tabla 11 y tabla 12.

3.1. Determinación de impurezas orgánicas del árido.

En la figura 4 se puede observar, el agua que sobrenada a la muestra de árido es similar al color N°1 según el comparador de color de Gardner, lo cual indica que la muestra tiene un porcentaje bajo de impurezas orgánicas como menciona la norma INEN NTE 855.



Figura 4. Determinación de impurezas orgánicas

3.2. Granulometría.

En la tabla 5 y en el anexo 1 se presentan los resultados del ensayo de granulometría obtenidos, mismos que nos indican que el árido fino presenta un módulo de finura de 2.92, y en base al rango

establecido en la Norma INEN NTE 696 dice que este módulo no debe ser menor a 2.3 ni superior a 3.1, por lo que el agregado fino analizado es óptimo para la elaboración de morteros.

Tabla 5. Granulometría del Árido Fino

TAMICES	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa
3/8"	0.71	0.71	99.29
N° 4	2.17	2.88	97.12
N° 8	20.33	23.21	76.79
N° 16	19.27	42.48	57.52
N° 30	17.00	59.49	40.51
N° 50	16.25	75.73	24.27
N° 100	11.86	87.59	12.41
Pasa N° 200	12.41	100.00	0.00
Módulo de finura			2.92

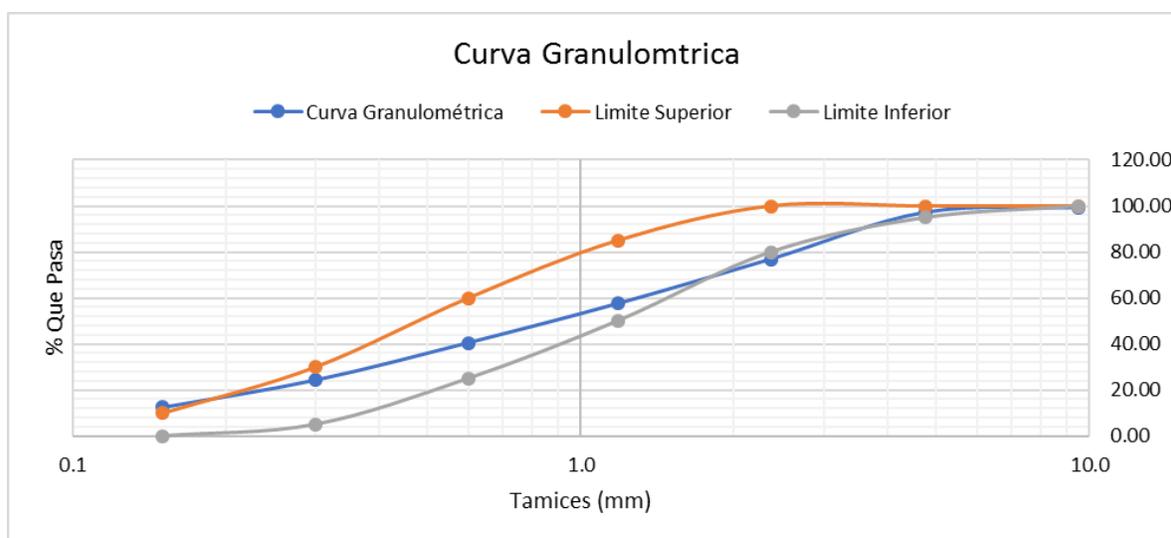


Figura 5. Curva Granulométrica.

3.3. Contenido de humedad.

El árido fino de la cantera “Nieto” indica un contenido de humedad de 4.209 % el cual se obtuvo siguiendo lo establecido en la norma INEN NTE 862. Para ello la masa de la muestra de agregado fino se situó en un recipiente y se procedió a pesarla, después de ello se colocó en el horno de secado a 110°C, transcurridas las 24 horas de secado, se procedió nuevamente a pesar las muestras

secas y así poder definir el contenido de humedad, utilizando la fórmula propuesta por la norma antes mencionada se obtuvo los resultados, mismos que se indican en la tabla 6 y en el Anexo 2.

Tabla 6. *Contenido de Humedad*

RECIPIENTES	Masa Rec (g)	Masa Rec + Muestra húmeda (g)	Masa Rec + Muestra seca (g)	% Humedad
TARA 1	17.170	68.100	65.420	5.554
TARA 2	17.320	60.740	58.600	5.184
TARA 3	17.070	60.500	59.170	3.159
TARA 4	17.020	58.340	57.160	2.940
			% Humedad Promedio	4.209

3.4. Densidad y Porcentaje de Absorción.

Para densidad y porcentaje de absorción se siguió la norma INEN NTE 856, la misma que indica que el material se debe colocar en un recipiente, aproximadamente 500 g, con el propósito de llenar los poros de la muestra se le sumerge en agua, posterior a ello se deja correr el agua sin perder granos finos, luego se tiene que secar el material a una temperatura de 110°C hasta conseguir una masa constante por 24 horas.

Transcurridas las 24 horas se comprobó si la humedad superficial está aún presente en las partículas, se colocó una parte de la muestra en un molde en forma de cono teniendo en cuenta que el diámetro mayor debe encontrarse hacia abajo y el molde debe estar en sobre una superficie, una vez lleno el molde se compacto con 25 golpes a una caída libre de 5 mm sobre la superficie del árido. Se levantó el molde de forma vertical y en caso de que la humedad superficial aún estuviera presente, el árido conservaría la forma del molde, pero en nuestro caso el árido se desmoronó indicando que se ha alcanzado la condición de superficie seca.

Una vez que se comprobó este estado, se procedió a introducir 500 g del material, en el picnómetro y una vez que el árido se encontró en estado SSS (saturado superficialmente seco), se

llenó el picnómetro con agua hasta el 90% de su capacidad y finalmente se agitó el picnómetro eliminando todas las burbujas de aire para proceder a tomar su peso.

Por último, se removió el árido del picnómetro registrando su peso y se colocó en el horno a una temperatura de 110°C para su secado y luego poder ser pesado, para posteriormente realizar los respectivos cálculos.

En la tabla 7 y en el Anexo 3 se presentan los resultados obtenidos correspondiente a densidad y porcentaje de absorción.

Tabla 7. Resultados de Densidad y Absorción

Propiedad	Valor
Densidad SH (kg/m ³)	2020.80
Densidad en SSS (kg/m ³)	2149.78
Densidad Aparente (kg/m ³)	2320.92
% de Absorción	6.38

3.5. Determinación de impurezas orgánicas del material piroclástico.

En cuanto al material piroclástico perteneciente al volcán Tungurahua se puede evidenciar en la figura 6 que, el agua que sobrenada a la muestra del material piroclástico es similar al color N° 2 según el comparador de color de Gardner, lo que indica que la muestra posee un porcentaje bajo de impurezas orgánicas como establece la norma INEN NTE 855.



Figura 6. *Determinación de impurezas orgánicas*

3.6. Granulometría del material piroclástico.

En cuanto al material piroclástico tenemos que, los resultados presentados en la tabla 8 y en el anexo 4 nos indican que el material presenta un módulo de finura de 1.26 y en base al rango establecido en la Norma INEN NTE 696, que dice que este módulo no debe ser menor a 2.3 ni superior a 3.1, sin embargo en un apartado de la norma INEN NTE 872 indica que cuando no cumple con estas condiciones se le puede agregar a la mezcla como un aditivo mineral (puzolana), en la norma INEN NTE 694 describe que “Aditivo mineral se ha utilizado para referirse a distintos tipos de materiales finamente divididos insolubles al agua, tales como materiales puzolánicos, materiales cementantes y áridos.”. En base a estas condiciones el material piroclástico va a ser incorporado como un aditivo mineral en el mortero.

Tabla 8. *Granulometría del material piroclástico*

TAMICES	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa
3/8"	0.00	0.00	100.00
N° 4	0.05	0.05	99.95
N° 8	0.05	0.10	99.90
N° 16	0.05	0.15	99.85
N° 30	12.71	12.86	87.14
N° 50	32.73	45.60	54.40
N° 100	21.57	67.17	32.83
Pasa N° 200	32.83	100.00	0.00
		Módulo de finura	1.26

