

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA 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 LA PROVINCIA DE  
TUNGURAHUA, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO 1 Y HE  
INCLUIDO CAL HIDRÁULICA PARA EL USO DE IMPRESORAS 3D**

**Autor:**

Pamela Rosa Taco Hernández

**Tutor:**

Ing. Javier Palacios

**Riobamba – Ecuador**

Año 2019

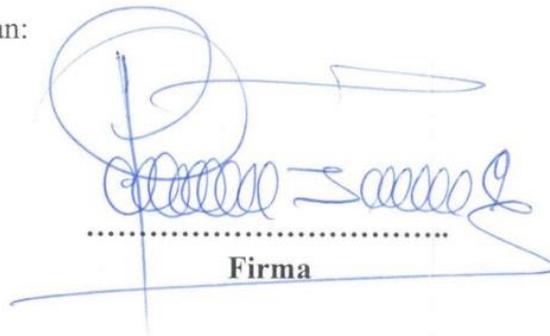
## REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “DISEÑO DE UN MORTERO CON ARENA DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO 1 Y HE INCLUIDO CAL HIDRAÚLICA PARA EL USO DE IMPRESORAS 3D” presentado por Pamela Rosa Taco Hernández 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 constado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para la constancia de lo expuesto firman:

**Ing. Javier Palacios**

Tutor del Proyecto



Firma

**Ing. Carlos Saldaña**

Miembro del Tribunal



Firma

**Ing. Tito Castillo PhD**

Miembro del Tribunal

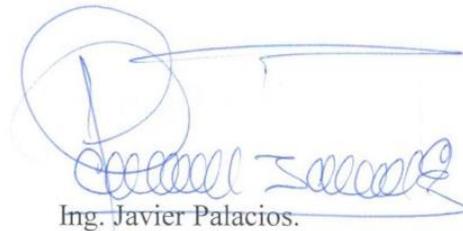


Firma

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Javier Palacios, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “DISEÑO DE UN MORTERO CON ARENA DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO 1 Y HE INCLUIDO CAL HIDRAÚLICA PARA EL USO DE IMPRESORAS 3D”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a la señorita Pamela Rosa Taco Hernández, para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,



Ing. Javier Palacios.

**TUTOR DE TESIS**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Pamela Rosa Taco Hernández e Ing. Javier Palacios; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



---

Srta. Pamela Rosa Taco Hernández

C.I.: 040154035-6

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios por regalarme la dicha de culminar esta meta que es el inicio de algo grandioso, gracias por nunca abandonarme.

Agradezco a mis padres por el esfuerzo y sacrificio que hacen día a día, por el esfuerzo realizado para la obtención de esta mi meta más deseada.

A mis hermanas y mi familia en Tulcán quienes, aunque lejos nunca han dejado de estar presentes, gracias por estar siempre pendientes de mí.

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

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi Dios por permitirme llegar tan lejos y nunca soltar mi mano.

A mis hermanas que, aunque entre disgustos y risas han estado a mi lado y cuentan conmigo siempre.

A toda mi familia por el amor que me brindan y la felicidad que compartimos a cada momento, aunque lejos pero nunca separados.

Al Arq. Juan Paca quien ha llenado mi vida con alegrías y mucho cariño, como esta meta espero conseguir muchas más juntos.

# CONTENIDO

CONTENIDO DE TABLAS .....	IX
CONTENIDO DE IMÁGENES .....	X
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo General .....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. MARCO TEORICO .....	4
4. METODOLOGÍA.....	8
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	11
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	25
6.1. Conclusiones. ....	25
6.2. Recomendaciones.....	25
7. BIBLIOGRAFIA .....	26
8. ANEXOS .....	29
Anexo 1.- Ensayo de contenido de humedad .....	29

Anexo 2.- Ensayo de granulometría.....	30
Anexo 3.- Ensayo de Densidad y porcentaje de Absorción .....	31
Anexo 4.- Ensayo de compresión a corto plazo .....	32
Anexo 5.- Ensayo de compresión a largo plazo .....	34
Anexo 6.- Ensayo de la determinación del tiempo de fraguado.....	36

## CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Características del cemento portland tipo I.....	11
<b>Tabla 2</b> Características del cemento de alta resistencia HE.....	12
<b>Tabla 3</b> Sika Plastocrete 161 HE, composición química. ....	12
<b>Tabla 4</b> Granulometría del árido fino.....	14
<b>Tabla 5</b> Contenido de humedad del árido .....	15
<b>Tabla 6</b> Resultados del ensayo .....	16
<b>Tabla 7</b> Resumen de resultados de ensayos del agregado fino .....	18
<b>Tabla 8</b> Dosificaciones a utilizarse .....	18
<b>Tabla 9</b> Resumen del ensayo de resistencia a la compresión a corto plazo.....	19
<b>Tabla 10</b> Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a largo plazo ..	21
<b>Tabla 11</b> Tiempo de fraguado, método Vicat .....	22
<b>Tabla 12</b> Medida de diámetros obtenidos con el ensayo de trabajabilidad.....	23

## CONTENIDO DE IMÁGENES

<b>Figura 1</b> Descripción de la metodología.....	8
<b>Figura 2</b> Determinación de impurezas orgánicas en el árido.....	13
<b>Figura 3</b> Curva granulométrica del árido.....	14
<b>Figura 4</b> Análisis químico del agregado fino.....	17
<b>Figura 5</b> Grafica de resistencia vs tiempo de fraguado corto plazo.....	20
<b>Figura 6</b> Gráfica resistencia a la compresión a largo plazo .....	21
<b>Figura 7</b> Simulación de impresión 3D .....	24

## RESUMEN

La impresión 3D en hormigón es un sistema novedoso que brinda múltiples ventajas como la rapidez, la automatización y reducción de desperdicios por consiguiente la optimización del proceso reduce la independencia de la mano de obra humana durante la ejecución disminuirá los costes y riesgos laborales.

Ecuador, ha adoptado esta nueva tendencia tecnológica, sin embargo, no se cuenta con una estandarización de materiales locales para conseguir un mortero con características imprimibles como adherencia, resistencia y fluidez.

Considerando la importancia y de contar con el material adecuado, este trabajo se enfocó en caracterizar 4 mezclas de mortero imprimible elaboradas con cemento portland tipo I y HE más arena de río de la provincia de Tungurahua y cal hidráulica, a fin de evaluar sus propiedades físicas y mecánicas de resistencia a la compresión, trabajo y tiempo de fraguado.

Los morteros elaborados con cemento tipo I y HE con la añadidura de cal hidráulica en su dosificación obtuvieron valores de resistencia a la compresión menores que los elaborados sin cal hidráulica con cemento tipo I y HE, sin embargo, la alta resistencia a la compresión de los 4 morteros y sus propiedades mecánicas descritas los hace aptos para su uso en impresoras 3D debido a su trabajabilidad y tiempo de fraguado.

**Palabras clave:** Impresora 3D, mortero, cal hidráulica, resistencia, compresión, Tungurahua

## ABSTRACT

3D printing, in particular, is a new system that offers multiple advantages such as speed, automation and waste reduction by calibration process optimization reduces the independence of human labor during execution will reduce labor costs and risks.

Ecuador has adopted this new technological trend. However, there is no standardization of local materials to achieve a mortar with printable characteristics such as adhesion, resistance, and fluidity.

Considering the importance and having the right material, this work focused on characterizing four mixtures of printable mortar made with Portland cement type I and HE plus sand from the Tungurahua province river and hydraulic lime, a fin assessing its physical properties and mechanical resistance to compression, work and setting time.

