

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

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

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto

**DISEÑO DE UN MORTERO CON ARENA DE RÍO DE LA PROVINCIA DE PASTAZA,
UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I Y HE INCLUIDO FLUJO
PIROCLÁSTICO PARA EL USO DE IMPRESORAS 3D**

Autor:

Karina Mabel Vallejo Amaguaya

Tutor:

Ing. Marco Javier Palacios Carvajal

Riobamba – Ecuador

2021

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:

“DISEÑO DE UN MORTERO CON ARENA DE RÍO DE LA PROVINCIA DE PASTAZA, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I Y HE INCLUIDO FLUJO PIROCLÁSTICO PARA EL USO DE IMPRESORAS 3D” presentado por Karina Mabel Vallejo Amaguaya y dirigida por: Ing. Javier Palacios. 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:

Javier Palacios Mgs.
Tutor del Proyecto



Firmado electrónicamente por:
**MARCO JAVIER
PALACIOS
CARVAJAL**

Firma

Víctor García PhD.
Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**VICTOR
JULIO**

Firma

Alexis Andrade Mgs.
Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**ALEXIS IVAN
ANDRADE**

Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Marco Javier Palacios Carvajal, en calidad de Tutor de la Tesis con el tema: **“DISEÑO DE UN MORTERO CON ARENA DE RÍO DE LA PROVINCIA DE PASTAZA, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I Y HE INCLUIDO FLUJO PIROCLÁSTICO PARA EL USO DE IMPRESORAS 3D”**, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, por lo cual autorizo a Karina Mabel Vallejo Amaguaya, para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,

A handwritten signature in purple ink, consisting of a large, stylized initial 'M' followed by several horizontal strokes and a wavy line.

Ing. Marco Javier Palacios Carvajal

TUTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por siempre estar conmigo, ser mi guía para alcanzar este logro tan anhelado en mi vida profesional y por bendecirme con la familia que tengo.

A mi madre Rosa y a don Ángel por siempre confiar en mí, por su apoyo moral y económico, a mi padre Ramiro y a María por el ejemplo de constancia y superación, a mis hermanas Marjorie, Gabriela y Nicole, a mis sobrinas y a todas las personas que han formado parte y me han apoyado en mi vida estudiantil. Me encuentro infinitamente agradecida por el apoyo y la confianza depositada en mí, han sido el pilar fundamental para lograr este objetivo en mi vida universitaria.

A mi tutor y docentes miembros del tribunal, que me brindaron sus conocimientos durante la carrera y el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación con todo el amor y cariño a mis padres, al haberse convertido en mi ejemplo de vida, siempre apoyándome incondicionalmente para cumplir este objetivo.

A mis hermanas Marjorie y Gabriela que me brindaron su apoyo incondicional en cada etapa para culminar este logro. A mis hermanos Danny, Sebastián y Ariel para que siempre luchen por sus sueños.

A mis sobrinas Doménica, Cristina, Alejandra y a mi sobrino Matías quienes han sido como mis hijas/os, para que nunca se rindan hasta cumplir sus sueños y llegar a sus metas.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE TABLAS | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | X |
| ÍNDICE DE ANEXOS | XI |
| ABSTRACT | XIII |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS | 4 |
| Objetivo General | 4 |
| Objetivos Específicos..... | 4 |
| CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 1.1. Estado del arte | 5 |
| 1.2. Cemento | 9 |
| 1.3. Árido fino | 11 |
| 1.4. Sika Plastocrete 161 HE..... | 11 |
| 1.5. Solución de Hidróxido de sodio..... | 11 |
| 1.6. Mortero..... | 11 |
| 1.7. Impresión 3D..... | 12 |
| 1.8. Morteros para impresión 3D | 12 |
| CAPITULO II. DISEÑO METODOLÓGICO | 14 |
| 2.1. Planteamiento del problema | 14 |
| 2.2. Pregunta de investigación..... | 14 |
| 2.3. Definición y Operacionalización de variables | 15 |
| 2.4. Muestra..... | 16 |
| 2.5. Métodos, Procedimientos y Reactivo..... | 16 |
| 2.6. Dosificación base de muestras | 23 |
| 2.7. Impresión 3D en el prototipo de la UNACH..... | 24 |
| CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS | 31 |
| 3.1. Contenido de materia orgánica..... | 31 |
| 3.2. Granulometría del árido fino y del flujo piroclástico..... | 31 |
| 3.3. Análisis contenido de humedad..... | 36 |
| 3.4. Densidad y Porcentaje de Absorción del agregado fino | 38 |
| 3.5. Resumen de resultados agregado fino..... | 39 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.6. | Análisis Químico del árido fino | 41 |
| 3.7. | Resultados del ensayo a compresión a corto plazo | 43 |
| 3.8. | Resultados del ensayo a compresión a largo plazo | 47 |
| 3.9. | Comparación del ensayo a compresión a largo plazo de las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Tungurahua y Pastaza (Mina Santa Isabel) | 51 |
| 3.1. | Ensayo de consistencia y trabajabilidad..... | 54 |
| 3.2. | Ensayo de Fluidez | 55 |
| 3.3. | Determinación del inicio y final de fraguado..... | 56 |
| 3.4. | Impresión 3D..... | 57 |
| 3.4.1. | Condiciones externas de los ensayos | 57 |
| 3.4.2. | Capacidad de bombeo | 60 |
| 3.4.3. | Estabilidad de los morteros..... | 60 |
| 3.4.4. | Tiempo trabajable de los morteros..... | 61 |
| 3.4.5. | Calidad de extrusión (Conformidad y Estabilidad Dimensional) | 63 |
| 3.4.6. | Constructibilidad..... | 68 |
| | CONCLUSIONES | 74 |
| | RECOMENDACIONES | 76 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 77 |
| | ANEXOS | 81 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------------|---|----|
| Tabla 1 | Características principales del Cemento Portland Tipo I..... | 10 |
| Tabla 2 | Características principales del Cemento Portland Tipo HE..... | 10 |
| Tabla 3 | Aditivo Sika Plastocrete 161 HE (Composición Química de sus Componentes)..... | 11 |
| Tabla 4 | Operacionalización de la Variable Dependiente (Resistencia a la Compresión)..... | 15 |
| Tabla 5 | Operacionalización de la Variable Independiente (Porcentaje de Flujo Piroclástico).... | 15 |
| Tabla 6 | Normas Utilizadas en el Análisis de los Resultados..... | 16 |
| Tabla 7 | Nomenclatura para 8 Tipos de Dosificaciones | 23 |
| Tabla 8 | Dosificación Utilizada para un Saco de Cemento Portland Tipo I | 24 |
| Tabla 9 | Dosificación Utilizada para un Saco de Cemento Portland Tipo HE | 24 |
| Tabla 10 | Características del Termohigrómetro..... | 25 |
| Tabla 11 | Parámetros Preestablecidos para los Ensayos de Impresión 3D..... | 26 |
| Tabla 12 | Granulometría Árido Fino de la Mina Santa Isabel | 32 |
| Tabla 13 | Granulometría Árido Fino de la Mina Trópico de Capricornio | 33 |
| Tabla 14 | Granulometría del Flujo Piroclástico | 35 |
| Tabla 15 | Contenido de Humedad Árido Mina Santa Isabel | 36 |
| Tabla 16 | Contenido de Humedad Árido de la Mina Trópico de Capricornio..... | 36 |
| Tabla 17 | Densidad y Porcentaje de Absorción Mina Santa Isabel | 38 |
| Tabla 18 | Densidad y Porcentaje de Absorción Mina Trópico de Capricornio | 38 |
| Tabla 19 | Resumen de Ensayos de las Propiedades Físicas Mina Santa Isabel..... | 40 |
| Tabla 20 | Resumen de Ensayos de las Propiedades Físicas Mina Trópico de Capricornio..... | 40 |
| Tabla 21 | Análisis Estadístico de los Resultados del Ensayo a Compresión a Corto Plazo Mina SI | 43 |
| Tabla 22 | Análisis Estadístico de los Resultados del Ensayo a Compresión a Corto Plazo Mina TC | 45 |
| Tabla 23 | Análisis Estadístico de los Resultados del Ensayo a Compresión a Largo Plazo Mina SI | 47 |
| Tabla 24 | Análisis Estadístico de los Resultados del Ensayo a Compresión a Largo Plazo Mina TC | 49 |
| Tabla 25 | Consistencia y Trabajabilidad Mina Santa Isabel..... | 54 |
| Tabla 26 | Consistencia y Trabajabilidad Mina Trópico de Capricornio..... | 54 |

| | |
|--|----|
| Tabla 27 Fluidez del Mortero Recomendada para algunos Tipos de Estructuras..... | 55 |
| Tabla 28 Fluidez Alcanzada en cada Dosificación Diseñada | 55 |
| Tabla 29 Tiempo de Fraguado de los Morteros Método de Vicat | 56 |
| Tabla 30 Análisis Estadístico del Ensayo de Temperatura y Humedad en la Impresión 3D de los Morteros..... | 57 |
| Tabla 31 Estabilidad de los morteros..... | 61 |
| Tabla 32 Tiempo Trabajable de los Morteros | 62 |
| Tabla 33 Estadística de la Calidad de Extrusión de los Morteros Figura Cuadrado..... | 65 |
| Tabla 34 Estadística de la Calidad de Extrusión de los Morteros Figura Triangular | 67 |
| Tabla 35 Tiempo Inicial y Final de Fraguado de los Morteros Imprimibles | 68 |
| Tabla 36 Análisis Estadístico para Deformaciones de Hiladas Modelo Digital Cuadrado | 69 |
| Tabla 37 Análisis Estadístico para Deformaciones de Hiladas Modelo Digital Triángulo | 71 |
| Tabla 38 Estadística de Deformación Total de la Primera Hilada para los Modelos Digitales Propuestos..... | 73 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 Fases del Procedimiento seguido en la Investigación | 17 |
| Figura 2 Modelos Digitales para Impresión 3D..... | 26 |
| Figura 3 Esquema seguido en la Impresión 3D para el Ensayo de Extrudabilidad | 27 |
| Figura 4 Esquema para el Ensayo de Calidad de Extrusión, Vista en Planta y Frontal | 29 |
| Figura 5 Determinación de la Materia Orgánica del Árido de las Minas TC y SI | 31 |
| Figura 6 Curva Granulométrica Mina Santa Isabel | 32 |
| Figura 7 Curva Granulométrica Mina Trópico de Capricornio | 33 |
| Figura 8 Comparación Módulo de Finura con Estudios Anteriores | 34 |
| Figura 9 Curva Granulométrica del Flujo Piroclástico | 35 |
| Figura 10 Comparación del Contenido de Humedad con estudios anteriores | 37 |
| Figura 11 Comparación del porcentaje de Absorción Minas SI y TC con estudios anteriores ... | 39 |
| Figura 12 Análisis Químico del Árido Fino Mina Trópico de Capricornio | 41 |
| Figura 13 Análisis Químico del Árido Fino Mina Santa Isabel | 42 |
| Figura 14 Tiempo de Fraguado vs Resistencia a Corto Plazo. Mina Santa Isabel | 44 |
| Figura 15 Tiempo de Fraguado vs Resistencia a Corto Plazo Mina Trópico de Capricornio | 46 |
| Figura 16 Tiempo de Fraguado vs Resistencia a Largo Plazo Mina Santa Isabel | 48 |
| Figura 17 Tiempo de Fraguado vs Resistencia a Largo Plazo Mina Trópico de Capricornio..... | 50 |
| Figura 18 Resistencia de Morteros de las 4 Provincias a los 7 Días Mina Santa Isabel..... | 52 |
| Figura 19 Resistencia de Morteros de las 4 Provincias a los 14 Días Mina Santa Isabel..... | 52 |
| Figura 20 Resistencia de Morteros de las 4 Provincias a los 21 Días Mina Santa Isabel..... | 53 |
| Figura 21 Resistencia de morteros de las 4 provincias a los 28 días Mina Santa Isabel | 53 |
| Figura 22 Temperatura Ambiente/Variación Durante la Impresión | 58 |
| Figura 23 Humedad Ambiente/ Variación Durante la Impresión | 59 |
| Figura 24 Calidad Superficial de los Morteros Impresos | 64 |
| Figura 25 Estabilidad de SI+TI vs Tiempo..... | 99 |
| Figura 26 Estabilidad de TC+TI vs Tiempo | 99 |
| Figura 27 Estabilidad de TC+HE vs Tiempo | 99 |
| Figura 28 Estabilidad de TC+FP+HE vs Tiempo..... | 100 |
| Figura 29 Estabilidad de SI+FP+TI vs Tiempo | 100 |
| Figura 30 Estabilidad de SI+HE vs Tiempo | 100 |

| | |
|--|-----|
| Figura 31 Estabilidad de SI+FP+HE vs Tiempo | 101 |
| Figura 32 Estabilidad de TC+FP+TI vs Tiempo | 101 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1. Ensayo de Granulometría del flujo piroclástico..... | 81 |
| Anexo 2. Ensayo de Granulometría Mina Santa Isabel | 82 |
| Anexo 3. Ensayo de Granulometría Mina Trópico de Capricornio..... | 83 |
| Anexo 4. Ensayo de Contenido de Humedad Mina Santa Isabel | 84 |
| Anexo 5. Ensayo de Contenido de Humedad Mina Trópico de Capricornio | 85 |
| Anexo 6. Ensayo de Densidad y Porcentaje de Absorción Mina Santa Isabel..... | 85 |
| Anexo 7. Ensayo de Densidad y Porcentaje de Absorción Mina Trópico de Capricornio..... | 86 |
| Anexo 8. Ensayo de Trabajabilidad y Consistencia Mina Santa Isabel | 86 |
| Anexo 9. Ensayo de Trabajabilidad y Consistencia Mina Trópico de Capricornio | 87 |
| Anexo 10. Ensayo de Tiempo de Fraguado Mina Santa Isabel | 88 |
| Anexo 11. Ensayo de Tiempo de Fraguado Mina Trópico de Capricornio..... | 89 |
| Anexo 12. Ensayo de fluidez Mina Santa Isabel | 90 |
| Anexo 13. Ensayo de fluidez Mina Trópico de Capricornio | 90 |
| Anexo 14. Ensayo de compresión a corto plazo Mina Santa Isabel | 91 |
| Anexo 15. Ensayo de compresión a corto plazo Mina Trópico de Capricornio..... | 93 |
| Anexo 16. Ensayo de compresión a largo plazo Mina Santa Isabel | 95 |
| Anexo 17. Ensayo de compresión a largo plazo Mina Trópico de Capricornio..... | 97 |
| Anexo 18. Línea de tiempo al minuto de elaboradas los morteros para Impresión 3D..... | 99 |
| Anexo 19. Tiempo de reposo dentro del inyector de los morteros para Impresión 3D..... | 100 |
| Anexo 20. Ensayo de temperatura y humedad | 102 |
| Anexo 21. Ensayos de tiempo trabajable..... | 103 |
| Anexo 22. Ensayos de calidad de extrusión | 119 |
| Anexo 23. Ensayos de deformación | 135 |
| Anexo 24. Ensayos de tiempo de fraguado | 143 |
| Anexo 25. Calidad superficial de las muestras impresas..... | 159 |
| Anexo 26. Evidencia fotográfica de la recolección del material | 160 |

RESUMEN

El auge de la impresión 3D, tecnología novedosa que permite ahorros considerables, es utilizado en la construcción, donde la impresión requiere materiales con características específicas, equipos y procedimientos que faciliten su uso en este sector. Ecuador no aplica esta tecnología en su totalidad, la mayor dificultad está vinculada de forma directa a la necesidad de un material local que permita el diseño de morteros con las características adecuadas para adaptarse a estos equipos. El objetivo de este estudio fue elaborar morteros con arena de río de la provincia de Pastaza, cemento portland tipo I y HE con adición de flujo piroclástico, para su aplicación en impresoras 3D. Para lo cual, se elaboraron ocho mezclas de mortero con diferentes dosificaciones empleando dos tipos de árido fino, cemento y flujo piroclástico, tanto el árido como los morteros diseñados fueron sometidos a ensayos de laboratorio para comprobar sus características con las normas respectivas, así como su comparación con estudios anteriores e imprimiendo en el prototipo de impresora 3D. Los resultados demostraron que los morteros diseñados con el árido estudiado más cemento portland tipo HE sin flujo piroclástico, presentaron mejores características tanto en el diseño de morteros como en la impresión 3D. El diseño de estos morteros servirá para la impresión 3D alcanzando grandes resistencias a la compresión, reduciendo el tiempo de fraguado y presentando buena trabajabilidad, fluidez, extrudabilidad y calidad de impresión, sugiere realizar ensayos en una escala real para optimizar los morteros imprimibles.

Palabras claves: Impresión 3D, imprimible, materiales locales, resistencia compresión, trabajabilidad

ABSTRACT

The boom of 3D printing, a novel technology that allows considerable savings, is used in construction, where printing requires materials with specific characteristics, equipment and procedures that provide its use in this industry. Ecuador does not apply this technology completely; the greatest difficulty is directly involved in the need for a local material that allows the design of mortars with the appropriate characteristics to adapt to this equipment. The aim of this study was to develop mortars with river sand from the province of Pastaza, portland cement type I and HE with the addition of pyroclastic flow, for its application in 3D printers. Therefore, eight mortar mixtures were prepared with different dosages using two types of dry aggregate, cement and pyroclastic flow. Both the aggregate and the designed mortars were subjected to laboratory tests to check their characteristics with the respective standards, as well as their comparison with previous studies and printing on the 3D printer prototype. The results showed that the mortars designed with the studied aggregate plus portland cement type HE without pyroclastic flow, presented better characteristics both in mortar design and 3D printing. The design of these mortars will be useful for 3D printing reaching high compressive strengths, reducing the setting time and presenting good workability, flowability, extrudability and printing quality, suggests performing tests on a real scale to optimize the printable mortars.

KEYWORDS: 3D printing, printable, local materials, compressive strength, workability.

Reviewed by:



Firmado electrónicamente por:
ENRIQUE JESUS
GUAMBO YEROVI

Msc. ENRIQUE GUAMBO YEROVI.

English Professor

CI: 0601802424

INTRODUCCIÓN

En el campo de la construcción la técnica de impresión 3D comienza a cobrar importancia gracias a los avances tecnológicos actuales, al estudio y uso de nuevos materiales y del diseño de dosificaciones que permiten incrementar las posibilidades de su aplicación, además optimizar los recursos y el tiempo, bastante importantes a la hora de entregar un proyecto.

La historia de la impresión 3D comienza en 1984, cuando Charles W. Hull inventa un método de manufactura llamado estereolitografía. Con este método consiguió fabricar objetos sólidos imprimiendo capas sucesivas usando una resina que endurece al exponerse a la luz ultravioleta (Martínez, 2019, p.6). Actualmente el desarrollo de la tecnología de la impresión 3D ha aportado nuevas técnicas entre ellas la fabricación aditiva, resulta óptima para crear objetos que se adaptan a cualquier tipo de forma.

Según Ramírez (2021) la impresión 3D tiene muchas ventajas sobre los métodos y técnicas tradicionales. Los factores principales son una reducción del 30-60% en los residuos producidos, una reducción del 50-80% en los costos laborales, una reducción del 50-70% en el tiempo de producción, un método viable que elimina la necesidad de moldes y encofrados, por lo que se convierte en una tecnología viable en términos económicos y sostenibles.

La fabricación digital se puede realizar mediante dos sistemas, sustractivos y aditivos. En los sustractivos un bloque de material es tallado hasta obtener la forma deseada mediante máquinas de control numéricos, en cambio los aditivos son los que incorporan material en su fabricación (Herrera, 2017, p.3).

Grandes empresas como: Apis Cor, ICON, Be More 3D, WASP, BatiPrint, Winsun, XtreeE CyBe Construction, Mighty Buildings, entre otras incursionan en el mundo de la impresión 3D con diferentes tipos de tecnologías, pero con el mismo objetivo, revolucionar esta

técnica al elaborar elementos constructivos ya sea in situ o por ensamblaje de piezas en el menor tiempo posible y optimizando los recursos. En esta investigación se utiliza el sistema aditivo mediante la técnica de extrusión.

Los materiales utilizados en la impresión 3D deben ser compatibles con el prototipo de impresora empleada, autores como Bermúdez y Riqueme (2020) aseguran que uno de los principales retos a los que se enfrenta esta técnica es el de obtener la mezcla apropiada para la impresión 3D, debido a que esta debe poseer unas características particulares de resistencia, consistencia, fluidez, estabilidad y reología para tener un buen comportamiento a la hora de la impresión. Otros parámetros relacionados entre sí que se deben considerar para la impresión 3D, se detallan más adelante.

Los morteros generalmente se forman de cemento y otros componentes, las mismas pueden ser materiales naturales (arena, arcilla, grava), materiales reciclados, procesadas, entre otras. Sin embargo, lo que se conoce únicamente es la finalidad para la que fue pensada y las características generales por lo que se convierte casi imposible poderlos replicar, además se debe considerar que cada lugar cuenta con materiales de distintas propiedades (Ortega, 2019, p.1).

En Ecuador no se determina aún, el árido a utilizar en el diseño de morteros imprimibles, estos áridos deben presentar características óptimas, no sólo para formar parte del mortero diseñado, sino que su comportamiento en estos diseños debe ajustarse a los parámetros establecidos actualmente, que permiten el buen funcionamiento de las impresoras, algunos estudios, en el país, abordan esta línea de investigación, no obstante, al poco uso de la tecnología 3D que ya es utilizada en muchas partes del mundo donde se hace referencia a la revolución que

significa para el sector de la construcción por el ahorro significativo de recursos humanos, materiales, de tiempo y por ende en el costo y calidad del producto final.

Investigaciones anteriores, siguiendo esta línea de necesidad, realizaron estudios en diversas partes del país para evaluar las características de la arena de río de diferentes zonas del país y comprobar el cumplimiento de los parámetros exigidos para su utilización en morteros, así como la efectividad y calidad de los morteros diseñados cuando es simulada su utilización en las impresoras 3D.

El presente trabajo, dando continuidad a las investigaciones que lo anteceden en el tema, muestra los resultados de ensayos mecánicos a partir de los morteros diseñados con las dosificaciones propuestas por Mariño (2018) que incluye arena de río de la provincia Pastaza, añadido cemento portland tipo I y HE y flujo piroclástico del volcán Tungurahua que sustituye la cal hidráulica, para comprobar si cumplen con las propiedades necesarias para ser imprimibles en 3D, además permite completar una base de datos para análisis y decisiones posteriores.

Para la elección de la zona y el árido a estudiar se considera la necesidad de completar la línea de estudio de la zona 3 de Ecuador que lleva a la arena de río de las Minas “Trópico de Capricornio” y “Santa Isabel” ubicadas en la parroquia Madre Tierra en la provincia de Pastaza.

Los morteros diseñados se prueban en la impresora 3D para comprobar su capacidad de bombeo, capacidad para ser impreso, constructibilidad y resistencia, parámetros requeridos que determinan su calidad y facilidad de impresión.

Los resultados que se obtienen para las propiedades mecánicas, se comparan con los obtenidos en los estudios realizados en las provincias de Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi por Mariño (2018), Taco (2019) y Llerena (2020) respectivamente, mientras que los obtenidos en la Impresión 3D serán comparados con el estudio realizado por Ortega (2019).

OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar un mortero con arena de río de las Minas “Trópico de Capricornio” y “Santa Isabel” de la parroquia Madre Tierra, provincia de Pastaza, y cemento portland tipo I y HE adicionado flujo piroclástico, para su aplicación con impresoras 3D.

Objetivos Específicos

- Determinar propiedades físicas y químicas del agregado fino de la provincia de Pastaza.
- Determinar el comportamiento mecánico de los morteros realizados con agregado fino de la provincia de Pastaza.
- Evaluar la resistencia del mortero con cemento tipo I y HE a corto y largo plazo.
- Evaluar la influencia del material volcánico añadido a la dosificación en el comportamiento de los morteros.
- Comprobar la capacidad de bombeo, capacidad para ser impreso y constructibilidad de los morteros diseñados para la impresora 3D.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

La revisión de la teoría es la base y punto de partida de la investigación, permite conocer posiciones, doctrinas, resultados y otros aspectos referidos al tema de estudio por lo que es de gran importancia.

1.1. Estado del arte

La impresión 3D es un proceso de fabricación aditiva (AM) que se basa en unir materiales para hacer objetos a partir de datos de modelos 3D, generalmente capa sobre capa, este proceso es automatizado que requiere un trabajo en conjunto de software como CAD y de estudios de materiales que se adapten a estos equipos (Khalil et al., 2017, p.3). “El archivo es interpretado por la impresora convirtiendo los datos y geometrías digitales en instrucciones mecánicas que establecen el lugar donde se añadir el material” (Soriano, 2019, p.17).

En los últimos años es evidente el desarrollo que alcanza en la tecnología de Impresión 3D en las industrias aeronáutica, salud y en la construcción, en esta última se reduce la necesidad de trabajos de montaje, de mano de obra, la utilización de encofrado y los riesgos laborales, a la vez que agiliza el proceso de construcción.

Las impresoras 3D, tecnología de avanzada, surgieron hace aproximadamente 30 años, fue en 1984 cuando Chuck Hull inventa un sistema de estereolitografía (SLA); patentándolo y poniéndolo en práctica en su propia compañía, denominada 3D Systems Corporation, dedicada a realizar diseños prototipados (Llerena, 2020, p.5).

En 1998 se crean piezas cerámicas en 3D utilizando SLA, en 2001 utilizaron el método Contour Crafting para producir piezas de yeso adaptando un secado forzado por calentamiento. En el 2012 se imprimen elementos en hormigón.

Con el transcurso de los años las tecnologías FDM, SLS y SLA, dentro del campo de la construcción con respecto al Concept Modelling (Modelado de Conceptos) se realizan más investigaciones que permiten mejorar la aplicación de estas técnicas. Es imposible pensar que con el tipo de impresoras comercializadas se pueden construir casas o edificios tomando en cuenta sus dimensiones, sin embargo, esta necesidad es cubierta en los últimos años, ya que grandes empresas incursionan en el mundo de la impresión 3D creando impresoras que permiten construir una casa con todos los servicios básicos en 24 horas.

La impresión 3D combina elementos de la ciencia de los materiales con elementos de arquitectura, estructura, mecánica, ingeniería civil y software para imprimir grandes estructuras y componentes. Las tres formas más comunes de crear una impresión 3D son mediante la creación de contornos, este es un método de extrusión en húmedo que utiliza dos paletas para dar forma a los lados superior e inferior del material durante el proceso de extrusión. La extrusión húmeda permite la impresión tanto del perímetro de la estructura como del relleno sin necesidad de combinar paletas para la impresión de hormigón, acabados superficiales. La fusión de la capa de polvo es un método en seco que utiliza un adhesivo, láser o haz de electrones para fundir materiales en polvo. Estos métodos se utilizan a menudo para imprimir la estructura en sí o más tarde para imprimir moldes y formas tradicionales rellenos de hormigón (Jagoda et al., 2020).

La tecnología de impresión 3D más prometedora utilizada en la industria de la construcción se llama Contour Crafting (CC). Esta tecnología brinda una gran oportunidad para la automatización de la construcción, donde el material se vierte capa por capa y toda la casa se puede imprimir directamente en el sitio. La principal ventaja que presenta Khoshnevis es que el proceso lo realizan principalmente máquinas. Es más seguro, utiliza los materiales adecuados, tiene excelentes parámetros de impresión y ahorra costos y tiempo (Hoffmann et al., 2020).

Para lograr resultados positivos en la utilización de impresoras 3D se requiere de un árido fino que al incorporar al mortero muestre el cumplimiento de las características requeridas para ser imprimibles.

Las diferentes definiciones de lo que es un mortero coinciden en que se trata de una mezcla que incluye árido fino, cemento portland u otro tipo de cemento hidráulico y agua, que puede o no llevar aditivos. Estos áridos deben cumplir con varias características que se enuncian en las normas ecuatorianas (NEC 2015). La elaboración del mortero generalmente se inicia mezclando el cemento, el árido fino a utilizar y el aditivo (si se utiliza) buscando la integración de estos materiales para luego incorporar el agua necesaria, comúnmente se emplean máquinas para aglutinar los materiales y lograr un resultado homogéneo, y en este caso una mezcla trabajable (Hager et al., 2016).

En estudios realizados por varios investigadores, para la elección de morteros sostenibles se opta por morteros de geopolímeros y morteros de cemento con bajo contenido en Clinker.

Según (Yoris, 2019) los morteros de geopolímeros se justifican considerando que hacen uso de desechos o subproductos industriales, que contienen aluminosilicatos para ser usados como precursor, los cuales, al ser combinados con una solución alcalina, disuelven los óxidos de aluminio y de sílice, y geopolimerizan.

Malaeb et al., (2015) imprimió una pared con una mezcla acelerada, para ello utilizó una combinación de retardadores y aceleradores agregados en diferentes etapas para extruir el mortero desde una boquilla de 2cm de diámetro obteniendo una resistencia a la compresión de 42 MPa a los 28 días.

En 2018 la empresa Be More 3D construye la primera vivienda con una impresora 3D de tecnología FDM, esta construcción de 24 metros cuadrados, se imprime con hormigón in situ y

en un tiempo récord de 15 horas. Según Contreras (2018) antes de comenzar la impresión es necesario tener preparada la solera de cimentación que variará dependiendo del terreno sobre el que se edifique. Una vez preparada esta superficie se monta la impresora, se le suministra el material y se comienza la impresión. Con la impresión se colocan tanto los muros exteriores de la edificación como las particiones internas. La adhesión de capas se realiza químicamente por el propio fraguado del hormigón y el material tiene la suficiente fluidez para poder ser extruido y la suficiente consistencia para que aguante las capas superiores sin necesidad de fraguado previo.

Apis Cor desarrolló el edificio impreso en 3D de dos pisos de 9,5 metros de altura más grande de Dubai en 2019, con un área total de 640 metros cuadrados. Según la Municipalidad de Dubai, el proceso utiliza menos mano de obra (solo 15 trabajadores) y los residuos generados se reducen en aproximadamente un 60%. El edificio contendrá muchas funciones, como la estructura de la pared interna, para mejorar el efecto de aislamiento térmico. Las paredes son huecas para introducir aislamiento y reducir el consumo energético. También se pueden utilizar para integrar a la perfección la electricidad, el agua, las comunicaciones y la informática (Contreras, 2019).

ICON es una empresa con sede en EE. UU que utiliza materiales, software e impresión 3D avanzados para desarrollar tecnología de construcción para lograr edificios terrestres y espaciales. Utiliza una impresora 3D de pórtico Vulcan y puede hacer una casa de 600 metros cuadrados con un material patentado llamado Lavacrete. El rango de velocidad de impresión horizontal es de 100 a 200 milímetros por segundo, y las paredes de una casa de 150 metros cuadrados se pueden imprimir fácilmente en 24 horas. La impresora 3D está controlada por una aplicación inteligente fácil de usar que es operada por una persona. Durante las horas de trabajo,

generalmente 3-4 miembros del equipo usan el sistema de entrega Magma para construir y operar al mismo tiempo (Martel, 2021).

Aunque en Ecuador no se pueden mostrar resultados amplios en la utilización de impresoras 3D en el sector constructivo, se pueden referir como positivos los estudios que se realizan de la arena de río en diversas zonas del país, enfocados a conocer el que presenta las mejores características para ser imprimible.

En esta línea de investigación, hasta este momento, el árido fino de la provincia de Chimborazo amasado con cemento tipo HE sin adición de cal hidráulica presentó mejores características de resistencia a la compresión, trabajabilidad, tiempos de fraguado y en la impresión 3D frente a los morteros amasados con árido de río de las provincias de Tungurahua y Cotopaxi. Sin embargo, los morteros elaborados con árido de las provincias de Tungurahua y Cotopaxi también presentaron resultados muy alentadores tanto en el diseño de morteros, alcanzando resistencias a la compresión altas, como en la impresión 3D, se ha demostrado en los estudios que los morteros no ocasionan taponamientos en el cabezal de impresión.

1.2. Cemento

El 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).

Tabla 1*Características principales del Cemento Portland Tipo I*

| Requisitos físicos | Cemento Chimborazo Superior Portland Tipo I | Norma NTE INEN 490 |
|---------------------------------------|--|----------------------------------|
| Peso específico (gr/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 | MPa | MPa INEN NTE 488 |
| 3 días | 18 | 13 |
| 7 días | 26 | 20 |
| 28 días | 37 | 25 |
| Resistencia a los sulfatos | Cemento IP | Requisitos norma INEN 490 |
| % Expansión a los 14 días | 0.018 | 0.02 máx. |

Fuente: Adaptado de UCEM**Tabla 2***Características principales del Cemento Portland Tipo HE*

| Requisitos físicos | Cemento Chimborazo Superior Portland Tipo HE | |
|---------------------------------------|---|-------------------------|
| Peso específico (gr/cm ³) | 2.92 | NTE INEN 856 |
| Expansión en autoclave (%) | 0.0013 | NTE INEN 200 |
| Fraguado vicat inicial (minuto) | 150 | NTE INEN 158 |
| Fraguado vicat final (minuto) | 240 | NTE INEN 158 |
| Resistencia a la compresión | Kg/cm² | MPa INEN NTE 488 |
| 1 día | 184 | 18 |
| 3 días | 255 | 25 |
| 7 días | 337 | 33 |
| 28 días | 459 | 45 |
| Resistencia a los sulfatos | Cemento IP | |
| % Expansión a los 14 días | 0.04 máx. INEN NTE 2503 | |

Fuente: Adaptado de UCEM

1.3. Árido fino

El árido fino para mortero debe ser limpio, duro, sano y durable, con una distribución granulométrica que se mantenga razonablemente uniforme durante toda la producción (NEC, 2001). Además, debe cumplir con la especificación NTE INEN 872 o ASTM C330.

1.4. Sika Plastocrete 161 HE

El Sika Plastocrete 161 HE, es un aditivo químico líquido reductor de agua, acelerante de resistencias, aumenta la manejabilidad y trabajabilidad de la mezcla que ayuda a disminuir el tiempo de fraguado. La tabla 3 muestra la composición química de los componentes del aditivo.

Tabla 3

Aditivo Sika Plastocrete 161 HE (Composición Química de sus Componentes)

| Nombre Químico | Fórmula Lineal | Concentración (% w/w) |
|------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Cloruro de calcio | C_aCl_2 | ≥ 10 - < 20 |
| 2, 2', 2'' - nitilotrietanol | $(HOCH_2CH_2)_3N$ | ≥ 1 - < 10 |
| 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona | C_4H_4ClNOS | < 0.1 |

Fuente: Adaptado de Sika Ecuador S.A. (2019)

1.5. Solución de Hidróxido de sodio

Es una sustancia química utilizado en el ensayo de materia orgánica para eliminar las impurezas orgánicas.

1.6. Mortero

El mortero es una mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino y agua, con o sin aditivos (NEC, 2001).

1.7. Impresión 3D

La impresión en 3D es un proceso de unión de materiales para realizar objetos desde un modelo de datos 3D, generalmente capa a capa, como oposición a los métodos de fabricación por sustracciones tradicionales (ASTM Internacional, 2012). El material utilizado en la impresora está compuesto por una pasta de cemento y otros aglutinantes, estos pueden ser naturales o artificiales (Campillo, 2017). El proceso de impresión 3D tiene como característica principal la producción de objetos a partir de la adición del material por capas sucesivas, varía según la tecnología utilizada y la duración depende del tamaño, calidad de impresión y dificultad del elemento.

La impresión 3D es una tecnología que revoluciona la industria de la construcción en la fabricación de diferentes piezas de acuerdo con las necesidades. Ortega (2019) mediante búsqueda bibliográfica en el campo de la robótica y la mecánica construyó un prototipo de impresora, para ello utilizó una impresora 3D Anet A8 en la que adaptó un extrusor, usando una técnica de inyección mediante un tornillo sinfín. Los modelos digitales para ser impresos en 3D, fueron elaborados en un archivo AutoCAD, con una extensión STL, además fue necesario configurar la impresión en el software MatterControl.

1.8. Morteros para impresión 3D

Reyes (2018), planteó las propiedades que deben cumplir los materiales considerados imprimibles en estado fresco mediante técnicas de extrusión en Impresora 3D, estas se resumen a continuación:

- **Capacidad de ser bombeado:** El material debe tener una consistencia que le permita moverse por el sistema hasta el cabezal de impresión produciendo una masa densa y homogénea sobre la superficie. El material debe ser extruido por la boquilla de

impresión y esto dependerá de la trabajabilidad de la mezcla, la misma que para morteros imprimibles es de 150 ± 10 mm medida por el ensayo de consistencia en la mesa de sacudidas (Mariño, 2018).

- **Calidad de impresión:** es una propiedad que se estudia en términos del acabado superficial. La velocidad de impresión condiciona la calidad superficial de los objetos impresos. Losso (2017) plantea que “es la estratificación generada por la acumulación de hiladas que genera un defecto que puede apreciarse en la superficie de la muestra” (p.10). Para la conformidad y estabilidad dimensional se analiza los elementos recién impresos permitiendo crear elementos con las características programadas en el equipo y su comportamiento después de fraguado.
- **Constructibilidad:** Es una propiedad definida como la resistencia del material depositado para aguantar su propio peso y el de capas superiores sin ser deformado. Esto dependerá del tiempo de fraguado y endurecimiento del material, así como de la resistencia a la compresión que presente la mezcla asegurando la firmeza del elemento conforme va aumentando en tamaño (Pilay, 2019, p.54).
- **Tiempo de trabajo:** Es el periodo en el cual las propiedades anteriores se mantienen constantes. Las propiedades del material una vez endurecido dependerán también del proceso de elaboración y de los materiales que la componen (Campillo, 2017).

