

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FALCULTAD 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 ARCILLAS INCLUYENDO AGREGADO NO
CLASIFICADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO I Y TIPO HE PARA USO EN
IMPRESORAS 3D**

Autora:

Ximena Alexandra Yerovi Muñoz

Tutor:

Ing. Marco Javier Palacios Carvajal

Riobamba – Ecuador

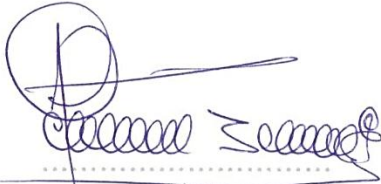
2018

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “Diseño de un mortero con arcillas incluyendo agregado no clasificado incluyendo agregado no clasificado con cemento portland tipo I y tipo HE para el uso de impresoras 3D” presentado por **Ximena Alexandra Yerovi Muñoz** y dirigida por: Ing. Marco Javier Palacios Carvajal. 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 constancia de lo expuesto firman:

Ing. Javier Palacios
Tutor del Proyecto



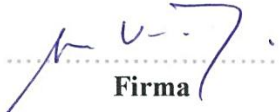
Firma

Ing. Diego Hidalgo
Miembro del Tribunal



Firma

Dr. Víctor García
Miembro del Tribunal

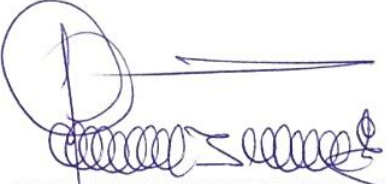


Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Marco Javier Palacios Carvajal**, en calidad de **Tutor de Tesis**, cuyo tema es: “DISEÑO DE UN MORTERO CON ARCILLAS INCLUYENDO AGREGADO NO CLASIFICADO INCLUYENDO AGREGADO NO CLASIFICADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO I Y TIPO HE 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 **Ximena Alexandra Yerovi Muñoz**, para que se presenten 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: Ximena Alexandra Yerovi Muñoz e Ing. Marco Javier Palacios Carvajal y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Ximena Alexandra Yerovi Muñoz

C.I. 1600789133

AGRADECIMIENTO

Gracias Dios por ser mi fuente, mi sustento, mi valentía y mi fortaleza, sin tu presencia este sueño no se hiciera realidad.

Agradezco a mis padres Washo y Xime, a mis hermanos Junior y Jessy, por su amor infinito hacia mí, por cada uno de sus sacrificios de lucha por verme triunfar y especialmente por el apoyo moral y económico. Los Amo.

A Ceci y Huguito por abrirme las puertas de su cálido hogar, por su cariño y por impulsarme siempre a ser mejor persona.

A David por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante toda esta etapa estudiantil.

Mi agradecimiento muy sincero a la Universidad Nacional de Chimborazo y de manera muy especial al Ing. Javier Palacios, Dr. Víctor García e Ing. Diego Hidalgo, por cada uno de los conocimientos impartidos hacia mi persona.

Además, al Ing. Fran Jiménez, Ing. Silvia Ramos e Ing. Marcela Bustamante que me brindaron su ayuda profesional absoluta.

Finalmente agradezco a mis amigos Gordo, Woker, Panchito, Ruben y Santy que aportaron con su granito de arena en los momentos que más necesitaba.

Ximena Alexandra Yerovi Muñoz

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mi familia, en especial a mis padres, Washo y Xime por enseñarme que todo sacrificio tiene su recompensa, que las metas son alcanzables y que una caída no es una derrota sino el principio de una lucha que siempre termina en logros y éxitos. Este triunfo también les pertenece. Los Amo.

A mis hermanos, Junior y Jessy, por la confianza y por estar junto a mí siempre.

Finalmente, a mi sobrino Jose Carlitos por ser el motor de fuerza que impulsa mi vida.

Ximena Alexandra Yerovi Muñoz

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. MARCO TEÓRICO	4
4. METODOLOGÍA	8
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
5.1. Ensayos de granulometría	16
5.2. Ensayos de contenido de humedad	17
5.3. Ensayos de límite líquido y límite plástico	18
5.4. Análisis químico	21
5.5. Ensayos de tiempos de fraguado y trabajabilidad	25
5.6. Ensayos de resistencia a compresión.	27
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
6.1 Conclusiones	31
6.2 Recomendaciones	32
7. BIBLIOGRAFÍA	33
8. ANEXOS	36
Anexo 1. Granulometría	36
Anexo 2. Contenido de Humedad	39
Anexo 3. Límite Líquido	40
Anexo 4. Límite Plástico	43
Anexo 5. Tiempos de Fraguado	45