Mortars made with cement type I and HE with the addition of hydraulic lime in their dosing obtained lower compressive strength values than those made without hydraulic lime with cement type I and HE, however, the high compressive strength of 4 mortars and their described mechanical properties make them suitable for use in 3D printers due to their workability and setting time.

**Keywords:** 3D printer, mortar, hydraulic lime, resistance, compression, Tungurahua

  
Reviewed by : Caisaguano Janneth  
Language Center Teacher



# 1. INTRODUCCIÓN

La tecnología día tras día avanza, en la industria de la construcción despunta la impresión 3D, el cual es un método de edificación que crea elementos de construcción prediseñados, permitiendo realizar obras pequeñas en pocas horas y ensamblaje de edificios con piezas impresas. (Campillo Mejía, 2017)

En la actualidad existen varias empresas que se han insertado en el mundo de la impresión 3D, Apis Cor en 2011 una compañía rusa que realizó una vivienda de 38 m<sup>2</sup> con todos los servicios básicos en un solo día. Otro ejemplo es la empresa China Winsun Decoration Design Engineering, quienes rompieron un record mundial en el 2016 al realizar 10 viviendas modulares en tan solo 24 horas, el material utilizado fue una combinación de hormigón, fibra de vidrio y material de demolición. (Wu, Wang, & Wang, 2016)

Malaeb et al., (2015) imprimió una pared con una mezcla acelerada por 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 en 28 días.

En cambio, Khalil et al., (2017) se enfocó en analizar la variación de las propiedades físicas y mecánicas del mortero en función del tipo de cemento utilizado; elaborando un mortero con una mezcla hecha de dos tipos: cemento Portland ordinario y cemento de Sulfo- aluminato de Calcio, alcanzando una resistencia a la compresión de 88 MPa después de 28 días para muestras no impresas y 79 MPa para muestras impresas, logrando además sobreponer 25 capas manualmente. Sin embargo, la muestra

impresa exhibió una compresión más baja en diferentes puntos, debido a la porosidad adicional relacionada con la trabajabilidad de la mezcla.

En Ecuador se han realizado varios estudios acerca de morteros para su uso en impresoras 3D, obteniendo numerosas mezclas que cubren varias de las características necesarias para ser imprimibles, sin embargo, no se cumplen todas; Mariño Salguero (2018), encontró un mortero elaborado con cemento tipo HE el cual presento muy buena resistencia de compresión sin embargo no se ha realizado una simulación de impresión para conocer su comportamiento.

Debido a que la cal por su gran capacidad para retener agua aumenta la moldeabilidad del mortero incluso al contacto con unidades porosas y muy absorbentes como menciona Calderón (2012), además de la utilización de materiales propios de nuestro medio haciendo que la tecnología de la impresión 3D sea accesible y estandarizar este proceso con materiales propios del país.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Elaborar un mortero para impresoras 3D con arena de río de la provincia de Tungurahua y cemento portland tipo I y HE adicionando cal hidráulica.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar propiedades químicas y mecánicas del agregado fino de la provincia de Tungurahua.
- Evaluar la resistencia a compresión a corto y largo plazo las probetas con cemento tipo I y HE.
- Mediar tiempos de fraguado del mortero para su utilización en impresoras 3D.

### 3. MARCO TEORICO

En este capítulo se destina totalmente a realizar un recuento del estado del arte sobre la impresión 3D y de morteros en la industria de la construcción, luego se describe las propiedades y dosificaciones que se han estudiado hasta la actualidad para ser considerados imprimibles; también se realiza una introducción de la cal hidráulica y algunas de sus propiedades.

El mortero es una mezcla dosificada de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agua, con o sin aditivos (Rosell y Cantalapiedra, 2011). Estos materiales deben cumplir varias características que se enuncian en las normas NEC, (2010). Hager et al., (2016) menciona que el proceso de elaboración de esta mezcla empieza con la mezcla del cemento con el árido fino, más los aditivos para finalmente agregar el agua y realizar un amasado con ayuda de máquinas hasta obtener una mezcla homogénea y trabajable.

Actualmente, con la aparición de las impresoras 3D, se han realizado varios estudios que permitan diseñar un mortero para estas impresoras. Gil Gil, (2015) definió a este mortero como una mezcla de cemento, árido fino, agua y aditivos que al mezclarse formen una masa homogénea que cumpla algunas propiedades para su uso en impresoras 3D; es aquí donde surge la necesidad de un mortero para impresión 3D con materiales locales para la expansión de la metodología de construcción.

Gardiner, (2011) haciendo énfasis en el proceso de extrucción que usan estas máquinas para la impresión de elementos de mortero delimito las propiedades que un mortero debe cumplir para ser imprimible entre ellas:

- a) Capacidad de ser bombeado. - El mortero debe tener una consistencia capaz de moverse por el sistema hasta el cabezal de impresión produciendo una masa homogénea sobre la superficie. Para esta propiedad Torres (2016), definió el tamaño máximo del árido de 8mm para evitar la formación partículas gruesas que dañe el cabezal de impresión.
- b) Capacidad de ser impreso. - El material debe ser extruido por la boquilla de impresión, esta propiedad se evalúa con la trabajabilidad de la mezcla, la misma que para morteros imprimibles es de  $150\pm 10$  mm medida por el ensayo de consistencia en la mesa de sacudidas (Chimbolema, 2017).
- c) Constructibilidad. - Es la resistencia del material depositado para aguantar su propio peso y el de capas superiores sin ser deformado para ello Altamirano, Cuevas, & Sanchez, (2015), evaluó el tiempo de fraguado y endurecimiento del material basándose en las diferencias dadas por Sakin & Kiroglu (2017), entre tiempo de fraguado y endurecimiento; definiendo el tiempo de fraguado como el lapso de tiempo durante el cual, el cemento y el agua reaccionan químicamente, generando y desprendiendo calor para dar origen a nuevos compuestos, los cuales provocan el posterior endurecimiento.

Para Veiga & Santos (2015), todas las propiedades de un mortero para impresoras 3D no depende exclusivamente del agregado fino que se utilice o de los aditivos que se añadan sino del cemento que se utiliza. El cemento portland y el cemento hidráulico se han estudiado para intervalos de tiempo extendidos en decir la obtención de resistencia al cabo de varios días, sin embargo, en los morteros imprimibles se necesita obtener resistencias elevadas en cortos intervalos de tiempo es decir en minutos (Limonte, 2016).

Si bien se necesita que el mortero tenga resistencia también debe asegurar adherencia y firmeza al momento de la extrucción, sin embargo, en la actualidad no existe un cemento que se estudie directamente para las dosificaciones de morteros para impresoras 3D, aunque se han realizado estudios también con geo polímeros y otros aglutinantes que tiene resultados de resistencia y adherencia relevantes pero el factor económico es muy elevado con respecto al cemento (Wu et al., 2016).

Mariño (2018), realizo un estudio de un mortero para impresoras 3D con agregado fino de Chimborazo obteniendo valores de propiedades físicas y mecánicas muy alentadoras, sin embargo el estudio de otros materiales provenientes de otras provincias también es necesario para evaluar las diferencias y mejorar la calidad de los materiales utilizados.

La arena de rio es considerada el mejor agregado fino para la elaboración de morteros; se realizan ensayos de granulometría, contenido de humedad, porcentaje de absorción y contenido de materia orgánica con la finalidad de evaluar sus propiedades físicas para prever un buen comportamiento del mortero en la impresión 3D.