Pilay (2019) plantea que una de las variables más importantes a considerar en la construcción aditiva, es la relación que se da entre la capacidad de ser impreso del mortero y la constructibilidad de este, apoyando su postura al sostener que el mortero debe ser lo suficientemente fluido como para ser impreso, así como resistente para que la primera capa

soporte su propio peso y el de las capas superiores sin deformarse, por lo que debe cumplir con ambas variables.

CAPITULO II. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1. Planteamiento del problema

El constante avance tecnológico ha obligado al ser humano a actualizar sus conocimientos técnicos en diferentes áreas. Aunque los sistemas constructivos tradicionales se continúan utilizando, el desarrollo no se detiene y surgen nuevas tecnologías como las impresoras 3D que son utilizadas actualmente en las diferentes etapas de las obras civiles en el mundo, con la intención de aprovechar el potencial de estas, que muestran una reducción considerable del consumo de recursos en todo el proceso constructivo, reduce el desperdicio de materiales y el tiempo no productivo de la mano de obra lo que significa un importante ahorro económico. Sin embargo, en Ecuador la aplicación de esta tecnología es muy básica, no obstante, los estudios de áridos de diferentes partes del país con el objetivo de conocer las características de estos y si coinciden con las previstas para el diseño del mortero adaptable a las impresoras 3D, aumentaron en los últimos años. Con la intencionalidad de continuar esta línea investigativa, este estudio pretende completar el estudio de la zona 3 de Ecuador y este trabajo se enfocó en la arena de río de dos minas ubicadas en la provincia de Pastaza y dar respuesta a la pregunta planteada.

2.2. Pregunta de investigación

¿La arena de río de la provincia de Pastaza, con adición de un 2% flujo piroclástico por cada kilogramo de cemento, cumple con las características necesarias para su utilización en morteros para la impresión 3D?

2.3. Definición y Operacionalización de variables

En esta investigación la variable independiente fue el porcentaje de flujo piroclástico añadido a la mezcla, que influyó en la resistencia a la compresión.

Tabla 4

Operacionalización de la Variable Dependiente (Resistencia a la Compresión)

| Naturaleza | Cuantitativa |
|-------------------------------|--|
| Definición conceptual | La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo (Mejía et al., 2012). |
| Definición operacional | Se elaboran probetas con el mortero diseñado que después de su curado serán introducidas en una máquina de ensayo a compresión axial. Este ensayo permite conocer la resistencia a la compresión del mortero la que será comparada con la planteada por la norma INEN NTE 488. |

Tabla 5

Operacionalización de la Variable Independiente (Porcentaje de Flujo Piroclástico)

| Naturaleza | Cuantitativa |
|------------------------------|---|
| Definición conceptual | Los flujos piroclásticos o corrientes de densidad son flujos compuestos por gases y material sólido (ceniza y rocas de diverso tamaño) capaces de fluir a grandes temperaturas y velocidades (Mothes et al., 2019). |

Definición operacional

Para la adición del flujo Piroclástico se recolecta material producto de la erupción del volcán Tungurahua y se procede a moler hasta obtener un material sólido, el que se le añadirá a la dosificación del mortero para realizar ensayos de fluidez, trabajabilidad y resistencia a la compresión y determinar su influencia en el comportamiento de este.

2.4. Muestra

Para la muestra se tomó un metro cúbico de arena de río de cada una de las siguientes minas: “Trópico de Capricornio” con coordenadas (N 9839962,75 E 827280,00) y “Santa Isabel” con coordenadas (N 9830659,87 E 827569,79), ubicadas en la Parroquia Madre Tierra a 7 Km de la ciudad de Puyo, en su estado natural sin la mediación de un proceso de selección específico o tamizado. La muestra para la investigación, completó el estudio en la zona 3. Para la elección de las minas se tuvo en cuenta la experiencia de López (2019), quien realizó la tesis de grado “Comportamiento mecánico de un mortero elaborado con cemento portland tipo I y HE, incluido bicarbonato de sodio”, realizó trabajos en estas minas que lo hacen conocedor de sus áridos y son las principales proveedoras de material pétreo en la provincia.

2.5. Métodos, Procedimientos y Reactivo

Tabla 6

Normas Utilizadas en el Análisis de los Resultados

| Ensayo | Criterio | Indicador |
|-------------------------------|--------------|---|
| Contenido de materia orgánica | INEN NTE 855 | <ul style="list-style-type: none"> • Comparador del color Gardner. • Porcentaje de impurezas. |
| Granulometría | INEN NTE 696 | <ul style="list-style-type: none"> • Rango de no menor a 2.3 ni superior a 3.1 • Curva granulométrica dentro de los |

| | | límites especificados. |
|-------------------------------------|--------------|---|
| Contenido de humedad | INEN NTE 862 | <ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de contenido de agua. • Temperatura de 110°C por 24h. |
| Densidad y porcentaje de absorción | INEN NTE 856 | <ul style="list-style-type: none"> • Compactación arena en el cono con pinzón con 25 golpes. Picnómetro y peso. |
| Tiempo de fraguado y trabajabilidad | INEN NTE 158 | <ul style="list-style-type: none"> • Molde cónico, penetración de la aguja hasta 25mm. Consistencia del mortero. |
| Resistencia a la compresión | INEN NTE 488 | <ul style="list-style-type: none"> • Tempranas edades 6, 9 y 12 h. • Largo plazo 7, 14, 21 y 28 días. |

2.5.1. Procedimiento

Figura 1

Fases del Procedimiento seguido en la Investigación

FASE I: Identificación del problema de investigación

- Revisión bibliográfica de acuerdo a la temática
- Definición del tema y objetivos de investigación

FASE II: Trabajo de campo

- Recolección de la materia prima (arena de río de la provincia de Pastaza)
- Ensayos preliminares del árido fino
- Dosificaciones prueba de los morteros
- Elaboración de probetas pruebas y ensayo de probetas pruebas
- Elección de la dosificación definitiva y elaboración de probetas
- Ensayo de propiedades mecánicas de la muestra
- Impresión 3D de los morteros diseñados

Fase III: Resultados y Conclusiones

- Análisis y discusión de los resultados
- Conclusiones y recomendaciones

Esta investigación es de tipo cuantitativa llevando a cabo un diseño experimental, que permitió obtener información de las propiedades físicas y químicas de la arena de río en la provincia de Pastaza, evaluando la resistencia, efectividad y calidad de los morteros diseñados con diferentes dosificaciones mediante ensayos de laboratorio, para así elaborar un nuevo

material cementante útil para la impresora 3D. Se diseñaron 8 tipos de morteros para impresora 3D, utilizando arena de río proveniente de la provincia de Pastaza, cemento tipo I y HE y flujo piroclástico.

Para la revisión bibliográfica se realizó una búsqueda en Google académico, Scopus y el repositorio de la UNACH, donde se encontró documentos PDF entre artículos científicos y tesis que cuentan con información destacada y relevante sobre la impresión 3D. Se realizó una búsqueda documental de los materiales a utilizar, se revisó y analizó un total de 8 normas INEN NTE que detallan el proceso de realización de cada uno de los ensayos que se llevaron a cabo. Los análisis en laboratorios especializados permitieron conocer las características físicas y químicas del árido seleccionado y comprobar el cumplimiento de los límites establecidos por las normas INEN para su utilización en morteros, así como para su utilización en el diseño de morteros para la impresión 3D. Se comprobó que el material seleccionado tenía las características necesarias para el propósito de la investigación por medio de ensayos descritos a continuación.

Determinación de propiedades físicas del árido fino

Las muestras de arena de río de la provincia de Pastaza fueron ensayadas en el laboratorio “CEDICONS” que cuenta con certificado de control de calidad de materiales.

- **Contenido de materia orgánica:** se realizó de acuerdo con la norma INEN NTE 855. Vertimos la muestra de árido fino a ser ensayada en la botella de vidrio hasta aproximadamente el nivel equivalente al volumen de 130 cm³, luego se le agregó 3 partes de hidróxido de sodio (NaOH) en 97 partes de agua, se procedió a tapar la botella y agitar vigorosamente, seguidamente se dejó reposar durante 24 horas tras las cuales se comparó el color del líquido que rebasó la muestra con el comparador de Gardner. Se

descartó que el árido fino contenía cantidades inapropiadas de impurezas orgánicas, debido a produjo un color más claro que el color normalizado de la solución o color No. 3 del comparador.

- **Granulometría:** Se empezó secando la muestra a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, posteriormente se ordenó los tamices ubicados descendientemente 3/8'', N°4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y la bandeja, de acuerdo con la norma INEN NTE 696 que define el procedimiento para determinar la granulometría del árido, luego se colocaron los tamices con el material en la maquina tamizadora por 5 minutos, una vez tamizada retiramos cuidadosamente y se procedió a registrar los pesos retenidos en cada uno de los tamices, finalmente fueron tabulados los datos.
- **Contenido de humedad:** Se determinó de acuerdo con la norma INEN NTE 862. Para los cual se colocó una porción de los dos tipos de arena en cada una de las 4 taras utilizadas, se procedió a pesar la tara más la muestra, pasando al secado a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, transcurrido el tiempo se pesó nuevamente la tara más la muestra seca para tabular los datos.
- **Densidad y porcentaje de absorción del agregado fino:** La norma INEN NTE 856 establece el procedimiento para determinar la densidad relativa y el porcentaje de absorción del agregado fino. Se colocó 1 kg de arena en la bandeja y se procedió a secarla en el horno por 24 horas, transcurrido el tiempo se sacó y dejó enfriar, se le agregó agua a la muestra con el fin de llenar sus poros y dejar reposar por 24 horas, una vez pasado este tiempo se eliminó el exceso de agua y la muestra se extendió sobre una superficie plana no absorbente siendo removida continuamente para asegurar un secado homogéneo y alcanzar la condición saturada superficialmente seca. Para comprobar si la muestra se

encontraba en estado sss, se utilizó el molde sobre una superficie seca con el diámetro mayor hacia abajo donde se colocó la muestra en forma suelta manteniéndolo firme con la mano, posteriormente fue compactada con 25 golpes ligeros dejando caer el pistón a una altura aproximadamente de 5mm, fue removido el árido fino caído alrededor de la base y se levantó el molde verticalmente, el árido se desmoronó ligeramente lo que indicó que este alcanzó la condición superficialmente seca, luego se introdujo la muestra del árido fino en estado sss en el picnómetro y se llenó parcialmente con agua hasta aproximadamente el 90% de su capacidad pasando a agitarlo de 15 a 20 minutos para eliminando las burbujas de aire, concluido este paso se registró su peso, se retiró el árido fino del picnómetro y para su secado, se introdujo en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta conseguir una masa constante, se enfrió a una temperatura ambiente y se determinó su masa, además de determinar la masa del picnómetro calibrado. Finalmente se realizaron los cálculos correspondientes.

Caracterización mecánica de los morteros

Se realizaron ensayos a los 8 tipos de mezclas diseñadas en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo estableciendo el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia a la compresión, según procedimientos que se detallan a continuación:

- **Resistencia a compresión a corto plazo:** Este ensayo se realizó tomando como referencia la norma INEN NTE 488. Se pesaron los materiales de acuerdo a la dosificación establecida y se procedió con el amasado manualmente hasta que se obtuvo una mezcla homogénea, se llenaron los moldes en dos capas, la primera capa de mortero fue de 25 mm de espesor aproximadamente, se compactó el mortero en 4 rondas de 8

golpes cada una, según lo establecido en la norma, seguido se llenó completamente el molde y se realizó el mismo procedimiento que en la capa anterior, finalmente se limpió el exceso de mortero que rebasa el molde nivelándolo con el molde. Se elaboraron 72 probetas cúbicas de 50 x 50 mm, 12 por cada tipo de mezcla de mortero, las que fueron ensayadas a edades tempranas como 6,9 y 12 horas. Se colocaron en la cámara de curado y transcurrido el tiempo requerido, cada cubo de mortero fue colocada con cuidado en la máquina de ensayo, limpiando los residuos de las caras que entraron en contacto con los centros del cabezal de apoyo superior e inferior y controlando que sus caras sean planas, así como la medida de los lados. Se aplicó la carga hasta llegar al punto de ruptura del mortero.

- **Resistencia a compresión a largo plazo:** Para determinar la resistencia a largo plazo se elaboraron 96 probetas de acuerdo a la dosificación seleccionada, se colocaron en la piscina de curado para ser ensayadas a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, siguiendo el procedimiento que establece la norma INEN NTE 488, dentro del tiempo correspondiente se tomó las medidas de los cubos y posteriormente se colocaron bajo el centro del cabezal de apoyo superior de la prensa, de manera que se le aplicó la carga hasta llegar a la ruptura del mortero.
- **Tiempo de fraguado inicial y final:** Según lo establece la norma INEN NTE 158, se amasó manualmente la pasta de cemento formando una bola y lanzándola 6 veces de una mano a otra con una distancia de 150 mm, convirtiéndola en una masa esférica para facilitar la colocación en el anillo cónico, se colocó la masa en el anillo presionando con la palma de la mano por el extremo más grande, evitando la manipulación y el aplastamiento de la pasta, se retiró el exceso de mezcla y se procedió a colocar el anillo

con el mortero bajo la aguja del equipo vicat. Se elaboró dos morteros por cada dosificación, se esperó 30 minutos para realizar la primera penetración con la aguja de 1 mm de diámetro, realizando penetraciones periódicas cada 15 minutos. El inicio de fraguado es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento y el agua hasta cuando la penetración es de 25mm, mientras que el tiempo final de fraguado es cuando la aguja al caer libremente no penetra en la superficie del mortero. Cada penetración de la aguja vicat se realizó a 5 cm de la penetración anterior y 10 cm de la cara interna del anillo.

- **Consistencia y Trabajabilidad:** Este ensayo se realizó bajo la norma INEN NTE 157 y sigue el mismo procedimiento mencionado en el apartado anterior para el amasado de la pasta. Una vez colocado el anillo cónico con la mezcla bajo la varilla del equipo vicat soltamos la misma y permitió medir la consistencia del mortero en estado fresco, estado que le hace manejable. La evolución de la trabajabilidad consistió en determinar si la muestra se encontraba en estado óptimo, por lo que la norma establece que para que la pasta se encuentre en su consistencia normal, la varilla debe penetrar 10 mm bajo la superficie original de la pasta después de 30 segundos de haber sido soltada.
- **Fluidez:** Este ensayo consistió en determinar la fluidez del mortero basado en la norma INEN NTE 2502. Para lo cual se colocó en el molde cónico del equipo una capa de mortero de aproximadamente 25mm de espesor seguido se compactó con 20 golpes, posteriormente se llenó completamente el molde con mortero y se realizó la compactación como se especificó en el procedimiento anterior. Se niveló el mortero hasta lograr una superficie plana mediante pasadas de la espátula y se limpió la mesa retirando cualquier exceso de agua. Transcurrido un minuto de haber terminado el llenado del

molde se procedió a levantarlo y se dejó trabajar el equipo, produciendo una acción de 25 caídas de la mesa en 15 segundos. Finalmente, se midieron los diámetros del mortero a lo largo de las cuatro líneas trazadas en la superficie de la mesa.

2.6. Dosificación base de muestras

En esta investigación se diseñaron 8 morteros que permitieron estudiar dos áridos de diferentes minas, se estableció la nomenclatura que se detalla en la Tabla 7, en la que se identifica el tipo de cemento que contienen, el árido según la mina a la que corresponde y el porcentaje de flujo piroclástico añadido a la dosificación.

Tabla 7

Nomenclatura para 8 Tipos de Dosificaciones

| Muestra: | | Arena de río de la Provincia de Pastaza | |
|---------------------|--------------------------|---|---------------------------|
| Mina: | Santa Isabel | Nomenclatura: | SI |
| | Trópico de Capricornio | | TC |
| Nomenclatura | Tipo de cemento | Mina | Agregado adicional |
| SI + TI | Cemento Portland Tipo I | Santa Isabel | Ninguno |
| SI + FP + TI | Cemento Portland Tipo I | Santa Isabel | Flujo piroclástico 2% |
| TC + TI | Cemento Portland Tipo I | Trópico de Capricornio | Ninguno |
| TC + FP + TI | Cemento Portland Tipo I | Trópico de Capricornio | Flujo piroclástico 2% |
| SI + HE | Cemento Portland Tipo HE | Santa Isabel | Ninguno |
| SI + FP + HE | Cemento Portland Tipo HE | Santa Isabel | Flujo piroclástico 2% |
| TC + HE | Cemento Portland Tipo HE | Trópico de Capricornio | Ninguno |
| TC + FP + HE | Cemento Portland Tipo HE | Trópico de Capricornio | Flujo piroclástico 2% |

Se tomó como referencia la dosificación planteada por Mariño (2018), sin la cal hidráulica y con la adición de flujo piroclástico, según detalles mostrados en las Tablas 8 y 9.

Tabla 8*Dosificación Utilizada para un Saco de Cemento Portland Tipo I*

| Componentes | SI + TI | SI + FP + TI | TC + TI | TC + FP + TI |
|--------------------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Arena (kg) | 62.25 | 67.2 | 62.25 | 67.2 |
| Cemento(kg) | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Flujo piroclástico (kg) | 0 | 3.5 | 0 | 3.5 |
| Agua (kg) | 21.00 | 25.45 | 21 | 25.45 |
| Plastificante (kg) | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tabla 9*Dosificación Utilizada para un Saco de Cemento Portland Tipo HE*

| Componentes | SI + HE | SI + FP + HE | TC + HE | TC + FP + HE |
|--------------------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Arena (kg) | 62.25 | 67.2 | 62.25 | 67.2 |
| Cemento(kg) | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Flujo piroclástico (kg) | 0 | 3.5 | 0 | 3.5 |
| Agua (kg) | 20.75 | 22.45 | 20.75 | 22.45 |
| Plastificante (kg) | 1 | 1 | 1 | 1 |

Se consideró incorporar 0.07 kg de flujo piroclástico por cada kilogramo de cemento, tomando en cuenta los estudios al respecto realizados por alumnos de la Universidad Nacional de Chimborazo.

2.7. Impresión 3D en el prototipo de la UNACH

Terminados los ensayos que permitieron conocer las características mecánicas de los morteros, se confirmó su comportamiento en un equipo de impresión 3D, lo que permitió determinar si son morteros imprimibles.

Para la impresión 3D se utilizó la impresora elaborada por Ortega (2019), considerando la capacidad de bombeo de las mezclas como una de las características más importantes para que la mezcla sea óptima, es decir, la impresión se realizó con una velocidad de flujo continua, sin ocasionar taponamientos en el extrusor del equipo.

Las dosificaciones utilizadas se mencionan en las Tablas 8 y 9, el árido (arena de río) se utilizó en estado saturado superficialmente seco (sss), como lo recomienda Taco (2019) en su estudio.

2.7.1. Condiciones externas de los ensayos

En base a la literatura, se consideró la importancia de la influencia de la temperatura y humedad ambiente durante la impresión, los factores externos del lugar donde se realizaron las impresiones fueron medidas con un equipo tecnológico conocido como Termohigrómetro RC-4HC, este instrumento se utiliza para medir la temperatura y la humedad relativa del ambiente mediante un sensor interno, en la Tabla 10 se muestran las principales características del equipo.

Tabla 10

Características del Termohigrómetro

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Rango de medición de temperatura: | - 30 °C ~ + 60 °C |
| Rango de medición de humedad: | 0 ~ 99% RH |
| Intervalo de registro: | 10 segundos |

Fuente: Adaptado de Elitech

2.7.2. Impresión de elementos 3D

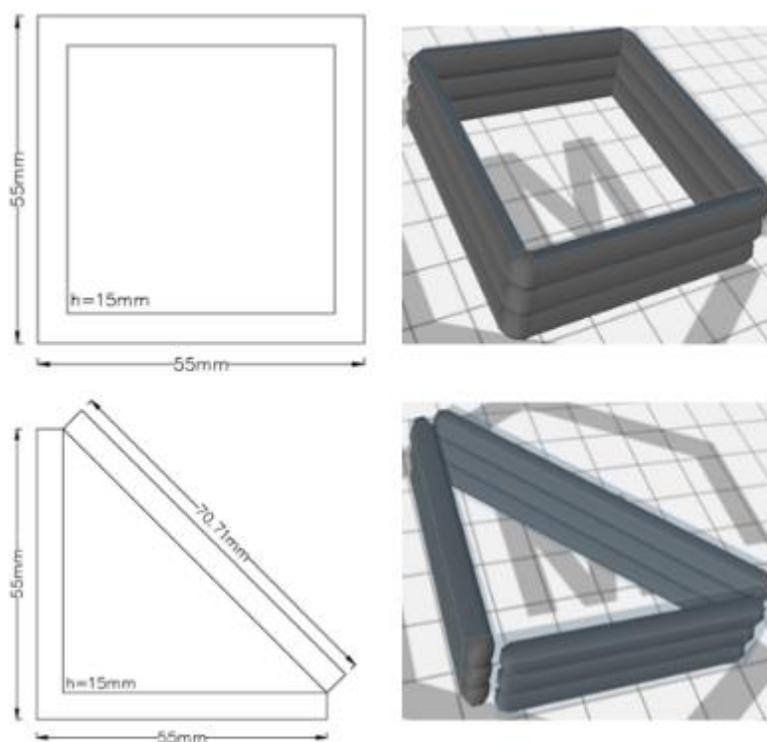
Ortega (2019) sugiere los parámetros fijos para cada ensayo realizado en la impresión 3D, estos se muestran en la Tabla 11 y fueron los que se utilizaron para este trabajo debido a que la finalidad no es evaluar el equipo, si no el material.

Tabla 11*Parámetros Preestablecidos para los Ensayos de Impresión 3D*

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| Velocidad de impresión: | 0.25 mm/seg |
| Ancho y alto de la hilada: | 5 mm |
| Temperatura de la cama de impresión: | 60°C |

Fuente: Adaptado de (Ortega, 2019)

Se elaboró el diseño de dos modelos en AutoCAD con las características especificadas en la Figura 2, cumpliendo con la secuencia de la impresión 3D para exportar con extensión .stl al programa MatterControl e imprimir en el prototipo elaborado.

Figura 2*Modelos Digitales para Impresión 3D*

Para determinar cada una de las propiedades de los morteros descritas a continuación, se generaron 3 impresiones de cada modelo digital mostrados en la Figura 3 con cada una de las 8 dosificaciones.

2.7.3. Capacidad de bombeo

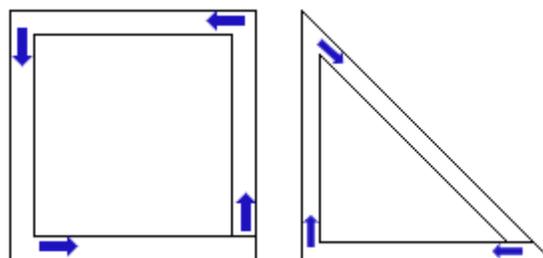
Para comprobar la capacidad de bombeo de la mezcla y su comportamiento al pasar a través del sistema de extrusión, se realizaron las pruebas de impresión inmediatamente elaborado el mortero, para comprobar si no se produce bloqueo u obstrucción y si mantiene una velocidad de flujo continuo, lo que permitió considerar la dosificación como aceptable. Esta prueba consistió en imprimir una forma cuadrada y una triangular de tres capas siguiendo la trayectoria que muestra la Figura 3.

Las mezclas diseñadas, tuvieron un comportamiento adecuado, de presentarse algunos de los problemas mencionados, se modificarían hasta que cumplieran los parámetros requeridos, con la extrudabilidad necesaria para generar la muestra impresa completa.

Ortega (2019) enfatizó en que se deben corregir las dosificaciones variando el aditivo en un rango de 0.2% al 2.5% del peso del cemento con la finalidad de no alterar las propiedades determinadas en estudios iniciales.

Figura 3

Esquema seguido en la Impresión 3D para el Ensayo de Extrudabilidad



2.7.4. Estabilidad de los morteros

La estabilidad de los morteros fue evaluada mediante la impresión del mortero después de 1 minuto de elaborada, mantener la configuración una vez terminada la impresión, evidenció una muestra óptima, caso contrario, que no fue necesario, se vuelve a amasar el mortero y se

repite el proceso de impresión después de un tiempo mayor al anterior, hasta que la mezcla impresa no presente escurrimiento, es decir, se determinó el tiempo que la mezcla debía permanecer en reposo para que el mortero obtuviera la condición de estabilidad.

2.7.5. Tiempo que los morteros pueden encontrarse dentro del inyector

Se realizaron impresiones continuas de los modelos digitales en forma cuadrada y triangular de 3 hiladas, lo que permitió determinar el tiempo que los morteros podían permanecer dentro del inyector sin que endurezcan, además de mantener las características adecuadas de extrudabilidad y que la muestra impresa sea continua.

2.7.6. Calidad de extrusión (Conformidad y Estabilidad Dimensional)

La calidad de extrusión de las muestras impresas se analizó a partir de tres parámetros evaluados en cada una de las dosificaciones y en las dos piezas mostradas en la Figura 4, conformadas con tres hiladas de 5mm siguiendo una trayectoria fija. El primer requisito consistió en evaluar el acabado superficial de los elementos de forma visual y si la velocidad del flujo fue continua, es decir, que las muestras impresas no solo tuvieran una buena capacidad de extrusión, si no también que se encontraran libres de defectos superficiales, tales como huecos, aristas incompletas, etc.

El segundo requisito denominado conformidad dimensional corresponde a la capacidad que tiene la mezcla de conservar las medidas programadas en el software luego de ser impresas, para lo cual fueron consideradas las dimensiones de diseño de 5.5cm para el cuadrado y los lados del triángulo, mientras que para la hipotenusa del mismo se consideró 7.78cm como muestra en la Figura 2, estas medidas se han tomado una vez terminada la muestra impresa correspondiente.

Basados en Reyes (2018) y Ortega (2019) se estableció rangos límites para evaluar o rechazar cada hilada impresa, porque no siempre se obtienen hiladas con las dimensiones del

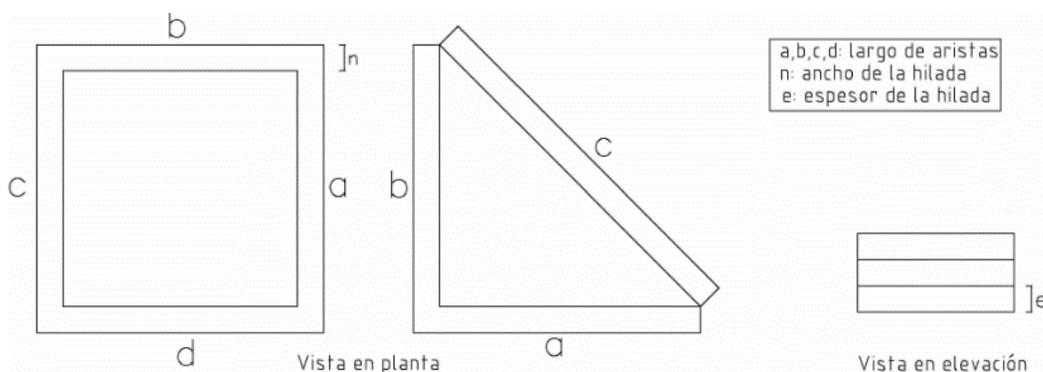
modelo digital, permitiendo un error aceptable del 10%, el rango dimensional admisible fue de 5.0cm a 6.0cm para el modelo de probeta cuadrado y 7.0cm a 8.56cm para el modelo de probeta triangulo.

Para determinar la conformidad dimensional de cada una de las dosificaciones se generó 3 impresiones de cada modelo digital, se utilizó la vista en planta y con ayuda de un calibrador fueron determinados los valores de a, b, c y d como se observa en la Figura 4.

Finalmente, se evaluó la estabilidad dimensional que se refiere a la capacidad que tiene la muestra impresa para mantener sus medidas en el tiempo y se determinó a través de la diferencia entre las medidas del modelo recién impreso con las medidas de la figura al concluir el proceso de fraguado.

Figura 4

Esquema para el Ensayo de Calidad de Extrusión, Vista en Planta y Frontal



2.7.7. Constructibilidad

Se refiere a la capacidad que tiene la hilada impresa para soportar el peso de las hiladas superiores sin deformaciones. El ensayo se realizó como lo sugiere Reyes (2018) en términos de espesor, para lo cual se imprimió la primera hilada y se registró su espesor, seguido se procedió con la impresión de la segunda hilada y se registró el espesor de la primera y segunda hilada y por último, se imprimió la tercera hilada y se determinó los espesores de la primera, segunda y

tercera hilada. Se generaron 3 muestras impresas realizando un análisis estadístico de las deformaciones considerando el tiempo que tarda la impresora en generar la siguiente hilada.

Además, se utilizó la norma INEN NTE 158. Método Vicat, la misma que sugiere que se controle el tiempo inicial y final de fraguado, en esta investigación este proceso se lo realizó con un equipo casero elaborado a una escala pequeña, armado con un escalímetro, una aguja y un peso que es proporcional a lo indicado en la norma.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Contenido de materia orgánica

Como se observa en la Figura 5, se comparó el color del líquido que sobrenada la muestra con el comparador de colores, el ensayo de colorimetría arrojó resultados positivos ya que el agregado presentó color correspondiente al número No.1 en la escala de Gardner, indicando que el agregado no contenía materia orgánica, por lo tanto, resultando adecuado para la elaboración de morteros según lo establecido en la norma INEN NTE 855.

Figura 5

Determinación de la Materia Orgánica del Árido de las Minas TC y SI



3.2. Granulometría del árido fino y del flujo piroclástico

El árido fino estudiado presentó un módulo de finura de 2.98 en la Mina Santa Isabel y de 2.68 en la Mina Trópico de Capricornio ubicándose en el rango establecido por la norma INEN NTE 696, no inferior a 2.3 ni superior 3.1, por lo que son aptas para la elaboración de morteros, como muestran las Tablas 12 y 13, en las que se observa los valores obtenidos en cada uno de los tamices empleados. Sin embargo, el porcentaje pasante no cumplió los requisitos planteados en la norma para los tamices N°16 y N°30 para la mina Santa Isabel, mientras que para la mina

Trópico de Capricornio fueron los tamices N°16, N°30 y N°50. Para completar la información en las Figuras 6 y 7 se registra la curva granulométrica de las arenas estudiadas.

Tabla 12

Granulometría Árido Fino de la Mina Santa Isabel

| Tamiz No. | % Retenido | % Retenido acumulado | % Pasa | % Pasa especificado árido fino norma INEN 696 | |
|-------------------------|------------|----------------------|--------|---|-----|
| 3/8" | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | 0.91 | 0.91 | 99.09 | 95 | 100 |
| 8 | 2.43 | 3.34 | 96.66 | 80 | 100 |
| 16 | 3.89 | 7.23 | 92.77 | 50 | 85 |
| 30 | 19.31 | 26.54 | 73.46 | 25 | 60 |
| 50 | 44.01 | 70.56 | 29.44 | 10 | 30 |
| 100 | 20.02 | 90.57 | 9.43 | 2 | 10 |
| 200 | 8.24 | 98.81 | 1.19 | | |
| Bandeja | 1.19 | 100.00 | 0 | | |
| Módulo de Finura | | 2.98 | | | |

Figura 6

Curva Granulométrica Mina Santa Isabel

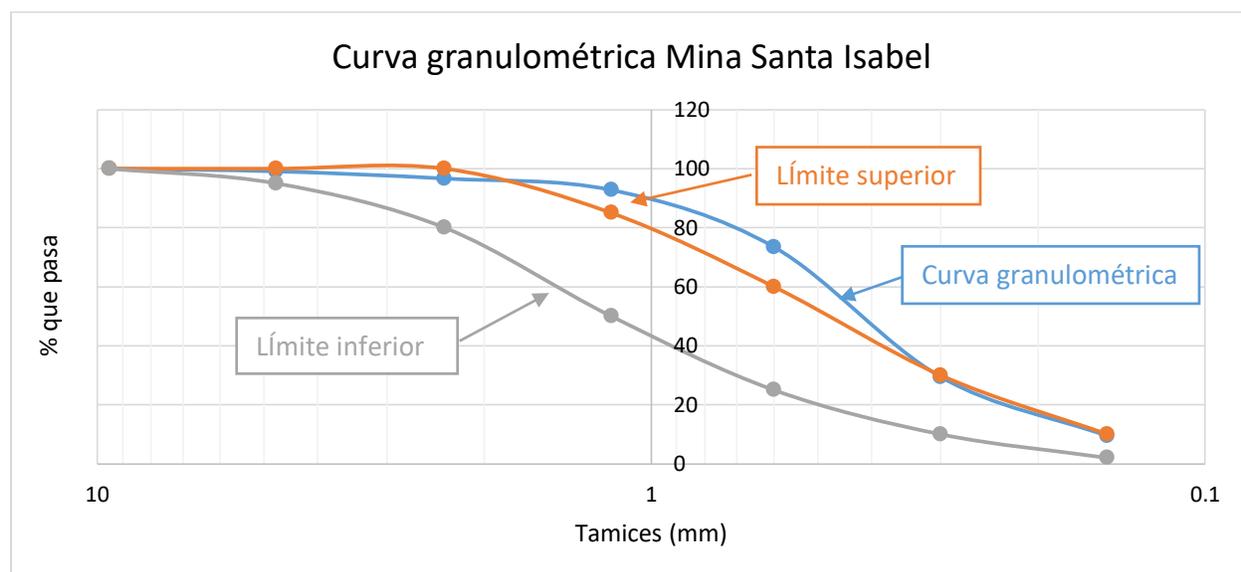


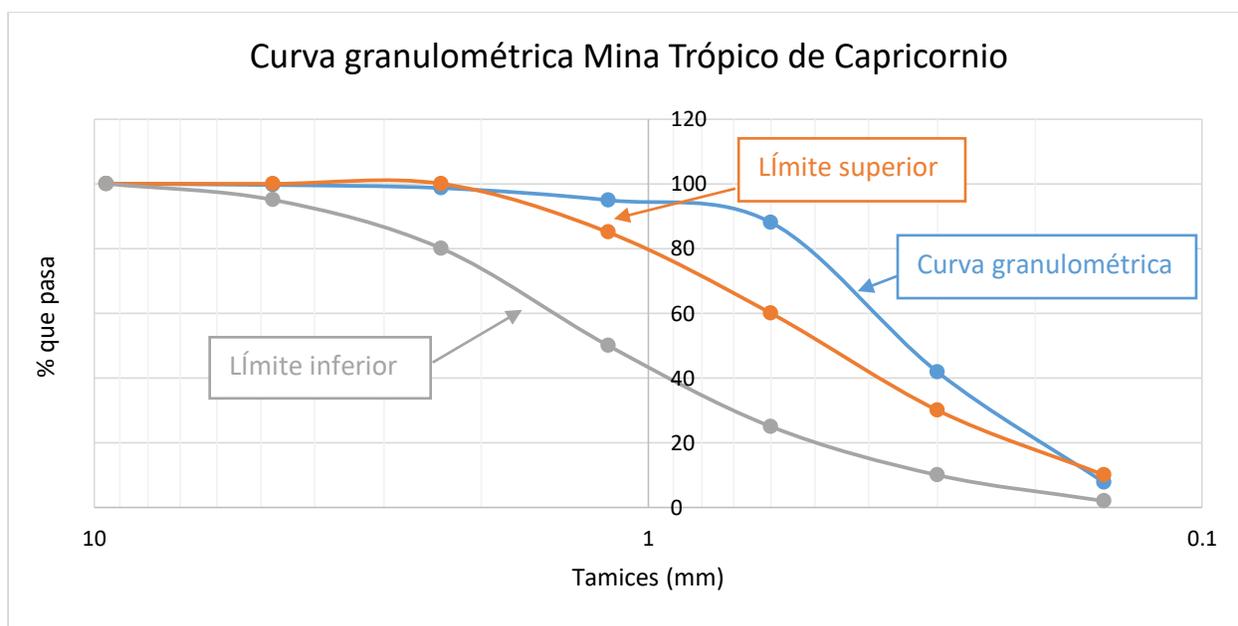
Tabla 13

Granulometría Árido Fino de la Mina Trópico de Capricornio

| Tamiz No. | % Retenido | % Retenido acumulado | % Pasa | % Pasa especificado árido fino norma INEN 696 | |
|-------------------------|------------|----------------------|--------|---|-----|
| 3/8" | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | 0.384 | 0.384 | 99.616 | 95 | 100 |
| 8 | 0.95 | 1.334 | 98.67 | 80 | 100 |
| 16 | 3.73 | 5.064 | 94.94 | 50 | 85 |
| 30 | 6.898 | 11.962 | 88.04 | 25 | 60 |
| 50 | 46.242 | 58.204 | 41.80 | 10 | 30 |
| 100 | 34.13 | 92.334 | 7.67 | 2 | 10 |
| 200 | 6.666 | 99.000 | 1.00 | | |
| Bandeja | 1 | 100.000 | 0.00 | | |
| Módulo de finura | | 2.68 | | | |

Figura 7

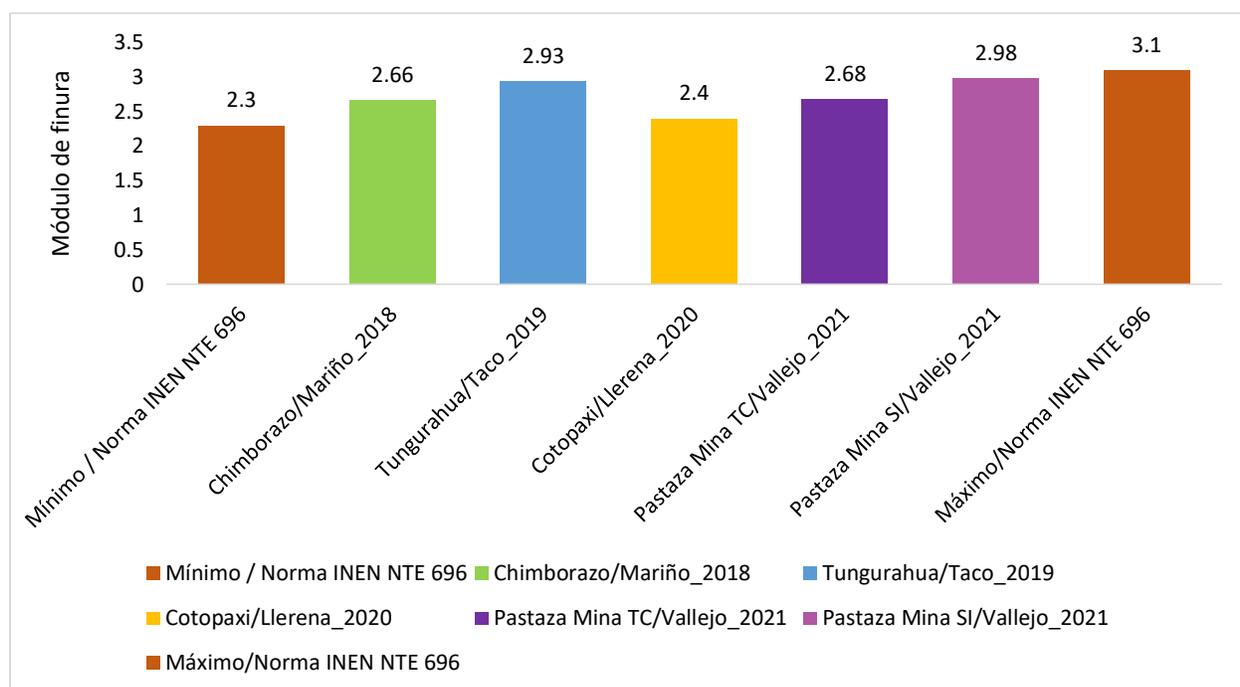
Curva Granulométrica Mina Trópico de Capricornio



Los resultados obtenidos en el presente estudio tanto de la mina Santa Isabel como en la Trópico de Capricornio correspondientes a la provincia de Pastaza se compararon con resultados de estudios anteriores en las provincias de Cotopaxi (2020), Tungurahua (2019) y Chimborazo (2018), comparación que se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Comparación Módulo de Finura con Estudios Anteriores



La comparación permitió conocer que el árido de la mina Santa Isabel perteneciente a la provincia de Pastaza, posee los granos más gruesos respecto a los otros estudiados en las investigaciones anteriores mientras que el de la mina Trópico de Capricornio también con granos gruesos, fue superado solamente por el árido estudiado en la provincia de Tungurahua. Este resultado no es suficiente para afirmar que el material de esta provincia resultó el menos adecuado para la elaboración de los morteros, para ello se deben considerar el resto de las propiedades descritas anteriormente.