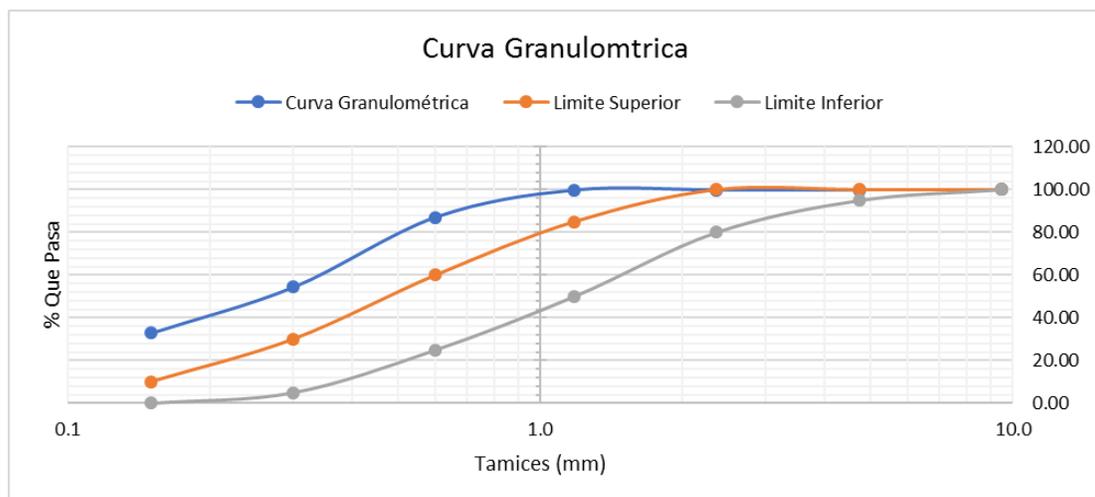


Figura 7. Curva granulométrica

3.7. Contenido de humedad material piroclástico.

El material piroclástico proveniente del volcán Tungurahua luego de realizar el ensayo indica un contenido de humedad de 0.046 % el cual se obtuvo siguiendo lo indicado en la norma INEN NTE 862. Para ello la masa de la muestra del material piroclástico se colocó en recipientes y se procedió a pesarlos, después de ello se colocó en el horno de secado a 110°C, transcurridas las 24 horas de secado, se procedió nuevamente a pesar las muestras secas y así poder definir el contenido de humedad, utilizando la fórmula propuesta por la norma antes mencionada se obtuvo los resultados que se indican en la tabla 9 y en el Anexo 5.

Tabla 9. Contenido de Humedad

RECIPIENTES	Masa Rec (g)	Masa Rec + Muestra húmeda (g)	Masa Rec + Muestra seca (g)	% Humedad
TARA 1	17.190	54.610	54.590	0.053
TARA 2	16.910	66.190	66.160	0.061
TARA 3	17.180	61.690	61.680	0.022
% Humedad Promedio				0.046

3.8. Ensayo a compresión a corto plazo y largo plazo

Las dosificaciones utilizadas en este proyecto se presentan en las tablas 11 y 12, mismas que fueron tomadas de investigaciones realizadas en la facultad de Ingeniería escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo.

A los morteros se los denomino en base al tipo de cemento utilizado, si el cemento era tipo I se le denoto I, para el cemento tipo HE se le denoto HE y para el caso del mortero que no contenía material piroclástico se le caracterizo con la nomenclatura SP.

MORTEROS:

Tipo I: Cemento Portland tipo I + arena + material piroclástico.

Tipo HE: Cemento Portland tipo HE + arena + material piroclástico.

Tipo I SP: Cemento Portland tipo I + arena.

Tipo HE SP: Cemento Portland tipo HE + arena.

La tabla 10 presenta las dosificaciones investigadas que se utilizaron para la investigación.

Tabla 10. *Dosificaciones tomadas de investigaciones de la Universidad Nacional de Chimborazo de la facultad de Ingeniería, carrera de Ingeniería Civil*

Dosificación	Cemento (kg)	Arena (kg)	Material Piroclástico (kg)	Agua (kg)	Sika 161 (kg)
1	50	62.25	12.25	21	0.5
2	50	249	150	84	0.5

Tabla 11. *Dosificación utilizada para los morteros: cemento + arena*

Dosificación	Cemento (kg)	Arena (kg)	Agua (kg)	Sika 161 (kg)
1	50	62.25	21	0.5

Tabla 12. *Dosificación utilizada para los morteros: cemento + arena + material piroclástico*

Dosificación	Cemento (kg)	Arena (kg)	Material Piroclástico (kg)	Agua (kg)	Sika 161 (kg)
1	50	62.25	12.25	21	0.5

El análisis estadístico se efectuó para las cuatro mezclas, dos con cementos portland tipo I con y sin material piroclástico y dos con cemento portland tipo HE de igual manera con y sin material piroclástico, realizando una comparación con la prueba de Tukey en el software MiniTab.

3.8.1. Ensayo a compresión a corto plazo

Para el ensayo a compresión a corto plazo, se procedió a elaborar probetas para ser ensayadas a 6, 9 y 12 horas de edad, para cada edad se elaboró 16 probetas dando un total de 48 probetas para cada mezcla (los resultados se pueden observar en los Anexos 6,7,8,9), con las dosificaciones establecidas en la tabla 11 y tabla 12.

Las probetas se elaboraron en la madrugada de los días lunes 21, miércoles 23, viernes 25 y lunes 28 de septiembre del 2020, los ensayos a compresión se realizó en el “LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN” ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba.

En la figura 8 se presenta los datos obtenidos, resistencia a compresión en relación con el tiempo (horas) de fraguado a corto plazo.

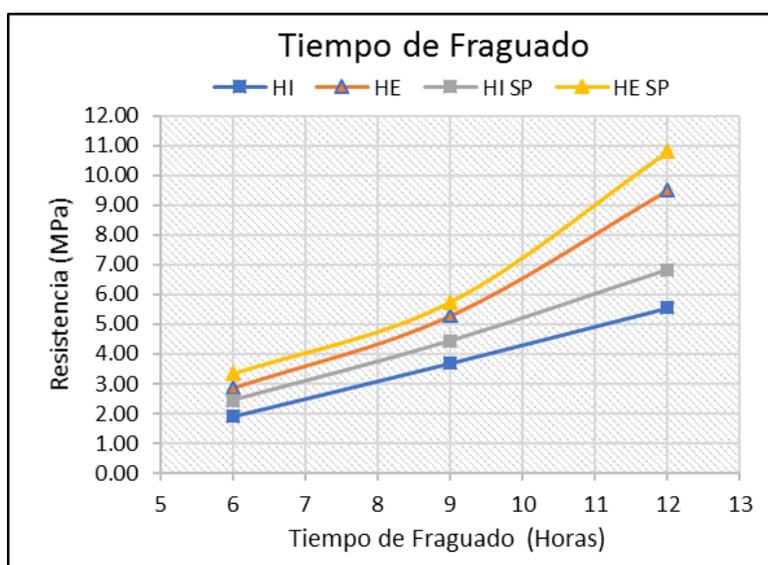


Figura 8. Resistencia vs Tiempo de Fraguado a Corto Plazo

En la figura 8 podemos evidenciar que el mortero elaborado con cemento tipo HE sin material piroclástico posee una mayor resistencia a compresión que los otros morteros. Los morteros a los que se les agrego material piroclástico muestran un desarrollo menor en su resistencia.

En la tabla 13 se exhibe el análisis estadístico del ensayo a compresión a corto plazo, se puede evidenciar que en este análisis las diferencias significativas entre los morteros ya que no comparten una misma letra, y que los valores medios y las desviaciones corresponden con ello, mostrándose estabilidad alrededor de la media.

Tabla 13. *Análisis estadístico del ensayo a compresión a corto plazo*

RESUMEN DE RESULTADOS					
Edad (Horas)	Medida	Dosificación			
		I	HE	I SP	HE SP
6	Media (MPa)	1.91	2.85	2.44	3.34
	Desviación	0.19	0.11	0.12	0.19
	Letra	D	B	C	A
Edad (Horas)	Medida	Dosificación			
		I	HE	I SP	HE SP
9	Media (MPa)	3.69	5.28	4.43	5.75
	Desviación	0.32	0.19	0.24	0.35
	Letra	D	B	C	A
12	Media (MPa)	5.54	9.51	6.82	10.80
	Desviación	0.20	0.17	0.25	0.27
	Letra	D	B	C	A

Nota: Las letras A, B, C, D, representan las diferencias obtenidas en el software MiniTab (Test Tukey).

Las medidas que no comparten una misma letra son significativamente diferentes.

3.8.2. Ensayo a compresión a largo plazo

Para el ensayo a compresión a largo plazo se realizó un total de 9 probetas para cada edad, las edades para este ensayo eran de 7, 14, 21 y 28 días de fraguado. Es decir, se elaboraron 64 probetas para cada dosificación, la misma cantidad de probetas que se realizaron en estudios anteriores para tener un mismo lineamiento. Se pueden observar los resultados en los anexos 10,11,12 y 13.

Los valores obtenidos de los morteros elaborados son significativos, debido a que aumentan su resistencia a compresión con el paso de los días mostrando la mayor a los 28 días, edad a la que el cemento reaccionó en su totalidad atendiendo a sus componentes químicos y mineralógicos, y a la interacción de las probetas con el agua.

En la Figura 9 se puede observar la resistencia a compresión en relación con el tiempo (días) de fraguado a largo plazo de las diferentes dosificaciones de los morteros a las edades de 7, 14, 21 y 28 días.