Anexo 6. Curvas de Resistencia versus Tiempo.....	46
--	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de las propiedades de las mezclas de materiales con cemento	6
Tabla 2. Comparación de rangos de propiedades de impresoras 3D.....	6
Tabla 3. Características físicas del cemento tipo I y tipo HE.....	11
Tabla 4. Composición química de cemento tipo I.....	12
Tabla 5. Composición química de cemento tipo HE.....	12
Tabla 6. Composición Plastocrete 161 HE.....	13
Tabla 7. Resumen del ensayo granulométrico de las muestras	16
Tabla 8. Resumen del porcentaje de humedad de las muestras.....	17
Tabla 9. Resumen del límite líquido de las muestras	19
Tabla 10. Resumen del Límite Plástico de las muestras	20
Tabla 11. Análisis químico elemental de los agregados.....	21
Tabla 12. Resultados Ensayo de difracción de rayos x del “kilo”	23
Tabla 13. Dosificaciones iniciales en peso (25% de cemento)	24
Tabla 14. Resumen del tiempo de inicio de fraguado de los morteros elaborados con Plastocrete 161 HE, Sika.	25
Tabla 15. Ensayo para evaluar la trabajabilidad de los morteros	26
Tabla 16. Evolución del valor medio de las resistencias a compresión a corto plazo de los morteros .	28
Tabla 17. Evolución del valor medio de las resistencias a compresión a largo plazo de los morteros .	29
Tabla 18. Comparación de resultados con valores reportados	30
Tabla 19. Datos Granulométricos - Arcilla Cochancay (MC).....	36
Tabla 20. Datos Granulométricos - Arcilla Santa Clara (MSC).....	37
Tabla 21. Datos Granulométricos – Kilo (MK).....	38
Tabla 22. Datos de contenidos de humedad Arcilla Cochancay (MC)	39
Tabla 23. Datos de contenidos de humedad Arcilla Santa Clara (MSC)	39
Tabla 24. Datos de contenidos de humedad Kilo (MK).....	40
Tabla 25. Datos Límite Líquido - Arcilla Cochancay	40
Tabla 26. Datos Límite Líquido – Santa Clara.....	41
Tabla 27. Datos Límite Líquido – Kilo	42
Tabla 28. Datos Límite Plástico – Arcilla Cochancay	43

Tabla 29. Datos Límite Plástico – Arcilla Santa Clara.....	44
Tabla 30. Datos Límite Plástico – Kilo	44
Tabla 31. Datos de los tiempos de fraguado de los morteros.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la metodología planteada.....	8
Figura 2. Resumen del ensayo granulométrico de las muestras.....	17
Figura 3. Resumen del porcentaje de humedad de las muestras.	18
Figura 4. Resumen límite líquido de las muestras.	19
Figura 5. Resumen límite líquido de las muestras.	20
Figura 6. Análisis químico elemental de los agregados.	22
Figura 7. Porcentajes de sodio y potasio en los agregados.	22
Figura 8. Tiempo de inicio de fraguado de los morteros.	25
Figura 9. Trabajabilidad de morteros.	27
Figura 10. Evolución del valor medio de las resistencias a compresión a corto plazo de los morteros.....	28
Figura 11. Evolución del valor medio de las resistencias a compresión a largo plazo de los morteros.....	29
Figura 12. Curva Granulométrica Arcilla Cochancay.....	36
Figura 13. Curva Granulométrica Arcilla Santa Clara.....	37
Figura 14. Curva Granulométrica Kilo	38
Figura 15. Límite Líquido Arcilla Cochancay.	41
Figura 16. Límite Líquido Arcilla Santa Clara.	42
Figura 17. Límite Líquido Kilo.....	43
Figura 18. Curva Resistencia versus tiempo del mortero MC-IP.....	46
Figura 19. Curva Resistencia versus tiempo del mortero MSC-IP.	47
Figura 20. Curva Resistencia versus tiempo del mortero MC-HE.....	48
Figura 21. Curva Resistencia versus tiempo del mortero MSC-HE.....	49

RESUMEN

La impresión 3D es una técnica llena de beneficios en cuanto al aumento de la durabilidad, libertad geométrica de diseño, reducción de los desperdicios y de los costos económicos de fabricación. En Ecuador, a pesar de los excelentes resultados hallados en las investigaciones destinadas a elaborar morteros con características imprimibles, aún no se ha encontrado el material que cumpla con la resistencia a la compresión mínima, que permitiría la implementación de las impresoras 3D en elementos estructurales. Por tal razón, el objetivo principal de esta investigación fue diseñar un mortero con arcillas, agregado no clasificado “kilo” y cemento portland tipo I y HE que satisfaga las características de un mortero imprimible, basándonos esencialmente en el incremento de la resistencia a la compresión. Para tal efecto se desarrolló ensayos físico - químico de la materia prima, se encontró dosificaciones óptimas, se realizó ensayos de tiempo de fraguado, trabajabilidad y finalmente se ensayó probetas a compresión a corto y largo plazo. Se obtuvo como resultados, morteros con resistencias a la compresión de 21.29 MPa con buena trabajabilidad sin escurrimientos excesivos y tiempos de inicio de fraguado inferiores a 1 hora. Este mortero permitiría la implementación de la técnica 3D en nuestro país y podría ser aprovechado como una alternativa más económica en el campo de la construcción.