En el ensayo de granulometría del flujo piroclástico añadido al mortero diseñado, se pudo observar que la muestra de este material posee un módulo de finura de 2.71 que se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma INEN NTE 696, se consideró la misma norma que para el árido fino por tratarse de un material con características similares. La Tabla 14 muestra estos resultados.

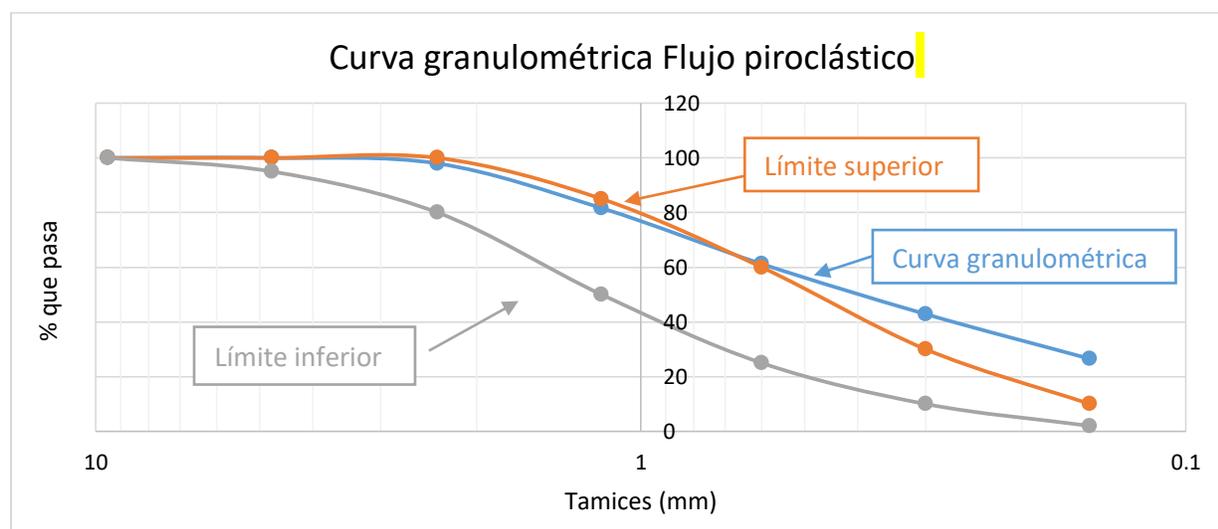
Tabla 14

Granulometría del Flujo Piroclástico

| Tamiz No. | Peso retenido acumulado | % Retenido | % Pasa | % Pasa especificado árido fino norma INEN 696 | |
|-------------------------|-------------------------|------------|--------|---|-----|
| 3/8" | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | 0 | 0 | 100 | 95 | 100 |
| 8 | 10 | 2.04 | 97.96 | 80 | 100 |
| 16 | 90 | 18.37 | 81.63 | 50 | 85 |
| 30 | 190 | 38.78 | 61.22 | 25 | 60 |
| 50 | 280 | 57.14 | 42.86 | 10 | 30 |
| 100 | 360 | 73.47 | 26.53 | 2 | 10 |
| Módulo de Finura | | | 2.71 | | |

Figura 9

Curva Granulométrica del Flujo Piroclástico



En la Figura 9 se puede observar la curva granulométrica del flujo piroclástico que nos indica que el porcentaje que pasa no cumple los parámetros indicados en la INEN 696 para los tamices N°50 y N°100.

3.3. Análisis contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad se realizó bajo la norma INEN NTE 862, obteniendo los siguientes resultados: para la mina “SI” fue de 8.69, mientras que para la mina “TC” el porcentaje de humedad promedio fue de 12.63 como se puede observar en las tablas 15 y 16 respectivamente. El material con mayor contenido de humedad fue el de la muestra de la mina Trópico de Capricornio, aproximadamente con un 13%.

Tabla 15

Contenido de Humedad Árido Mina Santa Isabel

| Recipiente | Recipiente (g) | Agregado húmedo + rec (g) | Agregado seco + rec (g) | Agregado húmedo (g) | Agregado seco (g) | Contenido humedad (%) |
|---------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | 21.52 | 51.46 | 49.16 | 29.94 | 27.64 | 8.32 |
| 2 | 21.52 | 53.01 | 50.51 | 31.49 | 28.99 | 8.62 |
| 3 | 21.2 | 57.23 | 54.26 | 36.03 | 33.06 | 8.98 |
| 4 | 21.01 | 54.59 | 51.87 | 33.58 | 30.86 | 8.81 |
| % Humedad Promedio | | | | | | 8.69 |

Tabla 16

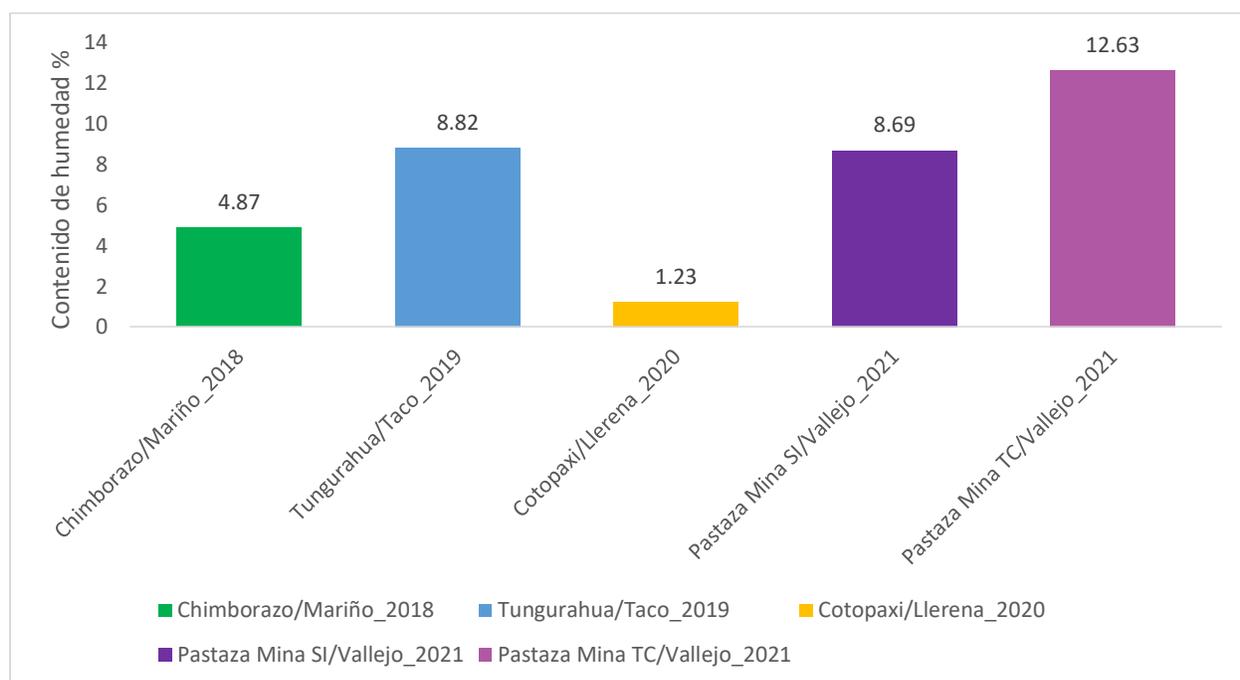
Contenido de Humedad Árido de la Mina Trópico de Capricornio

| Recipiente | Recipiente (g) | Agregado húmedo + rec (g) | Agregado seco + rec (g) | Agregado húmedo (g) | Agregado seco (g) | Contenido humedad (%) |
|---------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | 21.74 | 49.25 | 46.18 | 27.51 | 24.44 | 12.56 |
| 2 | 21.62 | 49.8 | 46.65 | 28.18 | 25.03 | 12.58 |
| 3 | 21.27 | 48.09 | 45.2 | 26.82 | 23.93 | 12.08 |
| 4 | 21.74 | 50.55 | 47.17 | 28.81 | 25.43 | 13.29 |
| % Humedad Promedio | | | | | | 12.63 |

En la Figura 10 se presenta una comparación de los resultados del contenido de humedad de las arenas de las dos minas objeto de estudio en la provincia de Pastaza con los resultados obtenidos en las provincias de Chimborazo por Mariño (2018), Tungurahua por Taco (2019) y los que obtuvo Llerena (2020) en la provincia de Cotopaxi.

Figura 10

Comparación del Contenido de Humedad con estudios anteriores



Al comparar los resultados obtenidos en esta investigación con los de estudios anteriores, en lo referido al % de humedad promedio, la muestra con mayor contenido de humedad fue la de la Mina Trópico de Capricornio de la provincia de Pastaza seguida por los de Taco (2019) en la provincia de Tungurahua, mientras que la de menor contenido fue la resultante del estudio de Llerena (2020) en Cotopaxi. Para el diseño de los morteros con la arena de la provincia de Pastaza se requirió tener en cuenta el alto % de humedad de las muestras estudiadas porque la relación agua-cemento es importante obtener una trabajabilidad adecuada.

3.4. Densidad y Porcentaje de Absorción del agregado fino

Los resultados del ensayo se resumen en las Tablas 17 y 18, la densidad del árido en estado superficialmente seco (sss) fue mayor que en estado seco, en el estado sss se consideraron los poros de los áridos llenos de agua, a diferencia del estado seco que los poros se encuentran con aire. El porcentaje de absorción de agua para la mina Santa Isabel fue de 3.09% y para la mina Trópico de Capricornio de 2.56%.

El agregado de la mina “TC” obtuvo un porcentaje menor al de la mina “SI”, lo cual indica que el mortero con agregado de la mina “SI” necesita un porcentaje mayor de agua.

Tabla 17

Densidad y Porcentaje de Absorción Mina Santa Isabel

| Propiedad | Valor |
|---|--------------|
| Densidad (SH) (kg/cm ³) | 2552.25 |
| Densidad en SSS (kg/cm ³) | 2631.22 |
| Densidad Aparente (kg/cm ³) | 2771.08 |
| Porcentaje de Absorción (%) | 3.09 |

Tabla 18

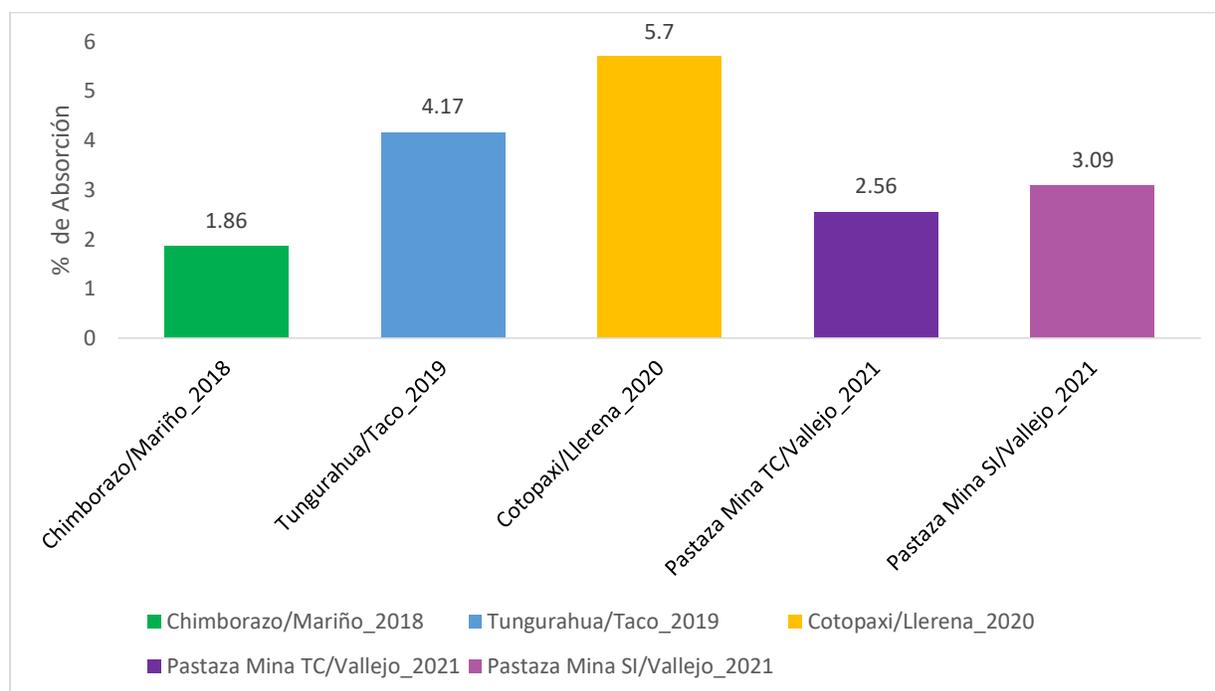
Densidad y Porcentaje de Absorción Mina Trópico de Capricornio

| Propiedad | Valor |
|---|--------------|
| Densidad (SH) (kg/cm ³) | 2566.80 |
| Densidad en SSS (kg/cm ³) | 2632.52 |
| Densidad Aparente (kg/cm ³) | 2747.36 |
| Porcentaje de Absorción (%) | 2.56 |

En la Figura 11 se puede observar la comparación de los resultados del porcentaje de absorción obtenido en las 3 provincias de la zona 3 del Ecuador referidas anteriormente, con los resultados de las minas correspondientes a la provincia de Pastaza objeto del presente estudio.

Figura 11

Comparación del porcentaje de Absorción Minas SI y TC con estudios anteriores



El porcentaje de absorción obtenido en esta investigación tanto para el árido de la Mina “TC” como para el de la Mina “SI” indicaron que los morteros diseñados con ellas requieren menor cantidad de agua que los morteros diseñados con los áridos estudiados por Llerena (2020) en Cotopaxi y Taco (2019) en Tungurahua por ser mayor el porcentaje de absorción en estas provincias y mayor cantidad de agua que los diseñados con el árido estudiado por Mariño (2018) en Chimborazo.

3.5. Resumen de resultados agregado fino

En las Tablas 19 y 20 se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de las propiedades físicas de los agregados, realizados en el laboratorio.

Tabla 19*Resumen de Ensayos de las Propiedades Físicas Mina Santa Isabel*

| Propiedad | Valor | Unidades |
|-------------------------|--------------|--------------------|
| Impurezas Orgánicas | 1 | No. |
| Módulo de Finura | 2.98 | |
| Contenido de humedad | 8.69 | % |
| Densidad SSS | 2631.22 | Kg/cm ³ |
| Porcentaje de Absorción | 3.09 | % |

Tabla 20*Resumen de Ensayos de las Propiedades Físicas Mina Trópico de Capricornio*

| Propiedad | Valor | Unidades |
|-------------------------|--------------|--------------------|
| Impurezas Orgánicas | 1 | No. |
| Módulo de Finura | 2.68 | |
| Contenido de humedad | 12.63 | % |
| Densidad SSS | 2632.52 | Kg/cm ³ |
| Porcentaje de Absorción | 2.56 | % |

Las propiedades físicas del agregado fino correspondiente a cada una de las minas estudiadas se encuentran dentro de los límites que establecen las normas para ser utilizado en la elaboración de morteros, según mostraron los resultados de los ensayos correspondientes.

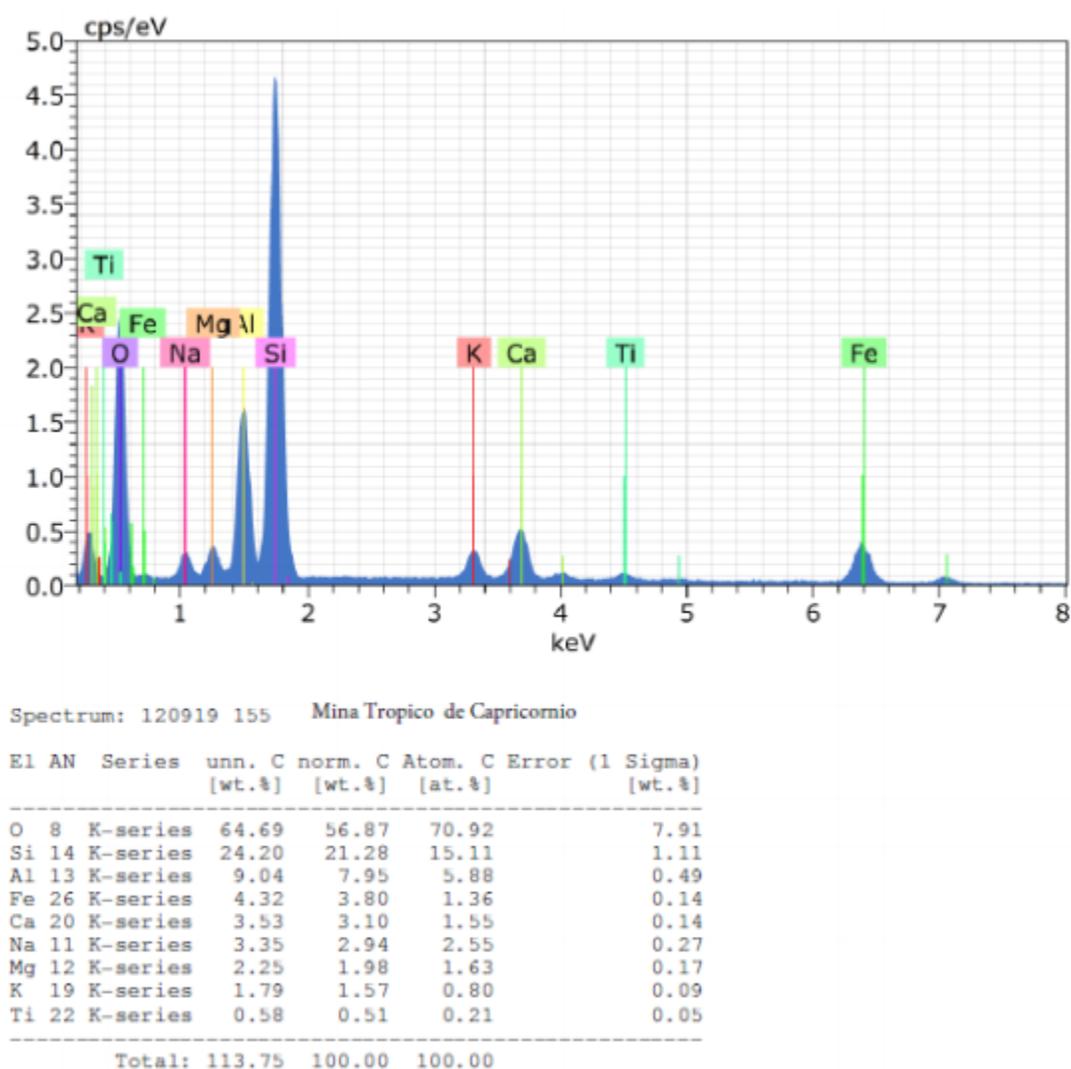
Los áridos finos estudiados en las cuatro provincias correspondientes a la zona 3 del Ecuador resultaron aptos para la elaboración de morteros, las diferencias en las propiedades físicas (granulometría, contenido de humedad, densidad y porcentaje de absorción) entre cada provincia se debieron a la morfología del estrato del suelo, de acuerdo con su ubicación.

3.6. Análisis Químico del árido fino

López (2019) en su tesis de grado “Comportamiento mecánico de un mortero elaborado con cemento portland tipo I y HE, incluido bicarbonato de sodio” mostró los resultados del análisis químico del árido fino de las Minas “TC” y “SI” de la provincia de Pastaza, obtenidos en el Laboratorio de Microscopia Electrónica de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Figura 12

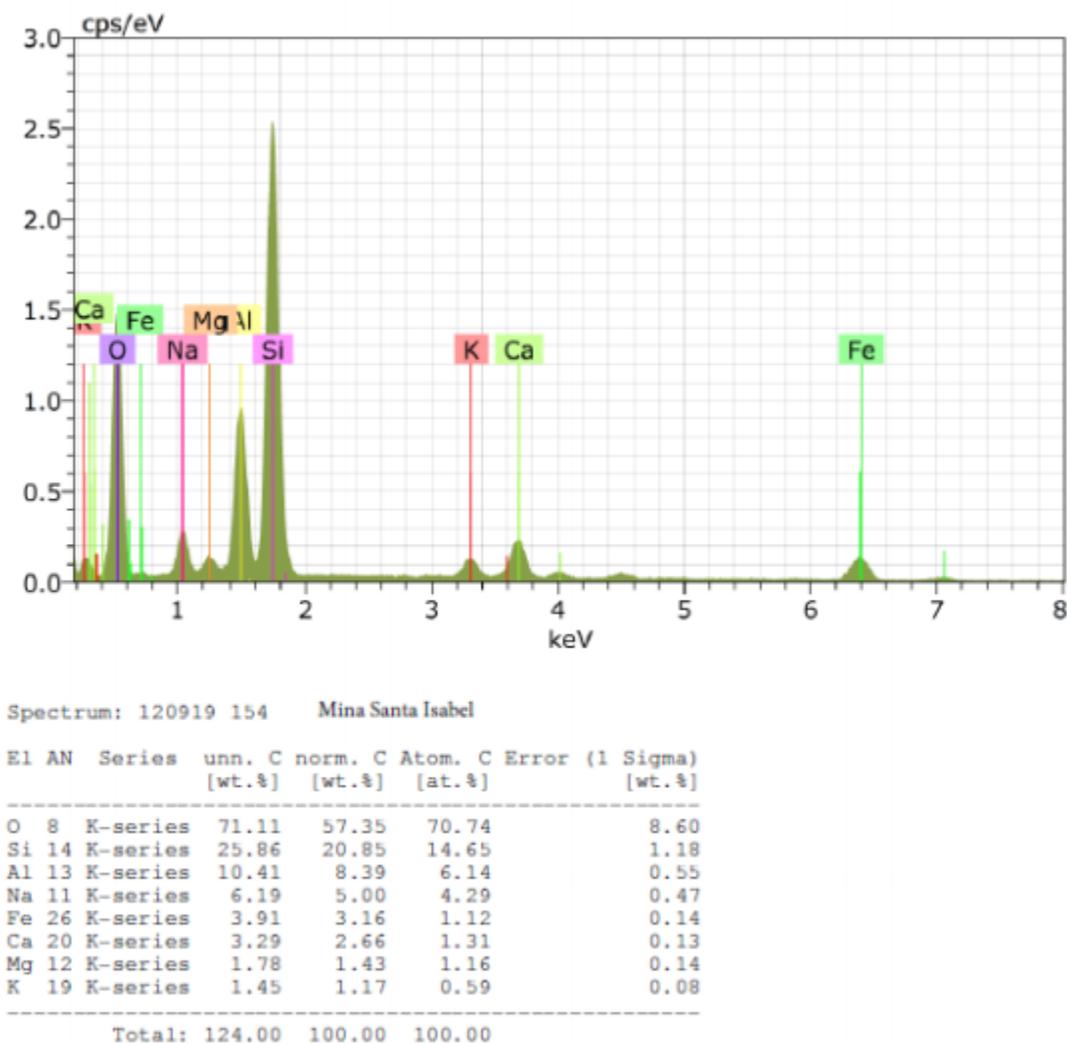
Análisis Químico del Árido Fino Mina Trópico de Capricornio



Fuente: (López, 2019)

Figura 13

Análisis Químico del Árido Fino Mina Santa Isabel



Fuente: (López, 2019)

En las Figuras 12 y 13 se observan los porcentajes de los componentes del árido fino de las Minas “TC” y “SI” respectivamente, evidenciando un alto contenido de sílice que, dadas sus características, al reaccionar con el agua producen macromoléculas que hacen que las moléculas de cemento que reaccionaron con el agua se adhieran entre sí de mejor manera, por lo que las partículas de cemento, arena y agua se combinan mejor para darle una mayor consistencia y

trabajabilidad a la mezcla. Otros elementos representativos observados en el análisis básico elemental fueron el Aluminio y el Hierro que forman parte de los agregados.

3.7. Resultados del ensayo a compresión a corto plazo

Los resultados del ensayo a compresión de las probetas elaboradas con los 8 tipos de mezcla, realizados a edades tempranas de 6, 9 y 12 horas, tomando una resistencia promedio, se analizaron en el software MiniTab y sus resultados se presentan en las Tablas 21 y 22.

Al analizar el resultado de los ensayos a corto plazo en los morteros elaborados con árido de la mina SI se pudo observar que la dosificación con cemento portland tipo HE presentó una resistencia de 4.08 MPa a las 6 horas, a las 9 horas subió a 4.90 MPa y a las 12 horas dio una resistencia de 6.22 MPa, determinando este mortero como el que mostró las mejores características ante el comportamiento mecánico bajo cargas de compresión a temprana edad.

Tabla 21

Análisis Estadístico de los Resultados del Ensayo a Compresión a Corto Plazo Mina SI

| Horas | Medida | Dosificaciones | | | |
|-------|-------------|----------------|--------------|---------|--------------|
| | | SI + TI | SI + FP + TI | SI + HE | SI + FP + HE |
| 6 | Media (MPa) | 3.19 | 1.75 | 4.08 | 1.90 |
| | Desviación | 0.23 | 0.58 | 0.32 | 0.63 |
| | Letra | C | B | A | B |
| 9 | Media (MPa) | 4.13 | 2.94 | 4.90 | 3.07 |
| | Desviación | 0.17 | 0.39 | 0.45 | 0.22 |
| | Letra | C | B | A | B |
| 12 | Media (MPa) | 5.35 | 4.22 | 6.22 | 4.73 |
| | Desviación | 0.66 | 0.31 | 0.42 | 0.27 |
| | Letra | C | B | A | B |

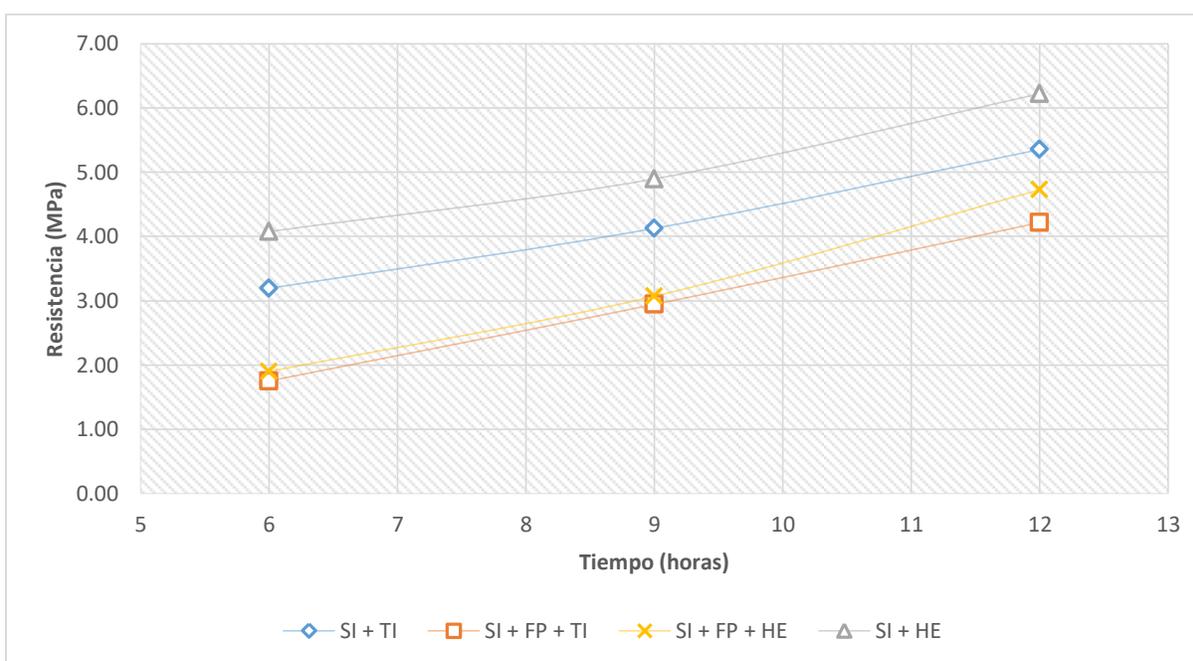
Nota: Las letras A y B representan las diferencias significativas, que se obtiene al realizar la prueba de Tukey ($p < 0.05$) en el software Minitab. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Los morteros elaborados con cemento tipo HE evidenciaron mayor resistencia que los morteros elaborados con cemento tipo I. Los morteros que contienen flujo piroclástico mostraron un decrecimiento de su resistencia.

La Figura 14 muestra la resistencia en relación con el tiempo de fraguado a corto plazo, de las diferentes dosificaciones de morteros diseñados con el árido fino proveniente de la mina Santa Isabel a las edades de 6, 9 y 12 horas.

Figura 14

Tiempo de Fraguado vs Resistencia a Corto Plazo. Mina Santa Isabel



La Tabla 22 contiene el análisis estadístico del ensayo a compresión a corto plazo de las dosificaciones con el árido de la mina TC, los valores medios y las desviaciones se corresponden con esto, mostrándose estabilidad alrededor de la media. Para la mina “TC” se obtuvo un resultado menos favorable en el ensayo de compresión a corto plazo con respecto a la mina “SI”.

El mortero elaborado con cemento HE presentó una mayor resistencia de 5.81 MPa comparado con el mortero elaborado con cemento tipo I.

Tabla 22

Análisis Estadístico de los Resultados del Ensayo a Compresión a Corto Plazo Mina TC

| Horas | Medida | Dosificaciones | | | |
|-------|-------------|----------------|--------------|---------|--------------|
| | | TC + TI | TC + FP + TI | TC + HE | TC + FP + HE |
| 6 | Media (MPa) | 2.52 | 1.44 | 3.09 | 1.78 |
| | Desviación | 0.30 | 0.45 | 0.25 | 0.49 |
| | Letra | B | C | A | C |
| 9 | Media (MPa) | 3.68 | 2.80 | 4.11 | 2.92 |
| | Desviación | 0.39 | 0.53 | 0.37 | 0.57 |
| | Letra | A | B | A | B |
| 12 | Media (MPa) | 4.99 | 3.90 | 5.81 | 4.16 |
| | Desviación | 0.39 | 0.39 | 0.45 | 0.44 |
| | Letra | C | B | A | B |

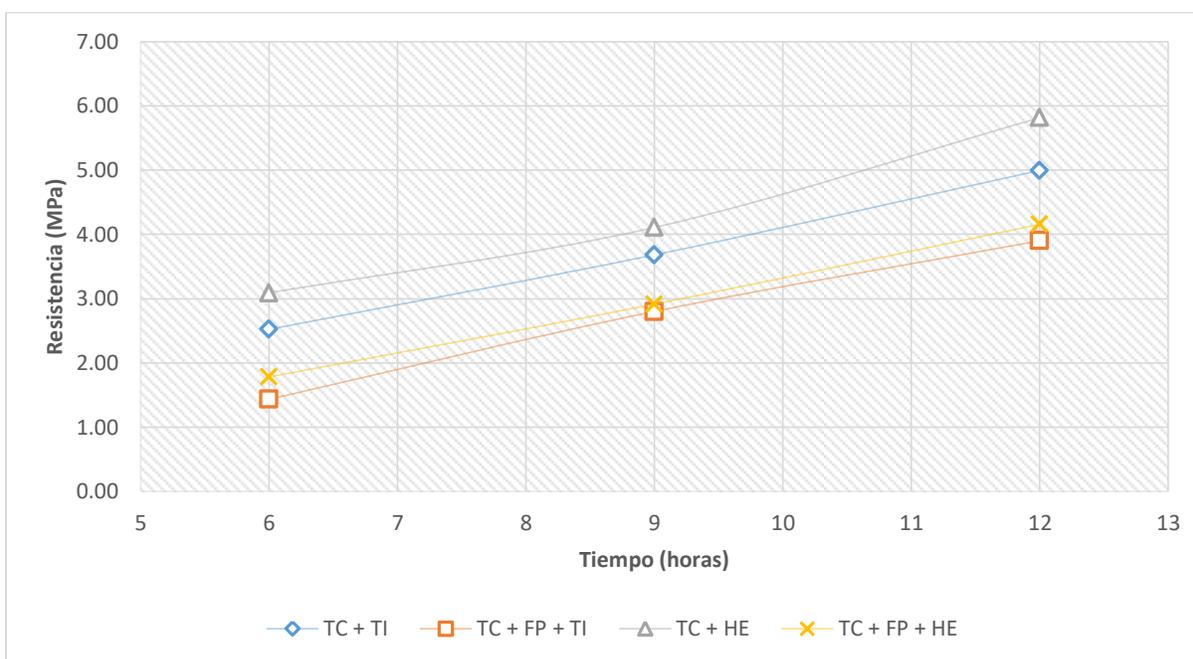
Nota: Las letras A, B y C representan las diferencias significativas, que se obtiene al realizar la prueba de Tukey ($p < 0.05$) en el software Minitab. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Al igual que en las dosificaciones anteriores al adicionar flujo piroclástico la resistencia decreció de manera significativa.

La Figura 15 muestra la resistencia en función del tiempo de fraguado de los morteros a corto plazo, los 4 tipos de mezclas evidenciaron resultados diferentes durante el periodo analizado para la mina Trópico de Capricornio.

Figura 15

Tiempo de Fraguado vs Resistencia a Corto Plazo Mina Trópico de Capricornio



Como se aprecia en las Figuras 12 y 13, los 8 tipos de mezclas reflejaron resultados significativos durante los periodos analizados, siendo la resistencia más alta la del mortero SI+HE elaborado con árido de la mina Santa Isabel y cemento portland tipo HE, seguido por el mortero TC+HE elaborado con árido de la mina Trópico de Capricornio y cemento tipo HE mientras que los morteros elaborados con cemento tipo I presentaron resistencias menores que los mencionados anteriormente.

Respecto a las dosificaciones de morteros incluidos flujo piroclástico mostraron características de endurecimiento, pero al ser sometidas a la carga axial presentaron disgregación a tempranas edades, siendo las cargas más altas a las 12 horas, donde la dosificación SI+FP+HE dio un máximo de 4.73 MPa, mientras que la dosificación TC+FP+HE dio un máximo de 4.16 MPa.

3.8. Resultados del ensayo a compresión a largo plazo

Para este ensayo se llevó a ruptura las probetas a las edades de 7, 14, 21 y 28 días. Con respecto a las dosificaciones elaboradas con árido de la mina Santa Isabel, la que presentó mayor resistencia y por ende un buen comportamiento mecánico bajo cargas de compresión, la dosificación SI+HE presentó a los 7 días una resistencia media de 32.32 MPa, a los 14 días 37.89 MPa, a los 21 días 42.59 MPa y a los 28 días una resistencia a compresión de 46.82 MPa, siendo un mortero con características competitivas en el campo de la ingeniería civil.

En la Tabla 23 se observa el análisis estadístico del ensayo a compresión a largo plazo de las distintas dosificaciones con el árido de la mina “SI”.