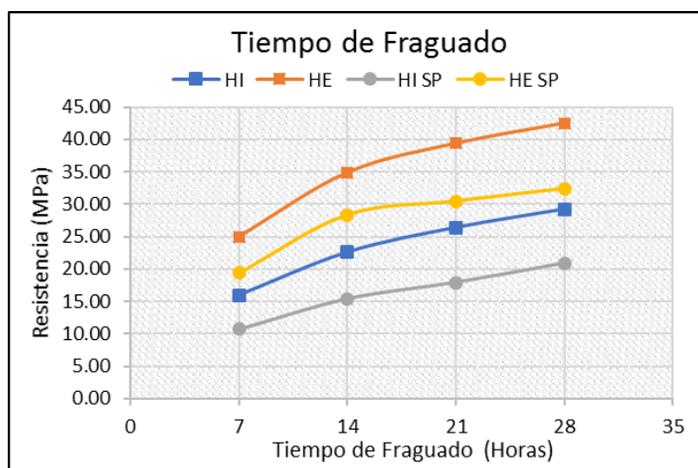


Figura 9. Resistencia vs Tiempo de Fraguado a largo plazo.

De igual manera que para el ensayo a compresión a corto plazo los morteros elaborados con cemento HE más material piroclástico indican una mayor resistencia a compresión que los elaborados con el cemento tipo HE y tipo I. La tabla 14 contiene el análisis estadístico del ensayo a compresión a largo plazo de las distintas dosificaciones.

Tabla 14. Análisis estadístico del ensayo a compresión a largo plazo

RESUMEN DE RESULTADOS					
Edad (Días)	Medida	Dosificación			
		I	HE	I SP	HE SP
7	Media (MPa)	15.96	24.94	10.69	19.41
	Desviación	0.49	0.99	0.68	1.04
	Letra	C	A	D	B

Edad (Días)	Medida	Dosificación			
		I	HE	I SP	HE SP
14	Media (MPa)	22.61	34.85	15.40	28.37
	Desviación	1.03	0.96	0.77	0.68
	Letra	C	A	D	B
21	Media (MPa)	26.41	39.36	17.93	30.48
	Desviación	0.77	0.79	0.54	0.51
	Letra	C	A	D	B
28	Media (MPa)	29.24	42.48	20.88	32.40
	Desviación	0.92	1.11	0.68	0.62
	Letra	C	A	D	B

Nota: Las letras A, B, C, D, representan las diferencias obtenidas en el software MiniTab (Test Tukey).

Las medidas que no comparten una misma letra son significativamente diferentes

Estos resultados evidencian diferencias significativas entre los morteros considerando que no comparten una misma letra y que las desviaciones indican estabilidad alrededor de los valores medios.

3.9. Mesa de Flujo

El propósito de este ensayo es determinar la fluidez del mortero, según los parámetros establecidos en la norma INEN NTE 2502, el molde cónico se colocó en el centro del equipo y en él se vertió el mortero que fue compactado 20 veces por capa, fueron 2 capas de aproximadamente de 25 mm llenando uniformemente el molde, posterior a ello se enrazó y se retiró el molde para dejar trabajar al equipo, produciendo una acción de 25 caídas en 15 segundos, luego se midieron cuatro diámetros que deja el mortero en la mesa de flujo para comparar con la fluidez recomendada en los distintos tipos de estructura y condiciones de colocación, en la tabla 15 se expondrá algunos porcentajes de fluidez recomendados de morteros para diversos tipos y en la tabla 16 se presentan los resultados de fluidez obtenidos de las dosificaciones utilizadas.

Tabla 15. *Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructuras y condiciones de colocación (Llerena, 2020)*

CONSISTENCIA	FLUIDEZ %	CONDICIÓN DE COLOCACION	EJEMPLOS DE TIPO DE ESTRUCTURA	EJEMPO DE SISTEMA DE COLOCACIÓN
Dura (seca)	80-100	Selecciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Proyección neumática con vibradores de formaleta
Media (plástica)	100-120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120-150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual, bombeo, inyección

Tabla 16. *Resultados de Fluidez*

Resumen de valores	
Dosificación	% Fluidez
I	102.76
HE	101.53
I SP	107.43
HE SP	105.22

El ensayo se realizó a una temperatura de 18°C y una humedad relativa de 45%. En los resultados obtenidos en la tabla 16, se evidencian que el mortero estudiado se encuentra en el rango de 100% a 120% en relación a la fluidez recomendada expuesta en la tabla 15, porcentajes que indican que tiene una consistencia media y demuestran que el mortero mantiene un estado plástico, mostrando una de las principales características que debe poseer el mortero.

3.10. Determinación del tiempo de fraguado

Para el tiempo de fraguado se preparó los morteros con las dosificaciones seleccionadas, se procedió a formar una bola y lanzarla 6 veces de una mano a otra con una distancia de 150 mm, presionar la bola con la palma de la mano llenándola completamente, dentro del extremo más ancho del anillo cónico del aparato de Vicat hasta llenar completamente el anillo con el mortero, luego se retirará el exceso del lado más ancho con un movimiento de la palma de la mano. Se colocó el anillo con su extremo más ancho sobre la placa, la muestra debe permanecer en el molde cónico.

La penetración de la aguja de 1 mm se realizó en un periodo de 15 minutos hasta obtener una penetración de 25 mm, siendo este el tiempo inicial de fraguado, mientras que el tiempo de fraguado final fue cuando la aguja dejó una pequeña marca en el espécimen. En la tabla 17 y en el Anexo 14 se reflejan los tiempos de fraguado de cada dosificación, calculados con el Método de Vicat.

Tabla 17. *Tiempo de Fraguado Método de Vicat*

Dosificación	Tiempo inicial de fraguado (min)	Tiempo final de fraguado (min)
I	225	210
HE	165	180
I SP	195	180
HE SP	210	165

3.11. Conductividad térmica

3.11.1. *Formula convencional*

La ecuación 2 establece criterios de laboratorio para la medida del flujo unidireccional y estacionario de calor a través de dos probetas planas y homogéneas de caras paralelas y espesor conocido a temperaturas constantes mediante un sistema de placa caliente (fuente) y doble placa fría exterior (sumideros), determinado mediante (Viteri, 2017):

$$\lambda = \frac{Q_{elec} \cdot e}{2 \cdot A \cdot \Delta T} \quad (2)$$

λ = conductividad térmica, [W / m K]

Q_{elec} = Flujo de calor a través del área, [W].

e = espesor promedio de las probetas, [m].

A = área de la placa de calentamiento, [m²].

ΔT = Diferencia entre T1 y T3 [K].

De los datos obtenidos en el ensayo se puede calcular Q_{elec} mediante la ecuación 3 y 4:

$$Q_{elec} = \frac{V^2}{R} \quad (3)$$

$$Q_{elec} = \frac{V^2}{93} \quad (4)$$

Donde:

V= Voltaje medida en el equipo.

R= Resistencia del equipo, el cual es de 93 Ohmios constante.

3.11.2. Obtención de la formula ajustada

Obtención del Flujo de calor a través del área calculado (Viteri, 2017):

Donde:

Las ecuaciones 5,6,7,8 y 9 indican el cálculo para Q eléctrico:

$$Q_{electrico} = Q_1 + Q_2 \quad (5)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\frac{\lambda_1 \cdot \Delta T_1 \cdot A_1}{e_1}}{\frac{\lambda_2 \cdot \Delta T_2 \cdot A_2}{e_2}} \quad (6)$$

Siendo $\lambda_1 = \lambda_2$; $A_1 = A_2$; $e_1 = e_2$, se obtiene la ecuación 7:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{T_1 - T_3}{T_1 - T_4} \quad (7)$$

$$Q_{electrico} = Q_1 + \frac{Q_1 \cdot \Delta T_2}{\Delta T_1} \quad (8)$$

$$Q_{electrico} = Q_1 \left[1 + \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right] \quad (9)$$

Despejando Q_1 (flujo de calor a través del área medida) en la ecuación 9 se obtiene:

$$Q_1 = \frac{Q_{electrico}}{1 + \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \quad (10)$$

3.11.2.1. Formula Ajustada

La ecuación 11 es obtenida debido a un problema en el diseño y construcción de la máquina que se utilizó para el desarrollo de la Investigación, dado que la máquina utiliza el mismo sistema de refrigeración para los dos sumideros, es decir la fuente transfiere calor a los moldes, pero la temperatura en los sumideros no es igual ya que el refrigerante primero llega a un sumidero y luego va al otro sumidero existiendo dos temperaturas diferentes que para este caso es T3 y T4, que son las temperaturas de los sumideros medidos independientemente (Viteri, 2017).

Formula del Coeficiente de Conducción Ajustado:

$$\lambda = \frac{Q_1 \cdot e}{\Delta T_1 \cdot A} \quad (11)$$

Donde:

λ = conductividad térmica, [W / m K].

Q_1 = Flujo de calor a través del área medida, [W].

e = espesor promedio de las probetas, [m].

A = área del molde de calentamiento, [m²].