Palabras claves: impresión 3D, mortero, arcillas, kilo, análisis físico – químico, compresión.

ABSTRACT

3D printing is a technique full of benefits talking about durability increased, geometric freedom design, waste reduction as well as low economic manufacturing costs. In Ecuador, despite the excellent results found in aimed researches, to elaborate mortars with printable features, the material that meets the minimum compression resistance, which would allow the implementation of 3D printers in structural elements, has not yet been found. For this reason, the main objective of this research was to design a mortar with clays, not classified aggregate "kilo" and type 1 Portland cement and HE that will satisfy the characteristics of a printable mortar based essentially on the increase of the compressive strength. For this purpose, a raw material physico - chemical tests were developed and optimal measures were found, setting time trial and workability tests were carried out and finally short and long term compression test specimens were tested. We obtained as results, mortars with compressive strengths at 21.29 MPa with good workability no excessive draining and forge's start times less than one hour. This mortar would allow the implementation of 3D technology in our country and could be used as a cheaper alternative in the field of construction.

Keywords: 3D printing, mortar, clays, kilo, physical - chemical analysis, compression.

Translation reviewed by:

Msc. Elizabeth Diaz



1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha existido avances importantes en la tecnología del concreto que han revolucionado la industria de la construcción. Uno de ellos es la aparición de procesos de impresión, siendo un nuevo método de fabricación de control digital que permite construir réplicas en diseños 3D de componentes arquitectónicos y estructurales de concreto sin encofrado y en un tiempo reducido, a diferencia de los métodos de construcción de hormigón convencionales.

La impresión en 3D es un proceso de producción capa por capa; fue adoptada en la industria manufacturera durante décadas y recientemente se ha introducido en la industria de la construcción para imprimir casas y villas. Esta tecnología puede aportar beneficios significativos a la industria de la construcción en términos de mayor personalización, menor tiempo de construcción, menor mano de obra y costos de construcción (Wu, Wang, & Wang, 2016).

Bos, Wolfs, Ahmed, & Salet (2016) manifiestan que se está explorando la comprensión científica fundamental de las relaciones entre diseño, material, proceso y producto. En esta nueva técnica de impresoras 3D las propiedades de los materiales y las características del proceso serán de vital importancia para el éxito del diseño de la mezcla.

Existe gran variedad de materiales que fueron utilizados en mezclas imprimibles; por ejemplo: la estereolitografía del proyecto WinSun (China) utilizaba una mezcla de desechos industriales, fibra de vidrio, cemento y agente endurecedor mientras que en el proyecto Canal House (Holanda) se utilizó material termoplástico (Hager, Golonka, & Putanowicz, 2016).

Torres (2016) menciona que los componentes principales aplicados en la tecnología 3D son generalmente cemento, áridos, adiciones (micro sílice) y aditivos (súper plastificantes y aceleradores de fraguado).

Los ingenieros están trabajando para encontrar la mezcla de fraguado rápido que sea lo suficientemente manejable como para ser bombeado fuera de la boquilla de la impresora y ser tan fuerte como el hormigón armado (Hager, Golonka, & Putanowicz, 2016).

En este sentido, el desarrollo de nuevos materiales cementantes y el mejoramiento de las propiedades de los concretos tradicionales, continúa siendo objeto de estudio por parte de la comunidad científica.

En Ecuador, el material apropiado para esta nueva tecnología sigue siendo el mayor desafío en la construcción de proyectos que involucren la técnica 3D, debido a la inexperiencia sobre las ventajas que pueden aportar los materiales locales para un mortero con características imprimibles.

Recientemente Chimbolema (2017) elaboró un mortero con arcilla y cemento portland tipo I obteniendo resistencias de 15 MPa, menor que la resistencia mínima necesaria para aplicar la técnica 3D en estructuras.

Por tal razón, esta investigación pretende diseñar un mortero utilizando materia prima de la zona: arcillas, agregado no clasificado “kilo” y cemento portland, que cumplan con las propiedades para ser impreso en 3D.