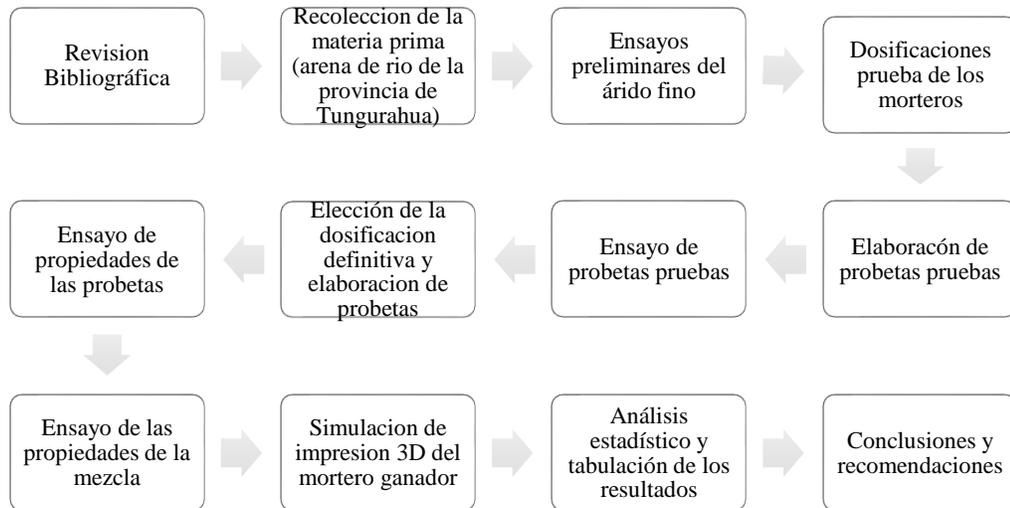
Si bien es cierto, evaluar el mortero para impresoras 3D con normas que se aplican para obtener un mortero común, no resulta muy consecuente, sin embargo, hasta el momento no se ha llegado a implantar normativas o límites de resultados, así como también los materiales utilizados como el cemento y aditivos no han sido estudiados para su uso en la obtención de un mortero imprimible. Por tal motivo, para la evaluación de las propiedades de resistencia a la compresión de morteros se utiliza la norma INEN NTE 488, la propiedad de trabajabilidad del material se mide aplicando la norma INEN NTE 157; el tiempo inicial y final de fraguado del mortero se establece con la norma

INEN NTE 158. Para los agregados finos, el contenido de humedad se valora con la norma INEN NTE 690; el contenido de materia orgánica con la norma INEN NTE 0855, la densidad relativa y porcentaje de absorción con la norma INEN NTE 857, y la granulometría con la norma INEN NTE 696.

## 4. METODOLOGÍA

Esta investigación tiene un alcance explicativo pues se experimentó con diferentes dosificaciones utilizando insumos locales para así producir un nuevo material cementante útil para la impresora 3D. La variable independiente de este estudio fue el porcentaje de cal hidráulica añadida a la mezcla, lo cual influencia su resistencia a la compresión por lo cual la resistencia a la compresión fue la variable dependiente.

En la figura 1 se detalla la metodología desarrollada en esta investigación.



**Figura 1** Descripción de la metodología.

Esta metodología se centra en la caracterización de 4 tipos de morteros para impresora 3D, utilizando arena de río proveniente de la provincia de Tungurahua con la añadidura de cal hidráulica.

La revisión bibliográfica se realizó una búsqueda en Google Académico, ScienceDirect, SCielo, Scopus y el repositorio bibliográfico de la Unach donde se encontró un total de 15 documentos PDF entre artículos científicos y tesis que cuentan con información destaca y relevante sobre la impresión 3D.

Se realizó una búsqueda documental de los materiales a utilizar, se revisó y analizo un total de 8 normas INEN NTE que detallan el proceso de realización de cada uno de los ensayos que se llevó acabo.

Para la recolección de la muestra de agregado fino, se realizó una elección de canteras proveedoras de este material en la provincia; se obtuvieron dos canteras de las cuales la cantera “Nieto” presento todos los requisitos de registro y tiene a su cargo personal con conocimiento acerca de los materiales pétreos que frece al cliente.

Además, para comprobar que el material recolectado tenga las características que se necesita para el propósito de la investigación se realizó ensayos de contenido de materia orgánica para poder prever resultados satisfactorios.

Se tomaron como base las dosificaciones recomendadas por (Mariño Salguero, 2018), para contrastar información y evaluar el comportamiento del agregado fino. Para la determinación de estas propiedades físicas se realizaron varios ensayos como contenido de materia orgánica, granulometría, porcentaje de absorción, densidad y contenido de humedad.

En la caracterización del agregado fino se usaron normas como: la INEN NTE 0855 para la Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón; la norma para el ensayo de Contenido de Humedad y la norma INEN NTE 857 en el ensayo de Densidad y porcentaje de absorción.

Para la evaluación de las propiedades mecánicas de los 4 tipos de mortero se realizaron ensayos para establecer tiempos de fraguado, trabajabilidad y resistencia a la compresión según los procedimientos que la Norma Técnicas Ecuatorianas menciona.

Para la elaboración de probetas y el ensayo resistencia a la compresión a corto y largo plazo su uso la norma INEN NTE 488; la propiedad de tiempo de fraguado y trabajabilidad se utilizó la norma INEN NTE 157

Se realizó una simulación de impresión 3D con una manga pastelera con un método de extracción manual, para ellos se exprimió manualmente el mortero a través de la manga.

Para la tabulación de datos de todos los ensayos definidos se utilizó tablas de Excel y para su análisis el programa MiniTab 16 (MiniTab Inc. PA, USA) para verificar que los resultados arrojados sean de significativos.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la revisión bibliográfica se obtuvieron artículos, tesis, normas y varias páginas webs de información relevante sobre impresoras 3D, se escogieron 15 artículos y tesis publicadas en los últimos diez años para obtener información veraz.

De esta revisión bibliográfica se obtuvieron datos y delimitaciones de características que se deben cumplir para que un mortero sea imprimible, además, resultados de ensayos similares a los planteados en el capítulo anterior lo cual permite realizar un contraste de información.

De la revisión documental, y por el uso del cemento tipo I y HE se obtuvieron las fichas técnicas mostradas en las tablas 1 y 2 que la fábrica de la Unión Cementera Nacional (UCEM) entrega a los clientes de sus productos.

**Tabla 1** Características del cemento portland tipo I

REQUISITOS FÍSICOS	CEMENTO TIPO I	NORMA NTE INEN 490
z	2.85	-
Expansión en autoclave (%)	0.0013	0,80 máx.
Vicat Inicial (min)	160	45 min.
Vicat Final(min)	240	420 máx.
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Días)</b>	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>
3	18	13
7	26	20
28	37	25
RESISTENCIA A LOS SULFATOS	CEMENTO I	NORMA NTE INEN 490
% Expansión a los 14 días	0.018	0,02 máx.

**Fuente:** Adaptado de UCEM

**Tabla 2** Características del cemento de alta resistencia HE

REQUISITOS FÍSICOS	CEMENTO CHIMBORAZO SUPERIOR PORTLAND PUZÓLANICO TIPO HE	
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	9.92	
Expansión en autoclave (%)	0.0013	
Fraguado Vicat Inicial (minuto)	150	
Fraguado Vicat Final (minuto)	240	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Días)	Kg/cm <sup>3</sup>	MPa
1	184	18
3	255	25
7	337	33
28	459	45
RESISTENCIA A LOS SULFATOS	CEMENTO TIPO HE	
% Expansión a los 14 días	0,04 máx.	