ΔT_1 = Diferencia entre T1 y T3 [K]

A continuación, se presentan las tablas con los resultados obtenidos de los morteros estudiados según los diferentes tipos:

Tabla 18. *Determinación del coeficiente de conductividad térmica de Tipo I*

Hora	Unidades	8H00	9H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00
T ₁	° C	28.2	26.9	26.8	26.7	26.6	26.7	26.7
T ₂	° C	27.4	26.1	26.3	26.3	26.1	26.5	26.5
T ₃	° C	8.8	8.9	8.8	8.8	8.9	8.8	8.9
T ₄	° C	10.4	10.9	10.3	10.3	10.4	10.3	10.3
V	V	20.7	20.6	20.1	20.1	20.1	20.0	20.0
Q _{eléctrico}	W	4.6024	4.5581	4.4263	4.3395	4.3395	4.2964	4.2964
Q ₁	W	2.4002	2.4131	2.3093	2.2646	2.2657	2.2421	2.2361
ΔT ₁	K	19.4	18.0	18.0	17.9	17.7	17.9	17.8
A	m ²	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
e	m	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
λ ajust	W/ m K	0.0687	0.0745	0.0713	0.0703	0.0711	0.0696	0.0698
						λ ajust promedio	0.0708	W/ m K
λ conv	W/ m K	0.0659	0.0703	0.0683	0.0673	0.0681	0.0667	0.0670
						λ conv promedio	0.0677	W/ m K

Tabla 19. *Determinación del coeficiente de conductividad térmica de Tipo HE*

Hora	Unidades	8H00	9H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00
T ₁	° C	24.7	25.5	27.3	27.0	27.0	27.2	27.2
T ₂	° C	23.5	24.6	27.0	26.6	26.5	26.9	27.0
T ₃	° C	8.8	8.5	7.8	7.4	7.4	7.3	7.3
T ₄	° C	9.4	9.1	8.4	7.8	7.9	7.9	7.9
V	V	18.7	18.6	18.6	18.6	18.5	18.6	18.6
Q _{eléctrico}	W	3.756	3.716	3.716	3.716	3.676	3.716	3.676
Q ₁	W	1.914	1.891	1.887	1.877	1.861	1.886	1.866
ΔT ₁	K	15.9	17.0	19.5	19.6	19.6	19.9	19.9
A	m ²	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
e	m	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
λ ajust	W/ m K	0.0668	0.0618	0.0537	0.0532	0.0528	0.0527	0.0521
						λ ajust promedio	0.0562	W/ m K
λ conv	W/ m K	0.0656	0.0607	0.0529	0.0526	0.0521	0.0519	0.0513
						λ ajust promedio	0.0553	W/ m K

Tabla 20. *Determinación del coeficiente de conductividad térmica de Tipo I Sp*

Hora	Unidades	8H00	9H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00
T ₁	° C	26.9	26.9	26.9	26.7	26.6	26.4	26.4
T ₂	° C	26.6	26.6	25.9	25.9	25.7	25.7	25.7
T ₃	° C	8.4	8.4	8.4	8.5	8.4	8.3	8.5
T ₄	° C	7.2	7.2	7.2	7.1	7.1	6.9	7.1
V	V	18.5	18.5	18.5	18.5	18.2	18.1	18.1
Q _{eléctrico}	W	3.676	3.676	3.676	3.676	3.558	3.519	3.519
Q ₁	W	1.78	1.78	1.78	1.77	1.717	1.694	1.693
ΔT ₁	K	18.5	18.5	18.5	18.2	18.2	18.1	17.9
A	m ²	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
e	m	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
λ ajust	W/ m K	0.0534	0.0535	0.0535	0.0540	0.0524	0.0520	0.0526
						λ ajust promedio	0.0531	W/ m K
λ conv	W/ m K	0.0552	0.0552	0.0552	0.0561	0.0543	0.0540	0.0547
						λ conv promedio	0.0550	W/ m K

Tabla 21. *Determinación del coeficiente de conductividad térmica de Tipo HE Sp*

Hora	Unidades	8H00	9H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00
T ₁	° C	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7
T ₂	° C	26.9	27.0	27.1	27.3	27.3	27.3	27.4
T ₃	° C	8.6	8.5	8.6	8.6	8.6	8.6	8.5
T ₄	° C	8.6	8.6	8.6	8.7	8.8	8.6	8.7
V	V	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2
Q _{eléctrico}	W	3.558	3.558	3.558	3.558	3.558	3.558	3.558
Q ₁	W	1.779	1.784	1.779	1.784	1.788	1.778	1.788
ΔT ₁	K	19.1	19.2	19.1	19.1	19.1	19.1	19.2
A	m ²	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
e	m	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
λ ajust	W/ m K	0.0517	0.0516	0.0517	0.0519	0.0520	0.0517	0.0517
						λ ajust promedio	0.0518	W/ m K
λ conv	W/ m K	0.0517	0.0515	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0515
						λ conv promedio	0.0516	W/ m K

Resumen de resultados de coeficiente de conductividad térmica.

Tipos de mortero:

Tipo I: Cemento Portland tipo I + arena + material piroclástico.

Tipo HE: Cemento Portland tipo HE + arena + material piroclástico.

Tipo I SP: Cemento Portland tipo I + arena.

Tipo HE SP: Cemento Portland tipo HE + arena.

Tabla 22. *Resumen de valores promedios del coeficiente de conductividad térmica.*

	Unidades	Tipo I	Tipo HE	Tipo I SP	Tipo HE SP
λ ajust	W/ m K	0.0708	0.0562	0.0531	0.0518
λ conv	W/ m K	0.0677	0.0553	0.0550	0.0516

Nota: En esta tabla refleja en la formula ajustada que la incorporación de material piroclástico en los morteros incrementa el coeficiente de conductividad térmica tanto en el mortero elaborado con cemento portland I en un 33.36 % como en el elaborado con cemento portland HE en un 8.50 %. La obtención de un mayor coeficiente de conductividad térmica se traduce en ahorro energético lo que conlleva a un ahorro económico y un menor impacto ambiental.

Conclusiones

- La arena lavada de la cantera “Nieto”, en base a los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio resulto ser óptima para la elaboración de los morteros.
- La dosificación seleccionada para la presente investigación fue 1:1.25:0.25 (1 de cemento, 1.25 de arena y 0.25 de material piroclástico) obteniendo resistencias en todos los morteros mayores a 21 MPa que es el requerimiento mínimo que establece la norma INEN NTE 488:2009. CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA.
- En el ensayo a compresión a corto plazo se evidencio que los morteros elaborados sin material piroclástico alcanzan una resistencia a compresión mayor que los morteros que se les adiciono material piroclástico.
- En el ensayo a compresión a largo plazo se concluyó que los morteros elaborados con material piroclástico alcanzan una resistencia a compresión mayor que los morteros a los que no se les adiciono material piroclástico.
- El ensayo de mesa de flujo reflejó que los morteros elaborados sin material piroclástico presentan un mayor porcentaje de fluidez.
- En el ensayo de conductividad térmica se obtuvo que los valores de los coeficientes de conductividad térmica más altos fueron de los morteros tipo I y HE mismos que contenían material piroclástico.
- La incorporación del material piroclástico en los morteros incremento la resistencia a compresión y la conductividad térmica.

- Los valores alcanzados con el ensayo de conductividad térmica en esta investigación resultaron ser mayores a 0.050 W/m K , lo que indica que no funcionan como aislantes térmicos, sino más bien como conductores térmicos.

Recomendaciones

- Para seguir con una misma línea de investigación de conductividad térmica del mortero elaborado con material piroclástico, dicho material recolectarlo en base a las coordenadas presentadas en el presente trabajo.
- La dosificación encontrada está compuesta por un alto contenido de cemento, para lo cual se podría proponer una nueva dosificación, añadir una cantidad de material piroclástico más alto para disminuir la cantidad de cemento en la mezcla.
- El ensayo de conductividad térmica realizar en el laboratorio de Conversión de la Energía, perteneciente al DCEM (Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica), de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, y manteniendo las dimensiones de las probetas realizadas en esta investigación con el fin de seguir un mismo lineamiento de investigación y así poder efectuar comparaciones con los resultados presentados en este trabajo.

Bibliografía

- Barón, M., Báez, E., Castillo, S., Pineda, L., Rincón, E. (2016) “Fluidez de morteros de cementos hidráulicos INV-E 325-07” por, p.10. Recuperado de https://www.academia.edu/28054073/FLUIDEZ_DE_MORTEROS_DE_CEMENTO_HIDR%C3%81ULICO_INV-E_325-07
- Astudillo, F. (2009). Los materiales de construcción y su aporte al mejoramiento del confort térmico en viviendas periféricas de la ciudad de Loja. Obtenido de Universidad Particular de Loja: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/324>
- Astudillo, F. (2010). Los materiales de construcción y su aporte al mejoramiento del confort térmico en viviendas periféricas de la ciudad de Loja. Obtenido de Repositorio de la Universidad Técnica Particular de Loja: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/1039>
- Taco, P. (2019). Diseño De Un Mortero Con Arena De La Provincia De Tungurahua, Utilizando Cemento Portland Tipo 1 Y HE Incluido Cal Hidráulica Para El Uso De Impresoras 3D. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba
- Lozano, P.(2010). APLICACIÓN DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN NATURAL PARA EL CONFORT TÉRMICO DE LAS HABITACIONES EN UN CONJUNTO DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES- DISTRITO DE PICHANAKI. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Valles, C. (2019). HORMIGÓN DE BAJA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA SU USO EN MAMPUESTO UTILIZANDO COMO AGREGADOS CENIZA Y ESCORIA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba

- Llerena, A.(2020). DISEÑO DE UN MORTERO CON ARENA DE RIO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I Y HE INCLUIDO CAL HIDRÁULICA PARA EL USO DE IMPRESORAS 3D. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba
- Jiménez, E. (2008). ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA BRINDAR CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDA EN LA CIUDAD DE LOJA. Universidad Técnica Particular de Loja
- Rodríguez, J.(2019). ¿Qué es la arquitectura sostenible?
- Juárez, B.(2012). LA UTILIZACIÓN DE CASCARA DE ARROZ BAJO EL PROCESO DE CALCINACIÓN CONTROLADA COMO PUZOLANA ARTIFICIAL EN EL DISEÑO DE MORTEROS PARA ACABADOS. Universidad de San Carlos de Guatemala
- Quintana, N. (2019). Metodología del proceso de análisis requerido en la investigación, de carácter no experimental, del comportamiento geodinámico de las puzolanas, como material de construcción. Universidad Militar Nueva Granada
- Delgado, A., & Negrete, C. (2012). Evaluación del uso de arcillas y puzolanas en la etapa de molienda de acabado para la fabricación de cemento portland puzolánico tipo IP. Universidad de Cuenca
- Erreiz, J., & Rosero, C.(2011). IMPACTO PROVOCADO POR EL VOLCÁN TUNGURAHUA EN LA SALUD DE LOS POBLADORES DE PENIPE DURANTE EL PERIODO ERUPTIVO COMPRENDIDO ENTRE EL AÑO 2003-2010. Pontificia Universidad Católica del Ecuador
- Montoya, C. B. (2011). Construcción sostenible: para volver al camino. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

- Álvarez, A. (2018). EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO EN LAS OFICINAS DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE AMBATO. Universidad Técnica de Ambato
- Quiroga, A., & Vargas, J. (2018). EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD EN AISLANTES. Fundación Universidad de América
- Avila, & Arias. (2015). La envolvente arquitectura y su influencia en la iluminación
- Larrea, P., & Dominguez, S. (2011). Hormigón Simple Utilizando Agregado Volcánico De La Isla Galapagos San Cristobal (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politecnica De Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Proaño, H. (2014). DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DEL POLIURETANO UTILIZADO COMO AISLANTE TÉRMICO, EN LA EMPRESA ESPROM-PUR AMBATO. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
- Susunaga, J. (2014). CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA PARA LA EDIFICACIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL Y PRIORITARIO. Universidad Católica de Colombia
- Martina, P. (2003). Comunicaciones Científicas Y Tecnológicas. Fabricación de un equipo de placa caliente para determinación de la conductividad térmica de los materiales. Universidad Nacional Del Nordeste, Chaco, Argentina.
- García, J. (2016). Mapeo Y Determinación De Parámetros Físicos De Las Corrientes De Densidad Piroclástica Producida Por El Volcán Tungurahua Desde El 2006 (Tesis de pregrado). Universidad Técnica De Ambato, Ambato, Ecuador.

- Barón, M., Báez, E., Castillo, S., Pineda, L., Rincón, E. (2016) “Fluidez de morteros de cementos hidráulicos INV-E 325-07” por, p.10. Recuperado de https://www.academia.edu/28054073/FLUIDEZ_DE_MORTEROS_DE_CEMENTO_HIDR%C3%81ULICO_INV-E_325-07
- INEN NTE 157. (2010). Determinación de la consistencia normal. Método Vicat. Ecuador.
- INEN NTE 158. (2010). Determinación del tiempo de fraguado, Método VICAT. Ecuador
INEN
- NTE 488. (2010). Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista. Ecuador.
- INEN NTE 690. (2010). Determinación del contenido de agua método del secado al horno.
Ecuador
- INEN NTE 696. (2010). Análisis Granulométrico en los áridos, fino y gruesos. Ecuador.
- INEN NTE 857. (2010). Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso. Ecuador
- García, V. (2018). *Materiales de Construcción*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Mariño, C. (2018). Diseño De Un Mortero Con Cemento Portland Tipo I Y HE Incluida Cal Hidráulica Para Su Uso En Impresoras 3D. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.
- Viteri, A. (2017). COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE DOSPLANTAS FIBROSAS ECUATORIANAS PARA LA UTILIZACIÓN COMO AISLAMIENTO EN VIVIENDAS. Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito.
- Cando, M., Zambrano, L. (2016). DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBA PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DINÁMICO EN ENSAMBLES DE

ENVOLVENTES PARA EDIFICACIONES LOCALES. Escuela Superior Politécnica del
Litoral. Guayaquil.

Anexos

Anexo 1. Ensayo de Granulometría de arena de la cantera "Nieto"

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO 							
FACULTAD DE INGENIERÍA							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Ensayo:	Granulometría						
Elaborado por:	Gilbert Orozco C.	Ubicación de la muestra:			Provincia de Tungurahua		
Tutor:	Ing. Javier Palacios	Lugar:			Cantera "Nieto"		
Tabulación de datos							
TAMICES	Abertura(mm)	Masa retenida	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Mínimo	Máximo
3/8"	9.50	0.014	0.71	0.71	99.29	100	100
N° 4	4.75	0.043	2.17	2.87	97.13	95	100
N° 8	2.36	0.403	20.32	23.20	76.80	80	100
N° 16	1.18	0.382	19.26	42.46	57.54	50	85
N° 30	0.60	0.337	16.99	59.46	40.54	25	60
N° 50	0.30	0.322	16.24	75.69	24.31	5	30
N° 100	0.15	0.235	11.85	87.54	12.46	0	10
Pasa N° 200		0.247	12.46	100.00			
	Masa Total	1.983	100.00				
	Módulo de finura	2.92					

Anexo 2. Ensayo de Contenido de Humedad de arena de la cantera “Nieto”

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO 				
FACULTAD DE INGENIERÍA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Ensayo:	Contenido de Humedad			
Elaborado por:	Gilbert Orozco C.	Ubicación de la muestra:		Provincia de Tungurahua
Tutor:	Ing. Javier Palacios	Lugar:		Cantera "Nieto"
Tabulación de datos				
RECIPIENTES	Masa Rec (g)	Masa Rec + Muestra humeda (g)	Masa Rec+Mue stra seca (g)	% Humedad
TARA 1	17.17	68.10	65.42	5.55
TARA 2	17.32	60.74	58.60	5.18
TARA 3	17.07	60.50	59.17	3.15
TARA 4	17.02	58.34	57.16	2.94
			% Humedad Promedio	4.20

Anexo 3. Ensayo de Densidad y Porcentaje de Absorción de arena de la cantera “Nieto”

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO 						
FACULTAD DE INGENIERÍA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Ensayo:	Contenido de Humedad					
Elaborado por:	Gilbert Orozco C.	Ubicación de la muestra:		Provincia de Tungurahua		
Tutor:	Ing. Javier Palacios	Lugar:		Cantera "Nieto"		
Tabulación de datos						
Peso bandeja	Peso bandeja + Materia SSS	Picnómetro + agua	Picnómetro + Agua +materia SSS	Peso bandeja + Arena seca	Peso del material en SSS	Peso del materia seco
0.211	0.47	1.027	1.295	0.681	0.500	0.470
Densidad (kg/m ³)	2020.80					
Densidad en SSS (kg/m ³)	2149.78					
Densidad Aparente (kg/m ³)	2320.92					
% de Absorción	6.38					

Anexo 4. Ensayo de Granulometría del material Piroclástico.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
FACULTAD DE INGENIERÍA							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Ensayo:		Granulometría					
Elaborado por:		Gilbert Orozco C.		Ubicación de la muestra:		Antigua Vía Penipe - Baños	
Tutor:		Ing. Javier Palacios		Lugar:		Quebrada con coordenadas UTM (776892.9; 9836228.5)	
Tabulación de datos							
TAMICES	Abertura(mm)	Masa retenida	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Mínimo	Máximo
3/8"	9.5	0.000	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 4	4.75	0.001	0.05	0.05	99.95	95	100
N° 8	2.36	0.001	0.05	0.10	99.90	80	100
N° 16	1.18	0.001	0.05	0.15	99.85	50	85
N° 30	0.6	0.254	12.71	12.86	87.14	25	60
N° 50	0.3	0.654	32.73	45.60	54.40	5	30
N° 100	0.15	0.431	21.57	67.17	32.83	0	10
Pasa N° 200		0.656	32.83	100.00			
	Masa Total	1.998	100.00				
	Módulo de finura	1.26					

Anexo 5. Ensayo de Contenido de Humedad del material Piroclástico.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO 				
FACULTAD DE INGENIERÍA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Ensayo:	Contenido de Humedad			
Elaborado por:	Gilbert Orozco C.	Ubicación de la muestra:	Antigua Vía Penipe - Baños	
Tutor:	Ing. Javier Palacios	Lugar:	Quebrada con coordenadas UTM (776892.9; 9836228.5)	
Tabulación de datos				
RECIPIENTES	Masa Rec (g)	Masa Rec + Muestra húmeda (g)	Masa Rec+Muestra seca (g)	% Humedad
TARA 1	17.190	54.610	54.590	0.053
TARA 2	16.910	66.190	66.160	0.061
TARA 3	17.180	61.690	61.680	0.022
			% Humedad Promedio	0.046

Anexo 6. Ensayo a Compresión a corto plazo, probetas tipo I.