Por todo lo mencionado anteriormente se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo afecta a la resistencia a la compresión, el incorporar agregado no clasificado “kilo” a la mezcla de un mortero con características imprimibles con arcillas y cemento?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Diseñar un mortero con arcillas incluyendo agregado no clasificado “kilo” y cemento portland tipo I y HE, que satisfaga las características de un mortero para impresoras 3D.

2.2. Objetivos Específicos

- I. Determinar las propiedades físicas y químicas que presentan las arcillas.
- II. Caracterizar al agregado no clasificado “kilo”.
- III. Diseñar mezclas de morteros imprimibles de resistencias óptimas.
- IV. Determinar la resistencia a compresión de las probetas a corto y a largo plazo.

3. MARCO TEÓRICO

Durante el año 1995 aparecieron los primeros intentos e investigaciones sobre la impresión 3D en la industria de la construcción y la arquitectura. El investigador Pegna (1997) sugirió incorporar materiales a base de cemento a estas nuevas tecnologías, propiciando el desarrollo de este tipo de procesos con matrices cementantes.

A partir de ese momento, investigadores como Enrico Dini y Behrokh Khoshenevis, así como el grupo de investigación “Rapid Manufacturing Research Group of Loughborough University”, desarrollaron diferentes procedimientos para imprimir el material por excelencia en la industria constructiva, el hormigón.

En la actualidad, Francolí & Díaz (2014), Porras (2012) y Jimenez & Porras (2013) están al frente de diferentes empresas como son D-Shape (URL: www.d-shape.com), Contour Crafting (URL: contourcrafting.com) y Concrete Printing (URL: www.lboro.ac.uk/enterprise/3dcp/), las cuales desarrollan procesos de fabricación aditiva a gran escala, destinados al campo de la construcción y la arquitectura en el dominio público y a escala mundial.

Tanto las empresas como los investigadores mencionados han trabajado en el mejoramiento de morteros y del concreto. Partiendo principalmente de la diferencia de estos dos términos: el mortero es la mezcla de pasta y agregado fino, mientras que el concreto se compone del mortero mezclado con agregado grueso. Es importante enfatizar la adaptabilidad que poseen estos materiales a una amplia variedad de usos y aplicaciones, que los han convertido en un verdadero medio universal de construcción. Pues a diferencia de otros materiales tienen la ventaja adicional de que se pueden elaborar con componentes que en su mayoría están disponibles localmente (Guzman, 2001).

Además, es importante destacar la necesidad de “adaptar” los materiales de la zona a las nuevas tecnologías extranjeras. Aprovechando de este modo los recursos propios de nuestro país, sin la necesidad de trasladar materias primas de un lugar a otro. Es decir, romper esquemas de que existen mezclas únicas para poder realizar morteros con características imprimibles.

Según Vazhnov (2016) manifiesta que en el Ecuador aún se tiene un desconocimiento total sobre el tipo de material que cambiaría totalmente el campo constructivo a futuro y sobre todo para el uso en impresoras 3D.

Existen gran variedad de materiales que se pueden emplear para desarrollar la técnica 3D, pero para lograr dosificaciones óptimas es importante considerar las siguientes características: emplear relaciones agua / cemento bajas, incorporar super-plastificantes y aditivos aceleradores para obtener resistencias elevadas a corto plazo y poder controlar la trabajabilidad y el tiempo de fraguado.

Las mezclas además deben tener: bombeabilidad para que el material se desplace con facilidad al ser expulsado por la boquilla, la viabilidad del material al depositarse sobre la anterior capa impresa y finalmente tener un tiempo abierto en el que las propiedades mencionadas anteriormente permanezcan dentro de las tolerancias marcadas (Torres, 2016).

Chimbolema (2017) en su marco teórico describe una tabla resumen que muestra los valores que deben tener las propiedades de algunas mezclas de materiales.

Tabla 1. Resumen de las propiedades de las mezclas de materiales con cemento

MATERIAL	PROPIEDADES	REFERENCIA
Arcilla-Cemento	<ul style="list-style-type: none">• Inicio de Fraguado 15-25min.• Relación agua/cemento 0,15-0,25.• Trabajabilidad o consistencia 150 mm.	<ul style="list-style-type: none">• (Calderon, 2012)• (Mella, 2004)• (Torres, 2016)
Suelo-cemento	<ul style="list-style-type: none">• Límite líquido <45%• Límite plástico < 18%• Límite de contracción de 3%.	<ul style="list-style-type: none">• (Toirac, 2008)• (Uribe, 2015)• (Chiguay, 2007)
Meta caolín-cemento	<ul style="list-style-type: none">• Trabajabilidad 150 +/-10 mm.• Granulometría de 8,6 % para arenas.• Granulometría de 91,4 para finos.	<ul style="list-style-type: none">• (Echeverría, 2014)• (Toirac, 2008)

Fuente: Adaptado de Chimbolema (2017).