**Fuente:** Adaptado de UCEM

Los dos cementos tienen tiempos de fraguado rápidos que para el amasado de morteros imprimibles es importante y su resistencia a la compresión elevada mejora el resultado del mortero obtenido.

Igualmente se adquirió información del aditivo Sika Plastocrete 161 HE; el aditivo químico acelerante de resistencias en mortero, su composición química se explica en la tabla 3.

**Tabla 3** Sika Plastocrete 161 HE, composición química.

Nombre Químico	Nomenclatura	Concentración (% w/w)
Cloruro de calcio	CaCl <sub>2</sub>	>=10 -<20
2, 2', 2'' – nitrilotrietanol	(HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> N	>=1 -<10
5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> ClNOS	<0.1

Este aditivo por su alto contenido de cloruro de calcio disminuye el tiempo de fraguado permitiendo así que el mortero tenga firmeza una vez que sea extruido de la boquilla de impresión.

En la recolección de la materia prima, se obtuvo una muestra de arena de río proveniente de la cantera “Nieto” registrada con el código 200982 en la Agencia de Regulación y Control Minero del Ecuador designada como “Proveedor de Calidad” en el año 2016, ubicada en la parroquia Pishilata de la provincia de Tungurahua a 3.5 km de la nueva Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ambato con coordenadas (769189.1;9863022.3).

La evaluación del agregado fino se realizó varios ensayos descritos en el capítulo anterior, obteniendo resultados que generan discusión.

**Determinación de impurezas orgánicas del árido.-** En la figura se denota que el agua que sobrenada a la muestra es de color N°1 según el comparador de color de Gardner, lo cual indica que la muestra tiene un porcentaje bajo de impurezas orgánicas como menciona la norma INEN NTE 0855.

**Figura 2** Determinación de impurezas orgánicas en el árido

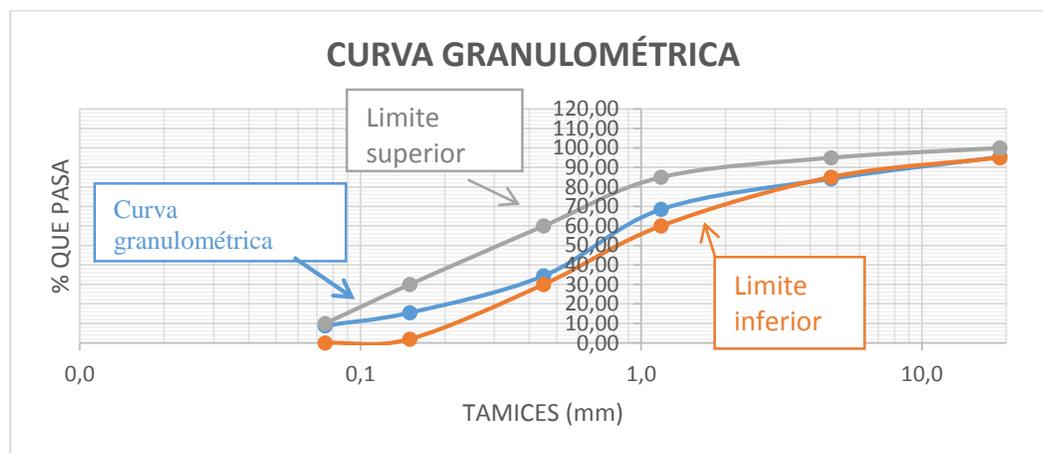


**Granulometría.** - En la tabla 4 se desglosa los valores de material que cada tamiz retiene también se verifica que el árido fino posee un módulo de finura de 2.93 y que se encuentra en el rango de no menor a 2.3 ni superior a 3.1, por lo cual el agregado fino se puede utilizar en el amasado de un mortero.

**Tabla 4** Granulometría del árido fino

Tamices	Retenido Parcial (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa
3/8"	41	4.60	95.40
N° 4	100	15.81	84.19
N° 16	140	31.50	68.50
N° 40	304	65.58	34.42
N° 100	169	84.53	15.47
N° 200	59	91.14	8.86
Bandeja	79	100.00	0.00
<b>Módulo de finura</b>			<b>2.93</b>

En la figura 3 se evidencia como la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites especificados para los tamices utilizados por lo cual el agregado cumple los parámetros para ser considerado agregado fino de uso en mortero.



**Figura 3** Curva granulométrica del árido

El material utilizada por Mariño, (2018) obtuvo un módulo de finura de 2.66 menor que el obtenido en esta investigación, esto quiere decir que el material de

Tungurahua posee granos más gruesos que al mezclarse en la pasta de cemento se da mejor adhesión de partículas.

**Contenido de humedad.-** El árido presenta un contenido de humedad dentro del parámetro que la norma INEN NTE 690 lo cual permite que la relación agua-cemento se pueda controlar de mejor manera y en la tabla 5 se presentan los resultados.

**Tabla 5** Contenido de humedad del árido

Rec	Masa Rec (g)	Masa Rec + Muestra húmeda (g)	Masa Rec+Muestra seca (g)	% Humedad
Tara 1	18.40	82.90	77.50	9.14
Tara 2	18.00	92.40	86.30	8.93
Tara 3	18.30	94.10	87.80	9.07
Tara 4	18.30	94.80	88.30	9.29
Tara 5	18.40	89.80	84.70	7.69
<b>% Humedad Promedio</b>				<b>8.82</b>

El material proveniente de la provincia de Chimborazo usado por Mariño (2018), presenta un porcentaje de contenido de humedad de 4.87 menor que 8.82 del material de Tungurahua, esto significa que la relación agua- cemento con material de Chimborazo es mucho más elevada lo cual afecta el parámetro de resistencia a la compresión.

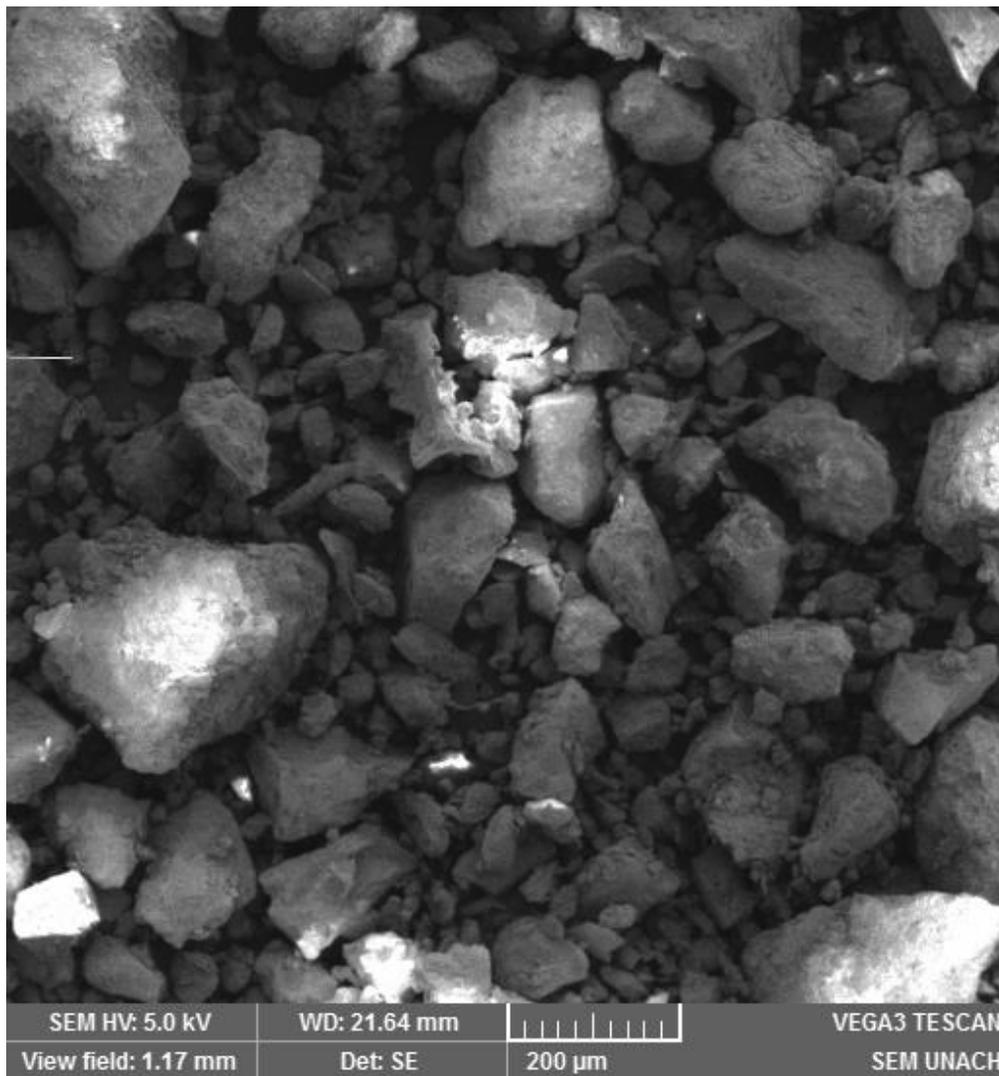
**Densidad y porcentaje de absorción.** – en la tabla 6 se observa que la densidad en estado saturado superficialmente seco (SSS) es mayor que en estado seco, lo cual se debe a que el estado SSS tomo en cuenta los poros del árido lleno de agua, lo cual según la norma INEN NTE 857 está dentro del parámetro normal.