Tabla 23

Análisis Estadístico de los Resultados del Ensayo a Compresión a Largo Plazo Mina SI

| Días | Medida | Dosificaciones | | | |
|------|-------------|----------------|--------------|---------|--------------|
| | | SI + TI | SI + FP + TI | SI + HE | SI + FP + HE |
| 7 | Media (MPa) | 29.87 | 21.79 | 32.32 | 25.22 |
| | Desviación | 1.62 | 0.82 | 2.74 | 0.93 |
| | Letra | C | D | A | B |
| 14 | Media (MPa) | 34.11 | 28.65 | 37.84 | 28.91 |
| | Desviación | 0.85 | 1.60 | 1.34 | 1.51 |
| | Letra | C | D | A | B |
| 21 | Media (MPa) | 37.71 | 32.26 | 42.59 | 33.50 |
| | Desviación | 1.07 | 1.03 | 0.82 | 1.43 |
| | Letra | C | D | A | B |
| 28 | Media (MPa) | 42.89 | 38.44 | 46.82 | 40.79 |
| | Desviación | 0.64 | 1.91 | 0.55 | 1.22 |
| | Letra | C | D | A | B |

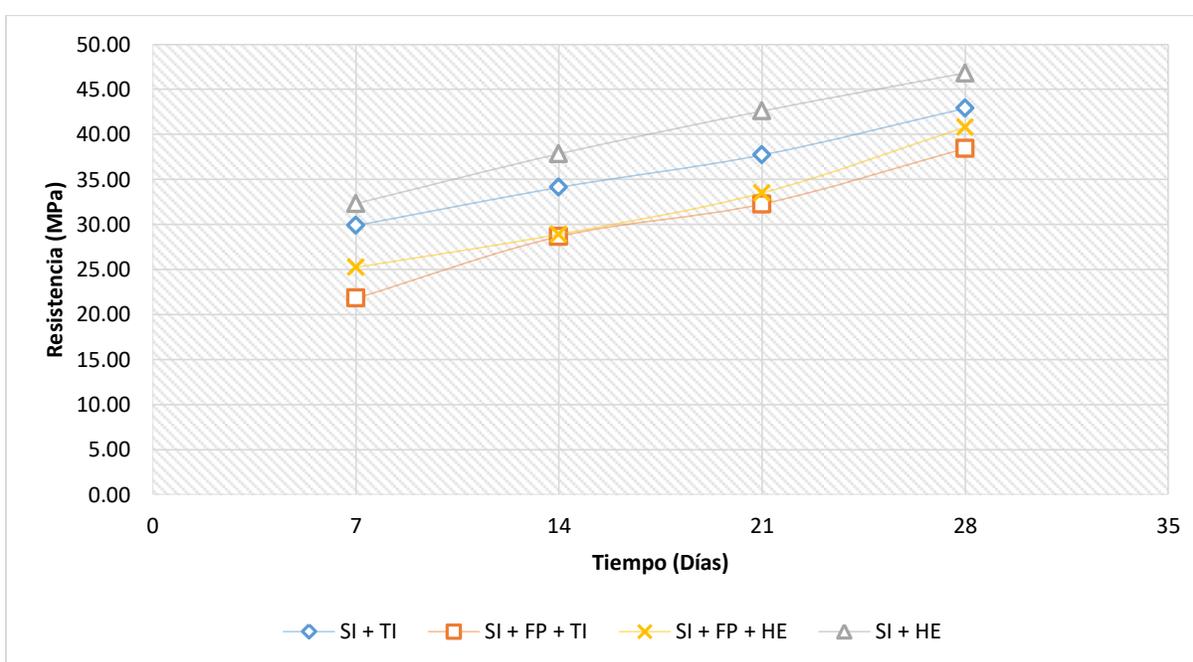
Nota: Las letras A, B, C y D representan las diferencias significativas, que se obtiene al realizar la prueba de Tukey ($p < 0.05$) en el software Minitab. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Al igual que en el ensayo a compresión a corto plazo los morteros elaborados con cemento portland tipo HE evidenciaron mayor resistencia que los elaborados con el cemento tipo I.

Como se observa en la Figura 16, las dosificaciones con adición de flujo piroclástico presentaron un decrecimiento en la resistencia a la compresión.

Figura 16

Tiempo de Fraguado vs Resistencia a Largo Plazo Mina Santa Isabel



En la Tabla 24 se muestran los resultados del ensayo a compresión de las dosificaciones elaboradas con árido de la mina TC, siendo el mortero TC+HE el que presenta mejores características ante la aplicación de la carga axial obteniendo una resistencia máxima de 44.54 MPa.

Los morteros elaborados con cemento portland Tipo I presentaron resistencias significativamente menores a la comparación, que los elaborados con cemento HE.

Tabla 24

Análisis Estadístico de los Resultados del Ensayo a Compresión a Largo Plazo Mina TC

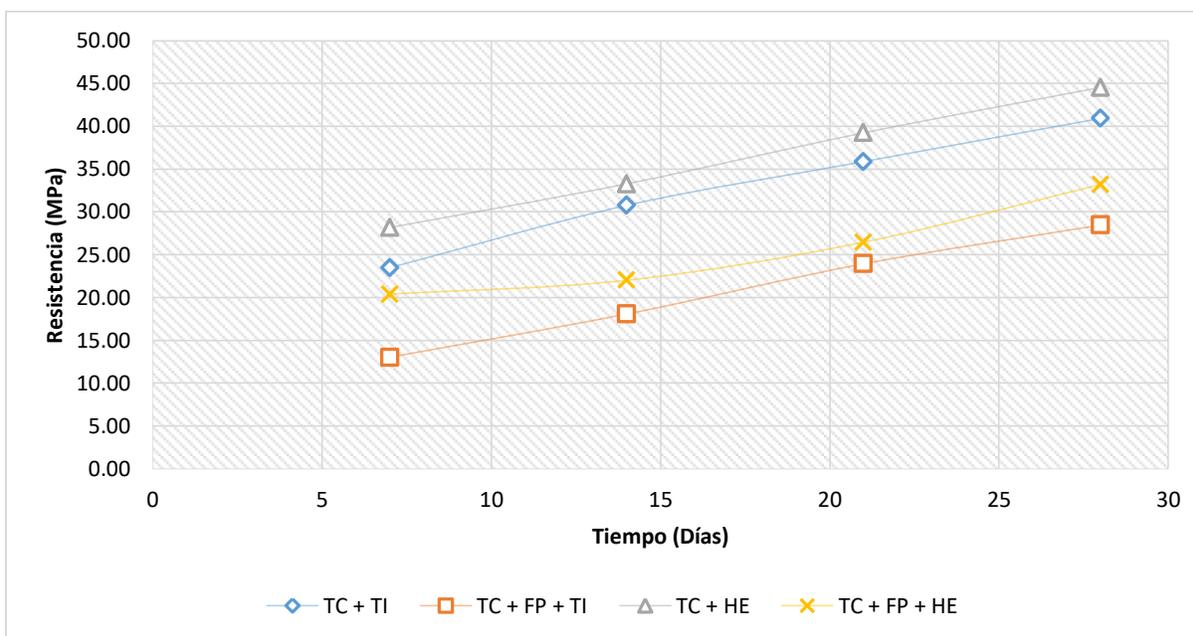
| Días | Medida | Dosificaciones | | | |
|-------------|---------------|-----------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| | | TC + TI | TC + FP + TI | TC + HE | TC + FP + HE |
| 7 | Media (MPa) | 23.47 | 13.02 | 28.17 | 20.39 |
| | Desviación | 0.57 | 1.61 | 0.79 | 1.176 |
| | Letra | B | D | A | C |
| 14 | Media (MPa) | 30.76 | 18.07 | 33.27 | 22.01 |
| | Desviación | 1.57 | 2.43 | 1.68 | 1.33 |
| | Letra | A | B | A | B |
| 21 | Media (MPa) | 35.87 | 23.93 | 39.22 | 26.46 |
| | Desviación | 1.23 | 2.69 | 2.14 | 1.28 |
| | Letra | A | B | A | B |
| 28 | Media (MPa) | 40.91 | 28.45 | 44.54 | 33.20 |
| | Desviación | 1.52 | 0.91 | 1.24 | 1.32 |
| | Letra | B | D | A | C |

Nota: Las letras A, B, C y D representan las diferencias significativas, que se obtiene al realizar la prueba de Tukey ($p < 0.05$) en el software Minitab. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Se pudo evidenciar que los morteros elaborados con flujo piroclástico mostraron una reducción considerable en su resistencia obteniendo un valor máximo de 33.20 MPa para la dosificación TC+FP+HE, aunque, se encuentra dentro del rango que establece la norma para ser utilizado como mortero, las dosificaciones sin flujo piroclástico presentaron mejores características a la variación de las resistencias, como se puede observar en la Figura 17.

Figura 17

Tiempo de Fraguado vs Resistencia a Largo Plazo Mina Trópico de Capricornio



Como se observa en las Figuras 16 y 17, los 8 tipos de dosificaciones reflejaron resultados diferentes durante cada periodo analizado, siendo las mezclas elaboradas con árido de la mina “SI”, las que presentaron mejores características comparadas con las de la mina “TC”, obteniéndose la resistencia más alta para el mortero SI+HE, que es el mortero con mayor resistencia a la compresión tanto a corto como a largo plazo y que está en correspondencia con el cemento utilizado (Cemento tipo HE), debido a que las mezclas elaboradas con este, presentaron aumento de las resistencias tanto a edades tempranas como avanzadas.

Al incluir flujo piroclástico a las dosificaciones, las resistencias disminuyeron considerablemente, la dosificación SI+FP+HE perteneciente a la mina Santa Isabel obtuvo, a los 28 días, una resistencia media de 40.79 MPa, mientras que la dosificación TC+FP+TI presentó una resistencia media de 28.45 MPa, siendo la más baja.

Sin embargo, todos los resultados alcanzados superan el valor mínimo de un hormigón normal, que es de 21 MPa, sugerido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC,2011).

3.9. Comparación del ensayo a compresión a largo plazo de las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Tungurahua y Pastaza (Mina Santa Isabel)

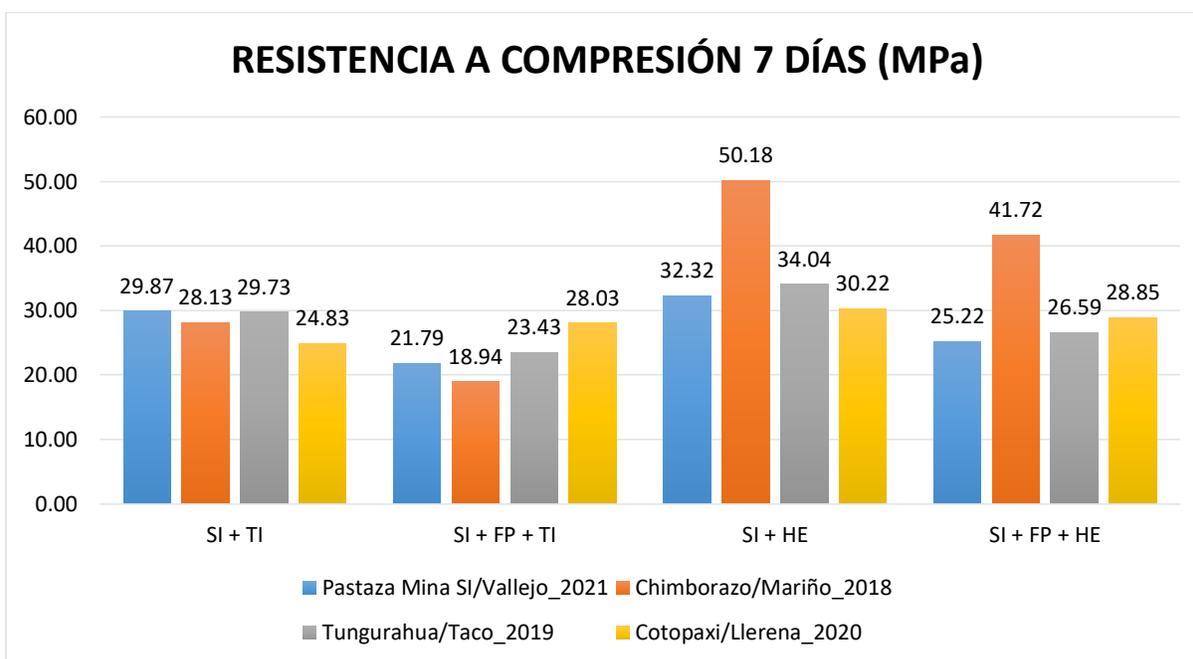
Los resultados que se comparan a continuación, se tomaron de tesis anteriores y corresponden a estudios realizados por Mariño (2018), Taco (2019) y Llerena (2020), autores que siguieron la misma línea de estudio adicionando cal hidráulica, mientras que en esta investigación la variante es el porcentaje de flujo piroclástico.

Las Figuras 18, 19, 20 y 21 muestran las resistencias a largo plazo obtenidas en las cuatro provincias pertenecientes a la zona 3 del Ecuador, observándose un comportamiento similar para los morteros elaborados con cemento tipo HE sin flujo piroclástico, que alcanzaron la mayor resistencia con relación al resto de dosificaciones.

Los morteros elaborados con árido fino proveniente de la Provincia de Chimborazo presentan mejores características de resistencia a la compresión a largo plazo, con una resistencia media de 63.82 MPa a los 28 días. Seguido de los morteros elaborados con árido de la provincia de Pastaza (Mina Santa Isabel) y con árido de la provincia de Tungurahua, todos presentaron resistencias superiores a 46 MPa y finalmente se ubicaron los morteros elaborados con árido de la provincia de Cotopaxi con resistencia de 42.08 MPa, siendo la más baja obtenida a los 28 días.

Figura 18

Resistencia de Morteros de las 4 Provincias a los 7 Días Mina Santa Isabel

**Figura 19**

Resistencia de Morteros de las 4 Provincias a los 14 Días Mina Santa Isabel

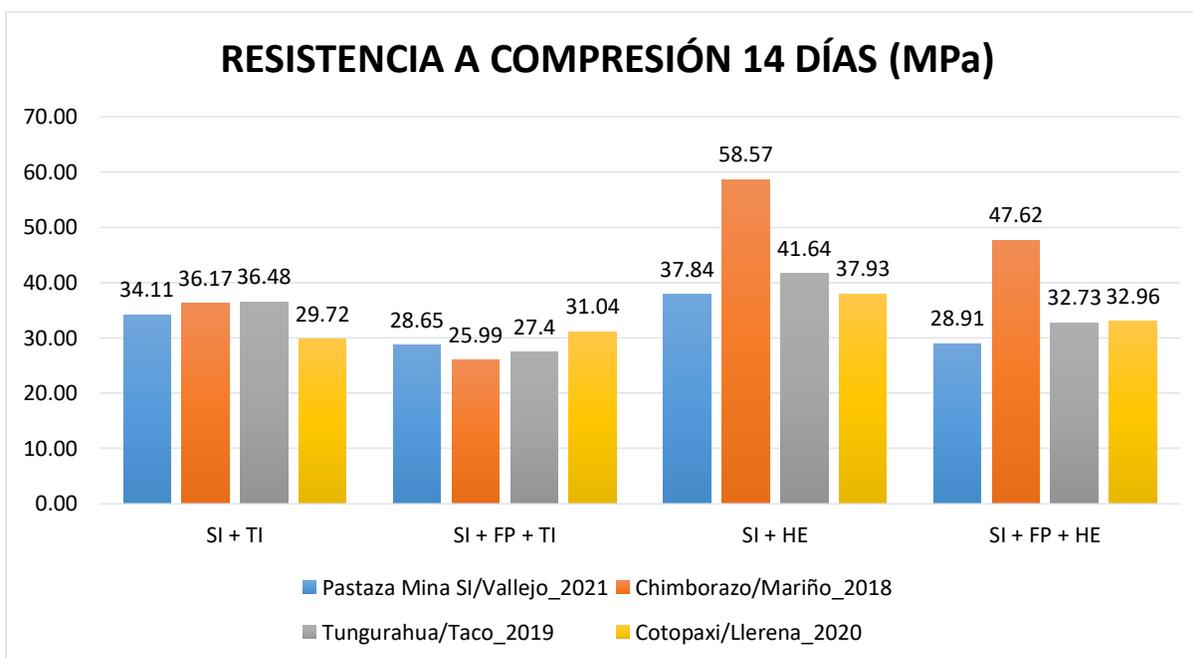
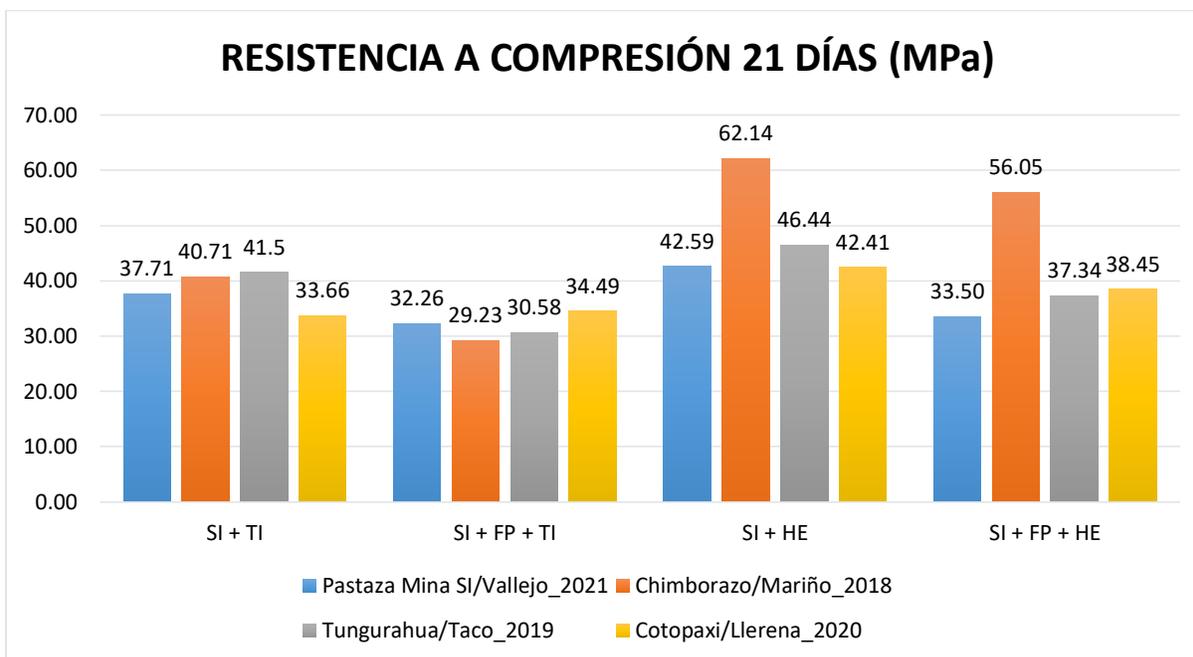
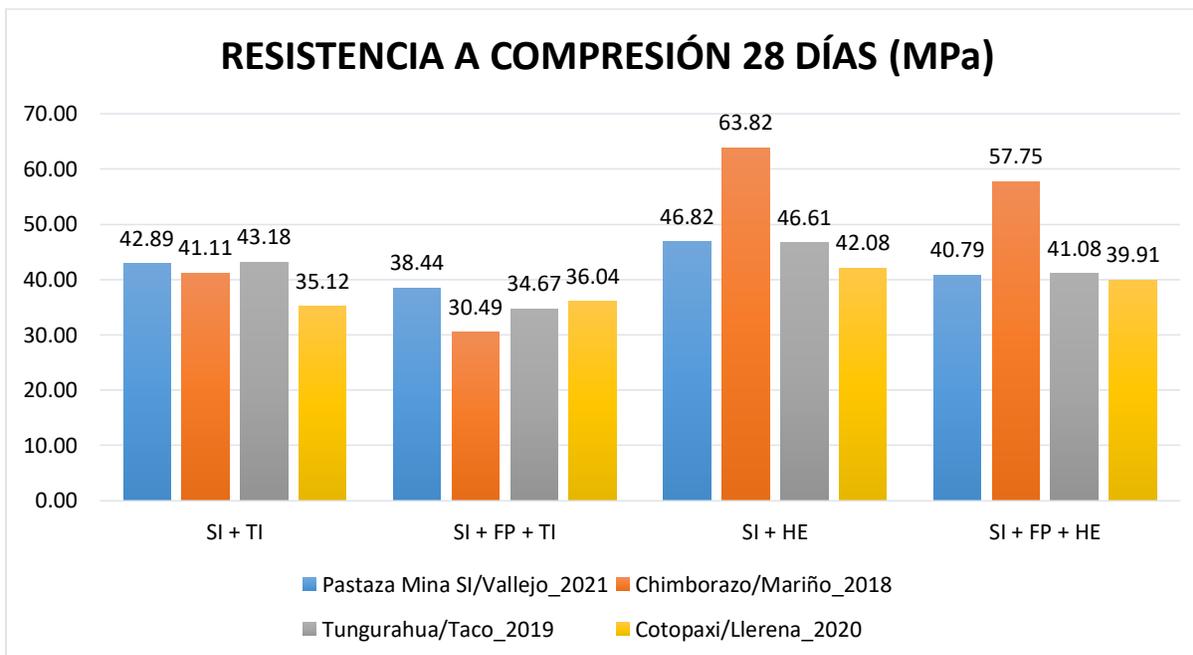


Figura 20

Resistencia de Morteros de las 4 Provincias a los 21 Días Mina Santa Isabel

**Figura 21**

Resistencia de morteros de las 4 provincias a los 28 días Mina Santa Isabel



3.1. Ensayo de consistencia y trabajabilidad

El ensayo de trabajabilidad permitió medir el tiempo en el que la mezcla mantiene su estado plástico, estado que la hace manejable en la impresora 3D, porque se requiere en el ensayo que el pistón penetre 1 cm la mezcla, si fuese más de 1 cm la mezcla sería demasiado maleable y si es menor a 1 cm la mezcla sería menos trabajable. En la Tabla 25 se observa que el mortero elaborado con el árido de la mina Santa Isabel SI+HE presentó lo más cercano a tener un buen comportamiento de trabajabilidad.

Tabla 25

Consistencia y Trabajabilidad Mina Santa Isabel

| | SI+TI | SI+FP+TI | SI+HE | SI+FP+HE |
|--------------|------------------|----------|-------|----------|
| Tiempo (seg) | Penetración (cm) | | | |
| 30 | 1.10 | 1.10 | 0.90 | 1.00 |
| 30 | 1.00 | 0.80 | 1.10 | 1.10 |
| 30 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.20 |
| 30 | 1.00 | 0.90 | 1.00 | 1.20 |

Mientras que para la mina Trópico de Capricornio como se observa en la Tabla 26, el mortero TC+HE evidenció lo más cercano a un buen comportamiento de trabajabilidad.

Tabla 26

Consistencia y Trabajabilidad Mina Trópico de Capricornio

| | TC+TI | TC+FP+TI | TC+HE | TC+FP+HE |
|--------------|------------------|----------|-------|----------|
| Tiempo (seg) | Penetración (cm) | | | |
| 30 | 0.90 | 1.20 | 1.00 | 0.90 |
| 30 | 1.20 | 1.10 | 1.10 | 1.00 |
| 30 | 1.20 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 30 | 1.00 | 1.10 | 1.00 | 0.90 |

3.2. Ensayo de Fluides

La fluidez permitió determinar el contenido de agua que proporciona un nivel de flujo específico para el desempeño óptimo de la mezcla y que según la norma INEN NTE 2502 deberá estar en 110 ± 5 . Sin embargo, basado en el estado de arte en la Tabla 27 se presentan rangos de fluidez recomendada para morteros en distintos tipos de estructura y condiciones de colocación.

Tabla 27

Fluidez del Mortero Recomendada para algunos Tipos de Estructuras

| Consistencia | Fluidez % | Condición de colocación | Ejemplos de Tipo de Estructura | Ejemplo de Sistema de Colocación |
|------------------|-----------|---------------------------------|---|--|
| Dura (seca) | 80 – 100 | Selecciones sujetas a vibración | Reparaciones, recubrimientos de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos. | Proyección neumática con vibraciones 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. |

Fuente: Adaptado de (Llerena, 2020)

Tabla 28

Fluidez Alcanzada en cada Dosificación Diseñada

| Dosificación | % Fluides |
|--------------|-----------|
| SI + HE | 109.9 % |
| SI + FP + HE | 111.9 % |
| TC + HE | 110.6 % |
| TC + FP + HE | 117.3 % |
| SI + TI | 110.15 % |
| SI + FP + TI | 113.20 % |
| TC + TI | 113.33 % |
| TC + FP + TI | 118.85 % |

Este ensayo se realizó a una temperatura de 18°C y una humedad relativa de 58% (Anexo 26 – Foto 18). Los valores en la Tabla 28 evidencian que los rangos de fluidez obtenidos en los morteros estudiados se encuentran entre el 100% al 120%, lo que indica que tiene una consistencia media (plástica), característica para que un mortero sea trabajable.

3.3. Determinación del inicio y final de fraguado

Los tiempos de fraguado inicial y final se presentan en la Tabla 29. Se tomaron dos probetas por cada dosificación obtenida por el método Vicat, en el resultado obtenido se puede observar que el mortero SI+HE presentó un inicio de fraguado a los 130 minutos de amasado y un tiempo final de fraguado de 310 minutos, siendo este el menor tiempo obtenido, mientras que el mortero TC+TI exhibió un mayor tiempo inicial de fraguado de 195 minutos y un mayor tiempo final de fraguado de 375 minutos, comparado con las dosificaciones restantes.

Tabla 29

Tiempo de Fraguado de los Morteros Método de Vicat

| Dosificación | Tiempo inicial de fraguado (min) | Tiempo final de fraguado (min) |
|---------------------|---|---------------------------------------|
| SI+TI | 155 | 350 |
| SI+FP+TI | 165 | 360 |
| SI+HE | 130 | 310 |
| SI+FP+HE | 150 | 345 |
| TC+TI | 195 | 375 |
| TC+FP+TI | 160 | 355 |
| TC+HE | 145 | 340 |
| TC+FP+HE | 155 | 350 |

3.4. Impresión 3D

3.4.1. Condiciones externas de los ensayos

Se generó un promedio de 24 mediciones continuas con un intervalo de 10 segundos de la temperatura y humedad ambiente que se manejaron en las distintas impresiones de las dosificaciones, en la Tabla 30 se observa el análisis estadístico para cada una de estas. En el cuadrado en comparación con el triángulo, los valores medios fueron menores para las dosificaciones SI+HE, SI+FP+HE, SI+TI, SI+FP+TI y TC+TI; mientras que la dosificación TC+HE alcanzó el valor mayor. Los valores medios de la humedad ambiente, para el cuadrado fueron mayores que para el triángulo en las dosificaciones SI+HE, SI+SP+TI, TC+FP+HE y SI+TI; por el contrario, en las dosificaciones SI+FP+HE, TC+FP+HE, TC+FP+TI y TC+HE el triángulo mostró valores medios mayores. Las desviaciones con respecto a los valores medios de temperatura y humedad, tanto para el cuadrado como para el triángulo son bajas. En resumen, aunque se observan variaciones en las condiciones externas en cuanto a temperatura y humedad, no se registran cambios muy significativos lo que apunta a cierta estabilidad en dichos valores.

Tabla 30

Análisis Estadístico del Ensayo de Temperatura y Humedad en la Impresión 3D de los Morteros

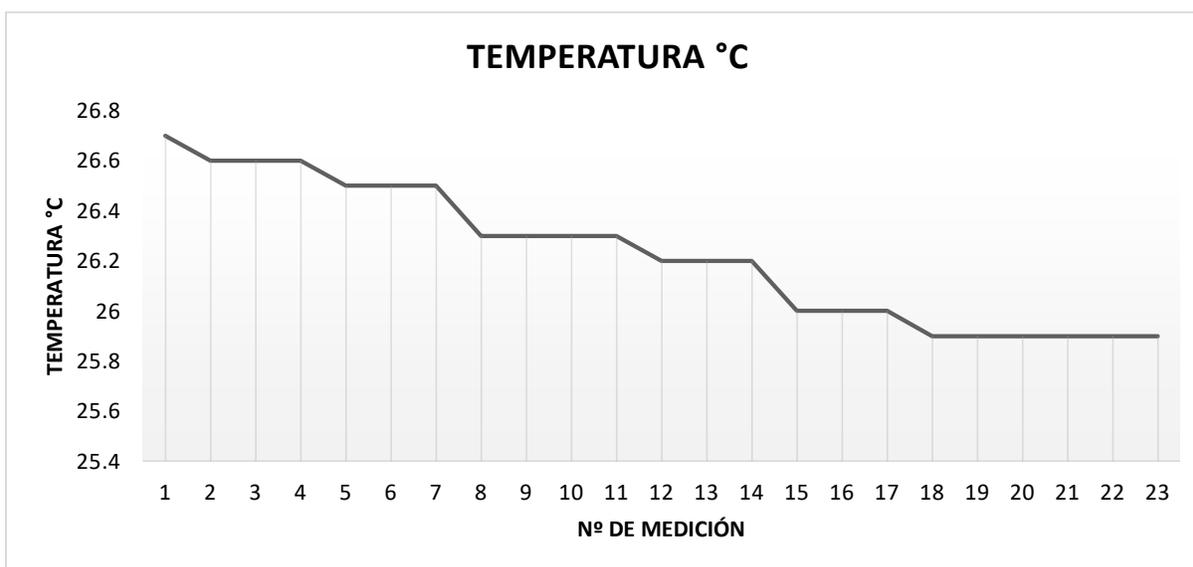
| Modelo de Probeta | | Cuadrado | | Triángulo | |
|-------------------|------------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| | | Temperatura °C | Humedad % | Temperatura °C | Humedad % |
| SI+HE | Media | 22.0 | 68.0 | 24.0 | 57.0 |
| | Desv. Est. | 0.1046 | 0.3459 | 0.0218 | 0.1746 |
| SI+FP+HE | Media | 22.9 | 63.4 | 25.4 | 66.5 |
| | Desv. Est. | 0.1359 | 0.6038 | 0.2729 | 2.3080 |
| SI+TI | Media | 23.3 | 70.2 | 24.8 | 57.2 |
| | Desv. Est. | 0.1806 | 2.7921 | 0.2122 | 1.2062 |
| SI+FP+TI | Media | 20.2 | 65.3 | 21.9 | 57.7 |
| | Desv. Est. | 0.0593 | 0.1706 | 0.1056 | 1.1939 |

| | | | | | |
|-----------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| TC+HE | Media | 26.2 | 61.7 | 22.0 | 73.4 |
| | Desv. Est. | 0.2767 | 0.4132 | 0.3409 | 2.7121 |
| TC+FP+HE | Media | 25.5 | 73.0 | 23.5 | 67.4 |
| | Desv. Est. | 0.1647 | 1.2546 | 0.4031 | 1.1582 |
| TC+TI | Media | 20.0 | 64.6 | 23.9 | 64.7 |
| | Desv. Est. | 0.6999 | 0.6052 | 0.5178 | 1.1038 |
| TC+FP+TI | Media | 21.0 | 57.8 | 19.7 | 67.5 |
| | Desv. Est. | 0.0282 | 1.9802 | 0.1056 | 0.2246 |

En las Figuras 22 y 23 se observa la variación de la temperatura y humedad ambiente registradas durante la impresión de los modelos digitales del mortero TC+HE, el cual presento mejores características de ser imprimible, registrados en un tiempo de 3 minutos aproximadamente.

Figura 22

Temperatura Ambiente/Variación Durante la Impresión



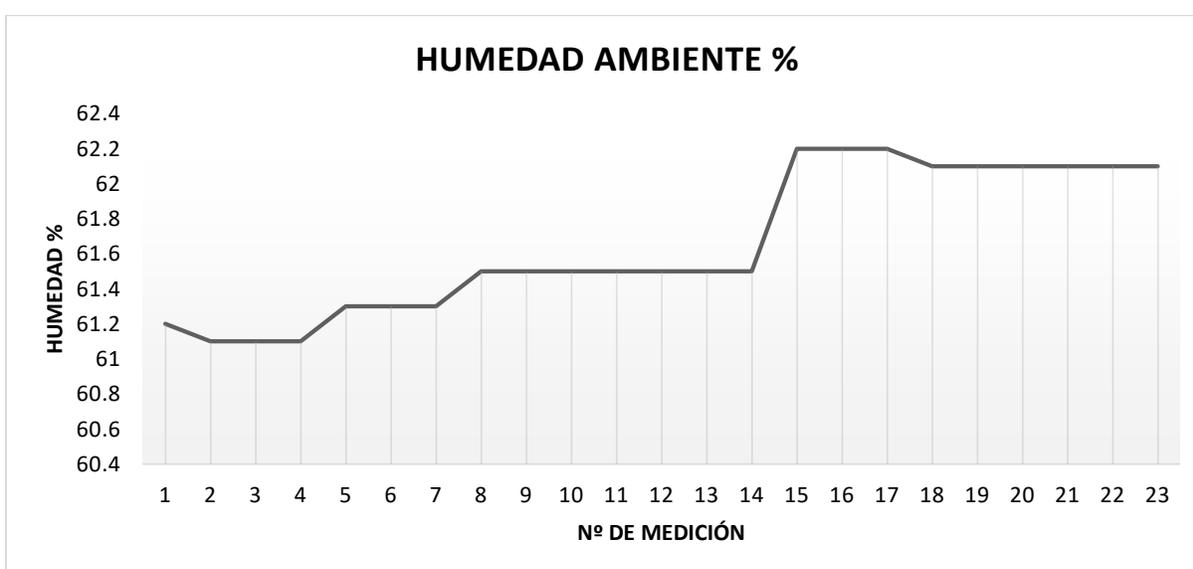
Analizando los resultados y considerando que la cama donde se imprimió el material se encontraba a una temperatura de 60°C. En esta dosificación a medida que avanzó la impresión la

temperatura ambiente fue disminuyendo, según Reyes (2018) éste es un buen parámetro para la mezcla, ya que a menor temperatura se produce una mejor trabajabilidad del material.

Las variaciones de temperatura para las distintas dosificaciones no siempre presentaron este comportamiento, sin embargo, en determinados momentos en que se logró tener una condición óptima para la impresión y las mezclas presentaron buena trabajabilidad.

Figura 23

Humedad Ambiente/ Variación Durante la Impresión



Al contrario de lo sucedido en la temperatura, como se observa en la Figura 23, la humedad ambiente tiende a aumentar a medida que realizaba la impresión, considerándolo un parámetro adecuado para el producto final, Marchment et al. (2019) planteó que la humedad de la superficie de las capas aumenta la fuerza de unión de los elementos.

En las variaciones de temperatura para el resto de dosificaciones su comportamiento fue muy irregular, ya que en ocasiones presentó ascensos o descensos bruscos, sin embargo, las mezclas presentaron características aceptables en la impresión y no se produjeron escurrimiento.

3.4.2. Capacidad de bombeo

Se comprobó la compatibilidad de los morteros analizados para ser utilizados en el prototipo de impresora 3D, respecto a su capacidad de bombeo con flujo continuo sin presentar corte del material. Las dosificaciones no fueron corregidas respecto al plastificante como lo señala la literatura porque a que los morteros elaborados con árido fino de la provincia de Pastaza presentaron una trabajabilidad óptima durante el proceso de impresión.

Las muestras al momento de impresión generaron cambios en la velocidad de flujo, pero fueron controladas por la velocidad de extrusión del equipo, debido a la propuesta de que el prototipo de impresora 3D se utilice con carácter lúdico y los dos sistemas sean independientes.

Como lo sugiere Ortega (2019), se acepta la condición de rotura del material, debido a lo mencionado por Mechtcherine et al. (2020) que es una característica de extrusión a través de una boquilla con tornillo mezclador, como es el caso de la Impresora 3D. Por lo tanto, esta característica no es generada por el material utilizado, sino por el prototipo.

3.4.3. Estabilidad de los morteros

La Tabla 31 muestra un resumen de los resultados obtenidos en la línea de tiempo de los morteros. Las Figuras 25, 26, 27 y 28 (Anexo 18), muestran la extrusión de las dosificaciones SI+TI, TC+TI, TC+HE y TC+FP+HE respectivamente, en el tiempo transcurrido de elaboradas las mezclas, se esperó el tiempo hasta que las muestras presentaron estabilidad.

Las líneas de tiempo realizadas para SI+TI, TC+HE, TC+TI y TC+FP+HE, evidenciaron que tienen una estabilidad óptima al minuto de elaborada la mezcla, además se consideró que no se produjeron taponamientos en el sistema de extrusión, característica considerada para la impresión de los modelos digitales.

Tabla 31*Estabilidad de los morteros*

| Morteros | Tiempo (min) |
|-----------------|---------------------|
| SI+HE | 4 |
| SI+FP+HE | 4 |
| SI+TI | 1 |
| SI+FP+TI | 4 |
| TC+HE | 1 |
| TC+FP+HE | 1 |
| TC+TI | 1 |
| TC+FP+TI | 4 |

En las Figuras 29, 30, 31 y 32 (Anexo 19), se observan las líneas de tiempo para SI+FP+TI, SI+HE, SI+FP+HE y TC+TI respectivamente, evidenciando que se requiere un tiempo de reposo dentro del inyector de 4 minutos antes de realizar la impresión para evitar el escurrimiento de la mezcla.

3.4.4. Tiempo trabajable de los morteros

En la Tabla 32 se muestran los resultados del tiempo que los morteros pueden encontrarse en el inyector, generando impresiones continuas sin perder su extrudabilidad y sin presentar cortes en las muestras impresas.

Se realizaron varios ensayos colocando mortero dentro del inyector e imprimiendo los dos modelos continuamente hasta que no presentaron una adecuada capacidad de bombeo y las características óptimas para la impresión.