En la investigación reciente, elaborada por Chimbolema (2017), se obtuvo resistencias a compresión de 15 MPa, tiempos de fraguado menores a 3 horas, límite líquido de 24%, límite plástico de 14%, contenido de humedad 25%, en muestras de morteros elaboradas con 3 tipos de arcillas y con cemento portland tipo I para uso en impresoras 3D. Mostrando la siguiente tabla de resumen de resultados.

Tabla 2. Comparación de rangos de propiedades de impresoras 3D

PROPIEDADES	IMPRESORAS 3D	M1	M2	M3
Inicio de Fraguado	15-25 min	30min	50 min	105 min
Trabajabilidad	150 mm	180	150	125
Límite líquido	< 45%	17	21	24
Límite plástico	< 18%	14,13	2,68	3,74
Límite de contracción	3 % -6%	63,69	39,37	37,81
Resistencia	21 MPa	15,36 MPa	7,30 MPa	9,71 MPa

Fuente: Adaptado de Chimbolema (2017).

Para la obtención de resistencias satisfactorias a la compresión para elementos estructurales se incluirá “kilo” al mortero diseñado por Chimbolema (2017) que fue elaborado a base de cemento y arcillas de la zona.

El “kilo” es un agregado de la provincia de Pastaza que antiguamente se utilizaba como material de la construcción en edificaciones, debido a que era el único agregado disponible en la zona, pero en años posteriores se descartó su uso por especulaciones de que el mismo deterioraba al acero. Sin embargo, no existe un sustento que evidencie lo manifestado y principalmente no es un problema para ser utilizado en un mortero 3D pues en esta técnica no se utiliza acero longitudinal.

El interés por añadir “kilo” a un mortero para impresoras 3D surge por las excelentes características que presenta el material para no absorber agua, lo cual es esencial para crear morteros imprimibles que se realizan con relaciones de agua / cemento bajas (Torres, 2016).

4. METODOLOGÍA

El procedimiento experimental en este proyecto de investigación se divide esencialmente en dos fases: la primera consiste en el análisis físico-químico de la materia prima (kilo – arcilla) mientras que la segunda corresponde a la dosificación y comportamiento a compresión de las probetas. Para una mejor comprensión se presenta un esquema con las actividades desarrolladas en esta investigación.