**Tabla 6** Resultados del ensayo

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Densidad SH (kg/cm <sup>3</sup> )	2072.73
Densidad en SSS (kg/cm <sup>3</sup> )	2159.09
Densidad Aparente (kg/cm <sup>3</sup> )	2269.19
Porcentaje de Absorción (%)	4.17

Mariño (2018), obtuvo un porcentaje de absorción de 1.86% mucho menor al 4.17% que tiene el agregado de Tungurahua, lo cual quiere decir que el mortero con agregado de Chimborazo necesita un porcentaje de agua más elevado. Además, no menciona si el amasado del mortero se realizó con material en estado SSS, lo cual es necesario para el control de la relación agua-cemento.

## Análisis Químico del árido fino. –



**Figura 4 Análisis químico del agregado fino**

En la figura 4, se muestra la forma del grano que tiene aristas que son de mucha ayuda para mantener consistencia al momento de la amasada; también se mejora la propiedad de trabajabilidad pues existe mejor adherencia entre partículas internas del mortero.

**Tabla 7** Resumen de resultados de ensayos del agregado fino

<b>Resultados de ensayos del agregado fino</b>		
Propiedad	Valor	Unidades
Impurezas Orgánicas	1	%
Módulo de Finura	2.93	
Contenido de humedad	8.82	%
Densidad SSS	2159.09	kg/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de Absorción	4.17	%

Los valores resultados de los ensayos de propiedades físicas y químicas del agregado fino, se encuentran dentro de los límites que las normas exigen para que sea utilizado en la fabricación de morteros.

Tanto el árido fino proveniente de la provincia de Tungurahua, así como el de Chimborazo elaborado por Mariño (2018), son usables en morteros, sin embargo, las diferencias en cada una de estas propiedades físicas se deben a la morfología del estrato del suelo de su ubicación.

Con la finalidad de evaluar y comparar las propiedades mecánicas del mortero amasado con el árido fino de Tungurahua contra el árido de Chimborazo, se utilizó las dosificaciones planteadas por Mariño (2018), las cuales se desglosan en la tabla 8.

**Tabla 8** Dosificaciones a utilizarse

Componentes	M-0-I	M-7-I	M-0-HE	M-7-HE
Arena (kg)	62.25	67.2	62.25	67.2
Cemento (kg)	50.00	50.00	50.00	50.00
Cal (kg)	0.00	3.50	0.00	3.50
Agua (kg)	21.00	25.45	20.75	22.45
Plastificante (kg)	1.00	1.00	1.00	1.00

Las nomenclaturas de las dosificaciones se deben a que la primera letra corresponde al nombre de mortero, el número siguiente se refiere al porcentaje de cal y el siguiente carácter se define por el tipo de cemento que se utilizó.

En la evaluación de las propiedades mecánicas se llevó a cabo varios ensayos descritos en normas técnicas de la construcción.

**Ensayo a compresión a corto plazo.** - Los ensayos a compresión de las probetas se realizaron a tempranas edades, es decir, 6, 9 y 24 horas para ellos se tomó una resistencia promedio y se realizó un estudio en el software MiniTab y sus resultados se presentan en la tala 9.

**Tabla 9** Resumen del ensayo de resistencia a la compresión a corto plazo.

Horas	Medida	Dosificaciones			
		M-0-I	M-7-I	M-0-HE	M-7-HE
6	Media (MPa)	7.35	5.78	8.06	5.89
	Desviación E.	0.35	0.25	0.27	0.28
	Letra	C	D	A	B
9	Media (MPa)	11.59	9.92	15.86	13.25
	Desviación E.	0.30	0.27	0.84	0.39
	Letra	B	C	A	A
24	Media (MPa)	19.98	14.71	20.69	17.38
	Desviación E.	0.39	0.58	0.80	1.06
	Letra	A	C	A	B

Nota: Las letras A, B, C y D representan las diferencias significativas, que se obtiene al realizar el Test de Turkey ( $p < 0.05$ ) en el software MiniTab.

En la figura 5 se presenta la gráfica resistencia vs tiempo de fraguado de los morteros a corto plazo, en ella se observa que los morteros en el momento de impresión

aseguran buena resistencia para soportar su peso propio y el de las hiladas superiores como menciona.

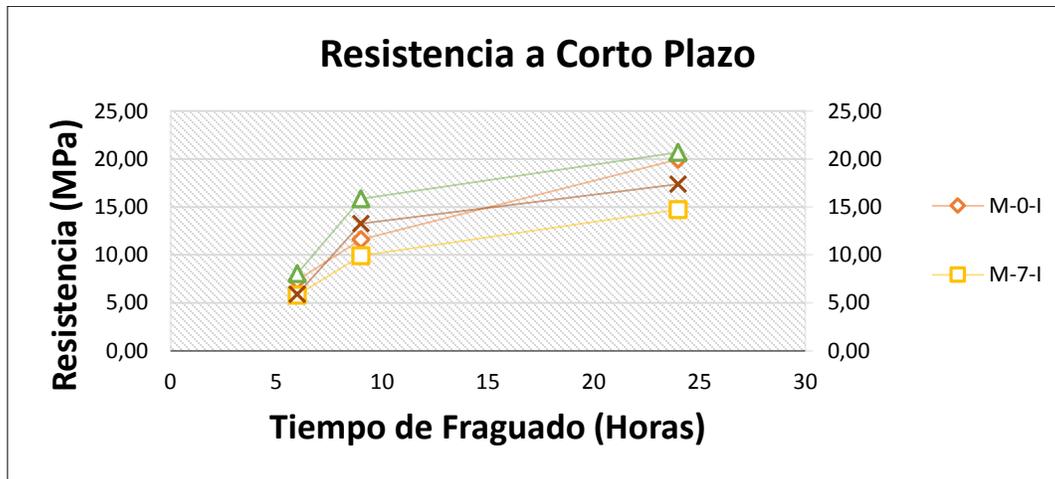


Figura 5 Grafica de resistencia vs tiempo de fraguado corto plazo

El mortero elaborado con cemento HE y con cal tiene un incremento de 15.99% con respecto al mortero con cemento HE sin cal; así mismo en el mortero con cemento I con cal se evidencia un decremento de 26.37% con respecto al mortero sin cal esto significa que la cal no incrementa la resistencia a compresión en este caso.