Tabla 32*Tiempo Trabajable de los Morteros*

| Modelo de Probeta: | Cuadrado | Triángulo |
|---------------------------|---------------------|-----------|
| Mortero | Tiempo (min) | |
| SI + TI | 7 | 7 |
| SI + FP + TI | 7 | 7 |
| TC + TI | 11 | 11 |
| TC + FP + TI | 10 | 10 |
| SI + HE | 11 | 13 |
| SI + FP + HE | 7 | 9 |
| TC + HE | 11 | 11 |
| TC + FP + HE | 9 | 10 |

En las dosificaciones TC+TI, SI+HE y TC+HE, para el modelo de probeta cuadrado el tiempo trabajable fue de 11 minutos, mientras que para la dosificación TC+FP+HE fue de 9 minutos y en la dosificación TC+FP+TI de 10 minutos, siendo mayores a las demás dosificaciones SI+TI, SI+FP+TI y SI+FP+HE que poseen un tiempo de 7 minutos para su uso en el prototipo de impresora 3D, sin embargo, todos los morteros elaborados son óptimos, ya que cumplen con lo mencionado por Reyes (2018), contaron con el tiempo de trabajabilidad necesario para generar el producto que se deseaba imprimir, el tiempo promedio de impresión fue de 3 minutos, mientras que los tiempos trabajables fueron mayores. Para el modelo de probeta triangular el tiempo de impresión fue aproximadamente de 3 minutos, la Tabla 32 indica que los morteros SI+HE, SI+FP+HE y TC+FP+HE pueden estar dentro del inyector como máximo 13, 9 y 10 minutos respectivamente sin que se endurezcan, siendo mayor al tiempo del modelo anterior, mientras que para los morteros restantes los tiempos máximos fueron iguales al cuadrado.

3.4.5. Calidad de extrusión (Conformidad y Estabilidad Dimensional)

El parámetro de calidad superficial se valoró de manera visual, para lo cual se evaluó cada capa impresa utilizando la vista frontal y en planta en condiciones de aceptación, las impresiones no presentaron segregaciones ni cortes, en la Figura 22 se observan las muestras impresas de las diferentes dosificaciones.

Los ocho morteros elaborados tanto para el cuadrado como el triángulo cumplieron correctamente con la fluidez necesaria siendo compatibles con el prototipo de impresora utilizada, no se generaron bloqueo ni corte del material, sin embargo, todos los morteros presentaron problemas al depositar el material, ya que generaron cambio en la velocidad de flujo, pero fue controlado con el aumento de la velocidad del sistema de extrusión del equipo. Este problema se presentó con mayor frecuencia en los morteros que incluyen flujo piroclástico, por ende, necesitaron un aumento superior en la velocidad del inyector.

Se observó que en todas las dosificaciones, al finalizar la impresión produjeron lo descrito por Buswell et al. (2018), rotura y división en las hiladas, sin embargo fue aceptado debido a lo mencionado por Mechtcherine et al. (2020), que es una característica del sistema de extrusión mediante una boquilla con un tornillo mezclador similar al prototipo utilizado en nuestra investigación.

Comparando las ocho muestras, tanto para el cuadrado como para el triángulo, los morteros SI+HE, SI+FP+HE, TC+HE y TC+FP+HE presentaron menor cantidad de fisuras como se observa en la Figura 24. Las dosificaciones sin adición de flujo piroclástico visualmente mostraron menor cantidad de grietas y mayor estabilidad en comparación con los morteros elaborados a los que se les añadió flujo piroclástico.

Figura 24*Calidad Superficial de los Morteros Impresos*

SI + HE



SI + FP + HE



TC + HE



TC + FP + HE



La Tabla 33 muestra los resultados estadísticos para evaluar la conformidad y estabilidad dimensional del modelo de probeta cuadrado correspondiente a 36 aristas generadas en el que se consideró una dimensión objetiva de 5.5 cm.

Tabla 33

Estadística de la Calidad de Extrusión de los Morteros Figura Cuadrado

| Modelo de Probeta: | | Cuadrado | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
| | | SI+HE | SI+FP+HE | SI+TI | SI+FP+TI | TC+HE | TC+FP+HE | TC+TI | TC+FP+TI |
| Conformidad Dimensional (mm) | Media | 5.499 | 5.546 | 5.559 | 5.572 | 5.507 | 5.551 | 5.563 | 5.538 |
| | Desviación Estándar | 0.139 | 0.141 | 0.154 | 0.152 | 0.109 | 0.102 | 0.122 | 0.178 |
| Estabilidad Dimensional (mm) | Media | -0.013 | -0.030 | -0.022 | -0.024 | 0.013 | 0.015 | 0.031 | 0.018 |
| | Desviación Estándar | 0.042 | 0.050 | 0.072 | 0.059 | 0.050 | 0.063 | 0.095 | 0.061 |

La conformidad dimensional corresponde a la media de varias muestras impresas con la dimensión programada en el software. En las diferentes dosificaciones, para la figura cuadrado, los valores medios oscilaron entre 5.499, siendo el menor para SI+HE y 5.572 el mayor para la mezcla SI+FP+TI, la dispersión alrededor de la media fue poca. Las mezclas se imprimieron con

dimensiones dentro del rango de tolerancia del 10%, deduciendo que presentaron una buena conformidad dimensional.

Comparando las muestras impresas cuadradas, las dosificaciones SI+HE y TC+HE permitieron imprimir elementos en 3D con dimensiones más precisas que el resto de los morteros.

Los morteros SI+FP+HE, TC+FP+HE y TC+FP+TI elaborados con flujo piroclástico mostraron un comportamiento más variable que las dosificaciones mencionadas anteriormente, sin embargo, sus medias no exhiben una dispersión considerable.

La estabilidad dimensional, obtenida de la diferencia de las dimensiones de las muestras recién impresas con las dimensiones de estas al concluir el proceso de fraguado, para tomar estas medidas se consideró el tiempo de fraguado final de las mezclas de una hora y media aproximadamente, por lo tanto la estabilidad dimensional esperada fue 0, debido a que representa que las dimensiones de las hiladas se mantienen en el tiempo sin perder su forma, observando que cuando los valores fueron positivos la mezcla se contrajo, mientras que para los valores negativos significa que la muestra se expandió.

En cuanto a los ensayos realizados para los morteros elaborados con árido fino de la Mina SI los elementos una vez fueron impresos se expandieron, por lo que los valores en la tabla son negativos, mientras que para los morteros elaborados con árido fino de la Mina TC sucede lo contrario, ya que las medias establecieron que sus hiladas tienden a contraerse. Las dosificaciones SI+HE, TC+HE, TC+FP+HE y TC+FP+TI poseen una mejor estabilidad dimensional.

En el modelo de probeta triangular la conformidad dimensional varió de 5.481, el de menor valor medio para la dosificación TC+TI a 5.559 para la dosificación SI+TI. Los valores de

55.04 mm para el mortero SI+HE y 55.10 mm para TC+HE corresponden a las medias de varias muestras impresas con la dimensión programada de 55 mm y poseen una mejor conformidad dimensional, sin embargo, la dispersión es moderada en esta variable.

Tabla 34

Estadística de la Calidad de Extrusión de los Morteros Figura Triangular

| Modelo de Probeta: | | Triángulo | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
| | | SI+HE | SI+FP+HE | SI+TI | SI+FP+TI | TC+HE | TC+FP+HE | TC+TI | TC+FP+TI |
| Conformidad Dimensional (mm) | Media | 5.504 | 5.531 | 5.559 | 5.542 | 5.510 | 5.529 | 5.481 | 5.551 |
| | Desviación Estándar | 0.153 | 0.194 | 0.217 | 0.174 | 0.138 | 0.145 | 0.152 | 0.110 |
| Estabilidad Dimensional (mm) | Media | -0.011 | -0.022 | -0.019 | -0.016 | 0.015 | 0.018 | 0.022 | 0.025 |
| | Desviación Estándar | 0.076 | 0.069 | 0.076 | 0.169 | 0.137 | 0.102 | 0.068 | 0.063 |

Como se observa en la Tabla 34 el valor de -0.011 para el mortero SI+HE presentó una mejor estabilidad dimensional, seguido por 0.015 para TC+HE, 0.018 para TC+FP+HE, -0.016 para SI+FP+TI y -0.019 para SI+TI, sin embargo, mostraron una dispersión mayor con respecto a sus medias.

Tanto para el modelo cuadrado como para el triangular, los morteros SI+HE y TC+HE poseen una mejor conformidad y estabilidad dimensional, sin embargo, las dosificaciones con adición de flujo piroclástico mostraron resultados no muy alejados de los de estas. Las muestras impresas donde los morteros fueron elaborados con árido de la Mina SI para los dos modelos, luego del tiempo de fraguado, tienden a expandirse, mientras que en los elaborados con árido de la Mina TC la tendencia fue contraerse.

3.4.6. Constructibilidad

Los resultados del método vicat con el que se analizó el tiempo de fraguado inicial y final de las muestras impresas, representados por las medias obtenidas en las hiladas impresas de los dos modelos digitales, se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35

Tiempo Inicial y Final de Fraguado de los Morteros Imprimibles

| Modelo de Probeta: | Cuadrado | | Triángulo | |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Mortero | Fraguado Inicial (min) | Tiempo Final de fraguado (min) | Fraguado Inicial (min) | Tiempo Final de fraguado (min) |
| SI+HE | 14 | 26 | 12 | 27 |
| SI+FP+HE | 18 | 34 | 20 | 36 |
| SI+TI | 24 | 41 | 27 | 41 |
| SI+FP+TI | 27 | 43 | 29 | 44 |
| TC+HE | 15 | 27 | 15 | 28 |
| TC+FP+HE | 16 | 31 | 16 | 31 |
| TC+TI | 22 | 38 | 26 | 39 |
| TC+FP+TI | 28 | 43 | 27 | 43 |

Los tiempos para los ocho morteros fueron menores a los obtenidos en el análisis de las propiedades mecánicas presentadas a inicios de este capítulo, debido a que éstas depositaron sobre una cama con una temperatura de 60°C, concluyendo que a mayor temperatura el tiempo de fraguado se redujo, lo que ayuda al proceso de construcción, que requiere menor tiempo, con esta tecnología. En los morteros elaborados con cemento portland tipo HE, el tiempo de fraguado fue similar, sin embargo, se consideró que para los morteros elaborados con árido de la Mina SI requirieron un tiempo de reposo, previo a la impresión.

En la Tabla 36 se muestra el análisis de las deformaciones de hiladas correspondiente al análisis estadístico de las deformaciones obtenidas en términos de espesor para el modelo de probeta cuadrado.

La deformación 1 se generó al soportar el peso de una sola hilada superior, mientras que la deformación 2 por la colocación de dos hiladas superiores sobre esta.

Tabla 36

Análisis Estadístico para Deformaciones de Hiladas Modelo Digital Cuadrado

| Mortero | Modelo de Probeta: | | Cuadrado | |
|---------------------|---------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
| | Hilada | Medida | Deformación 1 (mm) | Deformación 2 (mm) |
| SI + HE | 1 | Media | 0.3417 | 0.2867 |
| | | Desv. Est. | 0.2715 | 0.1869 |
| | 2 | Media | 0.4875 | |
| | | Desv. Est. | 0.2409 | |
| SI + FP + HE | 1 | Media | 0.5100 | 0.4300 |
| | | Desv. Est. | 0.2565 | 0.2035 |
| | 2 | Media | 0.7175 | |
| | | Desv. Est. | 0.3920 | |
| SI + TI | 1 | Media | 0.7042 | 0.3533 |
| | | Desv. Est. | 0.2178 | 0.1067 |
| | 2 | Media | 0.8017 | |
| | | Desv. Est. | 0.2615 | |
| SI + FP + TI | 1 | Media | 0.4783 | 0.2617 |
| | | Desv. Est. | 0.2947 | 0.1986 |
| | 2 | Media | 0.6025 | |
| | | Desv. Est. | 0.2464 | |
| TC + HE | 1 | Media | 0.7067 | 0.3083 |
| | | Desv. Est. | 0.1814 | 0.1073 |
| | 2 | Media | 0.9225 | |
| | | Desv. Est. | 0.3525 | |
| TC + FP + HE | 1 | Media | 0.7042 | 0.4358 |
| | | Desv. Est. | 0.3630 | 0.3050 |
| | 2 | Media | 0.8317 | |
| | | Desv. Est. | 0.2174 | |
| TC + TI | 1 | Media | 0.6208 | 0.3008 |
| | | Desv. Est. | 0.3437 | 0.2313 |
| | 2 | Media | 0.7333 | |
| | | Desv. Est. | 0.3834 | |
| TC + FP + TI | 1 | Media | 0.6075 | 0.4558 |
| | | Desv. Est. | 0.2291 | 0.2232 |
| | 2 | Media | 0.7050 | |
| | | Desv. Est. | 0.2709 | |

El análisis de las deformaciones de hiladas en el modelo de probeta cuadrado mostró que la hilada 1 tiene valores medios menores que la hilada 2 donde los valores están también más dispersos con respecto a la media, pero esto no parece atenuar las diferencias encontradas, según Palacios et al. (2021) este comportamiento se atribuye al efecto de que la hilada 1 se encontraba directamente en contacto con la cama de impresión a una temperatura de 60°C, que acelera el proceso de fraguado obteniendo una rápida rigidización y menor deformación, lo que permite soportar el peso de las hiladas superiores sin presentar deformaciones apreciables, parámetro importante a considerar en una construcción real, ya que asegura la adherencia entre las hiladas.

Los morteros SI+TI, TC+HE, TC+FP+HE y TC+TI presentaron en la deformación 1 valores más altos tanto para la hilada 1 (0.7042, 0.7067, 0.7042 y 0.6208 respectivamente) como para la hilada 2 (0.8017, 0.9225, 0.8317 y 0.7333 respectivamente). Mientras que en el mortero SI+HE la deformación fue menor tanto para la hilada 1 de 0.3417 como para la hilada 2 de 0.4875.

El análisis estadístico de las deformaciones en términos del espesor para el modelo de probeta triángulo, se observa en la Tabla 37, la hilada 2 sufrió mayor deformación en la impresión 3D respecto a la hilada 1.

Las dosificaciones SI+FP+HE, TC+TI y TC+FP+TI mostraron una mayor deformación tanto en la hilada 1 como en la hilada 2, sin embargo, las medias del resto de dosificaciones no difieren mucho en relación a estas. El mortero TC+HE en este modelo digital presentó una deformación menor para las dos hiladas comparada a las mencionadas anteriormente.

Tabla 37*Análisis Estadístico para Deformaciones de Hiladas Modelo Digital Triángulo*

| Modelo de Probeta: | | | Triángulo | |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
| Mortero | Hilada | Medida | Deformación 1 (mm) | Deformación 2 (mm) |
| SI + HE | 1 | Media | 0.6233 | 0.4978 |
| | | Desv. Est. | 0.3153 | 0.2621 |
| | 2 | Media | 0.7878 | |
| | | Desv. Est. | 0.4140 | |
| SI + FP + HE | 1 | Media | 0.6789 | 0.4900 |
| | | Desv. Est. | 0.2742 | 0.2715 |
| | 2 | Media | 1.2289 | |
| | | Desv. Est. | 0.8126 | |
| SI + TI | 1 | Media | 0.5611 | 0.4533 |
| | | Desv. Est. | 0.2405 | 0.1961 |
| | 2 | Media | 0.7911 | |
| | | Desv. Est. | 0.3130 | |
| SI + FP + TI | 1 | Media | 0.5644 | 0.4167 |
| | | Desv. Est. | 0.0809 | 0.3761 |
| | 2 | Media | 0.7756 | |
| | | Desv. Est. | 0.1446 | |
| TC + HE | 1 | Media | 0.5533 | 0.3856 |
| | | Desv. Est. | 0.2444 | 0.1763 |
| | 2 | Media | 0.8544 | |
| | | Desv. Est. | 0.3212 | |
| TC + FP + HE | 1 | Media | 0.6078 | 0.3544 |
| | | Desv. Est. | 0.2765 | 0.1875 |
| | 2 | Media | 0.7722 | |
| | | Desv. Est. | 0.1985 | |
| TC + TI | 1 | Media | 0.6756 | 0.3300 |
| | | Desv. Est. | 0.1683 | 0.1524 |
| | 2 | Media | 0.7811 | |
| | | Desv. Est. | 0.2434 | |
| TC + FP + TI | 1 | Media | 0.6533 | 0.4200 |
| | | Desv. Est. | 0.3548 | 0.2619 |
| | 2 | Media | 0.7378 | |
| | | Desv. Est. | 0.2988 | |

A diferencia de los resultados en el modelo de probeta cuadrado, la dosificación SI+HE para el modelo digital triangular presentó una mayor deformación para la hilada 1 y 2.

Tanto para el cuadrado como para el triángulo se observó que cada hilada no se mantiene como es extruida, este comportamiento es atribuido a la capacidad que tiene cada hilada del mortero fresco para soportar el peso propio y el peso de las hiladas superiores.

En el cuadrado las deformaciones de la hilada 1 fueron menores a las que se produjeron en el triángulo, manteniendo una dispersión baja en sus medias.

En correspondencia con la posición de autores, que enfatizan en la importancia de considerar la deformación total de la primera hilada en términos de espesor, para poder compararla con la resistencia al corte y completar el análisis de constructibilidad, en la Tabla 38 se muestra la estadística del espesor de la primera hilada cuando se finalizó la impresión de los modelos digitales (cuadrado y triángulo).

En el modelo de probeta cuadrado la deformación total en la hilada 1, alcanzó valores medios que oscilaron entre 1.1689 para la dosificación SI + FP + HE (el mayor) y 0.6283 para la dosificación SI+HE (el menor). Los valores se concentran alrededor de la media para casi todas las dosificaciones, por lo que no se observan diferencias significativas.

En la figura triángulo la deformación total en la hilada 1, tuvo valores medios que oscilaron entre 1.1689 para la dosificación SI + FP + HE (el mayor) y 0.9389 para la dosificación TC + HE (el menor). Los valores se concentran alrededor de la media para casi todas las dosificaciones.

Tabla 38*Estadística de Deformación Total de la Primera Hilada para los Modelos Digitales Propuestos*

| Modelo de Probeta: | | Cuadrado | Triángulo |
|---------------------------|---------------|--|-----------|
| Mortero | Medida | Deformación total hilada 1 (mm) | |
| SI + HE | Media | 0.6283 | 1.1211 |
| | Desv. Est. | 0.3004 | 0.3853 |
| SI + FP + HE | Media | 1.1689 | 1.1689 |
| | Desv. Est. | 0.2350 | 0.2350 |
| SI + TI | Media | 1.0575 | 1.0144 |
| | Desv. Est. | 0.2266 | 0.3047 |
| SI + FP + TI | Media | 0.9400 | 0.9811 |
| | Desv. Est. | 0.3359 | 0.3455 |
| TC + HE | Media | 1.0150 | 0.9389 |
| | Desv. Est. | 0.1769 | 0.3480 |
| TC + FP + HE | Media | 1.1400 | 0.9622 |
| | Desv. Est. | 0.3847 | 0.4038 |
| TC + TI | Media | 0.9217 | 1.0056 |
| | Desv. Est. | 0.3781 | 0.2459 |
| TC + FP + TI | Media | 1.0633 | 1.0733 |
| | Desv. Est. | 0.1538 | 0.4205 |

En la impresión 3D, el tiempo medio de reposo para cada hilada fue de 1 minuto para estabilizarse y soportar el peso de la hilada superior. Como se muestra en la tabla, el mortero SI+HE tuvo una menor deformación que las demás dosificaciones para el modelo cuadrado, esto se atribuye a que presentó una óptima estabilidad dimensional, por lo tanto, su capacidad de constructibilidad fue mejor, mientras que para el triángulo las deformaciones totales de la hilada 1 fueron considerablemente superiores a las del cuadrado. Para este análisis se debe considerar que pueden darse variaciones significativas a medida que aumenten las hiladas o que las condiciones de impresión varíen.

CONCLUSIONES

- El árido fino de las minas Santa Isabel y Trópico de Capricornio proveniente de la Provincia de Pastaza es apto para la elaboración de morteros según sus propiedades y características. Tienen un porcentaje de impurezas orgánicas bajo, el módulo de finura de las arenas se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma, sin embargo, el árido de la Mina Santa Isabel presenta un mayor módulo de finura, por otra parte, el contenido de humedad evidencia valores altos para las dos minas y encontramos valores medios para el porcentaje de absorción.
- La composición química elemental del árido de la mina Santa Isabel sugiere la presencia de minerales con mayor contenido de aluminio y sodio en comparación al árido de la mina Trópico de Capricornio.
- El agregado de la provincia de Pastaza de la Mina Trópico de Capricornio posee granos finos, al igual que el agregado estudiado en la provincia de Tungurahua, pero estos valores son mayores al obtenido para el agregado de la provincia de Cotopaxi y Chimborazo, no puede entenderse este resultando como suficiente para afirmar que el agregado de la provincia de Pastaza sea el más adecuado para morteros imprimibles, debido a que se deben considerar otras características y propiedades.
- Todos los morteros diseñados con los dos agregados finos estudiados, tienen una resistencia superior a la indicada por la norma que es de 21 MPa. Los morteros elaborados en su dosificación con el 2% de flujo piroclástico por cada kilogramo de cemento, dieron como resultado una resistencia de 40.79 MPa a los 28 días para la dosificación SI+FP+HE.

- Los morteros de las dos minas preparados con cemento tipo HE sin flujo piroclástico presentaron la mayor resistencia a la compresión, llegando a valores que superaron los 44.54 MPa a los 28 días.
- Se determinó que los morteros propuestos con las arenas de la provincia de Pastaza son imprimibles, ya que en base a la bibliografía consultada poseen un comportamiento adecuado para utilizar en el prototipo estudiado para Impresora 3D.
- Los morteros diseñados SI+HE y TC+HE, presentan mejores características para la impresión 3D en cuanto a extrudabilidad, calidad superficial, tiempo trabajable óptimo, conformidad y estabilidad dimensional en la impresión 3D y tiempo de fraguado para los dos modelos digitales.
- Los morteros SI+FP+HE y TC+FP+HE, al ser probado en la impresora 3D, mostraron un buen comportamiento en cuanto al acabado superficial (grietas, superficie suave), en cambio el mortero TC+FP+HE muestra una mejor estabilidad dimensional y tiempo de fraguado, mientras que el mortero SI+FP+HE presentó mejores características en cuanto a edificabilidad.

RECOMENDACIONES

- En esta investigación se estudió el comportamiento mecánico de morteros con adición de flujo piroclástico, los resultados alcanzados justifican la continuidad de estudios que permitan conocer los factores que inciden en la reducción de la resistencia, por su utilización.
- Los nuevos estudios a realizarse en esta misma línea, deben considerar la opción del uso de prototipos a escala real.
- Realizar nuevas investigaciones, profundizando el estudio del uso del cemento HE en los morteros imprimibles.
- Explorar diferentes tipos de materiales volcánicos con el propósito de conseguir mejorar la funcionalidad del mortero desde el punto de vista térmico.

BIBLIOGRAFÍA

- Bermúdez, M. A., & Riqueme, A. (2020). *Reducción de costos en una mezcla de mortero para impresión 3D, mediante la inclusión de cenizas volantes* [Tesis de Grado]. Universidad EIA.
- Buswell, R. ., Leal de Silva, W. ., Jones, S. ., & Dirrenberger, J. (2018). 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. *Cement and Concrete Research*, 112, 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.006>
- Campillo, M. (2017). “Prefabricación en la arquitectura: Impresión 3D en hormigón” [Tesis de Grado, Universidad Politécnica de Madrid]. In *Universidad Politécnica de Madrid*. <http://oa.upm.es/47556/>
- Contreras, L. (2018, March 14). *Be More 3D fabrica la primera casa impresa en 3D de España*. <https://www.3dnatives.com/es/be-more-3d-casa-impresa-espana-140320182/#!>
- Contreras, L. (2019). *Apis Cor desarrolló el edificio impreso en 3D más grande de Dubai - 3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/es/apis-cor-edificio-impreso-en-3d-dubai-011120192/>
- Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). Impresión 3D de edificios y componentes de construcción como el futuro de la construcción sostenible. *Procedia Engineering*, 151(December), 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>
- Herrera, O. (2017). *Impresión 3D de proyectos de ingeniería y construcción* [Tesis de Grado]. Santiago de Chile: Universidad Andrés Bello.
- Hoffmann, M., Skibicki, S., Pankratow, P., Zieliński, A., Pajor, M., & Techman, M. (2020). Automation in the construction of a 3D-Printed concrete wall with the use of a lintel gripper. *Materials*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/MA13081800>

- Jagoda, J., Kreiger, M., & Schuldt, S. (2020). The viability and simplicity of 3D-Printed construction: A military case study. *Infrastructures*, 5(4), 1–10.
<https://doi.org/10.3390/infrastructures5040035>
- Khalil, N., Aouad, G., El Cheikh, K., & Rémond, S. (2017). Use of calcium sulfoaluminate cements for setting control of 3D-printing mortars Use of calcium sulfoaluminate cements for setting control of 3D-printing mortars. *Construction and Building Materials*, 157(October), 382–391. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.109>
- Llerena, A. (2020). *Diseño de un mortero con arena de río de la Provincia de Cotopaxi, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido cal hidráulica para el uso de impresoras 3D* [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Chimborazo.
- López, J. (2019). *Comportamiento mecánico de un motero elaborado con cemento portland tipo I y HE, incluido bicarbonato de sodio* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Chimborazo]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Losso, H. (2017). *Dosificación de mortero cementicio para Impresión 3D* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Córdoba.
- Malaeb, Z., Hachem, H., Tourbah, A., Maalouf, T., El Zarwi, N., & Hamzeh, F. (2015). 3D Concrete Printing: Machine and Mix Design. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 6(April), 14–22.
- Marchment, T., Sanjayan, J., & Xia, M. (2019). Method of enhancing interlayer bond strength in construction scale 3D printing with mortar by effective bond area amplification. *Materials and Design*, 169, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107684>
- Mariño, C. (2018). *Diseño de un mortero con cemento portland Tipo I Y HE incluida cal hidráulica para su uso en impresoras 3D* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de

Chimborazo.

Martel, A. (2021). *#Startup3D: ICON y su enfoque de la impresión 3D en la Luna - 3Dnatives*.

3D Natives. <https://www.3dnatives.com/es/startup3d-icon-impresion-3d-luna-120120212/#>

Martínez, J. (2019). *Desarrollo de morteros con geopolímeros para la impresión 3D* [Tesis de Máster]. Universidad de Cantabria.

Mechtcherine, V., Bos, F. P., Perrot, A., da Silva, W. R. L., Nerella, V. N., Fataei, S., Wolfs, R.

J. M., Sonebi, M., & Roussel, N. (2020). Extrusion-based additive manufacturing with cement-based materials – Production steps, processes, and their underlying physics: A review. *Cement and Concrete Research*, 132(December 2019), 106037.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106037>

Mejía, M., Chinchilla, V., & Mendoza, C. (2012). *Determinación De La Resistencia a La*

Compresión De Mortero Empleando Especímenes Cilíndricos Y Cúbicos, Utilizando Arena Del Occidente Del País” [Tesis de Grado, Universidad de el Salvador].

[http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15315/1/TESIS DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECIMENES CILÍNDRICO.pdf](http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15315/1/TESIS%20DETERMINACI%C3%93N%20DE%20LA%20RESISTENCIA%20A%20LA%20COMPRESI%C3%93N%20DE%20MORTERO%20EMPLEANDO%20ESPECIMENES%20CIL%C3%8DNDRICO.pdf)

Mothes, P., Hoblitt, R. P., Hall, M. L., & Newhall, C. (2019). *Caracterización de los flujos piroclásticos producidos por el volcán Tungurahua (Ecuador): Evidencias de dichos flujos en la ciudad de Baños. 1*, 19–23.

Ortega, G. (2019). *Comportamiento de morteros con materiales locales en el proceso de*

impresión de elementos constructivos en 3D. [Tesis de Grado no publicada]. Universidad Nacional de Chimborazo.

Palacios, M. J., Ortega, S. G., Gualli, D. A., & Manzano, M. R. (2021). Comportamiento de morteros con áridos locales de la Zona 3 de Ecuador, durante la impresión 3D.

- ConcienciaDigital*, 4(1.2), 220–234. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.2.1590>
- Pilay, E. (2019). Análisis de la factibilidad de implementación de impresoras 3D basado en tecnología FDM para la construcción de viviendas en la ciudad de Guayaquil [Tesis de Grado]. In *Repositorio Universidad de Guayaquil* (Vol. 53, Issue 9). Universidad de Guayaquil.
- Ramírez, S. (2021). *Importancia y futuro de la impresión 3D en el sector de la construcción*. <https://www.3dnatives.com/es/futuro-impresion-3d-sector-construccion-260120212/#!>
- Reyes, H. (2018). *Estudio de las características del hormigón para su uso en una máquina de impresión: selección de propiedades, ensayos experimentales y diseño de mezcla* (Vol. 2, Issue 1) [Tesis de Grado, Universidad de Chile]. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76887-8><http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-93594-2><http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00007-3><http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018><http://dx.doi.org/10.1038/s41559-019-0877-3>
- Soriano, S. (2019). *Diseño de una impresora 3D para la construcción de viviendas* [Tesis de Grado]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.
- Taco, P. (2019). *Diseño de un mortero con arena de la provincia de Tungurahua, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido cal hidráulica para el uso de impresoras 3D*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Yoris, A. (2019). Desarrollo de morteros sostenibles para su aplicación en impresión 3D. *Ajea*, 4, 978–987. <https://doi.org/10.33414/ajea.4.410.2019>

ANEXOS

Anexo 1. Ensayo de Granulometría del flujo piroclástico

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|--------|---|-----|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Ensayo: | | Granulometría | | | | | |
| | | Laboratorio "CEDICONS" | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Muestra: | Flujo Piroclástico | | Yacimiento: | Volcán Tungurahua | | | |
| Elaboración del ensayo: | | 06 de diciembre del 2020 | | | | | |
| TABULACIÓN DE DATOS | | | | | | | |
| Masa Inicial: | | 500 g | | | | | |
| Tamiz N° | Abertura (mm) | Peso retenido | % Retenido | % Retenido acumulado | % Pasa | % Pasa especificado árido fino norma INEN 696 | |
| 3/8" | 9.5 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | 4.75 | 0 | 0 | 0 | 100 | 95 | 100 |
| 8 | 2.36 | 16.9 | 3.4 | 3.4 | 97 | 80 | 100 |
| 16 | 1.18 | 60.1 | 12.0 | 15.4 | 85 | 50 | 85 |
| 30 | 0.6 | 80.6 | 16.1 | 31.5 | 68 | 25 | 60 |
| 50 | 0.3 | 100.8 | 20.2 | 51.7 | 48 | 10 | 30 |
| 100 | 0.15 | 98.9 | 19.8 | 71.5 | 29 | 2 | 10 |
| 200 | 0.075 | 132.6 | 26.5 | 98.0 | 2 | | |
| Bandeja | | 10.1 | 2.0 | 100.0 | 0 | | |
| Módulo de finura | | | | 2.71 | | | |

Anexo 2. Ensayo de Granulometría Mina Santa Isabel

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
|---|---------------|---|--------------|----------------------|--------|---|-----|
| Ensayo: | | Granulometría | | | | | |
| | | Laboratorio "CEDICONS" | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Muestra: | | Arena de río | Mina: | Santa Isabel | | | |
| Ubicación: | | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | | | |
| Fecha de muestreo: | | 04 de enero del 2021 | | | | | |
| Elaboración del ensayo: | | 06 de enero del 2021 | | | | | |
| TABULACIÓN DE DATOS | | | | | | | |
| Masa Inicial: | | 500 | | g | | | |
| Tamiz N° | Abertura (mm) | Peso retenido | % Retenido | % Retenido acumulado | % Pasa | % Pasa especificado árido fino norma INEN 696 | |
| 3/8" | 9.5 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | 4.75 | 4.55 | 0.91 | 0.91 | 99.09 | 95 | 100 |
| 8 | 2.36 | 12.15 | 2.43 | 3.34 | 96.66 | 80 | 100 |
| 16 | 1.18 | 19.44 | 3.89 | 7.23 | 92.77 | 50 | 85 |
| 30 | 0.6 | 96.57 | 19.31 | 26.54 | 73.46 | 25 | 60 |
| 50 | 0.3 | 220.07 | 44.01 | 70.56 | 29.44 | 10 | 30 |
| 100 | 0.15 | 100.08 | 20.02 | 90.57 | 9.43 | 2 | 10 |
| 200 | 0.075 | 41.18 | 8.24 | 98.81 | 1.19 | | |
| Bandeja | | 5.96 | 1.19 | 100.00 | 0.00 | | |
| Módulo de finura | | | | 2.98 | | | |

Anexo 3. Ensayo de Granulometría Mina Trópico de Capricornio

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
|--|----------------------|---|-------------------|-----------------------------|---------------|--|-----|
| Ensayo: | | Granulometría | | | | | |
| | | Laboratorio "CEDICONS" | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Muestra: | | Arena de río | Mina: | Trópico de Capricornio | | | |
| Fecha de muestreo: | | 04 de enero del 2021 | | | | | |
| Elaboración del ensayo: | | 06 de enero del 2021 | | | | | |
| Ubicación: | | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | | | |
| TABULACIÓN DE DATOS | | | | | | | |
| Masa Inicial: | | 500 g | | | | | |
| Tamiz N° | Abertura (mm) | Peso retenido | % Retenido | % Retenido acumulado | % Pasa | % Pasa especificado árido fino norma INEN 696 | |
| 3/8" | 9.5 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | 4.75 | 1.92 | 0.38 | 0.38 | 99.616 | 95 | 100 |
| 8 | 2.36 | 4.75 | 0.95 | 1.33 | 98.67 | 80 | 100 |
| 16 | 1.18 | 18.65 | 3.73 | 5.06 | 94.94 | 50 | 85 |
| 30 | 0.6 | 34.49 | 6.90 | 11.96 | 88.04 | 25 | 60 |
| 50 | 0.3 | 231.21 | 46.24 | 58.20 | 41.80 | 10 | 30 |
| 100 | 0.15 | 170.65 | 34.13 | 92.33 | 7.67 | 2 | 10 |
| 200 | 0.075 | 33.33 | 6.67 | 99.00 | 1.00 | | |
| Bandeja | | 5 | 1.00 | 100.00 | 0.00 | | |
| Módulo de finura | | | | 2.68 | | | |

Anexo 4. Ensayo de Contenido de Humedad Mina Santa Isabel

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | |
|---|---|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| Ensayo: | Contenido de Humedad | | | | | |
| | Laboratorio "CEDICONS" | | | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Muestra: | Arena de río | | | Mina: | Santa Isabel | |
| Ubicación: | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | | | |
| Fecha de muestreo: | 04 de enero del 2021 | | | | | |
| Fecha Elaboración del ensayo: | 06 de enero del 2021 | | | | | |
| TABULACIÓN DE DATOS | | | | | | |
| Recipiente | Masa Recipiente (g) | Masa agregado húmedo + rec (g) | Masa agregado seco + rec (g) | Masa agregado húmedo (g) | Masa agregado seco (g) | Contenido de humedad (%) |
| 1 | 21.52 | 51.46 | 49.16 | 29.94 | 27.64 | 8.32 |
| 2 | 21.52 | 53.01 | 50.51 | 31.49 | 28.99 | 8.62 |
| 3 | 21.2 | 57.23 | 54.26 | 36.03 | 33.06 | 8.98 |
| 4 | 21.01 | 54.59 | 51.87 | 33.58 | 30.86 | 8.81 |
| % Humedad Promedio | | | | | | 8.69 |

Anexo 5. Ensayo de Contenido de Humedad Mina Trópico de Capricornio

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | |
|---|---|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| Ensayo: | Contenido de Humedad | | | | | |
| | Laboratorio "CEDICONS" | | | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Muestra: | Arena de río | Mina: | | | Trópico de Capricornio | |
| Ubicación: | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | | | |
| Fecha Elaboración del ensayo: | 06 de enero del 2021 | | | | | |
| TABULACIÓN DE DATOS | | | | | | |
| Recipiente | Masa Recipiente (g) | Masa agregado húmedo + rec (g) | Masa agregado seco + rec (g) | Masa agregado húmedo (g) | Masa agregado seco (g) | Contenido de humedad (%) |
| 1 | 21.74 | 49.25 | 46.18 | 27.51 | 24.44 | 12.56 |
| 2 | 21.62 | 49.8 | 46.65 | 28.18 | 25.03 | 12.58 |
| 3 | 21.27 | 48.09 | 45.2 | 26.82 | 23.93 | 12.08 |
| 4 | 21.74 | 50.55 | 47.17 | 28.81 | 25.43 | 13.29 |
| % Humedad Promedio | | | | | | 12.63 |

Anexo 6. Ensayo de Densidad y Porcentaje de Absorción Mina Santa Isabel

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | |
|---|---|----------------------------------|--|-----------------------|
| Ensayo: | Densidad y Porcentaje de Absorción | | | |
| | Laboratorio "CEDICONS" | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Muestra: | Arena de río | Mina: | | Santa Isabel |
| Ubicación: | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | |
| Fecha Elaboración del ensayo: | 06 de enero del 2021 | | | |
| TABULACIÓN DE DATOS | | | | |
| Masa picnómetro vacío (g) | Muestra seca al horno (g) | Masa picnómetro calibrado a 23°C | Masa picnómetro + árido SSS + agua (g) | Masa árido en SSS (g) |
| 172.78 | 445.7 | 672.15 | 957.01 | 459.49 |
| Densidad (SH) (kg/cm ³) | | 2552.25 | | |
| Densidad en SSS (kg/cm ³) | | 2631.22 | | |
| Densidad Aparente (kg/cm ³) | | 2771.08 | | |
| Porcentaje de Absorción (%) | | 3.09 | | |