Ubicación		“LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN” ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba				Probetas		Tipo I.	
Dosificación N° 1 Cemento Tipo I Cemen:1 Arena:1.25 Material Piroclástico: 0.25 Agua:0.42									
Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.3	2.12	1.91
2	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	4.5	1.80	
3	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.3	2.12	
4	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	3.5	1.40	
5	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	4.5	1.80	
6	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.3	2.12	
7	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	4.8	1.92	
8	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.0	2.00	
9	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.1	2.04	
10	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	4.9	1.96	
11	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.0	2.00	
12	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	4.1	1.64	
13	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	4.8	1.92	
14	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.2	2.08	
15	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	4.7	1.88	
16	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	4.5	1.80	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	10.3	4.12	3.69
2	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	8.8	3.52	
3	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	7.9	3.16	
4	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	8.1	3.24	
5	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	8.0	3.20	
6	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	10.2	4.08	
7	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	8.7	3.48	
8	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	8.9	3.56	
9	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	9.3	3.72	
10	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	9.9	3.96	
11	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	10.0	4.00	
12	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	9.2	3.68	
13	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	8.8	3.52	
14	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	9.6	3.84	
15	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	10.1	4.04	
16	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	9.7	3.88	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	14.0	5.60	5.54
2	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	13.5	5.40	
3	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	14.5	5.80	
4	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	13.0	5.20	
5	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	13.5	5.40	
6	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	13.0	5.20	
7	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	14.7	5.88	
8	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	13.9	5.56	
9	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	13.5	5.40	
10	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	13.7	5.48	
11	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	14.0	5.60	
12	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	14.1	5.64	
13	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	13.9	5.56	
14	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	14.3	5.72	
15	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	14.5	5.80	
16	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	13.6	5.44	

Anexo 7. Ensayo a Compresión a corto plazo, probetas tipo HE.

Ubicación		“LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN” ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba				Probetas		Tipo HE.	
Dosificación N° 1 Cemento Tipo HE: Cemen:1 Arena:1.25 Material Piroclástico: 0.25 Agua:0.42									
Probeta	elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.9	2.76	2.85
2	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.3	2.92	
3	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.1	2.84	
4	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.4	2.96	
5	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.5	3.00	
6	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.6	2.64	
7	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.8	2.72	
8	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.1	2.84	
9	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.2	2.88	
10	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.6	3.04	
11	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.4	2.96	
12	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.9	2.76	
13	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.0	2.80	
14	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.9	2.76	
15	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.1	2.84	
16	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.3	2.92	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.6	5.44	5.28
2	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	12.8	5.12	
3	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.5	5.40	
4	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	12.9	5.16	
5	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.1	5.24	
6	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	12.9	5.16	
7	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	12.3	4.92	
8	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.4	5.36	
9	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	12.7	5.08	
10	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	12.6	5.04	
11	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.1	5.24	
12	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.3	5.32	
13	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.2	5.28	
14	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.7	5.48	
15	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.9	5.56	
16	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	14.0	5.60	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	23.6	9.44	9.51
2	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	24.5	9.80	
3	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	24.0	9.60	
4	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	23.5	9.40	
5	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	24.1	9.64	
6	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	22.7	9.08	
7	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	23.9	9.56	
8	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	24.1	9.64	
9	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	23.5	9.40	
10	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	23.7	9.48	
11	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	23.9	9.56	
12	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	24.2	9.68	
13	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	23.9	9.56	
14	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	23.3	9.32	
15	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	23.6	9.44	
16	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	23.8	9.52	

Anexo 8. Ensayo a Compresión a corto plazo, probetas tipo I SP.

Ubicación		“LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN” ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba				Probetas		Tipo I SP.	
Dosificación N° 1 Cemento Tipo I : Cemen:1 Arena:1.25 Agua:0.42									
Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.1	2.44	2.44
2	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.4	2.56	
3	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.5	2.60	
4	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.9	2.36	
5	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.0	2.40	
6	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.9	2.36	
7	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.2	2.48	
8	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.8	2.32	
9	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.5	2.20	
10	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.4	2.56	
11	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.3	2.52	
12	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.1	2.44	
13	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.7	2.28	
14	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	5.9	2.36	
15	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.4	2.56	
16	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	6.6	2.64	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	11.5	4.60	4.43
2	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	10.9	4.36	
3	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	10.5	4.20	
4	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	10.0	4.00	
5	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	10.1	4.04	
6	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	11.7	4.68	
7	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	11.3	4.52	
8	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	11.2	4.48	
9	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	10.7	4.28	
10	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	11.6	4.64	
11	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	10.5	4.20	
12	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	11.3	4.52	
13	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	11.4	4.56	
14	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	11.7	4.68	
15	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	10.9	4.36	
16	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	12.0	4.80	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	17.6	7.04	6.82
2	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	16.5	6.60	
3	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	18.0	7.20	
4	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	17.5	7.00	
5	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	18.1	7.24	
6	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	16.7	6.68	
7	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	16.9	6.76	
8	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	17.0	6.80	
9	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	17.1	6.84	
10	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	16.7	6.68	
11	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	15.9	6.36	
12	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	16.8	6.72	
13	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	16.3	6.52	
14	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	17.3	6.92	
15	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	16.6	6.64	
16	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	17.8	7.12	

Anexo 9. Ensayo a Compresión a corto plazo, probetas tipo HE SP.

Ubicación		“LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN” ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba				Probetas	Tipo HE SP.		
Dosificación N° 1 Cemento Tipo HE Cemeno:1 Arena:1.25 Agua:0.42									
Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	9.0	3.60	3.34
2	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	8.0	3.20	
3	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	8.5	3.40	
4	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	8.3	3.32	
5	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.9	3.16	
6	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.8	3.12	
7	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	8.1	3.24	
8	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	8.8	3.52	
9	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	8.1	3.24	
10	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.5	3.00	
11	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	8.3	3.32	
12	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	9.1	3.64	
13	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	8.8	3.52	
14	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	7.9	3.16	
15	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	8.9	3.56	
16	21/09/2020	21/09/2020	6	50	50	2500	8.6	3.44	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	14.1	5.64	5.75
2	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.3	5.32	
3	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	12.7	5.08	
4	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	15.1	6.04	
5	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	14.7	5.88	
6	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	14.7	5.88	
7	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.7	5.48	
8	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	14.5	5.80	
9	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	12.8	5.12	
10	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	15.7	6.28	
11	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	14.8	5.92	
12	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	15.0	6.00	
13	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	14.9	5.96	
14	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	13.9	5.56	
15	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	14.9	5.96	
16	21/09/2020	21/09/2020	9	50	50	2500	15.1	6.04	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Horas)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	26.1	10.44	10.80
2	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	26.5	10.60	
3	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	28.0	11.20	
4	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	27.5	11.00	
5	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	27.1	10.84	
6	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	26.7	10.68	
7	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	26.9	10.76	
8	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	27.0	10.80	
9	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	27.3	10.92	
10	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	26.3	10.52	
11	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	27.8	11.12	
12	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	26.7	10.68	
13	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	27.3	10.92	
14	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	28.2	11.28	
15	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	26.9	10.76	
16	21/09/2020	21/09/2020	12	50	50	2500	25.7	10.28	

Anexo 10. Ensayo a Compresión a largo plazo, probetas tipo I

Ubicación		"LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN" ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba				Probetas		Tipo I.	
Dosificación N° 1 Cemento Tipo I Cemen:1 Arena:1.25 Material Piroclástico: 0.25 Agua:0.42									
Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	05/08/2020	12/08/2020	7	50	50	2500	40.5	16.20	15.96
2	05/08/2020	12/08/2020	7	50	50	2500	41.3	16.52	
3	05/08/2020	12/08/2020	7	50	50	2500	41.5	16.60	
4	05/08/2020	12/08/2020	7	50	50	2500	38.2	15.28	
5	05/08/2020	12/08/2020	7	50	50	2500	39.4	15.76	
6	05/08/2020	12/08/2020	7	50	50	2500	40.2	16.08	
7	05/08/2020	12/08/2020	7	50	50	2500	38.9	15.56	
8	05/08/2020	12/08/2020	7	50	50	2500	40.6	16.24	
9	05/08/2020	12/08/2020	7	50	50	2500	38.4	15.36	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	05/08/2020	19/08/2020	14	50	50	2500	58.0	23.20	22.61
2	05/08/2020	19/08/2020	14	50	50	2500	57.6	23.04	
3	05/08/2020	19/08/2020	14	50	50	2500	57.9	23.16	
4	05/08/2020	19/08/2020	14	50	50	2500	51.1	20.44	
5	05/08/2020	19/08/2020	14	50	50	2500	58.1	23.24	
6	05/08/2020	19/08/2020	14	50	50	2500	57.3	22.92	
7	05/08/2020	19/08/2020	14	50	50	2500	58.9	23.56	
8	05/08/2020	19/08/2020	14	50	50	2500	56.5	22.60	
9	05/08/2020	19/08/2020	14	50	50	2500	53.4	21.36	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	05/08/2020	26/08/2020	21	50	50	2500	67.1	26.84	26.41
2	05/08/2020	26/08/2020	21	50	50	2500	68.8	27.52	
3	05/08/2020	26/08/2020	21	50	50	2500	65.6	26.24	
4	05/08/2020	26/08/2020	21	50	50	2500	64.4	25.76	
5	05/08/2020	26/08/2020	21	50	50	2500	65.3	26.12	
6	05/08/2020	26/08/2020	21	50	50	2500	64.6	25.84	
7	05/08/2020	26/08/2020	21	50	50	2500	63.5	25.40	
8	05/08/2020	26/08/2020	21	50	50	2500	65.9	26.36	
9	05/08/2020	26/08/2020	21	50	50	2500	69.0	27.60	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	05/08/2020	02/09/2020	28	50	50	2500	77.4	30.96	29.24
2	05/08/2020	02/09/2020	28	50	50	2500	71.2	28.48	
3	05/08/2020	02/09/2020	28	50	50	2500	72.2	28.88	
4	05/08/2020	02/09/2020	28	50	50	2500	76.2	30.48	
5	05/08/2020	02/09/2020	28	50	50	2500	71.3	28.52	
6	05/08/2020	02/09/2020	28	50	50	2500	71.1	28.44	
7	05/08/2020	02/09/2020	28	50	50	2500	73.0	29.2	
8	05/08/2020	02/09/2020	28	50	50	2500	71.8	28.72	
9	05/08/2020	02/09/2020	28	50	50	2500	73.8	29.52	