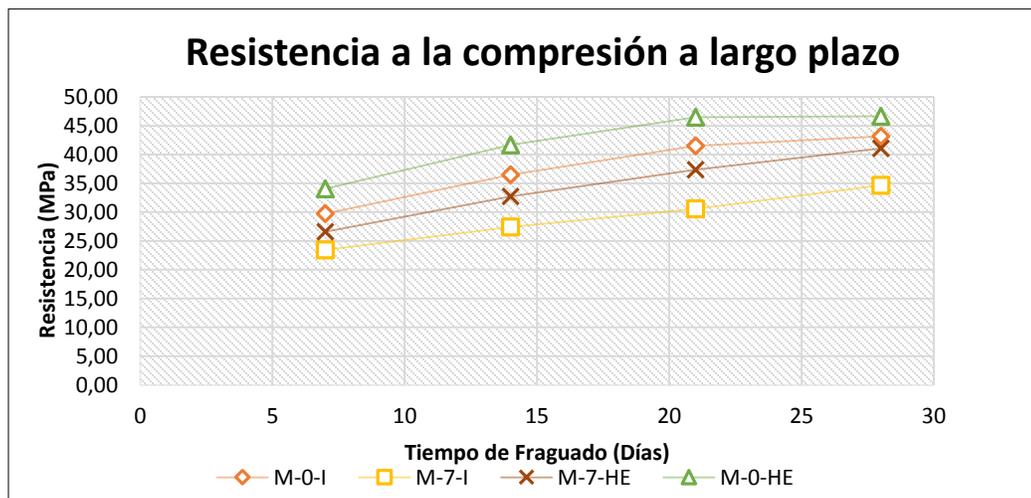
**Ensayo a compresión a largo plazo.** - Para este ensayo se llevó a ruptura las probetas a las edades de 7, 14, 21 y 28 días de fraguado, en la tabla 10 se proporciona valores de resistencias promedio de cada uno de los morteros amasados y su estudio estadístico.

**Tabla 10** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a largo plazo

Días	Medida	Dosificaciones			
		M-0-I	M-7-I	M-0-HE	M-7-HE
7	Media	29.73	23.43	34.04	26.59
	Desviación E.	1.63	1.25	0.82	2.30
	Letra	C	D	A	B
14	Media	36.48	27.40	41.64	32.73
	Desviación E.	1.64	0.89	0.43	1.04
	Letra	C	D	A	B
21	Media	41.50	30.58	46.44	37.34
	Desviación E.	1.22	1.94	0.92	2.36
	Letra	C	D	A	B
28	Media	43.18	34.67	46.61	41.08
	Desviación E.	1.17	1.05	0.98	2.40
	Letra	C	D	A	B

**Nota:** Las letras A, B, C y D representan las diferencias significativas, que se obtiene al realizar el Test de Turkey ( $p < 0.05$ ) en el software MiniTab.

En la figura 6 se observa que los cuatro morteros mantienen un patrón de desarrollo de resistencia a largo plazo esto se debe a que los intervalos de tiempo que se evaluó para este ensayo son más largos por lo cual el cemento utilizado reacciono en su totalidad.



**Figura 6** Gráfica resistencia a la compresión a largo plazo

Es evidente el decrecimiento de la resistencia a compresión de los morteros amasados con cal con respecto a los morteros sin cal, esto se debe a que la cal no está reaccionando favorablemente con el agua y el cemento para el incremento de resistencia.

**Determinación del tiempo de fraguado.** - Los tiempos de fraguado fueron tomados en dos probetas por cada dosificación planteada y sus resultados se muestra en la tabla 11, los cuales se encuentran dentro de los rangos establecidos por Wu et al., (2016) en su investigación.

**Tabla 11** Tiempo de fraguado, método Vicat

<b>Dosificación</b>	<b>Tiempo Inicial de Fraguado (min)</b>	<b>Tiempo Final de Fraguado (min)</b>
M-0-I	150	369
M-7-I	155	389
M-0-HE	95	287
M-7-HE	140	358

Este tiempo de 95 minutos de inicio de fraguado permite definir el intervalo de tiempo que debe existir entre la impresión de hiladas superiores e inferiores.

Existen varios estudios (Wu et al. (2016), Mariño (2018) y Torres (2016)) que presentan morteros con tiempo de fraguados mucho menores, esto se debe a la utilización de otros materiales como geo polímeros los cuales para su curado exigen otras técnicas, sin embargo, para esta investigación se utilizaron materiales disponibles y accesibles.

**Trabajabilidad.** – En la tabla 12, se expone los datos de los diámetros obtenidos en el ensayo de trabajabilidad.

**Tabla 12** Medida de diámetros obtenidos con el ensayo de trabajabilidad

	<b>M-0-I</b>	<b>M-7-I</b>	<b>M-0-HE</b>	<b>M-7-HE</b>
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>
1	22	18	22	19
2	20	17	19.0	16.5
3	18	16	18.5	15.5
4	17	15.5	17	15
5	16.5	14.5	16	14

La trabajabilidad que los cuatro morteros presentan están dentro del rango especificado en las normas esto quiere decir que al utilizarlos en la impresora 3D no se dejara desperdicios que puedan ocasionen taponamiento en el cabezal de impresión

Si bien Mariño (2018), obtiene diámetros mucho menores en este ensayo se debe a que el grano de su agregado es mucho más fino lo que estimula el endurecimiento prematuro del mortero que podría taponar el cabezal de impresión.

Estos resultados a comparación de otros morteros elaborados con materiales de zonas aledañas a la provincia tienen una gran diferencia este se debería a la calidad del amasado y el control de la cantidad de agua que se utiliza.

También se realizó una simulación de impresión 3D con una manga pastelera obteniendo la impresión de 3 hiladas seguidas con una depresión de 3mm en la primera, para continuar con las siguientes hiladas se tardó 15 minutos y tuvo una buena adherencia, además se midió un ancho de boquilla de la manga de 7mm y al exprimir el mortero por la misma obtuvo un ancho de 9mm evidenciándose un asentamiento de 2mm.



**Figura 7** Simulación de impresión 3D

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones.**

Se diseñó un mortero para impresoras 3D que contiene agua, cemento tipo HE, aditivo y arena de río proveniente de la provincia de Tungurahua que desarrollo una resistencia a la compresión de 46.61 MPa, que empieza el proceso de fraguado al cabo de 95 minutos después del amasado; y que en la simulación realizada mantuvo firmeza y logro adherencia en las capas superiores.

La arena de río de la provincia de Tungurahua presenta propiedades físicas y químicas idóneas para el amasado de un mortero para impresoras 3D por lo cual los cuatro morteros evaluados presentan buenas características de resistencia, trabajabilidad y moldeabilidad que se enuncian en las normas técnicas de morteros, pero que no están dirigidas para morteros imprimibles.

### **6.2.Recomendaciones.**

Este trabajo es una fase de investigación de las impresoras 3D en el país, se debería seguir ensayando otros áridos finos locales para llegar a la estandarización de un mortero para impresoras 3D.