Anexo 7. Ensayo de Densidad y Porcentaje de Absorción Mina Trópico de Capricornio

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | |
|---|---|----------------------------------|--|-----------------------|
| Ensayo: | Densidad y Porcentaje de Absorción | | | |
| | Laboratorio "CEDICONS" | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Muestra: | Arena de río | Mina: | Trópico de Capricornio | |
| Ubicación: | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | |
| Fecha de muestreo: | 04 de enero del 2021 | | | |
| Fecha Elaboración del ensayo: | 06 de enero del 2021 | | | |
| TABULACIÓN DE DATOS | | | | |
| Masa picnómetro vacío (g) | Muestra seca al horno (g) | Masa picnómetro calibrado a 23°C | Masa picnómetro + árido SSS + agua (g) | Masa árido en SSS (g) |
| 172.78 | 379.63 | 672.15 | 913.6 | 389.35 |
| Densidad (SH) (kg/cm ³) | | 2566.80 | | |
| Densidad en SSS (kg/cm ³) | | 2632.52 | | |
| Densidad Aparente (kg/cm ³) | | 2747.36 | | |
| Porcentaje de Absorción (%) | | 2.56 | | |

Anexo 8. Ensayo de Trabajabilidad y Consistencia Mina Santa Isabel

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | |
|---|---|--------------|--------------|----------|
| Ensayo: | Trabajabilidad y Consistencia | | | |
| | Laboratorio de Ingeniería Civil UNACH | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Muestra: | Arena de río | Mina: | Santa Isabel | |
| Ubicación: | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | |
| Fecha Elaboración del ensayo: | 01 de marzo del 2021 | | | |
| | Dosificaciones | | | |
| | SI+TI | SI+FP+TI | SI+HE | SI+FP+HE |
| Tiempo (seg) | Penetración (cm) | | | |
| 30 | 1.10 | 1.10 | 0.90 | 1.00 |
| 30 | 1.00 | 0.80 | 1.10 | 1.10 |
| 30 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.20 |
| 30 | 1.00 | 0.90 | 1.00 | 1.20 |

Anexo 9. Ensayo de Trabajabilidad y Consistencia Mina Trópico de Capricornio

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | |
|---|---|--------------|------------------------|----------|
| Ensayo: | Trabajabilidad y Consistencia | | | |
| | Laboratorio de Ingeniería Civil UNACH | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Muestra: | Arena de río | Mina: | Trópico de Capricornio | |
| Ubicación: | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | |
| Fecha Elaboración del ensayo: | 02 de marzo del 2021 | | | |
| | Dosificaciones | | | |
| | TC+TI | TC+FP+TI | TC+HE | TC+FP+HE |
| Tiempo (seg) | Penetración (cm) | | | |
| 30 | 0.90 | 1.20 | 1.00 | 0.90 |
| 30 | 1.20 | 1.10 | 1.10 | 1.00 |
| 30 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.00 |
| 30 | 1.00 | 1.10 | 1.00 | 0.90 |

Anexo 10. Ensayo de Tiempo de Fraguado Mina Santa Isabel

| UNIVERSIDAD NACIONAL D+B2:I19E CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Ensayo: | | Tiempo de Fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | Laboratorio de Ingeniería Civil UNACH | | | | | |
| Tutor de tesis: | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Muestra: | | Arena de río | | Mina: | | Santa Isabel | |
| Ubicación: | | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | | | |
| Fecha Elaboración del ensayo: | | 01 de marzo del 2021 | | | | | |
| SI+TI | | SI+FP+TI | | SI+HE | | SI+FP+HE | |
| Hora elaboración mortero: 9:30 | | Hora elaboración mortero: 10:10 | | Hora elaboración mortero: 10:50 | | Hora elaboración mortero: 11:30 | |
| Tiempo inicial (h) | Penetración de la Aguja de Vicat (mm) | Tiempo inicial (h) | Penetración de la Aguja de Vicat (mm) | Tiempo inicial (h) | Penetración de la Aguja de Vicat (mm) | Tiempo inicial (h) | Penetración de la Aguja de Vicat (mm) |
| 10:00 | 39 | 10:40 | 37 | 11:20 | 38 | 12:00 | 37 |
| 12:05 | 25 | 12:55 | 25 | 13:00 | 25 | 14:00 | 25 |
| 12:20 | 23 | 13:10 | 22 | 13:15 | 22 | 14:15 | 24 |
| 12:35 | 20 | 13:25 | 18 | 13:30 | 20 | 14:30 | 23 |
| 12:50 | 18 | 13:40 | 16 | 13:45 | 18 | 14:45 | 21 |
| 13:05 | 16 | 13:55 | 13 | 14:00 | 16 | 15:00 | 18 |
| 13:20 | 15 | 14:10 | 10 | 14:15 | 14 | 15:15 | 16 |
| 13:35 | 12 | 14:25 | 8 | 14:30 | 13 | 15:30 | 13 |
| 13:50 | 8 | 14:40 | 7 | 14:45 | 9 | 15:45 | 11 |
| 14:05 | 7 | 14:55 | 5 | 15:00 | 6 | 16:00 | 9 |
| 14:20 | 5 | 15:10 | 4 | 15:15 | 3 | 16:15 | 8 |
| 14:35 | 3 | 15:25 | 2 | 15:30 | 2 | 16:30 | 5 |
| 14:50 | 1.5 | 15:40 | 1 | 15:45 | 1 | 16:45 | 2 |
| 15:05 | 1 | 15:55 | 0.5 | 16:00 | 0 | 17:00 | 1 |
| 15:20 | 0 | 16:10 | 0 | | | 17:15 | 0 |

Anexo 11. Ensayo de Tiempo de Fraguado Mina Trópico de Capricornio

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Ensayo: | | Tiempo de Fraguado | | | | | |
| | | Laboratorio de Ingeniería Civil UNACH | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Muestra: | | Arena de río | | Mina: | | Trópico de Capricornio | |
| Ubicación: | | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | | | |
| Fecha Elaboración del ensayo: | | 02 de marzo del 2021 | | | | | |
| TC+TI | | TC+FP+TI | | TC+HE | | TC+FP+HE | |
| Hora elaboración mortero: 12:10 | | Hora elaboración mortero: 12:50 | | Hora elaboración mortero: 13:30 | | Hora elaboración mortero: 14:10 | |
| Tiempo inicial (h) | Penetración de la Aguja de Vicat (mm) | Tiempo inicial (h) | Penetración de la Aguja de Vicat (mm) | Tiempo inicial (h) | Penetración de la Aguja de Vicat (mm) | Tiempo inicial (h) | Penetración de la Aguja de Vicat (mm) |
| 12:40 | 40 | 13:20 | 38 | 14:00 | 39 | 14:40 | 38 |
| 15:25 | 25 | 15:30 | 25 | 15:55 | 25 | 16:45 | 25 |
| 15:40 | 23 | 15:45 | 22 | 16:10 | 24 | 17:00 | 21 |
| 15:55 | 20 | 16:00 | 17 | 16:25 | 22 | 17:15 | 19 |
| 16:10 | 19 | 16:15 | 13 | 16:40 | 19 | 17:30 | 17 |
| 16:25 | 17 | 16:30 | 11 | 16:55 | 16 | 17:45 | 15 |
| 16:40 | 16 | 16:45 | 9 | 17:10 | 14 | 18:00 | 12 |
| 16:55 | 13 | 17:00 | 6 | 17:25 | 11 | 18:15 | 10 |
| 17:10 | 10 | 17:15 | 4 | 17:40 | 9 | 18:30 | 7 |
| 17:25 | 7 | 17:30 | 3 | 17:55 | 8 | 18:45 | 6 |
| 17:40 | 5 | 17:45 | 2 | 18:10 | 5 | 19:00 | 5 |
| 17:55 | 2 | 18:15 | 1.5 | 18:25 | 3 | 19:15 | 2 |
| 18:10 | 1 | 18:30 | 1 | 18:40 | 2 | 19:30 | 1 |
| 18:25 | 0 | 18:45 | 0 | 18:55 | 1 | 19:45 | 0.5 |
| | | | | 19:10 | 0 | 20:00 | 0 |

Anexo 12. Ensayo de fluidez Mina Santa Isabel

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | |
|---|---|--------------|--------------|----------|
| Ensayo: | Mesa de Flujo | | | |
| | Laboratorio de Ingeniería Civil UNACH | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Muestra: | Arena de río | Mina: | Santa Isabel | |
| Ubicación: | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | |
| Fecha Elaboración del ensayo: | 03 de marzo del 2021 | | | |
| TABULACIÓN DE DATOS | | | | |
| | Dosificaciones | | | |
| | SI+TI | SI+FP+TI | SI+HE | SI+FP+HE |
| Diámetro de la pasta (cm) | 25.6 | 28.15 | 27.2 | 28 |
| | 26.45 | 27.55 | 25.9 | 26.9 |
| | 28.8 | 28.3 | 28 | 28.8 |
| | 29.3 | 29.2 | 28.8 | 28.2 |
| % FLUIDEZ | 110.15 | 113.20 | 109.9 | 111.9 |

Anexo 13. Ensayo de fluidez Mina Trópico de Capricornio

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | |
|---|---|--------------|------------------------|----------|
| Ensayo: | Mesa de Flujo | | | |
| | Laboratorio de Ingeniería Civil UNACH | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Muestra: | Arena de río | Mina: | Trópico de Capricornio | |
| Ubicación: | Provincia de Pastaza, zona Madre Tierra | | | |
| Fecha Elaboración del ensayo: | 03 de marzo del 2021 | | | |
| TABULACIÓN DE DATOS | | | | |
| | Dosificaciones | | | |
| | TC+TI | TC+FP+TI | TC+HE | TC+FP+HE |
| Diámetro de la pasta (cm) | 28 | 30.55 | 30 | 27.3 |
| | 27.4 | 28.4 | 25.3 | 29 |
| | 29.8 | 29.8 | 26.3 | 31 |
| | 28.13 | 30.1 | 29 | 30 |
| % FLUIDEZ | 113.33 | 118.85 | 110.6 | 117.3 |

Anexo 14. Ensayo de compresión a corto plazo Mina Santa Isabel

| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | | COMPRESIÓN DE CUBOS CORTO PLAZO (50x50) mm | | |
| Ubicación: | | Laboratorio "CEDICONS" | | |
| Dosificación: | | SI + HE | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | 13/1/2021 | Hora: | 06h00 |
| Edad (horas) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 6 | 2527 | 9.54 | 3.78 | 4.08 |
| | 2523 | 10.19 | 4.05 | |
| | 2540 | 11.20 | 4.41 | |
| 9 | 2548 | 13.72 | 5.39 | 4.90 |
| | 2512 | 11.34 | 4.51 | |
| | 2538 | 12.15 | 4.79 | |
| 12 | 2511 | 14.47 | 5.76 | 6.22 |
| | 2503 | 16.52 | 6.60 | |
| | 2537 | 15.96 | 6.29 | |

| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | | COMPRESIÓN DE CUBOS CORTO PLAZO (50x50) mm | | |
| Ubicación: | | Laboratorio "CEDICONS" | | |
| Dosificación: | | SI + FP + HE | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | 13/1/2021 | Hora: | 06h00 |
| Edad (horas) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 6 | 2517 | 4.96 | 1.97 | 1.90 |
| | 2561 | 3.18 | 1.24 | |
| | 2539 | 6.32 | 2.49 | |
| 9 | 2549 | 7.99 | 3.13 | 3.07 |
| | 2541 | 7.16 | 2.83 | |
| | 2533 | 8.23 | 3.25 | |
| 12 | 2541 | 11.33 | 4.46 | 4.73 |
| | 2523 | 12.58 | 4.99 | |
| | 2530 | 9.74 | 4.73 | |

| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | | COMPRESIÓN DE CUBOS CORTO PLAZO (50x50) mm | | |
| Ubicación: | | Laboratorio "CEDICONS" | | |
| Dosificación: | | SI + TI | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | 15/1/2021 | Hora: | 06h00 |
| | | | | |
| Edad (horas) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 6 | 2514 | 7.42 | 2.95 | 3.19 |
| | 2537 | 8.65 | 3.41 | |
| | 2521 | 8.12 | 3.22 | |
| 9 | 2504 | 9.93 | 3.96 | 4.13 |
| | 2506 | 10.75 | 4.29 | |
| | 2524 | 10.41 | 4.13 | |
| 12 | 2539 | 12.11 | 4.77 | 5.35 |
| | 2583 | 13.21 | 5.22 | |
| | 2545 | 13.48 | 6.07 | |

| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | | COMPRESIÓN DE CUBOS CORTO PLAZO (50x50) mm | | |
| Ubicación: | | Laboratorio "CEDICONS" | | |
| Dosificación: | | SI + FP + TI | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | 15/1/2021 | Hora: | 06h00 |
| | | | | |
| Edad (horas) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 6 | 2525 | 4.53 | 1.79 | 1.75 |
| | 2571 | 2.97 | 1.16 | |
| | 2548 | 5.89 | 2.31 | |
| 9 | 2529 | 6.36 | 2.52 | 2.94 |
| | 2542 | 8.35 | 3.29 | |
| | 2526 | 7.66 | 3.03 | |
| 12 | 2560 | 11.37 | 4.48 | 4.22 |
| | 2529 | 10.86 | 4.29 | |
| | 2513 | 9.73 | 3.87 | |

Anexo 15. Ensayo de compresión a corto plazo Mina Trópico de Capricornio

| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | | COMPRESIÓN DE CUBOS CORTO PLAZO (50x50) mm | | |
| Ubicación: | | Laboratorio "CEDICONS" | | |
| Dosificación: | | TC + HE | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | 13/1/2021 | Hora: | 06h00 |
| | | | | |
| Edad (horas) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 6 | 2510 | 7.12 | 2.84 | 3.09 |
| | 2527 | 8.43 | 3.34 | |
| | 2509 | 7.78 | 3.10 | |
| 9 | 2533 | 9.48 | 3.76 | 4.11 |
| | 2543 | 11.41 | 4.50 | |
| | 2523 | 10.23 | 4.06 | |
| 12 | 2530 | 13.65 | 5.40 | 5.81 |
| | 2536 | 14.57 | 5.75 | |
| | 2513 | 15.83 | 6.30 | |

| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | | COMPRESIÓN DE CUBOS CORTO PLAZO (50x50) mm | | |
| Ubicación: | | Laboratorio "CEDICONS" | | |
| Dosificación: | | TC + FP + HE | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | 13/1/2021 | Hora: | 06h00 |
| | | | | |
| Edad (horas) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 6 | 2536 | 3.11 | 1.23 | 1.78 |
| | 2509 | 5.47 | 2.18 | |
| | 2518 | 4.89 | 1.94 | |
| 9 | 2519 | 6.74 | 2.28 | 2.92 |
| | 2521 | 8.49 | 3.37 | |
| | 2525 | 7.83 | 3.10 | |
| 12 | 2551 | 10.15 | 3.98 | 4.16 |
| | 2506 | 11.69 | 4.66 | |
| | 2546 | 11.98 | 3.83 | |

| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | | COMPRESIÓN DE CUBOS CORTO PLAZO (50x50) mm | | |
| Ubicación: | | Laboratorio "CEDICONS" | | |
| Dosificación: | | TC + TI | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | 15/1/2021 | Hora: | 06h00 |
| | | | | |
| Edad (horas) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 6 | 2530 | 6.23 | 2.46 | 2.46 |
| | 2518 | 5.69 | 2.26 | |
| | 2504 | 7.13 | 2.85 | |
| 9 | 2533 | 8.25 | 3.26 | 3.68 |
| | 2538 | 10.20 | 4.02 | |
| | 2532 | 9.54 | 3.77 | |
| 12 | 2539 | 11.89 | 4.68 | 4.99 |
| | 2495 | 14.45 | 5.43 | |
| | 2510 | 13.56 | 4.87 | |

| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | | COMPRESIÓN DE CUBOS CORTO PLAZO (50x50) mm | | |
| Ubicación: | | Laboratorio "CEDICONS" | | |
| Dosificación: | | TC + FP + TI | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor de tesis: | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | 15/1/2021 | Hora: | 06h00 |
| | | | | |
| Edad (horas) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 6 | 2527 | 2.93 | 1.16 | 1.44 |
| | 2521 | 3.00 | 1.19 | |
| | 2529 | 4.96 | 1.96 | |
| 9 | 2551 | 5.60 | 2.20 | 2.80 |
| | 2529 | 8.13 | 3.21 | |
| | 2506 | 7.51 | 3.00 | |
| 12 | 2505 | 9.88 | 3.51 | 3.90 |
| | 2541 | 10.51 | 3.92 | |
| | 2558 | 10.94 | 4.28 | |

Anexo 16. Ensayo de compresión a largo plazo Mina Santa Isabel

| | | | | |
|------------------------|--|-------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | COMPRESIÓN A LARGO PLAZO DE CUBOS (50x50) mm | | | |
| Ubicación: | Laboratorio "CEDICONS" | | | |
| Probetas: | SI + TI | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Edad (días) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 7 | 2516 | 78.97 | 31.39 | 29.87 |
| | 2560 | 72.08 | 28.16 | |
| | 2529 | 76.04 | 30.07 | |
| 14 | 2535 | 84.13 | 33.19 | 34.11 |
| | 2540 | 87.07 | 34.28 | |
| | 2535 | 88.35 | 34.86 | |
| 21 | 2524 | 95.81 | 37.97 | 37.71 |
| | 2506 | 91.56 | 36.54 | |
| | 2546 | 98.37 | 38.64 | |
| 28 | 2504 | 107.87 | 43.08 | 42.89 |
| | 2521 | 106.31 | 42.18 | |
| | 2514 | 109.14 | 43.41 | |

| | | | | |
|------------------------|--|-------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | COMPRESIÓN A LARGO PLAZO DE CUBOS (50x50) mm | | | |
| Ubicación: | Laboratorio "CEDICONS" | | | |
| Probetas: | SI + FP + TI | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Edad (días) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 7 | 2527 | 53.99 | 21.36 | 21.79 |
| | 2521 | 57.32 | 22.74 | |
| | 2529 | 53.80 | 21.28 | |
| 14 | 2523 | 70.75 | 28.04 | 28.65 |
| | 2544 | 77.48 | 30.46 | |
| | 2530 | 69.46 | 27.45 | |
| 21 | 2530 | 79.39 | 31.38 | 32.26 |
| | 2536 | 81.17 | 32.01 | |
| | 2513 | 83.94 | 33.40 | |
| 28 | 2526 | 91.52 | 36.23 | 38.44 |
| | 2519 | 99.84 | 39.63 | |
| | 2518 | 99.32 | 39.45 | |

| | | | | |
|------------------------|--|-------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | COMPRESIÓN A LARGO PLAZO DE CUBOS (50x50) mm | | | |
| Ubicación: | Laboratorio "CEDICONS" | | | |
| Probetas: | SI + HE | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Edad (días) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 7 | 2528 | 73.90 | 29.23 | 32.32 |
| | 2522 | 83.79 | 33.23 | |
| | 2541 | 87.61 | 34.48 | |
| 14 | 2551 | 92.91 | 36.42 | 37.84 |
| | 2529 | 98.86 | 39.09 | |
| | 2506 | 95.26 | 38.01 | |
| 21 | 2505 | 106.99 | 42.72 | 42.59 |
| | 2541 | 110.12 | 43.34 | |
| | 2558 | 106.68 | 41.71 | |
| 28 | 2501 | 118.61 | 47.43 | 46.82 |
| | 2507 | 116.26 | 46.37 | |
| | 2501 | 116.67 | 46.65 | |

| | | | | |
|------------------------|--|-------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | COMPRESIÓN A LARGO PLAZO DE CUBOS (50x50) mm | | | |
| Ubicación: | Laboratorio "CEDICONS" | | | |
| Probetas: | SI + FP + HE | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Edad (días) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 7 | 2544 | 66.74 | 26.23 | 25.22 |
| | 2514 | 61.33 | 24.39 | |
| | 2527 | 63.30 | 25.05 | |
| 14 | 2520 | 72.89 | 28.92 | 28.91 |
| | 2528 | 69.24 | 27.39 | |
| | 2521 | 76.69 | 30.41 | |
| 21 | 2532 | 84.68 | 33.44 | 33.50 |
| | 2495 | 80.08 | 32.10 | |
| | 2524 | 88.20 | 34.95 | |
| 28 | 2525 | 99.95 | 39.59 | 40.79 |
| | 2517 | 102.61 | 40.77 | |
| | 2525 | 106.11 | 42.02 | |

Anexo 17. Ensayo de compresión a largo plazo Mina Trópico de Capricornio

| | | | | |
|------------------------|--|-------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | COMPRESIÓN A LARGO PLAZO DE CUBOS (50x50) mm | | | |
| Ubicación: | Laboratorio "CEDICONS" | | | |
| Probetas: | TC + TI | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Edad (días) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 7 | 2543 | 61.11 | 24.03 | 23.47 |
| | 2542 | 59.69 | 23.48 | |
| | 2516 | 57.60 | 22.90 | |
| 14 | 2530 | 73.73 | 29.14 | 30.76 |
| | 2551 | 78.71 | 30.86 | |
| | 2523 | 81.41 | 32.27 | |
| 21 | 2541 | 91.58 | 36.03 | 35.87 |
| | 2523 | 93.39 | 37.01 | |
| | 2530 | 87.44 | 34.56 | |
| 28 | 2525 | 99.10 | 39.25 | 40.91 |
| | 2507 | 105.89 | 42.24 | |
| | 2523 | 104.03 | 41.24 | |

| | | | | |
|------------------------|--|-------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | COMPRESIÓN A LARGO PLAZO DE CUBOS (50x50) mm | | | |
| Ubicación: | Laboratorio "CEDICONS" | | | |
| Probetas: | TC + FP + TI | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Edad (días) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 7 | 2525 | 28.44 | 11.26 | 13.02 |
| | 2534 | 36.57 | 14.43 | |
| | 2548 | 34.04 | 13.36 | |
| 14 | 2550 | 48.37 | 18.97 | 18.07 |
| | 2510 | 38.47 | 15.32 | |
| | 2538 | 50.53 | 19.91 | |
| 21 | 2511 | 52.86 | 21.06 | 23.93 |
| | 2503 | 66.04 | 26.38 | |
| | 2537 | 61.76 | 24.35 | |
| 28 | 2515 | 73.90 | 29.38 | 28.45 |
| | 2527 | 71.79 | 28.41 | |
| | 2529 | 69.70 | 27.57 | |

| | | | | |
|------------------------|--|-------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | COMPRESIÓN A LARGO PLAZO DE CUBOS (50x50) mm | | | |
| Ubicación: | Laboratorio "CEDICONS" | | | |
| Probetas: | TC + HE | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Edad (días) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 7 | 2511 | 72.89 | 29.03 | 28.17 |
| | 2510 | 70.24 | 27.98 | |
| | 2516 | 69.14 | 27.49 | |
| 14 | 2500 | 79.11 | 31.64 | 33.27 |
| | 2501 | 87.50 | 34.99 | |
| | 2522 | 83.72 | 33.20 | |
| 21 | 2560 | 100.54 | 39.27 | 39.22 |
| | 2529 | 104.54 | 41.34 | |
| | 2511 | 93.09 | 37.07 | |
| 28 | 2500 | 114.03 | 45.60 | 44.54 |
| | 2530 | 109.26 | 43.18 | |
| | 2521 | 113.04 | 44.84 | |

| | | | | |
|------------------------|--|-------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Ensayo: | COMPRESIÓN A LARGO PLAZO DE CUBOS (50x50) mm | | | |
| Ubicación: | Laboratorio "CEDICONS" | | | |
| Probetas: | TC + FP + HE | | | |
| Realizado por: | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor de tesis: | Ing. Javier Palacios | | | |
| Edad (días) | Área (mm²) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Resistencia media (MPa) |
| 7 | 2517 | 51.64 | 20.52 | 20.39 |
| | 2561 | 49.05 | 19.15 | |
| | 2539 | 54.54 | 21.49 | |
| 14 | 2559 | 57.29 | 22.39 | 22.01 |
| | 2544 | 58.80 | 23.12 | |
| | 2534 | 52.04 | 20.54 | |
| 21 | 2539 | 63.72 | 25.09 | 26.46 |
| | 2583 | 68.82 | 26.64 | |
| | 2545 | 70.32 | 27.63 | |
| 28 | 2519 | 79.84 | 31.70 | 33.20 |
| | 2519 | 86.09 | 34.18 | |
| | 2508 | 84.60 | 33.73 | |

Anexo 18. Línea de tiempo al minuto de elaboradas los morteros para Impresión 3D

Figura 25

Estabilidad de SI+TI vs Tiempo

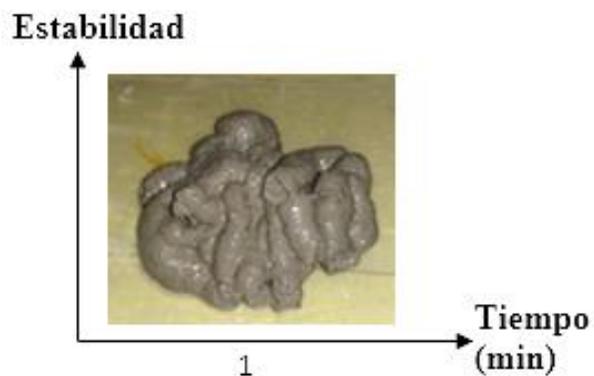


Figura 26

Estabilidad de TC+TI vs Tiempo

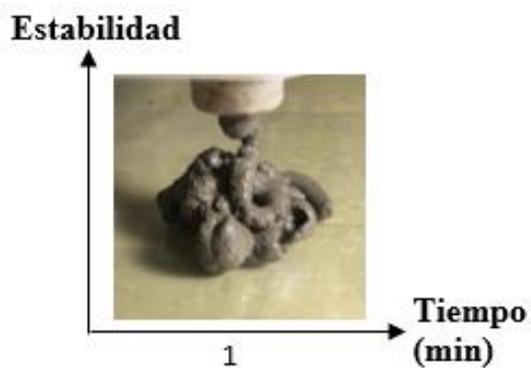


Figura 27

Estabilidad de TC+HE vs Tiempo

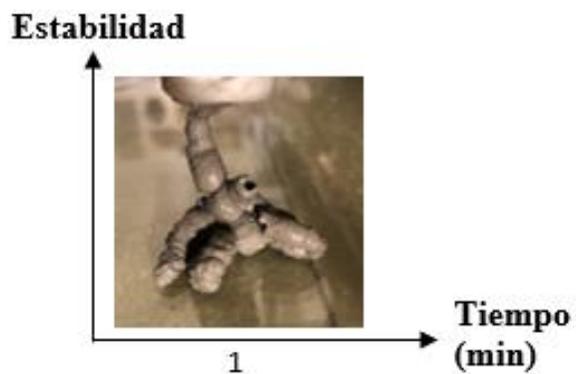


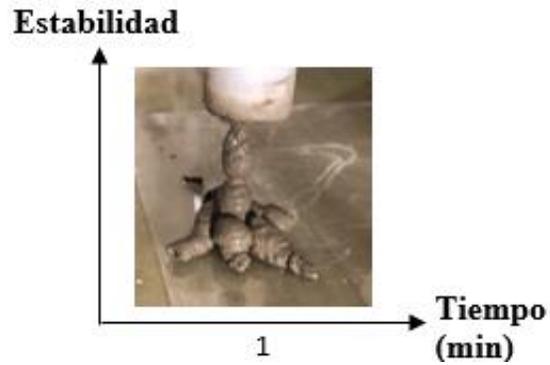
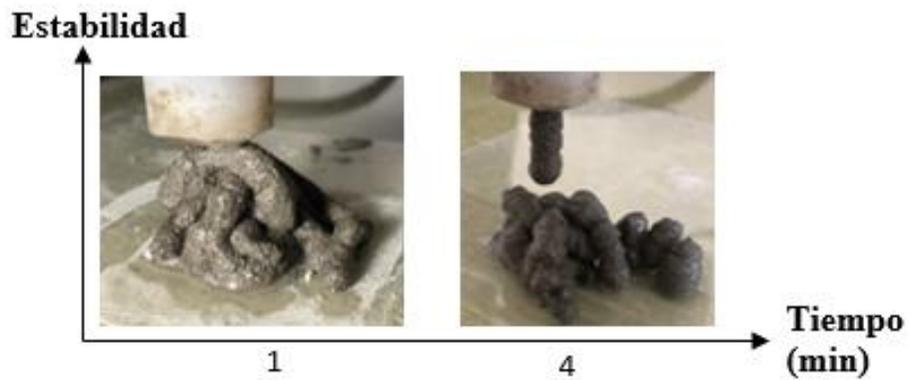
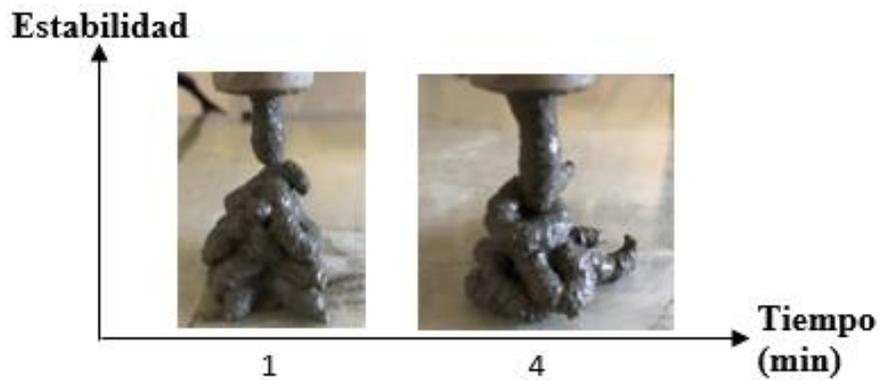
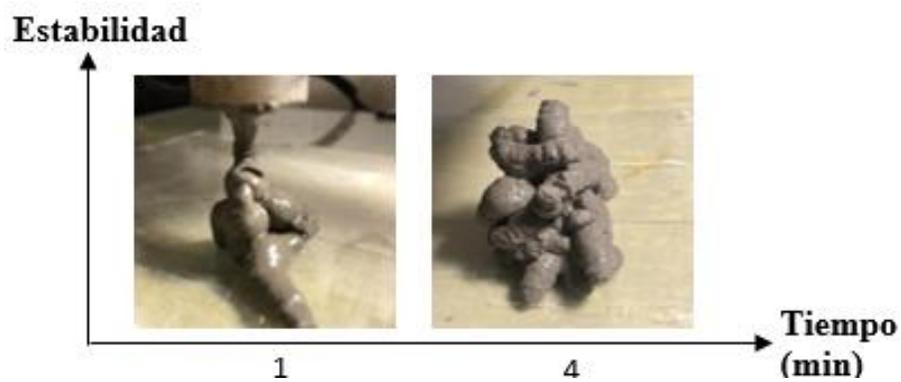
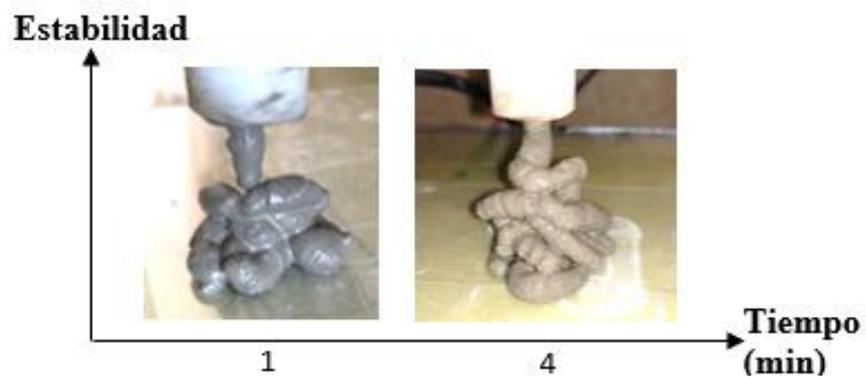
Figura 28*Estabilidad de TC+FP+HE vs Tiempo***Anexo 19.** Tiempo de reposo dentro del inyector de los morteros para Impresión 3D**Figura 29***Estabilidad de SI+FP+TI vs Tiempo***Figura 30***Estabilidad de SI+HE vs Tiempo*

Figura 31

Estabilidad de SI+FP+HE vs Tiempo

**Figura 32**

Estabilidad de TC+FP+TI vs Tiempo



Anexo 20. Ensayo de temperatura y humedad

| Informe de datos | | | |
|--|---------------------|----------------------------|---------------------|
| Archivo creado el: 2021-05-02 16:33:55 | | | |
| Información del dispositivo | | | |
| Modelo de dispositivo | | RC-4HC | |
| Intervalo de registro | | 10s | |
| Hora de inicio | | 2021-05-02 16:28:18 | |
| Descripción del viaje | | | |
| Número de serie | | EF720A102088 | |
| Descripción del viaje | | RC-4HC Data Logger | |
| Resumen | | | |
| Puntos de datos | 23 | | |
| Primera lectura | 2021-05-02 16:28:18 | Última lectura | 2021-05-02 16:31:58 |
| Máx. (Temperatura) | 26,7°C | Mín. (Temperatura) | 25,9°C |
| Prom. (Temp) | 26,2°C | Tiempo de grabación | 0D 0H 3M 40S |
| Máx. (Humedad) | 62,2% | Mín. (Humedad) | 61,1% |
| Prom. (Humedad) | 61,7% | | |
| No. | Tiempo | Temperatura °C | % Humedad |
| 1 | 2021-05-02 16:28:18 | 26.7 | 61.2 |
| 2 | 2021-05-02 16:28:28 | 26.6 | 61.1 |
| 3 | 2021-05-02 16:28:38 | 26.6 | 61.1 |
| 4 | 2021-05-02 16:28:48 | 26.6 | 61.1 |
| 5 | 2021-05-02 16:28:58 | 26.5 | 61.3 |
| 6 | 2021-05-02 16:29:08 | 26.5 | 61.3 |
| 7 | 2021-05-02 16:29:18 | 26.5 | 61.3 |
| 8 | 2021-05-02 16:29:28 | 26.3 | 61.5 |
| 9 | 2021-05-02 16:29:38 | 26.3 | 61.5 |
| 10 | 2021-05-02 16:29:48 | 26.3 | 61.5 |
| 11 | 2021-05-02 16:29:58 | 26.3 | 61.5 |
| 12 | 2021-05-02 16:30:08 | 26.2 | 61.5 |
| 13 | 2021-05-02 16:30:18 | 26.2 | 61.5 |
| 14 | 2021-05-02 16:30:28 | 26.2 | 61.5 |
| 15 | 2021-05-02 16:30:38 | 26 | 62.2 |
| 16 | 2021-05-02 16:30:48 | 26 | 62.2 |
| 17 | 2021-05-02 16:30:58 | 26 | 62.2 |
| 18 | 2021-05-02 16:31:08 | 25.9 | 62.1 |
| 19 | 2021-05-02 16:31:18 | 25.9 | 62.1 |
| 20 | 2021-05-02 16:31:28 | 25.9 | 62.1 |
| 21 | 2021-05-02 16:31:38 | 25.9 | 62.1 |
| 22 | 2021-05-02 16:31:48 | 25.9 | 62.1 |
| 23 | 2021-05-02 16:31:58 | 25.9 | 62.1 |

Anexo 21. Ensayos de tiempo trabajable

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | |
|---|---------|----------------------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | |
| Tema de la investigación: | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | |
| Ensayo: | | | |
| Tiempo trabajable | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | |
| Fecha de elaboración: | | 21/04/2021 | |
| Mortero: | | SI + FP + TI | |
| Hora de elaboración del mortero: | | 10:50 | |
| Hora de impresión: | | | |
| Cod. | Inicial | Final | Estado |
| 1 | 10:54 | 10:57 |  |
| 2 | 10:58 | 11:01 |  |
| 3 | 11:02 | |   |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | |
|---|----------------|----------------------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | |
| Tema de la investigación: | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | |
| Ensayo: | | | |
| Tiempo trabajable | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | |
| Fecha de elaboración: | | 20/04/2021 | |
| Mortero: | | SI + TI | |
| Hora de elaboración del mortero: | | | 9:27 |
| Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 9:28 | 9:31 |  |
| 2 | 9:32 | 9:35 |  |
| 3 | 9:36 | |  |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | |
|---|----------------|----------------------|--|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | |
| Ensayo: Tiempo trabajable | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | |
| Fecha de elaboración: | | 19/04/2021 | |
| Mortero: | | SI + FP + HE | |
| Hora de elaboración del mortero: | | 10:30 | |
| Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 10:34 | 10:37 |  |
| 2 | 10:38 | 10:41 |  |
| 3 | 10:42 | |  |