Anexo 11. Ensayo a Compresión a largo plazo, probetas tipo HE

Ubicación	“LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN” ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba					Probetas	Tipo HE.		
Dosificación N° 1 Cemento Tipo HE Cemen:1 Arena:1.25 Material Piroclástico: 0.25 Agua:0.42									
Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	07/08/2020	14/08/2020	7	50	50	2500	63.5	25.40	24.94
2	07/08/2020	14/08/2020	7	50	50	2500	62.1	24.84	
3	07/08/2020	14/08/2020	7	50	50	2500	63.9	25.56	
4	07/08/2020	14/08/2020	7	50	50	2500	65.8	26.32	
5	07/08/2020	14/08/2020	7	50	50	2500	64.1	25.64	
6	07/08/2020	14/08/2020	7	50	50	2500	63.5	25.40	
7	07/08/2020	14/08/2020	7	50	50	2500	60.4	24.16	
8	07/08/2020	14/08/2020	7	50	50	2500	58.2	23.28	
9	07/08/2020	14/08/2020	7	50	50	2500	59.6	23.84	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	07/08/2020	21/08/2020	14	50	50	2500	83.5	33.40	34.85
2	07/08/2020	21/08/2020	14	50	50	2500	87.1	34.84	
3	07/08/2020	21/08/2020	14	50	50	2500	88.9	35.56	
4	07/08/2020	21/08/2020	14	50	50	2500	90.8	36.32	
5	07/08/2020	21/08/2020	14	50	50	2500	85.1	34.04	
6	07/08/2020	21/08/2020	14	50	50	2500	87.5	35.00	
7	07/08/2020	21/08/2020	14	50	50	2500	84.4	33.76	
8	07/08/2020	21/08/2020	14	50	50	2500	89.2	35.68	
9	07/08/2020	21/08/2020	14	50	50	2500	87.6	35.04	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	07/08/2020	28/08/2020	21	50	50	2500	98.5	39.40	39.36
2	07/08/2020	28/08/2020	21	50	50	2500	100.1	40.04	
3	07/08/2020	28/08/2020	21	50	50	2500	98.9	39.56	
4	07/08/2020	28/08/2020	21	50	50	2500	101.0	40.40	
5	07/08/2020	28/08/2020	21	50	50	2500	99.2	39.68	
6	07/08/2020	28/08/2020	21	50	50	2500	96.5	38.60	
7	07/08/2020	28/08/2020	21	50	50	2500	94.4	37.76	
8	07/08/2020	28/08/2020	21	50	50	2500	97.7	39.08	
9	07/08/2020	28/08/2020	21	50	50	2500	99.3	39.72	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	07/08/2020	04/09/2020	28	50	50	2500	105.7	42.28	42.48
2	07/08/2020	04/09/2020	28	50	50	2500	104.7	41.88	
3	07/08/2020	04/09/2020	28	50	50	2500	100.3	40.12	
4	07/08/2020	04/09/2020	28	50	50	2500	108.0	43.20	
5	07/08/2020	04/09/2020	28	50	50	2500	107.6	43.04	
6	07/08/2020	04/09/2020	28	50	50	2500	106.4	42.56	
7	07/08/2020	04/09/2020	28	50	50	2500	105.1	42.04	
8	07/08/2020	04/09/2020	28	50	50	2500	108.1	43.24	
9	07/08/2020	04/09/2020	28	50	50	2500	110.0	44.00	

Anexo 12. Ensayo a Compresión a largo plazo, probetas tipo I SP

Ubicación		“LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN” ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba				Probetas		Tipo I SP.	
Dosificación N° 1 Cemento Tipo I Cemen:1 Arena:1.25 Agua:0.42									
Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	14/09/2020	21/09/2020	7	50	50	2500	25.0	10.00	10.69
2	14/09/2020	21/09/2020	7	50	50	2500	27.3	10.92	
3	14/09/2020	21/09/2020	7	50	50	2500	25.4	10.16	
4	14/09/2020	21/09/2020	7	50	50	2500	24.4	9.76	
5	14/09/2020	21/09/2020	7	50	50	2500	29.1	11.64	
6	14/09/2020	21/09/2020	7	50	50	2500	28.3	11.32	
7	14/09/2020	21/09/2020	7	50	50	2500	28.7	11.48	
8	14/09/2020	21/09/2020	7	50	50	2500	26.0	10.40	
9	14/09/2020	21/09/2020	7	50	50	2500	26.3	10.52	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	14/09/2020	28/09/2020	14	50	50	2500	40.5	16.20	15.40
2	14/09/2020	28/09/2020	14	50	50	2500	41.3	16.52	
3	14/09/2020	28/09/2020	14	50	50	2500	36.5	14.60	
4	14/09/2020	28/09/2020	14	50	50	2500	37.0	14.80	
5	14/09/2020	28/09/2020	14	50	50	2500	39.9	15.96	
6	14/09/2020	28/09/2020	14	50	50	2500	37.6	15.04	
7	14/09/2020	28/09/2020	14	50	50	2500	35.7	14.28	
8	14/09/2020	28/09/2020	14	50	50	2500	39.6	15.84	
9	14/09/2020	28/09/2020	14	50	50	2500	38.4	15.36	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	14/09/2020	05/10/2020	21	50	50	2500	46.9	18.76	17.93
2	14/09/2020	05/10/2020	21	50	50	2500	45.5	18.20	
3	14/09/2020	05/10/2020	21	50	50	2500	42.7	17.08	
4	14/09/2020	05/10/2020	21	50	50	2500	44.7	17.88	
5	14/09/2020	05/10/2020	21	50	50	2500	43.6	17.44	
6	14/09/2020	05/10/2020	21	50	50	2500	46.5	18.60	
7	14/09/2020	05/10/2020	21	50	50	2500	43.8	17.52	
8	14/09/2020	05/10/2020	21	50	50	2500	45.0	18.00	
9	14/09/2020	05/10/2020	21	50	50	2500	44.8	17.92	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	14/09/2020	12/10/2020	28	50	50	2500	56.1	22.44	20.89
2	14/09/2020	12/10/2020	28	50	50	2500	52.1	20.84	
3	14/09/2020	12/10/2020	28	50	50	2500	51.4	20.56	
4	14/09/2020	12/10/2020	28	50	50	2500	50.2	20.08	
5	14/09/2020	12/10/2020	28	50	50	2500	51.1	20.44	
6	14/09/2020	12/10/2020	28	50	50	2500	51.4	20.56	
7	14/09/2020	12/10/2020	28	50	50	2500	51.7	20.68	
8	14/09/2020	12/10/2020	28	50	50	2500	53.3	21.32	
9	14/09/2020	12/10/2020	28	50	50	2500	52.7	21.08	