La estandarización de este proceso tecnológico con materiales locales es de importancia para nuestro país, para ello se debería realizar estudios de cementos y aditivos que se destinen para la elaboración de morteros para impresoras 3D.

Estos morteros deberían ser utilizados en una impresora 3D para evaluar su comportamiento y ahondar estudios en el mejoramiento de sus propiedades imprimibles.

## 7. BIBLIOGRAFIA

Altamirano, G., Cuevas, A., & Sanchez, Z. (2015). Utilización De Fibra De Coco En La Elaboración De Piezas Ecosustentables De Mampostería. Perspectiva En México Y Avance De Estudio. *Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, (January 2016).

Retrieved from

[https://www.researchgate.net/publication/288991375\\_UTILIZACION\\_DE\\_FIBRA\\_DE\\_COCO\\_EN\\_LA\\_ELABORACION\\_DE\\_PIEZAS\\_ECOSUSTENTABLES\\_DE\\_MAMPOSTERIA\\_PERSPECTIVA\\_EN\\_MEXICO\\_Y\\_AVANCE\\_DE\\_ESTUDIO](https://www.researchgate.net/publication/288991375_UTILIZACION_DE_FIBRA_DE_COCO_EN_LA_ELABORACION_DE_PIEZAS_ECOSUSTENTABLES_DE_MAMPOSTERIA_PERSPECTIVA_EN_MEXICO_Y_AVANCE_DE_ESTUDIO)

Calderón, A. A. (2012). Democratización de la impresión 3D con fotopolímeros. *Universidad de Chile*, 32.

Campillo Mejía, M. (2017). “Prefabricación en la arquitectura: Impresión 3D en hormigón.” *Universidad Politécnica de Madrid*, 40. Retrieved from <http://oa.upm.es/47556/>

Chimbolema, S. (2017). Diseño de un Mortero con Arcillas y Cemento Portland Tipo I para su uso en Impresoras 3D. *Universidad Nacional de Chimborazo*, 53. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4341>

Gardiner, J. (2011). Exploring the emerging design territory of construction 3D printing - project led architectural research. *Ecuador*.

Gil Gil, I. (2015). La Impresión 3D y sus alcances en la arquitectura. *Universidad Politécnica de Madrid*.

Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? *Procedia Engineering*, 151, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>

INEN NTE 0855. (2010). Determinación de impurezas orgánicas en el arido fino pra hormigón. *Ecuador*, 0855.

INEN NTE 157. (2010). Determinación de la consistencia normal. Método Vicat. *Ecuador*.

INEN NTE 158. (2010). Determinación del tiempo de fraguado, Método VICAT. *Ecuador*.

INEN NTE 488. (2010). Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista. *Ecuador*.

INEN NTE 690. (2010). Determinación del contenido de agua método del secado al horno. *Ecuador*.

INEN NTE 696. (2010). Análisis Granulométrico en los áridos, fino y gruesos. *Ecuador*.

INEN NTE 857. (2010). Determinación de la densidad, densidad relativa y absorcion del árido grueso. *Ecuador*.

Khalil, N., Aouad, G., El Cheikh, K., & Rémond, S. (2017). Use of calcium sulfoaluminate cements for setting control of 3D-printing mortars. *Construction and Building Materials*, 157, 382–391. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.109>

Limonte Morales Giselle. (2016). Evaluación de medidas de mitigación de la fisuración debido a la retracción por secado en hormigones para obras hoteleras en Cayo Coco. *Universidad Central Martha Abreu*.

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(6), 14–22.

Mariño Salguero, C. E. (2018). Diseño de un mortero con cemento portland tipo I y HE incluida cal hidráulica para su uso en impresoras 3D. *Universidad Nacional de Chimborazo*.

NEC. (2010). Norma Ecuatoriana de la Construcción. *Ecuador*.

Sakin, M., & Kiroglu, Y. C. (2017). 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. *Energy Procedia*, 134, 702–711.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.562>

Torres Remón, R. (2016). Diseño de hormigón para impresión en 3D. *Universidad Politécnica de Valencia*, 83.

Veiga, R., & Santos, A. R. (2015). As argamassas de cal hidráulica natural na reabilitation. *Revista Pedra & Cal*, 58, 38–40.

Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Automation in Construction*, 68, 21–31.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>

## 8. ANEXOS

### Anexo 1.- Ensayo de contenido de humedad

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD</b>				
<b>UBICACIÓN :</b>	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería civil Unach.		<b>REALIZADO POR:</b>	
	<b>MUESTRA : Arena de río de Tungurahua</b>		Pamela Rosa Taco Hernandez	
<b>Fecha de Muestreo:</b>	25/03/2019		<b>DIRECTOR DEL PROYECTO:</b>	
		<b>Hora: 12:00</b>	Ing. Javier Palacios	
<b>Fecha de Ensayo:</b>	28/03/2019			
		<b>Hora: 11:00</b>		
T A B U L A C I Ó N D E D A T O S				
RECIPIENTES	Masa Rec (g)	Masa Rec + Muestra húmeda (g)	Masa Rec+Muestra seca (g)	% Humedad
TARA 1	18.400	82.900	77.500	9.137
TARA 2	18.000	92.400	86.300	8.931
TARA 3	18.300	94.100	87.800	9.065
TARA 4	18.300	94.800	88.300	9.286
TARA 5	18.400	89.800	84.700	7.692
			<b>% Humedad Prome dio</b>	<b>8.82</b>

**Anexo 2.-** Ensayo de granulometría

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
ENSAYO:	<b>G R A N U L O M E T R Í A</b>					
REALIZADO POR:			MUESTRA 2			
Pamela Rosa Taco Hernández			UBICACIÓN:	Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parroquia Pishilata		
DIRECTOR DEL PROYECTO:						
Ing. Javier Palacios						
T A B U L A C I Ó N D E D A T O S						
MASA RECIPIENTE (g)		151	MASA INICIAL (g)		900	
TAMICES	Retenido Parcial + Recipiente (g)	Retenido Parcial - Recipiente (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
3/8"	192	41	4.60	95.40	95	100
N° 4	251	100	15.81	84.19	85	95
N° 16	291	140	31.50	68.50	60	85
N° 40	455	304	65.58	34.42	30	60
N° 100	320	169	84.53	15.47	2	30
N° 200	210	59	91.14	8.86	0	10
BANDEJA	230	79	100.00	0.00		
TOTAL		892				
MÓDULO DE FINURA		2.93				

**Anexo 3.-** Ensayo de Densidad y porcentaje de Absorción

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD</b>						
<b>UBICACIÓN :</b>		Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parroquia				
<b>MUESTRA : Arena de rio de Ambato</b>		<b>REALIZADO POR:</b> Pamela Rosa Taco Hernandez				
<b>Fecha de Muestreo:</b>	25/03/2019	<b>Hora:</b>	12:00			
<b>Fecha de Ensayo:</b>	03/04/2019	<b>Hora:</b>	09:00			
		<b>DIRECTOR DEL PROYECTO:</b> Ing. Javier Palacios				
<b>T A B U L A C I Ó N D E D A T O S</b>						
<b>Peso bandeja (P)</b>	<b>Peso bandeja + Materia SSS (Q)</b>	<b>Picnómetro + agua (B)</b>	<b>Picnómetro + Agua + materia SSS (C)</b>	<b>Peso bandeja + Arena seca (O)</b>	<b>Peso del material en SSS (S)</b>	<b>Peso del materia seco (A)</b>
0.212	0.712	1.240	1.509	0.692	0.500	0.480
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	2072.73					
Densidad en SSS (kg/m <sup>3</sup> )	2159.09					
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2269.19					
% de Absorción	4.17					