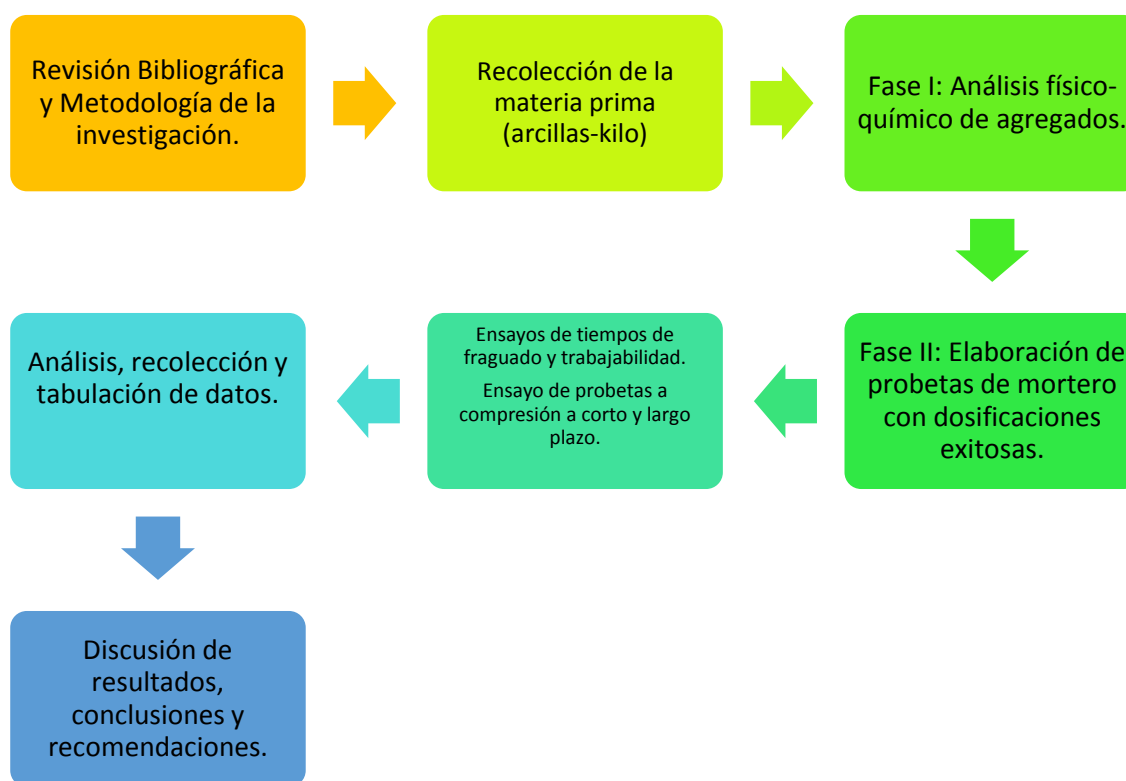


Figura 1. Esquema de la metodología planteada

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A

La materia prima se obtuvo de las minas de explotación. Se recolectó 2 tipos de arcilla pertenecientes a la “Mina Cochaycay” y “Mina Santa Clara” provenientes de la región Sierra y Oriente respectivamente. Además, se recogió agregado no clasificado “kilo” de la “Mina Kilito”

ubicada en la región Oriente. Consecutivamente los agregados fueron transportados hacia el laboratorio de ensayo de materiales para proceder a desarrollar la metodología de esta investigación.

Para ejecutar la Fase I, que comprende el análisis físico-químico de los agregados, se elaboró ensayos de granulometría, contenido de humedad, límite líquido, límite plástico y composición química. Para determinar las características químicas se realizó el ensayo de fluorescencia de rayos x y para conocer la composición mineralógica, el ensayo de difracción de rayos x, cumpliendo los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana para cada uno de los ensayos.

Para realizar el ensayo de granulometría de los agregados se empleó lo manifestado en la norma INEN 696 (INEN, 2011), ensayo que permite determinar la distribución granulométrica de las partículas por tamizado con el propósito de utilizarlos para hormigón u otros fines. Inicialmente se coloca la muestra en el horno a una temperatura uniforme de 110 C° durante 24 horas, posteriormente se pesa 500 g de la muestra seca y se ubica sobre una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente, luego se coloca los tamices sobre una máquina tamizadora durante 5 minutos. Los tamices utilizados fueron: N 3/8', 4, 8, 16, 30, 50 y 100. Después que la muestra se encuentra tamizada se procede a pesar el agregado retenido en cada uno de los tamices y finalmente se tabula los datos obtenidos.

Para realizar el ensayo de contenido de humedad de los agregados se empleó lo manifestado en la norma INEN 690 (INEN, 2010), ensayo que permite determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de áridos. Primero pesamos una muestra de masa en estado natural y posteriormente la colocamos en un horno a una temperatura de 110 C° hasta

secar la muestra completamente, seguidamente pesamos y procedemos a calcular el contenido total de humedad y tabulamos los datos obtenidos.

Para la determinación del límite líquido de los agregados se empleó lo manifestado en la norma INEN 691 (INEN, 2010), ensayo que consiste en determinar el contenido de agua de un suelo utilizando un dispositivo mecánico llamada “Copa de Casagrande”. El procedimiento inicia tomando 250 g únicamente de la fracción de suelo que pasa el tamiz No.40 durante la ejecución del ensayo de granulometría. Seguidamente se proporciona agua destilada minuciosamente hasta obtener una mezcla homogénea. Esta mezcla es colocada en la copa de forma uniforme con ayuda de la espátula y se divide la muestra perpendicularmente con ayuda del acanalador formando un canal en la muestra, después se hace girar el manubrio a una velocidad de 2 revoluciones por segundo contando los golpes necesarios para que las dos mitades de la muestra se pongan en contacto en una distancia de 10 mm. A partir de ello, se toma en taras las muestras del agregado, se pesa y se coloca en el horno durante 24 horas y nuevamente se pesa. Se realiza estas operaciones por lo menos 4 veces para que el canal se cierre entre 45 a 5 golpes. Se anota y tabula los datos obtenidos.

Para la determinación del límite plástico de los agregados se empleó lo manifestado en la norma INEN 692 (INEN, 2010), ensayo que sirve para determinar los índices de plasticidad, tenacidad, liquidez y consistencia de los suelos. Para iniciar el procedimiento se toma una muestra únicamente de la fracción de suelo que pasa el tamiz No.40 durante la ejecución del ensayo de granulometría, se añade agua hasta obtener una pasta homogénea de la cual se toma 10 g con ayuda de los dedos y una placa de vidrio se realiza un rollo de 3 mm de diámetro. Cuando se evidencie desprendimientos se recoge estas porciones en taras pesadas antes y después de estar en el horno durante 24 horas. Finalmente se calcula y se tabula los datos.