Anexo 13. Ensayo a Compresión a largo plazo, probetas tipo HE SP

Ubicación		“LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN” ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba				Probetas		Tipo HE SP.	
Dosificación N° 1 Cemento Tipo HE Cemen:1 Arena:1.25 Agua:0.42									
Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	16/09/2020	23/09/2020	7	50	50	2500	45.6	18.24	19.41
2	16/09/2020	23/09/2020	7	50	50	2500	50.2	20.08	
3	16/09/2020	23/09/2020	7	50	50	2500	45.4	18.16	
4	16/09/2020	23/09/2020	7	50	50	2500	53.7	21.48	
5	16/09/2020	23/09/2020	7	50	50	2500	50.2	20.08	
6	16/09/2020	23/09/2020	7	50	50	2500	47.9	19.16	
7	16/09/2020	23/09/2020	7	50	50	2500	47.1	18.84	
8	16/09/2020	23/09/2020	7	50	50	2500	48.7	19.48	
9	16/09/2020	23/09/2020	7	50	50	2500	47.9	19.16	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	16/09/2020	30/09/2020	14	50	50	2500	70.6	28.24	28.37
2	16/09/2020	30/09/2020	14	50	50	2500	69.4	27.76	
3	16/09/2020	30/09/2020	14	50	50	2500	71.2	28.48	
4	16/09/2020	30/09/2020	14	50	50	2500	70.5	28.20	
5	16/09/2020	30/09/2020	14	50	50	2500	71.9	28.76	
6	16/09/2020	30/09/2020	14	50	50	2500	74.9	29.96	
7	16/09/2020	30/09/2020	14	50	50	2500	69.8	27.92	
8	16/09/2020	30/09/2020	14	50	50	2500	70.6	28.24	
9	16/09/2020	30/09/2020	14	50	50	2500	69.4	27.76	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	16/09/2020	07/10/2020	21	50	50	2500	74.1	29.64	30.48
2	16/09/2020	07/10/2020	21	50	50	2500	76.2	30.48	
3	16/09/2020	07/10/2020	21	50	50	2500	74.8	29.92	
4	16/09/2020	07/10/2020	21	50	50	2500	76.8	30.72	
5	16/09/2020	07/10/2020	21	50	50	2500	77.1	30.84	
6	16/09/2020	07/10/2020	21	50	50	2500	78.2	31.28	
7	16/09/2020	07/10/2020	21	50	50	2500	76.7	30.68	
8	16/09/2020	07/10/2020	21	50	50	2500	76.7	30.68	
9	16/09/2020	07/10/2020	21	50	50	2500	75.3	30.12	

Probeta	Elaboración	Ensayo	Edad (Días)	Base (mm)	Altura (mm)	Área (mm²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio
1	16/09/2020	14/10/2020	28	50	50	2500	83.6	33.44	32.40
2	16/09/2020	14/10/2020	28	50	50	2500	80.7	32.28	
3	16/09/2020	14/10/2020	28	50	50	2500	82.1	32.84	
4	16/09/2020	14/10/2020	28	50	50	2500	79.9	31.96	
5	16/09/2020	14/10/2020	28	50	50	2500	78.4	31.36	
6	16/09/2020	14/10/2020	28	50	50	2500	80.1	32.04	
7	16/09/2020	14/10/2020	28	50	50	2500	80.3	32.12	
8	16/09/2020	14/10/2020	28	50	50	2500	81.9	32.76	
9	16/09/2020	14/10/2020	28	50	50	2500	82.0	32.80	

Anexo 14. Determinación del tiempo de fraguado

I		HE		ISP		HE SP	
Hora de elaboración	9:00	Hora de elaboración	8:30	Hora de elaboración	9:10	Hora de elaboración	8:40
Tiempo Inicial (horas)	Penetración de la Aguja de Vicat (mm)	Tiempo Inicial (horas)	Penetración de la Aguja de Vicat (mm)	Tiempo Inicial (horas)	Penetración de la Aguja de Vicat (mm)	Tiempo Inicial (horas)	Penetración de la Aguja de Vicat (mm)
12:45	25	11:15	25	12:25	25	12:10	25
13:00	24	11:30	22	12:40	23	12:25	22
13:15	22	11:45	20	12:55	19	12:40	20
13:30	20	12:00	18	13:10	18	12:55	16
13:45	17	12:15	16	13:25	16	13:10	15
14:00	15	12:30	15	13:40	15	13:25	13
14:15	14	12:45	14	13:55	14	13:40	11
14:30	12	13:00	12	14:10	11	13:55	10
14:45	11	13:15	10	14:25	8	14:10	9
15:00	9	13:30	9	14:40	6	14:25	7
15:15	7	13:45	6	14:55	5	14:40	3
15:30	7	14:00	4	15:10	3	14:55	0
15:45	5	14:15	0	15:25	0	TIEMPO FINAL	2:45
16:00	2	TIEMPO FINAL	3:00	TIEMPO FINAL	3:00		
16:15	0						
TIEMPO FINAL	3:30						

Anexo 15. Evidencia fotográfica

<p>Foto_1: Toma de muestra de arena lavada perteneciente a la cantera “Nieto” que se encuentra ubicada en la parroquia Pishilata a 3.5 km de la nueva Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ambato con coordenadas UTM (770014.3; 9861697.8).</p>	
<p>Foto_2: Toma de muestra del material piroclástico del volcán Tungurahua, vía antigua Penipe- Baños en la que se recolecto en una quebrada ubicada en las coordenadas UTM (776892.9; 9836228.5).</p>	
<p>Foto_3: Preparación del material piroclástico (reducción de tamaño mediante un proceso de molido artesanal).</p>	
<p>Foto_4: Ensayo para determinar el contenido de materia orgánica de la arena lavada.</p>	

Foto_5: Ensayo para determinar el contenido de materia orgánica del material piroclástico.



Foto_6: Toma de datos de la muestra a ser ensayada.



Foto_7: Orden de los tamices que se ocupara para realizar el ensayo.



Foto_8: Tamizado de la arena lavada, para su estudio previo a la elaboración de mortero.



Foto_9: Tamizado del material piroclástico, para su estudio previo a la elaboración de mortero.



Foto_10: Toma de los pesos de las muestras con recipiente de la arena lavada y del material piroclástico para realizar el ensayo de contenido de humedad.



Foto_11: Secado de muestras en horno a 110°C.



Foto_12: Secado de las muestras de material piroclástico.



Foto_13: Densidad y Porcentaje de Absorción de la arena lavada.



Foto_14: Encofrado de madera para las probetas en forma de cubos para ensayos a compresión y encofrados para el ensayo de conductividad térmica, sumergido en aceite quemado.



Foto_15: Materiales para la elaboración de los diferentes tipos de morteros estudiados.



Foto_16: Mezcla de todos los materiales para realizar los morteros planteados a ser estudiados.



Foto_17: Colocación y enraizado del mortero en los encofrados el ensayo a compresión.



Foto_18: Colocación y enraizado del mortero en los encofrados el ensayo de conductividad térmica.



Foto_19: Desencofrado de las probetas para el ensayo a compresión a las 24 horas.



Foto_20: Desencofrado de las probetas para el ensayo de conductividad térmica a las 24 horas.



<p>Foto_21: Probetas para realizar el ensayo a compresión sumergidas en agua para su curado.</p>	
<p>Foto_22: Probetas para realizar el de conductividad térmica sumergidas en agua para su curado.</p>	
<p>Foto_23: Preparación y medición de las probetas para la el ensayo a compresión.</p>	
<p>Foto_24: Ensayo de cubo de mortero a compresión.</p>	

Foto_25: Resistencia a compresión de una de las probetas Tipo HE a los 7 días (Largo plazo).



Foto_26: Resistencia a compresión de una de las probetas Tipo HE a los 14 días (Largo plazo).



Foto_27: Resistencia a compresión de una de las probetas Tipo HE a los 21 días (Largo plazo).



Foto_28: Resistencia a compresión de una de las probetas Tipo HE a los 28 días (Largo plazo).



Foto_29: Ensayo de compresión a largo plazo en el “LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN” ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba.



Foto_30: Probetas realizadas para el ensayo a compresión a corto plazo.



Foto_31: Ensayo de resistencia a compresión de una de las probetas Tipo HE a las 6 horas (Corto plazo).



Foto_32: Ensayo de resistencia a compresión de una de las probetas Tipo HE a las 9 horas (Corto plazo).



Foto_33: Ensayo de resistencia a compresión de una de las probetas Tipo HE a las 12 horas (Corto plazo).



Foto_34: Ensayo de compresión a corto plazo en el “LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN” ubicado en las calles Venezuela 1 y la Paz en el barrio Bellavista de la ciudad de Riobamba.



Foto_35: Mesa de flujo.



Foto_36: Compactación de la muestra de mortero según la norma (20 veces).



Foto_37: Una vez que se encendió la maquina con los 25 golpes se procedió a medir los diámetros.



Foto_38: Temperatura y humedad relativa del laboratorio el momento de realizar el ensayo de mesa de flujo y tiempo de fraguado.



Foto_39: Determinación de la consistencia normal (método de Vicat); tiempo de fraguado.



Foto_40: Probetas Tipo HE para el ensayo de conductividad térmica.



Foto_41: Colocación de las probetas en el equipo para realizar el ensayo de conductividad térmica.



Foto_42: Ensayo de conductividad termina en el laboratorio de Conversión de la Energía perteneciente al departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.



Anexo 16. Certificado de haber realizado los ensayos de conductividad térmica en la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE.



CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

Laboratorio de Conversión de la Energía

Por medio de la presente debo, CERTIFICAR que, en el laboratorio de Conversión de la Energía, perteneciente al DCEM (Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica), de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se realizaron los ensayos de conductividad Térmica del Proyecto denominado “Conductividad térmica de un mortero, arena más flujo piroclástico de la provincia de Tungurahua y cemento Portland” propuesto por el Sr. Gilbert Patricio Orozco Coronel con C.I 060378722-7, para la obtención del título de Ingeniero Civil.

Atentamente



Roberto Buenaño
Analista de Laboratorio

Anexos: Se anexan evidencia de datos y fotos de los ensayos