**Anexo 4.-** Ensayo de compresión a corto plazo

<b>ENSAYO: COMPRESIÓN DE CUBOS</b>				
<b>UBICACIÓN:</b> Laboratorio de Ing. Civil UNACH			<b>Probetas M-0-I</b>	
<b>Realizado por:</b> Grupo de Investigación				
<b>ENSAYO COMPRESION DE CUBOS (50x50)mm</b>				
HORAS	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia Media
6	2500	19.52	7.81	7.35
		19.08	7.63	
		16.54	6.62	
9	2500	28.01	11.20	11.59
		29.46	11.78	
		29.46	11.78	
24	2500	49.12	19.65	19.98
		54.41	21.77	
		46.29	18.52	

<b>ENSAYO: COMPRESIÓN DE CUBOS</b>				
<b>UBICACIÓN:</b> Laboratorio de Ing. Civil UNACH			<b>Probetas M-7-I</b>	
<b>Realizado por:</b> Grupo de Investigación				
<b>ENSAYO COMPRESION DE CUBOS (50x50)mm</b>				
HORAS	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia Media
6	2500	14.58	5.83	5.78
		14.15	5.66	
		14.66	5.86	
9	2500	22.71	9.08	9.92
		24.89	9.95	
		26.77	10.71	
24	2500	38.67	15.47	14.71
		37.58	15.03	
		34.10	13.64	

<b>ENSAYO: COMPRESIÓN DE CUBOS</b>				
<b>UBICACIÓN:</b> Laboratorio de Ing. Civil UNACH			<b>Probetas M-0-HE</b>	
<b>Realizado por:</b> Grupo de Investigación				
<b>ENSAYO COMPRESION DE CUBOS (50x50)mm</b>				
HORAS	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia Media (Mpa)
6	2500	19.73	7.89	8.06
		19.95	7.98	
		20.75	8.30	
9	2500	40.48	16.19	15.86
		40.12	16.05	
		38.38	15.35	
24	2500	51.29	20.52	20.69
		51.29	20.52	
		52.60	21.04	

<b>ENSAYO: COMPRESIÓN DE CUBOS</b>				
<b>UBICACIÓN:</b> Laboratorio de Ing. Civil UNACH			<b>Probetas M-7-HE</b>	
<b>Realizado por:</b> Grupo de Investigación				
<b>ENSAYO COMPRESION DE CUBOS (50x50)mm</b>				
HORAS	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia Media (Mpa)
6	2500	14.80	5.92	5.89
		14.44	5.78	
		14.95	5.98	
9	2500	33.16	13.26	13.25
		33.59	13.44	
		32.65	13.06	
24	2500	41.43	16.57	17.38
		42.66	17.06	
		46.29	18.52	

**Anexo 5.-** Ensayo de compresión a largo plazo

<b>ENSAYO: COMPRESIÓN DE CUBOS</b>				
<b>UBICACIÓN: Laboratorio de Ing. Civil UNACH</b>			<b>Probetas M-0-I</b>	
Realizado por: Pamela Rosa Taco Hernández				
<b>ENSAYO COMPRESION DE CUBOS (50x50)mm</b>				
EDAD	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia Media (Mpa)
7	2500	73.86	29.54	29.73
		75.24	30.09	
		74.44	29.78	
		73.80	29.52	
14	2500	90.00	36.00	36.48
		95.30	38.12	
		90.00	36.00	
		89.50	35.80	
21	2500	100.20	40.08	41.50
		109.20	43.68	
		103.50	41.40	
		102.10	40.84	
28	2500	111.8	44.72	43.18
		106.1	42.44	
		106.3	42.52	
		107.6	43.04	

<b>ENSAYO: COMPRESIÓN DE CUBOS</b>				
<b>UBICACIÓN: Laboratorio de Ing. Civil UNACH</b>			<b>Probetas M-7-I</b>	
Realizado por: Pamela Rosa Taco Hernández				
<b>ENSAYO COMPRESION DE CUBOS (50x50)mm</b>				
Edad (Días)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia Media (Mpa)
7	2500	55.59	22.24	23.43
		59.13	23.65	
		60.44	24.17	
		59.13	23.65	
14	2500	68.40	27.36	27.40
		69.2	27.68	
		62.80	25.12	
		73.60	29.44	
21	2500	74.00	29.60	30.58
		78.9	31.56	
		79.90	31.96	
		73.00	29.20	
28	2500	83.00	33.20	34.67
		89.50	35.80	
		83.20	33.28	
		91.00	36.40	

<b>ENSAYO: COMPRESIÓN DE CUBOS</b>				
<b>UBICACIÓN: Laboratorio de Ing. Civil UNACH</b>			<b>Probetas M-0-HE</b>	
Realizado por: Pamela Rosa Taco Hernández				
<b>ENSAYO COMPRESION DE CUBOS (50x50)mm</b>				
EDAD	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia Media (Mpa)
7.00	2500.00	82.06	32.82	34.04
		85.54	34.22	
		82.13	32.85	
		90.69	36.28	
14.00	2500.00	107.90	43.16	41.64
		96.70	38.68	
		107.60	43.04	
		104.20	41.68	
21.00	2500.00	114.70	45.88	46.44
		111.10	44.44	
		124.60	49.84	
		114.00	45.60	
28.00	2500.00	113.40	45.36	46.61
		114.60	45.84	
		120.60	48.24	
		117.50	47.00	

<b>ENSAYO: COMPRESIÓN DE CUBOS</b>				
<b>UBICACIÓN: Laboratorio de Ing. Civil UNACH</b>			<b>Probetas M-7-HE</b>	
Realizado por: Pamela Rosa Taco Hernández				
<b>ENSAYO COMPRESION DE CUBOS (50x50)mm</b>				
EDAD	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia Media (Mpa)
7	2500	65.15	26.06	26.59
		68.71	27.48	
		69.60	27.84	
		62.40	24.96	
14	2500	80.40	32.16	32.73
		79.70	31.88	
		83.30	33.32	
		83.90	33.56	
21	2500	94.70	37.88	37.34
		95.90	38.36	
		96.80	38.72	
		86.00	34.40	
28	2500	100.4	40.16	41.08
		105.6	42.24	
		102.5	41.00	
		102.3	40.92	

**Anexo 6.-** Ensayo de la determinación del tiempo de fraguado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL							
ENSAYO: DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO							
UBICACIÓN: Laboratorios Universidad Nacional de Chimborazo				MUESTRAS			
Realizado por: Pamela Rosa Taco Hernández				Fecha Ensayo: 29/05/2019			
Tutor de Proyecto: Ing. Javier Palacios				Hora:10:00			
M-0-I		M-7-I		M-0-HE		M-7-HE	
Hora Elaboración Mortero:10:00		Hora Elaboración Mortero:10:30		Hora Elaboración Mortero:11:00		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)
12:30	25	13:05	25	12:35	25	13:50	25
12:45	22	13:20	22	12:50	22	14:05	23
13:00	19	13:35	20	13:05	15	14:20	17
13:15	14	13:50	19	13:20	9	14:35	8
13:30	12	14:05	17	13:35	5	14:50	5
13:45	9	14:20	16	13:50	4	15:05	4
14:00	8	14:35	11	14:05	3	15:20	3
14:15	5	14:50	7	14:20	1	15:35	2
14:30	3	15:05	5	14:35	0	15:50	1
14:45	2.5	15:20	3			16:05	1
15:00	1.5	15:35	1			16:20	0.5
15:15	0.5	15:50	0.5			16:35	0
15:30	0	16:05	0				