Los análisis químicos de los agregados se realizaron mediante el ensayo de fluorescencia de rayos x y el ensayo de difracción de rayos x, los cuales muestran la composición química y mineralógica que posee cada uno de ellos. Para llevar a cabo estos ensayos se pulveriza la muestra y luego se las coloca en la presa para pastillas automáticas. Para concluir se colocó las pastillas en la máquina de rayos x Full Análisis Vac 34mm de Bruker (URL: www.bruker.com) durante 30 minutos para obtener los resultados.

Para un mejor seguimiento de las actividades desarrolladas en la Fase II de la investigación que corresponde a la dosificación y comportamiento de las mezclas se describen los materiales, equipos, ensayos y número de muestras que se realizó.

Materiales:

- **Cemento.**

Se utilizará 2 tipos de cemento portland Chimborazo tipo I y cemento portland Chimborazo tipo HE.

La tabla 3 muestra las características físicas del cemento tipo I y tipo HE.

Tabla 3. Características físicas del cemento tipo I y tipo HE

CEMENTO TIPO I		CEMENTO TIPO HE	
Propiedades	Valores	Propiedades	Valores
Finura:		Finura:	
M325 (%)	3.20	M325 (%)	1.10
Blaine (m2/kg)	467.30	Blaine (m2/kg)	495.90
Fraguado:		Fraguado:	
Inicial, no menos de (minutos)	132.00	Inicial, no menos de (minutos)	105.00
Final, no más de (minutos)	230.00	Final, no más de (minutos)	184.00
Densidad (g/cc)	2.79	Densidad (g/cc)	2.90

Fuente: Adaptado de UCEM.

A continuación, se muestra la tabla 4 que contiene la composición química que presenta el cemento tipo I “Chimborazo”.

Tabla 4. *Composición química de cemento tipo I*

Óxidos	Composición (wt%)	Fases Mineralógicas	Composición (wt%)
CaO	66.96	Silicato tricálcicos (C3S)	60.07
SiO_2	22.64	Silicato dicálcico (C2S)	18.99
Fe_2O_3	3.69	Aluminato tricálcico (C3A)	5.06
SO_3	0.55	Ferro-aluminio tetra-cálcico (C4AF)	11.22
Al_2O_3	4.27		
MgO	1.29		

Fuente: Adaptado de Rivadeneira (2014).

Debido a las dificultades obtenidas para encontrar la composición química del cemento tipo HE “Chimborazo”, la tabla 5 muestra la composición química del cemento tipo HE “Holcim”. Se coloca los datos para comparar la composición química de los dos tipos de cemento.

Tabla 5. *Composición química de cemento tipo HE*

Óxidos	Composición (wt%)	Fases Mineralógicas	Composición (wt%)
CaO	64.4	Silicato tricálcicos (C3S)	59.4
SiO_2	19.5	Silicato dicálcico (C2S)	11.2
Fe_2O_3	3.7	Aluminato tricálcico (C3A)	9.6
SO_3	2.8	Ferro-aluminio tetra-cálcico (C4AF)	11.5
Al_2O_3	6.0		
MgO	1.3		
$Na_2O + K_3O$	0.9		

Fuente: Adaptado de García (2018).


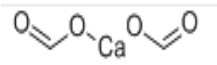
Al comparar los datos de la composición química de los dos tipos de cemento es notable ver la variación que existe entre las fases mineralógicas de C2S y C3A. El C2S es el responsable de hidratar y endurecer al cemento. Al incrementar la cantidad de C2S hace al Clinker difícil de moler, reduce la resistencia temprana y disminuye el calor de hidratación. El C3A es responsable del fraguado rápido del Clinker finamente molido y del alto calor de hidratación. Al incrementar la cantidad de C3A se reduce el tiempo de fraguado (Vásquez, 2009).

Según Torres (2016) es importante la elección del tipo de cemento, debido a que la evolución de las resistencias a lo largo del tiempo dependerá de forma directa de esta elección, pues cuanto mayor contenido en C3S y C3A y mayor finura, mayor resistencia del cemento principalmente a corto plazo.

- **Aditivos Plastificante**

Se utilizó Plastocrete 161 HE de Sika por ser el aditivo más comercial y de fácil adquisición en el mercado de nuestra zona con el fin de obtener mejor trabajabilidad en las mezclas. Para las muestras con cemento tipo I el porcentaje empleado fue 3% mientras para las muestras con cemento HE el porcentaje fue 6% del peso del cemento. La tabla 6 muestra la composición química del plastificante empleado en los morteros.