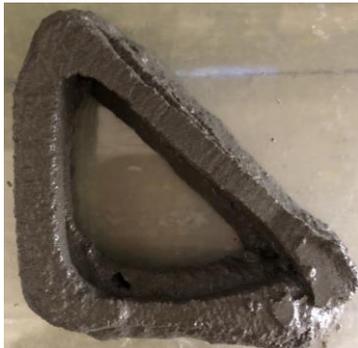
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|---------|-------|---|----------------------|---------|-------|---|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | |
| Ensayo: | | | | | | | |
| Tiempo trabajable | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | Ing. Javier Palacios | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | 16/04/2021 | | | |
| Mortero: | | | | TC + TI | | | |
| Hora de elaboración del mortero: | | | | 10:20 | | | |
| Hora de impresión: | | | Estado | Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | | Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 10:21 | 10:24 |  | 3 | 10:29 | 10:32 |  |
| 2 | 10:25 | 10:28 |  | 4 | 10:33 | |  |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|---------|-------|--|--------------------|---------|-------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | |
| Ensayo: | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | 18/04/2021 | | | |
| Mortero: | | | | SI + HE | | | |
| Hora de elaboración del mortero: | | | | 12:11 | | | |
| Hora de impresión: | | | Estado | Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | | Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 12:15 | 12:18 |  | 3 | 12:23 | 12:26 |  |
| 2 | 12:19 | 12:22 |  | 4 | 12:27 | |  |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|---------|-------|--|----------------------|---------|-------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | |
| Ensayo: | | | | | | | |
| Tiempo trabajable | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | Ing. Javier Palacios | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | 17/04/2021 | | | |
| Mortero: | | | | TC + FP + TI | | | |
| Hora de elaboración del mortero: | | | | 9:35 | | | |
| Hora de impresión: | | | Estado | Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | | Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 9:39 | 9:42 |  | 3 | 9:47 | 9:50 |  |
| 2 | 9:43 | 9:46 |  | 4 | 9:51 | |   |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|---------|-------|--|----------------------|---------|-------|---|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | |
| Ensayo: | | | | | | | |
| Tiempo trabajable | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | Ing. Javier Palacios | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | 15/04/2021 | | | |
| Mortero: | | | | TC + FP + HE | | | |
| Hora de elaboración del mortero: | | | | 11:10 | | | |
| Hora de impresión: | | | Estado | Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | | Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 11:11 | 11:14 |  | 3 | 11:19 | 11:22 |  |
| 2 | 11:15 | 11:18 |  | 4 | 11:23 | |  |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|---------|-------|---|----------------------|---------|-------|---|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | |
| Ensayo: | | | | | | | |
| Tiempo trabajable | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | Ing. Javier Palacios | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | 14/04/2021 | | | |
| Mortero: | | | | TC + HE | | | |
| Hora de elaboración del mortero: | | | | 8:09 | | | |
| Hora de impresión: | | | Estado | Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | | Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 8:10 | 8:13 |  | 3 | 8:18 | 8:21 |  |
| 2 | 8:14 | 8:17 |  | 4 | 8:22 | |  |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | |
|---|---------|----------------------|--|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | |
| Ensayo: Tiempo trabajable | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | |
| Fecha de elaboración: | | 24/04/2021 | |
| Mortero: | SI + TI | Figura: | Triángulo |
| Hora de elaboración del mortero: | | | 10:55 |
| Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 10:56 | 10:59 |  |
| 2 | 11:00 | 11:03 |  |
| 3 | 11:04 | |  |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | |
|---|--------------|----------------------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | |
| Tema de la investigación: | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | |
| Ensayo: | | | |
| Tiempo trabajable | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | |
| Fecha de elaboración: | | 26/04/2021 | |
| Mortero: | SI + FP + TI | Figura: | Triángulo |
| Hora de elaboración del mortero: | | | 13:54 |
| Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 13:58 | 14:01 |  |
| 2 | 14:02 | 14:05 |  |
| 3 | 14:06 | |  |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|--|--------------------|----------------------|---------|--|--|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | |
| Ensayo: | | | | | | | | | |
| Tiempo trabajable | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | Mabel Vallejo | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | 22/04/2021 | | | | |
| Mortero: | | | | | SI + HE | Figura: | Triángulo | | |
| Hora de elaboración del mortero: | | | | | 8:44 | | | | |
| Hora de impresión: | | | Estado | Hora de impresión: | | | Estado | | |
| Cod. | Inicial | Final | | Cod. | Inicial | Final | | | |
| 1 | 8:48 | 8:51 |  | 4 | 9:00 | 9:03 |  | | |
| 2 | 8:52 | 8:55 |  | 5 | 9:04 | |  | | |
| 3 | 8:56 | 8:59 |  | | | | | | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|---------|-------|---|----------------------|----------------|-------|---|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | |
| Ensayo: | | | | | | | |
| Tiempo trabajable | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | Ing. Javier Palacios | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | 23/04/2021 | | | |
| Mortero: | | | | SI + FP + HE | Figura: | | Triángulo |
| Hora de elaboración del mortero: | | | | 9:45 | | | |
| Hora de impresión: | | | Estado | Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | | Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 9:49 | 9:52 |  | 3 | 9:57 | 10:00 |  |
| 2 | 9:53 | 9:56 |  | 4 | 10:01 | |  |

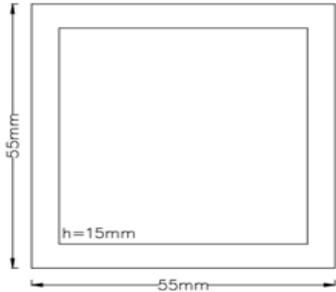
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|---|--------------------|----------------------|-------|---|--|-----------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | |
| Ensayo: | | | | | | | | | |
| Tiempo trabajable | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | Mabel Vallejo | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | 28/04/2021 | | | | |
| Mortero: | | | | | TC + FP + HE | | Figura: | | Triángulo |
| Hora de elaboración del mortero: | | | | | 10:26 | | | | |
| Hora de impresión: | | | Estado | Hora de impresión: | | | Estado | | |
| Cod. | Inicial | Final | | Cod. | Inicial | Final | | | |
| 1 | 10:27 | 10:30 |  | 3 | 10:35 | 10:38 |  | | |
| 2 | 10:31 | 10:34 |  | 4 | 10:39 | |   | | |

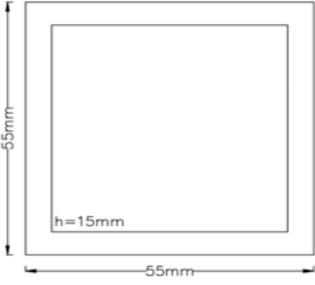
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|---------|-------|---|----------------------|----------------|-----------|---|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | |
| Ensayo: | | | | | | | |
| Tiempo trabajable | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | Ing. Javier Palacios | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | 27/04/2021 | | | |
| Mortero: | | | | TC + HE | Figura: | Triángulo | |
| Hora de elaboración del mortero: | | | | 11:55 | | | |
| Hora de impresión: | | | Estado | Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | | Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 11:56 | 11:59 |  | 3 | 12:04 | 12:07 |  |
| 2 | 12:00 | 12:03 |  | 4 | 12:08 | |  |

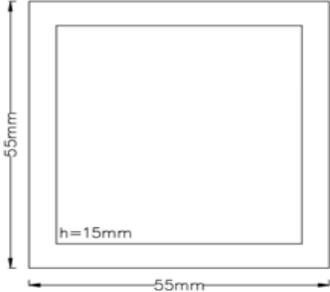
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|---------|-------|---|----------------------|----------------|-------|---|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | |
| Ensayo: | | | | | | | |
| Tiempo trabajable | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | Ing. Javier Palacios | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | 29/04/2021 | | | |
| Mortero: | | | | TC + TI | Figura: | | Triángulo |
| Hora de elaboración del mortero: | | | | 12:20 | | | |
| Hora de impresión: | | | Estado | Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | | Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 12:21 | 12:24 |  | 3 | 12:29 | 12:32 |  |
| 2 | 12:25 | 12:28 |  | 4 | 12:33 | |  |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|---------|-------|---|----------------------|----------------|-----------|---|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | |
| Ensayo: | | | | | | | |
| Tiempo trabajable | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | Mabel Vallejo | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | Ing. Javier Palacios | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | 30/04/2021 | | | |
| Mortero: | | | | TC + FP + TI | Figura: | Triángulo | |
| Hora de elaboración del mortero: | | | | 11:24 | | | |
| Hora de impresión: | | | Estado | Hora de impresión: | | | Estado |
| Cod. | Inicial | Final | | Cod. | Inicial | Final | |
| 1 | 11:28 | 11:31 |  | 3 | 11:36 | 11:39 |  |
| 2 | 11:32 | 11:35 |  | 4 | 11:40 | |  |

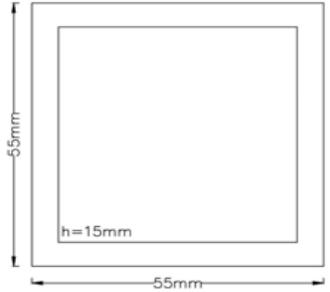
Anexo 22. Ensayos de calidad de extrusión

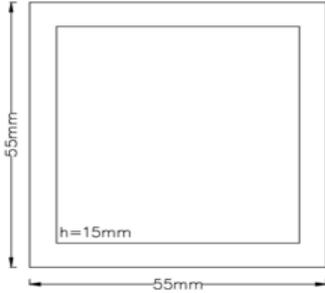
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|----------------------|--------|--------|---|--------|--------|--------|--|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | Modelo digital: | | | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | |  | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | 01/05/2021 | | | Dimensiones Optimas: | | | | |
| Mortero: | | | SI + HE | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| Figura: | | | Cuadrado | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | | Fraguado | | | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| 1 | 1 | 5.659 | 5.632 | 5.551 | 5.684 | 5.693 | 5.682 | 5.578 | 5.727 | |
| | 2 | 5.561 | 5.447 | 5.523 | 5.463 | 5.591 | 5.437 | 5.538 | 5.347 | |
| | 3 | 5.299 | 5.313 | 5.336 | 5.302 | 5.322 | 5.335 | 5.318 | 5.331 | |
| 2 | 1 | 5.623 | 5.734 | 5.624 | 5.599 | 5.648 | 5.765 | 5.629 | 5.621 | |
| | 2 | 5.525 | 5.657 | 5.448 | 5.402 | 5.574 | 5.625 | 5.454 | 5.491 | |
| | 3 | 5.329 | 5.521 | 5.285 | 5.383 | 5.278 | 5.547 | 5.341 | 5.427 | |
| 3 | 1 | 5.704 | 5.684 | 5.523 | 5.534 | 5.734 | 5.721 | 5.504 | 5.475 | |
| | 2 | 5.607 | 5.617 | 5.456 | 5.316 | 5.590 | 5.694 | 5.450 | 5.398 | |
| | 3 | 5.404 | 5.586 | 5.321 | 5.294 | 5.423 | 5.575 | 5.253 | 5.304 | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------------|--------|--------|--------|---|--------|--------|--------|--|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | Modelo digital: | | | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | |  | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | 02/05/2021 | | | | Dimensiones Optimas: | | | | |
| Mortero: | | SI + FP + HE | | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| Figura: | | Cuadrado | | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | | Fraguado | | | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| 1 | 1 | 5.689 | 5.593 | 5.674 | 5.762 | 5.658 | 5.616 | 5.712 | 5.823 | |
| | 2 | 5.526 | 5.566 | 5.544 | 5.653 | 5.389 | 5.602 | 5.516 | 5.750 | |
| | 3 | 5.494 | 5.381 | 5.334 | 5.302 | 5.512 | 5.419 | 5.253 | 5.357 | |
| 2 | 1 | 5.722 | 5.607 | 5.698 | 5.659 | 5.648 | 5.628 | 5.799 | 5.723 | |
| | 2 | 5.690 | 5.541 | 5.443 | 5.628 | 5.712 | 5.573 | 5.458 | 5.706 | |
| | 3 | 5.467 | 5.301 | 5.327 | 5.337 | 5.569 | 5.343 | 5.354 | 5.399 | |
| 3 | 1 | 5.707 | 5.699 | 5.695 | 5.668 | 5.751 | 5.742 | 5.708 | 5.678 | |
| | 2 | 5.569 | 5.649 | 5.519 | 5.593 | 5.594 | 5.694 | 5.569 | 5.629 | |
| | 3 | 5.393 | 5.421 | 5.470 | 5.322 | 5.488 | 5.474 | 5.501 | 5.368 | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|----------------------|--------|--------|---|--------|--------|--------|--|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | Modelo digital:  | | | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | 03/05/2021 | | | Dimensiones Optimas: | | | | |
| Mortero: | | | SI + TI | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| Figura: | | | Cuadrado | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | | Fraguado | | | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| 1 | 1 | 5.721 | 5.581 | 5.523 | 5.743 | 5.79 | 5.57 | 5.57 | 5.84 | |
| | 2 | 5.423 | 5.474 | 5.386 | 5.516 | 5.44 | 5.40 | 5.41 | 5.42 | |
| | 3 | 5.334 | 5.352 | 5.264 | 5.235 | 5.39 | 5.35 | 5.28 | 5.17 | |
| 2 | 1 | 5.794 | 5.682 | 5.741 | 5.761 | 5.65 | 5.70 | 5.84 | 5.73 | |
| | 2 | 5.655 | 5.506 | 5.577 | 5.558 | 5.74 | 5.53 | 5.62 | 5.57 | |
| | 3 | 5.514 | 5.359 | 5.496 | 5.437 | 5.56 | 5.47 | 5.61 | 5.52 | |
| 3 | 1 | 5.788 | 5.744 | 5.672 | 5.638 | 5.70 | 5.76 | 5.81 | 5.83 | |
| | 2 | 5.702 | 5.722 | 5.575 | 5.571 | 5.69 | 5.73 | 5.73 | 5.60 | |
| | 3 | 5.686 | 5.524 | 5.492 | 5.371 | 5.63 | 5.48 | 5.47 | 5.36 | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|----------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|--------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | Modelo digital: | | | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | 04/05/2021 | | | Dimensiones Optimas: | | | | |
| Mortero: | | | SI + FP + TI | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| Figura: | | | Cuadrado | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | | Fraguado | | | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| 1 | 1 | 5.773 | 5.772 | 5.719 | 5.796 | 5.783 | 5.889 | 5.803 | 5.835 | |
| | 2 | 5.711 | 5.594 | 5.570 | 5.672 | 5.686 | 5.614 | 5.601 | 5.664 | |
| | 3 | 5.618 | 5.441 | 5.354 | 5.458 | 5.659 | 5.459 | 5.323 | 5.498 | |
| 2 | 1 | 5.781 | 5.610 | 5.626 | 5.796 | 5.840 | 5.594 | 5.660 | 5.748 | |
| | 2 | 5.686 | 5.579 | 5.535 | 5.561 | 5.670 | 5.541 | 5.548 | 5.534 | |
| | 3 | 5.512 | 5.528 | 5.313 | 5.374 | 5.490 | 5.545 | 5.330 | 5.390 | |
| 3 | 1 | 5.655 | 5.779 | 5.764 | 5.568 | 5.693 | 5.812 | 5.855 | 5.635 | |
| | 2 | 5.412 | 5.539 | 5.629 | 5.393 | 5.395 | 5.597 | 5.869 | 5.286 | |
| | 3 | 5.364 | 5.297 | 5.470 | 5.352 | 5.314 | 5.378 | 5.546 | 5.372 | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------------|--------|--------|--------|---|--------|--------|--------|--|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | Modelo digital:  | | | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | 05/05/2021 | | | | Dimensiones Optimas: | | | | |
| Mortero: | | TC + HE | | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| Figura: | | Cuadrado | | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | | Fraguado | | | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| 1 | 1 | 5.691 | 5.718 | 5.523 | 5.551 | 5.752 | 5.755 | 5.545 | 5.512 | |
| | 2 | 5.529 | 5.637 | 5.442 | 5.480 | 5.564 | 5.664 | 5.478 | 5.479 | |
| | 3 | 5.483 | 5.489 | 5.391 | 5.363 | 5.517 | 5.447 | 5.336 | 5.214 | |
| 2 | 1 | 5.594 | 5.611 | 5.586 | 5.696 | 5.626 | 5.619 | 5.585 | 5.719 | |
| | 2 | 5.430 | 5.569 | 5.401 | 5.523 | 5.474 | 5.605 | 5.415 | 5.504 | |
| | 3 | 5.323 | 5.424 | 5.328 | 5.478 | 5.301 | 5.386 | 5.241 | 5.463 | |
| 3 | 1 | 5.601 | 5.557 | 5.593 | 5.647 | 5.576 | 5.584 | 5.625 | 5.611 | |
| | 2 | 5.543 | 5.476 | 5.521 | 5.583 | 5.455 | 5.507 | 5.421 | 5.495 | |
| | 3 | 5.389 | 5.331 | 5.356 | 5.403 | 5.346 | 5.278 | 5.342 | 5.339 | |

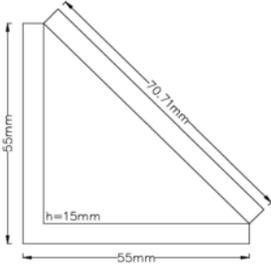
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|----------------------|--------|--------|---|--------|--------|--------|--|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | Modelo digital: | | | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | |  | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | 06/05/2021 | | | Dimensiones Optimas: | | | | |
| Mortero: | | | TC + FP + HE | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| Figura: | | | Cuadrado | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | | Fraguado | | | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| 1 | 1 | 5.717 | 5.573 | 5.551 | 5.705 | 5.640 | 5.538 | 5.557 | 5.585 | |
| | 2 | 5.685 | 5.557 | 5.536 | 5.679 | 5.650 | 5.621 | 5.505 | 5.668 | |
| | 3 | 5.403 | 5.564 | 5.438 | 5.421 | 5.385 | 5.650 | 5.430 | 5.464 | |
| 2 | 1 | 5.502 | 5.643 | 5.555 | 5.694 | 5.401 | 5.646 | 5.420 | 5.803 | |
| | 2 | 5.451 | 5.411 | 5.489 | 5.671 | 5.432 | 5.488 | 5.510 | 5.630 | |
| | 3 | 5.410 | 5.393 | 5.403 | 5.581 | 5.464 | 5.338 | 5.442 | 5.564 | |
| 3 | 1 | 5.674 | 5.702 | 5.612 | 5.656 | 5.789 | 5.723 | 5.615 | 5.611 | |
| | 2 | 5.553 | 5.544 | 5.546 | 5.579 | 5.526 | 5.517 | 5.476 | 5.515 | |
| | 3 | 5.495 | 5.492 | 5.428 | 5.521 | 5.421 | 5.424 | 5.455 | 5.405 | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|--------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | Modelo digital: | | | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | 07/05/2021 | | | | Dimensiones Optimas: | | | | |
| Mortero: | | TC + TI | | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| Figura: | | Cuadrado | | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | | Fraguado | | | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| 1 | 1 | 5.716 | 5.725 | 5.606 | 5.584 | 5.69 | 5.66 | 5.59 | 5.31 | |
| | 2 | 5.664 | 5.688 | 5.564 | 5.448 | 5.64 | 5.61 | 5.69 | 5.22 | |
| | 3 | 5.557 | 5.453 | 5.476 | 5.334 | 5.57 | 5.44 | 5.46 | 5.16 | |
| 2 | 1 | 5.754 | 5.711 | 5.586 | 5.698 | 5.77 | 5.74 | 5.55 | 5.71 | |
| | 2 | 5.533 | 5.569 | 5.401 | 5.523 | 5.56 | 5.38 | 5.41 | 5.47 | |
| | 3 | 5.483 | 5.344 | 5.328 | 5.478 | 5.51 | 5.06 | 5.35 | 5.45 | |
| 3 | 1 | 5.676 | 5.645 | 5.703 | 5.793 | 5.71 | 5.65 | 5.75 | 5.87 | |
| | 2 | 5.524 | 5.588 | 5.624 | 5.578 | 5.56 | 5.50 | 5.56 | 5.58 | |
| | 3 | 5.407 | 5.463 | 5.501 | 5.549 | 5.36 | 5.48 | 5.51 | 5.66 | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|----------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|--------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | Modelo digital: | | | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | 08/05/2021 | | | Dimensiones Optimas: | | | | |
| Mortero: | | | TC + FP +TI | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| Figura: | | | Cuadrado | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | | Fraguado | | | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] | d [cm] | |
| 1 | 1 | 5.624 | 5.675 | 5.773 | 5.571 | 5.59 | 5.73 | 5.76 | 5.55 | |
| | 2 | 5.573 | 5.443 | 5.471 | 5.494 | 5.63 | 5.41 | 5.47 | 5.46 | |
| | 3 | 5.347 | 5.251 | 5.315 | 5.347 | 5.36 | 5.25 | 5.40 | 5.33 | |
| 2 | 1 | 5.601 | 5.548 | 5.738 | 5.795 | 5.56 | 5.57 | 5.69 | 5.75 | |
| | 2 | 5.429 | 5.411 | 5.580 | 5.408 | 5.40 | 5.44 | 5.54 | 5.33 | |
| | 3 | 5.362 | 5.297 | 5.254 | 5.194 | 5.30 | 5.32 | 5.22 | 5.20 | |
| 3 | 1 | 5.804 | 5.610 | 5.626 | 5.821 | 5.77 | 5.72 | 5.67 | 5.60 | |
| | 2 | 5.786 | 5.579 | 5.505 | 5.791 | 5.80 | 5.51 | 5.46 | 5.71 | |
| | 3 | 5.712 | 5.528 | 5.420 | 5.674 | 5.60 | 5.62 | 5.37 | 5.63 | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | |
|---|------|----------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | Modelo digital: | | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | 09/05/2021 | | | | | | |
| Mortero: | | SI + HE | | | Dimensiones Optimas: | | | |
| Figura: | | Triángulo | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | |
| | | 5.5 | | | 5.5 | | | 7.78 |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | Fraguado | | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] | |
| 1 | 1 | 5.609 | 5.575 | 7.719 | 5.647 | 5.664 | 7.74 | |
| | 2 | 5.421 | 5.377 | 7.601 | 5.563 | 5.458 | 7.664 | |
| | 3 | 5.268 | 5.303 | 7.293 | 5.291 | 5.228 | 7.318 | |
| 2 | 1 | 5.515 | 5.767 | 8.016 | 5.477 | 5.803 | 8.11 | |
| | 2 | 5.383 | 5.613 | 7.973 | 5.337 | 5.495 | 7.843 | |
| | 3 | 5.292 | 5.392 | 7.776 | 5.238 | 5.369 | 7.746 | |
| 3 | 1 | 5.771 | 5.558 | 7.385 | 5.824 | 5.636 | 7.303 | |
| | 2 | 5.689 | 5.503 | 7.144 | 5.738 | 5.639 | 7.145 | |
| | 3 | 5.552 | 5.477 | 6.922 | 5.578 | 5.545 | 6.798 | |

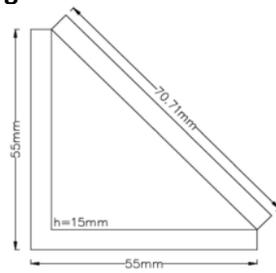
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | |
|---|------|----------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | Modelo digital: | | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | 10/05/2021 | | | | | | |
| Mortero: | | SI + FP + HE | | | Dimensiones Optimas: | | | |
| Figura: | | Triángulo | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | |
| | | 5.5 | | | 5.5 | | | 7.78 |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | Fraguado | | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] | |
| 1 | 1 | 5.696 | 5.831 | 7.122 | 5.744 | 5.842 | 7.133 | |
| | 2 | 5.486 | 5.781 | 6.993 | 5.399 | 5.783 | 7.039 | |
| | 3 | 5.213 | 5.714 | 7.005 | 5.172 | 5.723 | 6.916 | |
| 2 | 1 | 5.544 | 5.694 | 7.568 | 5.660 | 5.693 | 7.478 | |
| | 2 | 5.497 | 5.479 | 7.479 | 5.521 | 5.549 | 7.403 | |
| | 3 | 5.328 | 5.296 | 7.034 | 5.316 | 5.251 | 7.067 | |
| 3 | 1 | 5.594 | 5.733 | 7.505 | 5.605 | 5.869 | 7.556 | |
| | 2 | 5.317 | 5.568 | 7.354 | 5.345 | 5.617 | 7.398 | |
| | 3 | 5.215 | 5.577 | 6.965 | 5.276 | 5.643 | 7.175 | |

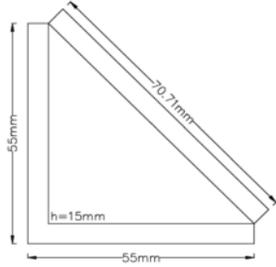
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|------|----------------------|--------|--------|---|--------|--------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | Modelo digital:  | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | 11/05/2021 | | | Dimensiones Optimas: | | |
| Mortero: | | SI + TI | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] |
| Figura: | | Triángulo | | | 5.5 | 5.5 | 7.78 |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | Fraguado | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] |
| 1 | 1 | 5.657 | 5.877 | 7.661 | 5.742 | 5.946 | 7.704 |
| | 2 | 5.435 | 5.789 | 7.294 | 5.489 | 5.847 | 7.279 |
| | 3 | 5.552 | 5.398 | 6.754 | 5.603 | 5.444 | 6.711 |
| 2 | 1 | 5.449 | 5.952 | 7.306 | 5.495 | 5.956 | 7.317 |
| | 2 | 5.227 | 5.645 | 7.073 | 5.387 | 5.572 | 7.074 |
| | 3 | 5.296 | 5.613 | 6.987 | 5.356 | 5.513 | 6.831 |
| 3 | 1 | 5.453 | 5.787 | 7.399 | 5.553 | 5.710 | 7.394 |
| | 2 | 5.370 | 5.738 | 7.267 | 5.465 | 5.876 | 7.238 |
| | 3 | 5.236 | 5.596 | 7.073 | 5.341 | 5.554 | 7.006 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|------|----------------------|--------|--------|------------------------|--------|--------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | Modelo digital: | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | 12/05/2021 | | | | | |
| Mortero: | | SI + FP + TI | | | Dimensiones Optimas: | | |
| Figura: | | Triángulo | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] |
| | | 5.5 | | | 5.5 7.78 | | |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | Fraguado | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] |
| 1 | 1 | 5.746 | 5.672 | 7.255 | 5.848 | 5.723 | 7.573 |
| | 2 | 5.584 | 5.502 | 7.068 | 5.412 | 5.705 | 7.287 |
| | 3 | 5.531 | 5.433 | 6.932 | 5.332 | 5.686 | 7.109 |
| 2 | 1 | 5.455 | 5.867 | 7.233 | 5.417 | 5.810 | 6.937 |
| | 2 | 5.283 | 5.552 | 6.981 | 5.281 | 5.609 | 6.786 |
| | 3 | 5.292 | 5.398 | 6.945 | 5.267 | 5.341 | 6.841 |
| 3 | 1 | 5.729 | 5.830 | 7.320 | 5.740 | 5.763 | 7.326 |
| | 2 | 5.400 | 5.568 | 7.107 | 5.672 | 5.715 | 7.128 |
| | 3 | 5.342 | 5.577 | 7.033 | 5.553 | 5.315 | 6.883 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|------|----------------------|--------|--------|------------------------|--------|--------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | Modelo digital: | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | | | |
| Mortero: | | TC + HE | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] |
| Figura: | | Triángulo | | | 5.5 | 5.5 | 7.78 |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | Fraguado | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] |
| 1 | 1 | 5.671 | 5.540 | 7.843 | 5.838 | 5.338 | 7.884 |
| | 2 | 5.551 | 5.476 | 7.453 | 5.679 | 5.184 | 7.521 |
| | 3 | 5.295 | 5.331 | 7.178 | 5.396 | 4.921 | 7.291 |
| 2 | 1 | 5.631 | 5.745 | 6.951 | 5.747 | 5.744 | 6.942 |
| | 2 | 5.502 | 5.652 | 7.038 | 5.526 | 5.722 | 6.962 |
| | 3 | 5.491 | 5.543 | 6.887 | 5.479 | 5.498 | 6.920 |
| 3 | 1 | 5.594 | 5.589 | 7.505 | 5.652 | 5.553 | 7.452 |
| | 2 | 5.517 | 5.488 | 7.354 | 5.534 | 5.427 | 7.369 |
| | 3 | 5.325 | 5.237 | 6.965 | 5.077 | 5.188 | 7.116 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|------|----------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | Modelo digital: | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | | | Dimensiones Optimas: | | |
| Fecha de elaboración: | | 13/05/2021 | | | | | |
| Mortero: | | TC + FP + HE | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] |
| Figura: | | Triángulo | | | 5.5 | 5.5 | 7.78 |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | Fraguado | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] |
| 1 | 1 | 5.587 | 5.797 | 7.319 | 5.732 | 5.960 | 7.354 |
| | 2 | 5.535 | 5.739 | 7.215 | 5.489 | 5.839 | 7.167 |
| | 3 | 5.464 | 5.368 | 7.004 | 5.379 | 5.298 | 6.914 |
| 2 | 1 | 5.665 | 5.623 | 7.395 | 5.723 | 5.707 | 7.430 |
| | 2 | 5.572 | 5.588 | 7.272 | 5.408 | 5.654 | 7.385 |
| | 3 | 5.473 | 5.557 | 7.008 | 5.351 | 5.594 | 6.974 |
| 3 | 1 | 5.431 | 5.645 | 7.249 | 5.386 | 5.676 | 7.136 |
| | 2 | 5.302 | 5.552 | 7.088 | 5.221 | 5.527 | 6.897 |
| | 3 | 5.311 | 5.313 | 6.903 | 5.069 | 5.284 | 6.941 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | |
|---|------|----------------------|--------|--------|---|--------|--------|------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | Modelo digital: | | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | |  | | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | 14/05/2021 | | | | | | |
| Mortero: | | TC + TI | | | Dimensiones Optimas: | | | |
| Figura: | | Triángulo | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | |
| | | 5.5 | | | 5.5 | | | 7.78 |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | Fraguado | | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] | |
| 1 | 1 | 5.502 | 5.687 | 7.396 | 5.512 | 5.698 | 7.247 | |
| | 2 | 5.459 | 5.631 | 7.372 | 5.434 | 5.613 | 7.432 | |
| | 3 | 5.438 | 5.593 | 7.236 | 5.442 | 5.574 | 7.228 | |
| 2 | 1 | 5.423 | 5.656 | 7.493 | 5.549 | 5.615 | 7.403 | |
| | 2 | 5.302 | 5.557 | 7.326 | 5.351 | 5.519 | 7.224 | |
| | 3 | 5.286 | 5.504 | 7.024 | 5.319 | 5.442 | 7.011 | |
| 3 | 1 | 5.561 | 5.688 | 7.274 | 5.524 | 5.669 | 7.330 | |
| | 2 | 5.393 | 5.530 | 7.227 | 5.330 | 5.430 | 7.121 | |
| | 3 | 5.153 | 5.287 | 7.006 | 5.151 | 5.378 | 6.851 | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|---|------|----------------------|--------|--------|---|--------|--------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | |
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | Modelo digital: | | |
| Ensayo: Calidad de Extrusión | | | | |  | | |
| Realizado por: | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | 15/05/2021 | | | | | |
| Mortero: | | TC + FP +TI | | | Dimensiones Optimas: | | |
| Figura: | | Triángulo | | | a [cm] | b [cm] | c [cm] |
| | | 5.5 | | | 5.5 7.78 | | |
| Ensayo | Capa | Fresco | | | Fraguado | | |
| | | a [cm] | b [cm] | c [cm] | a [cm] | b [cm] | c [cm] |
| 1 | 1 | 5.701 | 5.625 | 7.718 | 5.749 | 5.636 | 7.729 |
| | 2 | 5.698 | 5.581 | 7.547 | 5.611 | 5.583 | 7.593 |
| | 3 | 5.548 | 5.318 | 7.340 | 5.507 | 5.327 | 7.251 |
| 2 | 1 | 5.504 | 5.663 | 7.395 | 5.521 | 5.650 | 7.418 |
| | 2 | 5.442 | 5.537 | 7.272 | 5.497 | 5.549 | 7.206 |
| | 3 | 5.409 | 5.413 | 7.008 | 5.445 | 5.363 | 6.887 |
| 3 | 1 | 5.642 | 5.674 | 7.505 | 5.653 | 5.649 | 7.486 |
| | 2 | 5.511 | 5.625 | 7.367 | 5.539 | 5.648 | 7.173 |
| | 3 | 5.487 | 5.537 | 7.117 | 5.397 | 5.445 | 7.001 |

Anexo 23. Ensayos de deformación

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|--------|----------------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | | Mabel Vallejo | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | | 16/05/2021 | | | | | | | |
| Mortero: | | | | | | SI + HE | | | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | | Cuadrado | | Error: | | | 10% | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | | d [mm] | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 6.05 | 5.90 | 5.63 | 5.96 | 5.45 | 4.95 | 6.18 | 6.16 | 5.80 | 5.96 | 5.89 | 5.43 |
| | 2 | - | 11.63 | 10.72 | - | 11.35 | 10.73 | - | 11.73 | 11.59 | - | 11.79 | 11.29 |
| | 3 | - | - | 16.28 | - | - | 17.06 | - | - | 16.72 | - | - | 16.14 |
| 2 | 1 | 6.41 | 5.45 | 5.43 | 6.25 | 5.72 | 5.63 | 5.98 | 5.42 | 4.76 | 6.00 | 5.94 | 5.75 |
| | 2 | - | 11.22 | 10.73 | - | 11.17 | 10.77 | - | 11.42 | 10.76 | - | 11.51 | 11.48 |
| | 3 | - | - | 16.67 | - | - | 16.35 | - | - | 15.89 | - | - | 16.19 |
| 3 | 1 | 6.30 | 5.87 | 5.55 | 6.19 | 5.93 | 5.80 | 6.51 | 6.24 | 5.95 | 6.21 | 5.93 | 5.78 |
| | 2 | - | 12.40 | 11.86 | - | 12.54 | 11.81 | - | 11.24 | 10.79 | - | 10.86 | 10.48 |
| | 3 | - | - | 17.90 | - | - | 17.56 | - | - | 17.53 | - | - | 15.52 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|--------|----------------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | | Mabel Vallejo | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | | 17/05/2021 | | | | | | | |
| Mortero: | | | | | | SI + FP + HE | | | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | | Cuadrado | | Error: | | | 10% | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | | d [mm] | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 5.06 | 4.96 | 4.28 | 5.74 | 4.96 | 4.29 | 5.46 | 5.16 | 4.79 | 5.33 | 5.07 | 4.75 |
| | 2 | - | 11.42 | 11.00 | - | 11.18 | 10.72 | - | 11.22 | 10.16 | - | 11.27 | 10.05 |
| | 3 | - | - | 16.83 | - | - | 16.12 | - | - | 16.41 | - | - | 16.30 |
| 2 | 1 | 5.78 | 4.89 | 4.13 | 5.10 | 4.85 | 4.46 | 5.39 | 4.97 | 4.51 | 5.49 | 5.04 | 4.85 |
| | 2 | - | 10.11 | 9.70 | - | 10.93 | 10.20 | - | 10.88 | 9.24 | - | 11.03 | 10.47 |
| | 3 | - | - | 15.62 | - | - | 16.56 | - | - | 15.64 | - | - | 16.00 |
| 3 | 1 | 5.94 | 5.24 | 4.95 | 5.61 | 5.07 | 4.46 | 5.76 | 4.92 | 4.74 | 5.38 | 4.79 | 4.55 |
| | 2 | - | 11.44 | 10.94 | - | 11.06 | 10.56 | - | 10.75 | 10.35 | - | 10.90 | 10.19 |
| | 3 | - | - | 16.40 | - | - | 16.33 | - | - | 15.62 | - | - | 16.90 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|--------|-------|----------------------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | | | Mabel Vallejo | | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | | | 18/05/2021 | | | | | | | | |
| Mortero: | | | | | | | SI + TI | | | | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | | | Cuadrado | | | Error: | | | 10% | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | | d [mm] | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | 1 | 6.29 | 5.65 | 5.34 | 6.13 | 5.32 | 4.87 | 6.01 | 5.52 | 4.93 | 5.93 | 5.05 | 4.77 | | |
| | 2 | - | 11.17 | 10.63 | - | 11.31 | 10.36 | - | 11.03 | 10.63 | - | 10.96 | 9.82 | | |
| | 3 | - | - | 15.88 | - | - | 16.29 | - | - | 15.60 | - | - | 15.84 | | |
| 2 | 1 | 5.99 | 5.04 | 4.81 | 5.92 | 5.06 | 4.62 | 6.23 | 5.50 | 5.15 | 5.78 | 5.02 | 4.81 | | |
| | 2 | - | 11.19 | 10.52 | - | 10.68 | 9.75 | - | 11.31 | 10.52 | - | 11.40 | 10.79 | | |
| | 3 | - | - | 16.73 | - | - | 17.04 | - | - | 17.15 | - | - | 16.88 | | |
| 3 | 1 | 5.76 | 5.18 | 4.77 | 5.83 | 5.27 | 4.96 | 6.04 | 5.82 | 5.53 | 5.98 | 5.01 | 4.64 | | |
| | 2 | - | 11.92 | 10.80 | - | 11.58 | 11.12 | - | 11.66 | 10.57 | - | 11.83 | 10.91 | | |
| | 3 | - | - | 17.32 | - | - | 16.67 | - | - | 16.90 | - | - | 17.08 | | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|--------|-------|----------------------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | | | Mabel Vallejo | | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | | | 19/05/2021 | | | | | | | | |
| Mortero: | | | | | | | SI + FP + TI | | | | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | | | Cuadrado | | | Error: | | | 10% | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | | d [mm] | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | 1 | 5.96 | 5.71 | 5.52 | 6.12 | 5.80 | 5.43 | 5.99 | 5.65 | 5.16 | 6.00 | 5.73 | 5.35 | | |
| | 2 | - | 11.38 | 10.67 | - | 11.58 | 11.17 | - | 11.16 | 10.76 | - | 10.94 | 10.22 | | |
| | 3 | - | - | 17.11 | - | - | 17.02 | - | - | 16.66 | - | - | 16.91 | | |
| 2 | 1 | 5.14 | 4.79 | 4.62 | 5.99 | 5.31 | 5.43 | 6.11 | 5.55 | 5.44 | 6.26 | 5.92 | 5.90 | | |
| | 2 | - | 11.13 | 10.14 | - | 11.95 | 11.34 | - | 11.13 | 10.98 | - | 12.40 | 11.43 | | |
| | 3 | - | - | 17.03 | - | - | 16.99 | - | - | 16.62 | - | - | 16.38 | | |
| 3 | 1 | 6.64 | 5.77 | 5.30 | 5.62 | 5.08 | 4.90 | 5.99 | 5.90 | 5.43 | 6.32 | 5.19 | 4.78 | | |
| | 2 | - | 11.19 | 10.84 | - | 10.17 | 9.58 | - | 11.39 | 10.76 | - | 11.62 | 10.92 | | |
| | 3 | - | - | 17.13 | - | - | 16.73 | - | - | 16.83 | - | - | 16.20 | | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|--------|-------|----------------------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | | | Mabel Vallejo | | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | | | 20/05/2021 | | | | | | | | |
| Mortero: | | | | | | | TC + HE | | | | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | | | Cuadrado | | | Error: | | | 10% | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | | d [mm] | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | 1 | 6.04 | 5.44 | 4.92 | 5.99 | 4.95 | 4.61 | 5.42 | 4.56 | 4.37 | 5.75 | 5.03 | 4.64 | | |
| | 2 | - | 11.43 | 10.41 | - | 11.64 | 10.88 | - | 11.26 | 10.36 | - | 12.08 | 11.49 | | |
| | 3 | - | - | 17.76 | - | - | 17.30 | - | - | 16.33 | - | - | 17.94 | | |
| 2 | 1 | 5.84 | 4.98 | 4.69 | 6.41 | 5.95 | 5.55 | 5.79 | 5.05 | 4.76 | 5.84 | 5.05 | 4.86 | | |
| | 2 | - | 12.30 | 10.96 | - | 12.18 | 11.88 | - | 11.83 | 10.63 | - | 11.91 | 11.17 | | |
| | 3 | - | - | 16.87 | - | - | 17.74 | - | - | 17.68 | - | - | 17.73 | | |
| 3 | 1 | 6.77 | 6.14 | 5.88 | 6.29 | 5.48 | 5.22 | 6.38 | 5.96 | 5.55 | 6.02 | 5.47 | 5.31 | | |
| | 2 | - | 12.64 | 11.26 | - | 12.15 | 10.90 | - | 11.22 | 10.74 | - | 12.26 | 11.15 | | |
| | 3 | - | - | 16.91 | - | - | 16.04 | - | - | 15.19 | - | - | 16.09 | | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|--------|-------|----------------------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | | | Mabel Vallejo | | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | | | 21/05/2021 | | | | | | | | |
| Mortero: | | | | | | | TC + FP + HE | | | | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | | | Cuadrado | | | Error: | | | 10% | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | | d [mm] | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | 1 | 5.74 | 4.93 | 4.71 | 6.22 | 5.11 | 4.76 | 6.01 | 5.07 | 4.78 | 5.99 | 5.08 | 4.96 | | |
| | 2 | - | 10.95 | 9.90 | - | 10.89 | 9.82 | - | 11.14 | 10.00 | - | 11.09 | 10.45 | | |
| | 3 | - | - | 17.24 | - | - | 16.80 | - | - | 16.39 | - | - | 16.64 | | |
| 2 | 1 | 6.80 | 5.31 | 5.01 | 6.00 | 5.52 | 4.85 | 5.97 | 5.62 | 5.51 | 5.87 | 5.69 | 4.96 | | |
| | 2 | - | 11.43 | 10.35 | - | 10.71 | 10.20 | - | 11.00 | 10.27 | - | 11.39 | 10.86 | | |
| | 3 | - | - | 16.92 | - | - | 16.50 | - | - | 16.03 | - | - | 15.59 | | |
| 3 | 1 | 6.70 | 6.09 | 5.06 | 6.50 | 5.96 | 5.14 | 6.12 | 5.61 | 5.17 | 5.85 | 5.33 | 5.18 | | |
| | 2 | - | 11.52 | 10.74 | - | 11.62 | 10.71 | - | 11.13 | 10.38 | - | 11.18 | 10.39 | | |
| | 3 | - | - | 17.37 | - | - | 16.95 | - | - | 16.75 | - | - | 16.89 | | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|--------|-------|----------------------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | | | Mabel Vallejo | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | | | 30/05/2021 | | | | | | | |
| Mortero: | | | | | | | TC + TI | | | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | | | Cuadrado | | Error: | | | 10% | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | | d [mm] | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 1 | 5.37 | 4.96 | 4.66 | 5.27 | 5.05 | 4.76 | 6.39 | 5.41 | 5.08 | 5.82 | 5.30 | 4.88 | |
| | 2 | - | 11.65 | 11.31 | - | 11.29 | 10.40 | - | 11.16 | 10.85 | - | 11.80 | 10.00 | |
| | 3 | - | - | 16.09 | - | - | 16.05 | - | - | 16.20 | - | - | 16.83 | |
| 2 | 1 | 7.14 | 6.82 | 6.82 | 6.01 | 5.55 | 5.48 | 7.34 | 5.98 | 5.85 | 6.22 | 5.64 | 4.90 | |
| | 2 | - | 11.53 | 10.92 | - | 10.38 | 9.56 | - | 11.11 | 10.50 | - | 11.57 | 10.75 | |
| | 3 | - | - | 16.46 | - | - | 16.33 | - | - | 15.88 | - | - | 15.72 | |
| 3 | 1 | 5.94 | 5.35 | 4.68 | 5.53 | 4.83 | 4.63 | 6.62 | 5.59 | 5.52 | 6.33 | 6.05 | 5.66 | |
| | 2 | - | 10.55 | 9.92 | - | 10.47 | 9.98 | - | 11.73 | 10.94 | - | 11.61 | 10.92 | |
| | 3 | - | - | 16.49 | - | - | 15.41 | - | - | 16.76 | - | - | 17.50 | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|--------|-------|----------------------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | | | | | |
| Tema de la investigación: | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | | | Mabel Vallejo | | | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | | | 31/05/2021 | | | | | | | |
| Mortero: | | | | | | | TC + FP + TI | | | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | | | Cuadrado | | Error: | | | 10% | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | | d [mm] | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 1 | 5.98 | 5.44 | 5.05 | 6.00 | 5.89 | 5.28 | 5.41 | 4.99 | 4.16 | 5.96 | 5.24 | 4.87 | |
| | 2 | - | 11.75 | 11.49 | - | 11.67 | 11.16 | - | 11.40 | 10.59 | - | 11.79 | 10.40 | |
| | 3 | - | - | 17.16 | - | - | 16.89 | - | - | 16.15 | - | - | 16.03 | |
| 2 | 1 | 6.35 | 5.76 | 5.26 | 6.16 | 5.67 | 5.05 | 6.27 | 5.38 | 5.27 | 6.76 | 6.01 | 5.61 | |
| | 2 | - | 12.31 | 11.70 | - | 12.11 | 11.34 | - | 11.81 | 11.18 | - | 11.81 | 10.98 | |
| | 3 | - | - | 17.37 | - | - | 16.92 | - | - | 17.22 | - | - | 16.87 | |
| 3 | 1 | 6.77 | 6.16 | 5.45 | 6.80 | 6.12 | 5.82 | 7.00 | 6.01 | 5.91 | 6.96 | 6.46 | 5.93 | |
| | 2 | - | 11.93 | 11.33 | - | 11.46 | 10.94 | - | 11.87 | 11.06 | - | 11.57 | 10.85 | |
| | 3 | - | - | 17.16 | - | - | 16.79 | - | - | 16.99 | - | - | 17.17 | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | 22/05/2021 | | | | | |
| Mortero: | | | | | SI + HE | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | Triángulo | | | | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 7.25 | 6.74 | 6.13 | 6.62 | 6.09 | 5.85 | 6.13 | 5.80 | 5.21 |
| | 2 | - | 12.47 | 10.85 | - | 12.64 | 11.42 | - | 11.54 | 10.84 |
| | 3 | - | - | 16.15 | - | - | 16.35 | - | - | 16.18 |
| 2 | 1 | 6.19 | 5.57 | 4.70 | 6.03 | 5.96 | 5.30 | 6.75 | 5.89 | 5.51 |
| | 2 | - | 12.25 | 11.49 | - | 12.13 | 11.88 | - | 11.17 | 10.78 |
| | 3 | - | - | 17.34 | - | - | 17.26 | - | - | 16.88 |
| 3 | 1 | 6.82 | 6.00 | 5.76 | 6.76 | 5.61 | 4.84 | 6.52 | 5.80 | 5.68 |
| | 2 | - | 12.61 | 11.82 | - | 12.03 | 11.43 | - | 11.83 | 11.07 |
| | 3 | - | - | 17.69 | - | - | 17.53 | - | - | 17.18 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | 23/05/2021 | | | | | |
| Mortero: | | | | | SI + FP + HE | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | Triángulo | | | | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 5.24 | 4.93 | 4.15 | 5.06 | 4.48 | 4.28 | 6.38 | 5.43 | 5.03 |
| | 2 | - | 11.53 | 10.63 | - | 11.33 | 10.95 | - | 11.43 | 10.89 |
| | 3 | - | - | 15.93 | - | - | 15.52 | - | - | 16.41 |
| 2 | 1 | 6.18 | 5.77 | 4.70 | 6.27 | 5.73 | 5.25 | 5.95 | 5.12 | 4.81 |
| | 2 | - | 11.85 | 11.11 | - | 12.12 | 11.03 | - | 11.61 | 10.40 |
| | 3 | - | - | 17.16 | - | - | 16.75 | - | - | 15.94 |
| 3 | 1 | 6.52 | 5.56 | 5.25 | 6.74 | 5.68 | 5.30 | 6.26 | 5.79 | 5.31 |
| | 2 | - | 12.73 | 10.02 | - | 11.88 | 9.43 | - | 12.07 | 11.03 |
| | 3 | - | - | 16.61 | - | - | 15.33 | - | - | 16.14 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | 24/05/2021 | | | | | |
| Mortero: | | | | | SI + TI | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | Triángulo | | | | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 6.92 | 6.14 | 5.41 | 5.21 | 4.93 | 4.24 | 6.10 | 5.72 | 5.25 |
| | 2 | - | 11.74 | 11.31 | - | 11.23 | 10.02 | - | 11.18 | 10.50 |
| | 3 | - | - | 16.71 | - | - | 17.67 | - | - | 15.51 |
| 2 | 1 | 6.64 | 6.45 | 5.97 | 6.60 | 5.95 | 5.63 | 6.75 | 5.84 | 5.21 |
| | 2 | - | 11.87 | 10.86 | - | 12.38 | 11.35 | - | 11.62 | 10.86 |
| | 3 | - | - | 16.91 | - | - | 17.12 | - | - | 16.01 |
| 3 | 1 | 5.63 | 4.95 | 4.69 | 6.59 | 5.90 | 5.70 | 6.19 | 5.70 | 5.40 |
| | 2 | - | 11.53 | 11.04 | - | 11.68 | 10.56 | - | 10.90 | 10.51 |
| | 3 | - | - | 17.22 | - | - | 16.96 | - | - | 15.76 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | 25/05/2021 | | | | | |
| Mortero: | | | | | SI + FP + TI | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | Triángulo | | | | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 5.98 | 5.50 | 5.31 | 6.53 | 5.92 | 5.63 | 5.62 | 5.08 | 4.82 |
| | 2 | - | 11.11 | 10.04 | - | 11.56 | 10.95 | - | 10.89 | 10.04 |
| | 3 | - | - | 16.39 | - | - | 16.90 | - | - | 16.59 |
| 2 | 1 | 6.34 | 5.80 | 5.61 | 7.30 | 6.86 | 5.55 | 6.08 | 5.40 | 5.15 |
| | 2 | - | 10.93 | 10.09 | - | 11.80 | 11.06 | - | 11.20 | 10.57 |
| | 3 | - | - | 16.93 | - | - | 16.86 | - | - | 16.79 |
| 3 | 1 | 5.80 | 5.28 | 4.92 | 6.15 | 5.49 | 5.32 | 6.27 | 5.66 | 4.93 |
| | 2 | - | 11.91 | 11.06 | - | 12.16 | 11.43 | - | 11.12 | 10.46 |
| | 3 | - | - | 17.13 | - | - | 17.32 | - | - | 16.52 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | 26/05/2021 | | | | | |
| Mortero: | | | | | TC + HE | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | Triángulo | | | | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 6.95 | 5.94 | 5.21 | 6.62 | 6.09 | 5.67 | 6.03 | 5.61 | 5.17 |
| | 2 | - | 12.72 | 12.07 | - | 12.62 | 11.92 | - | 12.26 | 11.59 |
| | 3 | - | - | 16.48 | - | - | 17.44 | - | - | 16.46 |
| 2 | 1 | 5.29 | 5.04 | 4.83 | 5.60 | 5.08 | 4.84 | 5.95 | 5.52 | 5.15 |
| | 2 | - | 12.48 | 11.49 | - | 11.46 | 10.65 | - | 12.52 | 11.96 |
| | 3 | - | - | 17.10 | - | - | 16.35 | - | - | 17.78 |
| 3 | 1 | 5.94 | 5.04 | 4.89 | 5.81 | 5.40 | 5.01 | 5.59 | 5.08 | 4.56 |
| | 2 | - | 12.67 | 11.41 | - | 12.14 | 11.56 | - | 11.90 | 10.43 |
| | 3 | - | - | 17.39 | - | - | 16.39 | - | - | 16.70 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | Mabel Vallejo | | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | 27/05/2021 | | | | | |
| Mortero: | | | | | TC + FP + HE | | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | Triángulo | | | | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 5.98 | 5.14 | 4.85 | 6.91 | 5.92 | 5.16 | 6.64 | 6.13 | 5.92 |
| | 2 | - | 11.49 | 10.64 | - | 12.46 | 11.54 | - | 12.01 | 11.59 |
| | 3 | - | - | 17.64 | - | - | 17.30 | - | - | 16.71 |
| 2 | 1 | 5.78 | 5.15 | 4.59 | 5.85 | 5.17 | 4.93 | 5.81 | 4.94 | 4.60 |
| | 2 | - | 10.84 | 10.03 | - | 11.92 | 11.15 | - | 11.36 | 10.84 |
| | 3 | - | - | 16.41 | - | - | 17.28 | - | - | 16.63 |
| 3 | 1 | 6.39 | 6.23 | 5.88 | 5.46 | 5.20 | 4.98 | 6.08 | 5.55 | 5.33 |
| | 2 | - | 11.15 | 10.42 | - | 10.86 | 10.00 | - | 11.12 | 10.05 |
| | 3 | - | - | 16.87 | - | - | 17.04 | - | - | 16.32 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|--------|----------------------|-------|--------|-------|-------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | | Mabel Vallejo | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | | 28/05/2021 | | | | |
| Mortero: | | | | | | TC + TI | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | | Triángulo | | | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 5.80 | 5.28 | 4.88 | 6.90 | 6.22 | 5.66 | 6.15 | 5.61 | 5.11 |
| | 2 | - | 11.82 | 11.05 | - | 12.00 | 10.97 | - | 11.77 | 10.86 |
| | 3 | - | - | 16.39 | - | - | 16.83 | - | - | 15.79 |
| 2 | 1 | 6.30 | 5.65 | 5.47 | 6.57 | 5.55 | 5.08 | 6.52 | 5.68 | 5.41 |
| | 2 | - | 12.13 | 11.67 | - | 11.74 | 11.04 | - | 11.76 | 11.28 |
| | 3 | - | - | 16.83 | - | - | 17.07 | - | - | 16.66 |
| 3 | 1 | 6.82 | 6.09 | 5.89 | 6.50 | 5.99 | 5.79 | 5.82 | 5.23 | 5.04 |
| | 2 | - | 11.95 | 11.12 | - | 11.54 | 10.89 | - | 11.75 | 10.55 |
| | 3 | - | - | 15.95 | - | - | 16.80 | - | - | 16.55 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|--------|----------------------|-------|--------|-------|-------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | | | | | | |
| Ensayo: Deformación de las hiladas | | | | | | | | | | |
| Realizado por: | | | | | | Mabel Vallejo | | | | |
| Tutor del proyecto: | | | | | | Ing. Javier Palacios | | | | |
| Fecha de elaboración: | | | | | | 29/05/2021 | | | | |
| Mortero: | | | | | | TC + FP + TI | | | | |
| Modelo de Probeta: | | | | | | Triángulo | | | | |
| Ensayo | Capa | a [mm] | | | b [mm] | | | c [mm] | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 7.12 | 6.62 | 5.95 | 6.49 | 5.35 | 5.08 | 6.45 | 5.76 | 5.01 |
| | 2 | - | 11.20 | 10.43 | - | 11.89 | 11.35 | - | 11.30 | 10.24 |
| | 3 | - | - | 16.81 | - | - | 16.45 | - | - | 16.37 |
| 2 | 1 | 6.61 | 6.09 | 5.48 | 6.96 | 6.27 | 5.55 | 6.58 | 5.43 | 5.32 |
| | 2 | - | 11.37 | 11.03 | - | 11.77 | 10.89 | - | 11.72 | 11.44 |
| | 3 | - | - | 16.74 | - | - | 17.11 | - | - | 16.97 |
| 3 | 1 | 6.10 | 5.93 | 5.71 | 6.32 | 6.13 | 5.98 | 6.30 | 5.47 | 5.19 |
| | 2 | - | 11.13 | 10.14 | - | 11.62 | 10.92 | - | 11.56 | 10.48 |
| | 3 | - | - | 16.46 | - | - | 16.93 | - | - | 16.29 |

Anexo 24. Ensayos de tiempo de fraguado

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Tema de la investigación: | | | | | |
| Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: | | | | | |
| Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 18/04/2021 | | |
| Mortero: | | | SI + HE | | |
| Modelo de Probeta: | | | Cuadrado | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 8:06 | Hora de elaboración: | 8:37 | Hora de elaboración: | 9:15 |
| Inicio de impresión: | 8:10 | Inicio de impresión: | 8:41 | Inicio de impresión: | 9:19 |
| Fin de impresión: | 8:11 | Fin de impresión: | 8:43 | Fin de impresión: | 9:22 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 8:23 | 2.5 | 8:58 | 2.5 | 9:39 | 2.5 |
| 8:25 | 2.0 | 9:00 | 2.0 | 9:41 | 2.0 |
| 8:27 | 1.5 | 9:02 | 1.5 | 9:43 | 1.5 |
| 8:29 | 1.0 | 9:06 | 1.0 | 9:45 | 1.0 |
| 8:31 | 0.5 | 9:08 | 0.5 | 9:47 | 0.5 |
| 8:33 | 0.1 | 9:10 | 0.0 | 9:49 | 0.1 |
| 8:35 | 0 | | | 9:51 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 19/04/2021 | | |
| Mortero: | | | SI +FP + HE | | |
| Modelo de Probeta: | | | Cuadrado | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 10:30 | Hora de elaboración: | 11:10 | Hora de elaboración: | 12:00 |
| Inicio de impresión: | 10:34 | Inicio de impresión: | 11:14 | Inicio de impresión: | 12:04 |
| Fin de impresión: | 10:35 | Fin de impresión: | 11:16 | Fin de impresión: | 12:07 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 10:53 | 2.5 | 11:35 | 2.5 | 12:26 | 2.5 |
| 10:55 | 2.0 | 11:41 | 2.0 | 12:30 | 2.0 |
| 10:57 | 1.5 | 11:43 | 1.5 | 12:32 | 1.5 |
| 10:59 | 1.0 | 11:45 | 1.0 | 12:34 | 1.0 |
| 11:01 | 0.5 | 11:47 | 0.5 | 12:38 | 0.5 |
| 11:03 | 0.1 | 11:49 | 0.1 | 12:40 | 0.1 |
| 11:07 | 0.0 | 11:51 | 0 | 12:42 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 20/04/2021 | | |
| Mortero: | | | SI + TI | | |
| Modelo de Probeta: | | | Cuadrado | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 13:00 | Hora de elaboración: | 13:50 | Hora de elaboración: | 14:40 |
| Inicio de impresión: | 13:01 | Inicio de impresión: | 13:51 | Inicio de impresión: | 14:41 |
| Fin de impresión: | 13:02 | Fin de impresión: | 13:53 | Fin de impresión: | 14:44 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 13:26 | 2.5 | 14:18 | 2.5 | 15:09 | 2.5 |
| 13:30 | 2.0 | 14:22 | 2.0 | 15:13 | 2.0 |
| 13:34 | 1.5 | 14:26 | 1.5 | 15:17 | 1.5 |
| 13:36 | 1.0 | 14:28 | 1.0 | 15:18 | 1.0 |
| 13:38 | 0.5 | 14:30 | 0.5 | 15:22 | 0.5 |
| 13:40 | 0.1 | 14:32 | 0.1 | 15:24 | 0.1 |
| 13:42 | 0.0 | 14:34 | 0.0 | 15:26 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 21/04/2021 | | |
| Mortero: | | | SI + FP + TI | | |
| Modelo de Probeta: | | | Cuadrado | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 8:30 | Hora de elaboración: | 9:25 | Hora de elaboración: | 10:20 |
| Inicio de impresión: | 8:34 | Inicio de impresión: | 9:29 | Inicio de impresión: | 10:24 |
| Fin de impresión: | 8:35 | Fin de impresión: | 9:31 | Fin de impresión: | 10:27 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 9:01 | 2.5 | 9:58 | 2.5 | 10:55 | 2.5 |
| 9:05 | 2.0 | 10:02 | 2.0 | 10:59 | 2.0 |
| 9:09 | 1.5 | 10:06 | 1.5 | 11:03 | 1.5 |
| 9:11 | 1.0 | 10:08 | 1.0 | 11:05 | 1.0 |
| 9:13 | 0.5 | 10:10 | 0.5 | 11:07 | 0.5 |
| 9:15 | 0.1 | 10:12 | 0.1 | 11:09 | 0.1 |
| 9:17 | 0.0 | 10:14 | 0 | 11:11 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 14/04/2021 | | |
| Mortero: | | | TC + HE | | |
| Modelo de Probeta: | | | Cuadrado | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 9:00 | Hora de elaboración: | 9:35 | Hora de elaboración: | 10:10 |
| Inicio de impresión: | 9:01 | Inicio de impresión: | 9:36 | Inicio de impresión: | 10:11 |
| Fin de impresión: | 9:02 | Fin de impresión: | 9:38 | Fin de impresión: | 10:14 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 9:16 | 2.5 | 9:54 | 2.5 | 10:30 | 2.5 |
| 9:18 | 2.0 | 9:56 | 2.0 | 10:32 | 2.0 |
| 9:20 | 1.5 | 9:58 | 1.5 | 10:34 | 1.5 |
| 9:22 | 1.0 | 10:02 | 1.0 | 10:36 | 1.0 |
| 9:24 | 0.5 | 10:04 | 0.5 | 10:38 | 0.5 |
| 9:26 | 0.1 | 10:06 | 0.0 | 10:40 | 0.1 |
| 9:28 | 0 | | | 10:42 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 15/04/2021 | | |
| Mortero: | | | TC + FP + HE | | |
| Modelo de Probeta: | | | Cuadrado | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 9:30 | Hora de elaboración: | 10:05 | Hora de elaboración: | 10:45 |
| Inicio de impresión: | 9:31 | Inicio de impresión: | 10:06 | Inicio de impresión: | 10:46 |
| Fin de impresión: | 9:32 | Fin de impresión: | 10:08 | Fin de impresión: | 10:49 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 9:47 | 2.5 | 10:25 | 2.5 | 11:06 | 2.5 |
| 9:51 | 2.0 | 10:27 | 1.5 | 11:08 | 2.0 |
| 9:55 | 1.0 | 10:29 | 1.0 | 11:10 | 1.5 |
| 9:57 | 0.5 | 10:33 | 0.5 | 11:12 | 1.0 |
| 9:59 | 0.1 | 10:37 | 0.1 | 11:16 | 0.5 |
| 10:01 | 0.0 | 10:39 | 0.0 | 11:20 | 0.1 |
| | | | | 11:22 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 16/04/2021 | | |
| Mortero: | | | TC + TI | | |
| Modelo de Probeta: | | | Cuadrado | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 11:00 | Hora de elaboración: | 11:53 | Hora de elaboración: | 12:43 |
| Inicio de impresión: | 11:01 | Inicio de impresión: | 11:54 | Inicio de impresión: | 12:44 |
| Fin de impresión: | 11:02 | Fin de impresión: | 11:56 | Fin de impresión: | 12:47 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 11:24 | 2.5 | 12:19 | 2.5 | 13:10 | 2.5 |
| 11:28 | 2.0 | 12:23 | 2.0 | 13:14 | 2.0 |
| 11:32 | 1.5 | 12:25 | 1.9 | 13:18 | 1.5 |
| 11:34 | 1.0 | 12:27 | 1.5 | 13:20 | 1.0 |
| 11:36 | 0.5 | 12:29 | 1.0 | 13:22 | 0.5 |
| 11:38 | 0.1 | 12:31 | 0.5 | 13:24 | 0.1 |
| 11:40 | 0.0 | 12:33 | 0.0 | 13:26 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 17/04/2021 | | |
| Mortero: | | | TC + FP + TI | | |
| Modelo de Probeta: | | | Cuadrado | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 14:30 | Hora de elaboración: | 15:25 | Hora de elaboración: | 16:20 |
| Inicio de impresión: | 14:34 | Inicio de impresión: | 15:29 | Inicio de impresión: | 16:24 |
| Fin de impresión: | 14:35 | Fin de impresión: | 15:31 | Fin de impresión: | 16:27 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 15:03 | 2.5 | 16:00 | 2.5 | 16:55 | 2.5 |
| 15:07 | 2.0 | 16:04 | 2.0 | 16:59 | 2.0 |
| 15:11 | 1.5 | 16:08 | 1.5 | 17:03 | 1.5 |
| 15:13 | 1.0 | 16:16 | 1.0 | 17:05 | 1.0 |
| 15:15 | 0.5 | 16:12 | 0.5 | 17:07 | 0.5 |
| 15:17 | 0.1 | 16:14 | 0.1 | 17:09 | 0.0 |
| 15:19 | 0.0 | 16:16 | 0 | | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 22/04/2021 | | |
| Mortero: | | | SI + HE | | |
| Modelo de Probeta: | | | Triángulo | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 10:30 | Hora de elaboración: | 11:10 | Hora de elaboración: | 12:00 |
| Inicio de impresión: | 10:34 | Inicio de impresión: | 11:14 | Inicio de impresión: | 12:04 |
| Fin de impresión: | 10:35 | Fin de impresión: | 11:16 | Fin de impresión: | 12:07 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 10:46 | 2.5 | 11:28 | 2.5 | 12:21 | 2.5 |
| 10:50 | 2.0 | 11:32 | 1.5 | 12:25 | 2.0 |
| 10:52 | 1.5 | 11:36 | 1.0 | 12:27 | 1.5 |
| 10:55 | 1.0 | 11:39 | 0.5 | 12:29 | 1.0 |
| 10:59 | 0.5 | 11:41 | 0.1 | 12:31 | 0.5 |
| 11:01 | 0.0 | 11:43 | 0.0 | 12:33 | 0.1 |
| | | | | 12:35 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 23/04/2021 | | |
| Mortero: | | | SI +FP + HE | | |
| Modelo de Probeta: | | | Triángulo | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 9:25 | Hora de elaboración: | 10:10 | Hora de elaboración: | 11:41 |
| Inicio de impresión: | 9:29 | Inicio de impresión: | 10:14 | Inicio de impresión: | 11:45 |
| Fin de impresión: | 9:30 | Fin de impresión: | 10:16 | Fin de impresión: | 11:48 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 9:49 | 2.5 | 10:37 | 2.5 | 12:09 | 2.5 |
| 9:53 | 2.0 | 10:41 | 2.0 | 12:13 | 2.0 |
| 9:57 | 1.5 | 10:44 | 1.5 | 12:17 | 1.5 |
| 9:59 | 1.0 | 10:46 | 1.0 | 12:18 | 1.0 |
| 10:01 | 0.5 | 10:48 | 0.5 | 12:22 | 0.5 |
| 10:03 | 0.1 | 10:50 | 0.1 | 12:24 | 0.1 |
| 10:05 | 0.0 | 10:52 | 0.0 | 12:26 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 24/04/2021 | | |
| Mortero: | | | SI + TI | | |
| Modelo de Probeta: | | | Triángulo | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 11:00 | Hora de elaboración: | 11:50 | Hora de elaboración: | 12:40 |
| Inicio de impresión: | 11:01 | Inicio de impresión: | 11:51 | Inicio de impresión: | 12:41 |
| Fin de impresión: | 11:02 | Fin de impresión: | 11:53 | Fin de impresión: | 12:44 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 11:28 | 2.5 | 12:21 | 2.5 | 13:12 | 2.5 |
| 11:30 | 2.0 | 12:23 | 2.0 | 13:14 | 2.0 |
| 11:34 | 1.5 | 12:27 | 1.9 | 13:18 | 1.5 |
| 11:36 | 1.0 | 12:29 | 1.5 | 13:20 | 1.0 |
| 11:38 | 0.5 | 12:31 | 1.0 | 13:22 | 0.5 |
| 11:40 | 0.1 | 12:33 | 0.5 | 13:24 | 0.1 |
| 11:42 | 0.0 | 12:35 | 0.0 | 13:26 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 26/04/2021 | | |
| Mortero: | | | SI + FP + TI | | |
| Modelo de Probeta: | | | Triángulo | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 9:30 | Hora de elaboración: | 10:25 | Hora de elaboración: | 11:30 |
| Inicio de impresión: | 9:34 | Inicio de impresión: | 10:29 | Inicio de impresión: | 11:34 |
| Fin de impresión: | 9:35 | Fin de impresión: | 10:31 | Fin de impresión: | 11:37 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 10:03 | 2.5 | 11:00 | 2.5 | 12:07 | 2.5 |
| 10:07 | 2.0 | 11:04 | 2.0 | 12:11 | 2.0 |
| 10:11 | 1.5 | 11:08 | 1.5 | 12:15 | 1.5 |
| 10:13 | 1.0 | 11:10 | 1.0 | 12:17 | 1.0 |
| 10:15 | 0.5 | 11:12 | 0.5 | 12:19 | 0.5 |
| 10:17 | 0.1 | 11:14 | 0.1 | 12:21 | 0.0 |
| 10:19 | 0.0 | 11:16 | 0 | | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 27/04/2021 | | |
| Mortero: | | | TC + HE | | |
| Modelo de Probeta: | | | Triángulo | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 11:05 | Hora de elaboración: | 11:40 | Hora de elaboración: | 12:15 |
| Inicio de impresión: | 11:06 | Inicio de impresión: | 11:41 | Inicio de impresión: | 12:16 |
| Fin de impresión: | 11:07 | Fin de impresión: | 11:43 | Fin de impresión: | 12:19 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 11:22 | 2.5 | 11:58 | 2.5 | 12:35 | 2.5 |
| 11:25 | 2.0 | 12:00 | 2.0 | 12:39 | 2.0 |
| 11:27 | 1.5 | 12:02 | 1.5 | 12:41 | 1.5 |
| 11:29 | 1.0 | 12:06 | 1.0 | 12:43 | 1.0 |
| 11:31 | 0.5 | 12:08 | 0.5 | 12:45 | 0.5 |
| 11:33 | 0.1 | 12:10 | 0.0 | 12:47 | 0.1 |
| 11:35 | 0 | | | 12:49 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 28/04/2021 | | |
| Mortero: | | | TC + FP + HE | | |
| Modelo de Probeta: | | | Triángulo | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 12:32 | Hora de elaboración: | 13:06 | Hora de elaboración: | 13:45 |
| Inicio de impresión: | 12:33 | Inicio de impresión: | 13:07 | Inicio de impresión: | 13:46 |
| Fin de impresión: | 12:34 | Fin de impresión: | 13:09 | Fin de impresión: | 13:49 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 12:48 | 2.5 | 13:25 | 2.5 | 14:08 | 2.5 |
| 12:52 | 2.0 | 13:27 | 2.0 | 14:10 | 2.0 |
| 12:54 | 1.5 | 13:29 | 1.5 | 14:14 | 1.5 |
| 12:56 | 1.0 | 13:31 | 1.0 | 14:16 | 1.0 |
| 13:00 | 0.5 | 13:35 | 0.5 | 14:18 | 0.5 |
| 13:02 | 0.1 | 13:39 | 0.1 | 14:20 | 0.1 |
| 13:03 | 0.0 | 13:41 | 0 | 14:22 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 29/04/2021 | | |
| Mortero: | | | TC + TI | | |
| Modelo de Probeta: | | | Triángulo | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 14:30 | Hora de elaboración: | 15:20 | Hora de elaboración: | 16:15 |
| Inicio de impresión: | 14:31 | Inicio de impresión: | 15:21 | Inicio de impresión: | 16:16 |
| Fin de impresión: | 14:32 | Fin de impresión: | 15:23 | Fin de impresión: | 16:19 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 14:57 | 2.5 | 15:50 | 2.5 | 16:47 | 2.5 |
| 15:01 | 2.0 | 15:54 | 2.0 | 16:49 | 2.0 |
| 15:05 | 1.0 | 15:56 | 1.5 | 16:51 | 1.5 |
| 15:07 | 0.5 | 15:58 | 1.0 | 16:53 | 1.0 |
| 15:09 | 0.1 | 16:00 | 0.5 | 16:55 | 0.5 |
| 15:10 | 0.0 | 16:02 | 0.1 | 16:57 | 0.1 |
| | | 16:03 | 0.0 | 16:59 | 0.0 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Tema de la investigación: Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Pastaza, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido flujo piroclástico para el uso de impresoras 3D. | | | | | |
| Ensayo: Determinación del tiempo de fraguado | | | | | |
| Realizado por: | | | Mabel Vallejo | | |
| Tutor del proyecto: | | | Ing. Javier Palacios | | |
| Fecha de elaboración: | | | 30/04/2021 | | |
| Mortero: | | | TC + FP + TI | | |
| Modelo de Probeta: | | | Triángulo | | |
| Hilada 1 | | Hilada 2 | | Hilada 3 | |
| Hora de elaboración: | 8:30 | Hora de elaboración: | 9:25 | Hora de elaboración: | 10:20 |
| Inicio de impresión: | 8:34 | Inicio de impresión: | 9:29 | Inicio de impresión: | 10:24 |
| Fin de impresión: | 8:35 | Fin de impresión: | 9:31 | Fin de impresión: | 10:27 |
| Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) | Tiempo Inicial (h) | Penetración aguja Vicat (mm) |
| 9:01 | 2.5 | 9:58 | 2.5 | 10:55 | 2.5 |
| 9:05 | 2.0 | 10:02 | 2.0 | 10:59 | 2.0 |
| 9:09 | 1.5 | 10:06 | 1.5 | 11:03 | 1.5 |
| 9:11 | 1.0 | 10:08 | 1.0 | 11:05 | 1.0 |
| 9:13 | 0.5 | 10:10 | 0.5 | 11:07 | 0.5 |
| 9:15 | 0.1 | 10:12 | 0.1 | 11:09 | 0.1 |
| 9:17 | 0.0 | 10:14 | 0 | 11:11 | 0.0 |

Anexo 25. Calidad superficial de las muestras impresas**SI + TI****SI + FP + TI****TC + TI****TC + FP + TI**

Anexo 26. Evidencia fotográfica de la recolección del material

Foto 1. Toma de muestra de arena de río en la zona de Madre Tierra Provincia de Pastaza

Mina “Trópico de Capricornio”

Coordenadas: E 827275.90, N 9830965.90



Foto 2. Toma de muestra de arena de río en la zona de Madre Tierra Provincia de Pastaza

Mina “Santa Isabel”

Coordenadas: E 827564. 69, N 9821658



Foto 3. Tamizado de arena de río, para estudio previo a la elaboración del mortero



Foto 4. Secado de la muestra en el horno a 110 ± 5 °C



Foto 5. Toma de datos y pesos del árido



Foto 6. Secado de muestras en horno a 110 ± 5 °C para el ensayo de contenido de humedad



Foto 7. Ensayo del cono para determinar el estado sss del árido

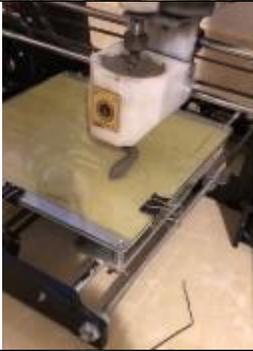


Foto 8. Encofrado para muestras



| | |
|--|---|
| <p>Foto 9. Mezclado de los materiales para elaboración de morteros</p> |  A person is shown mixing a grey mortar mixture in a large metal bowl. The mixture is thick and uniform in color. The person's hands are visible, one holding the bowl and the other mixing. |
| <p>Foto 10. Encofrado y enrazado del mortero en el encofrado</p> |  A person is pouring mortar into a rectangular mold. The mold is made of a light-colored material, possibly wood or plastic, and has several compartments. The mortar is being poured from a metal bowl into one of the compartments. |
| <p>Foto 11. Desencofrado de las probetas a las 24 horas</p> |  A person is removing mortar samples from a mold. The mold is a rectangular tray with several compartments. The mortar samples are being lifted out of the compartments. The mold is placed on a wooden surface. |
| <p>Foto 12. Probetas sumergidas en la cámara de curado</p> |  A person is submerging mortar samples in a curing chamber. The chamber is a rectangular metal tray filled with water. The mortar samples are being placed in the water. The chamber is placed on a wooden surface. |

| | |
|---|--|
| <p>Foto 13. Toma de dimensiones con calibrador o pie de rey</p> |  |
| <p>Foto 14. Ensayo de cubo de mortero a compresión</p> |  |
| <p>Foto 15. Resistencia de las probetas en la máquina de ensayo</p> |  |
| <p>Foto 16. Compactación de la muestra de mortero por 20 veces</p> |  |
| <p>Foto 17. Toma de diámetros de las muestras</p> |  |

| | |
|--|--|
| <p>Foto 18. Temperatura y humedad relativa del laboratorio donde se realizó el ensayo de fluidez</p> |  |
| <p>Foto 19. Determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado (método vicat)</p> |  |
| <p>Foto 20. Ensayo en impresora 3D</p> |  |
| <p>Foto 21. Modelo digital impreso</p> |  |