Tabla 6. *Composición Plastocrete 161 HE*

Nombre Químico	Fórmula Molecular	Estructura Molecular	Concentración (% w/w)
Cloruro de calcio	CaCl ₂		>= 10 - < 20
Diformiato de calcio	C ₂ H ₂ CaO ₄		>= 1 - < 10

Fuente: Adaptado de Sika Ecuador S.A

- **Agregados**

Se empleará 2 tipos de materia prima: arcillas y agregado no clasificado “kilo”. Las arcillas pertenecientes a la Mina “Cochancay” y Mina “Santa Clara”, se eligió arcillas de estas zonas debido al éxito en los resultados obtenidos por Chimbolema (2017). El agregado no clasificado (kilo) será obtenido de la Mina “Kilito” debido a la baja absorción de agua que posee el material.

Dosificaciones

Las dosificaciones empleadas en la investigación parten de la dosificación empleada por Chimbolema, la misma que fue adaptada de la dosificación para elaborar super adobe por Miranda (2016). Se realizó una variación en la cantidad de agua para elaborar los morteros. Los contenidos de humedad de los materiales se hallaron previo a la elaboración de los morteros.

Las dosificaciones empleadas para los morteros fueron las siguientes:

- Arcilla Cochancay con Cemento Tipo I (MC-I).

22.50 kg de Arcilla–22.50 kg de Kilo–15 kg de Cemento–18 kg de agua–0.45 kg de aditivo.

- Arcilla Santa Clara con Cemento Tipo I (MSC-I).

22.50 kg de Arcilla–22.50 kg de Kilo–15 Kg de Cemento–16.05 kg de agua–0.45 kg de aditivo.

- Arcilla Cochancay con Cemento Tipo HE (MC-HE).

22.50 kg de Arcilla–22.50 kg de Kilo–15 kg de Cemento–14.10 kg de agua–0.90 kg de aditivo.

- Arcilla Santa Clara con Cemento Tipo HE (MSC-HE).

22.50 Kg de Arcilla–22.50 kg de Kilo–15 kg de Cemento–14.10 kg de agua–0.90 kg de aditivo.

Equipos para ensayos

Los equipos necesarios:

- Para determinar el tiempo de inicio de fraguado el aparato de Vicat Manual.
- Para ensayos de resistencia a compresión la máquina universal.

Los moldes a utilizarse son los siguientes:

- Molde troncocónico normalizado para el equipo de Vicat, con el objeto de determinar el tiempo de fraguado y cono normalizado para determinar la trabajabilidad que las distintas muestras proporcionan.

- Probetas en forma de cubos de 50 x 50 mm para los ensayos de resistencia a compresión a corto plazo y probetas en forma cilíndricas para los ensayos de resistencia a compresión a largo plazo.

Ensayos y muestras

- Los ensayos para medir la trabajabilidad y determinar el tiempo de fraguado de las mezclas fueron elaborados como manifiesta la norma INEN 157 (INEN, 2009) e INEN 158 (INEN, 2009). Se ensayó 1 mortero en estado fresco por cada tipo de muestra. Para ensayar la trabajabilidad se utilizó el cono de Abrams invertido, donde se colocó el mortero de forma inmediata después de mezclar todos los agregados y crear la pasta. Seguidamente, se comenzó a contabilizar el tiempo para determinar el momento donde el cono se levantó y se procedió a medir el diámetro. El procedimiento se repitió para los siguientes tiempos 1, 1.5, 2, 3 y 5 minutos. Para el ensayo de tiempos de fraguado se preparó el mortero y se colocó en el molde troncónico normalizado para proceder a introducir la aguja de Vicat. Se tomó en cuenta que para determinar el inicio de fraguado este ocurrirá cuando en la aguja exista arrastre de material debido a la extracción de la aguja y el orificio producido se mantenga. El fin del tiempo de fraguado se establece cuando al introducir la aguja no existe arrastre de material y el orificio se mantiene.

- Para los ensayos de resistencia a compresión para corto plazo fueron ensayadas a tempranas edades de 6, 9, 12 y 24 horas para esto se utilizó 12 probetas por cada tipo de muestra. Los ensayos de compresión a largo plazo fueron ensayadas a la edad de 7, 14, 21 y 28 días para esto se utilizó 20 probetas normadas por cada tipo de muestra.

Finalmente, se procedió a la recolección y tabulación de datos para la comparación de los resultados.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Siguiendo los procedimientos manifestados en la metodología planteada para este proyecto de investigación, se parte con los resultados obtenidos en la Fase I, correspondiente al análisis físico- químico de los agregados. Para captar de mejor manera los resultados de esta fase nos vamos a referir como MC a la muestra de arcilla “Cochancay”, MSC a la muestra de arcilla “Santa Clara” y MK a la muestra de agregado no clasificado “kilo”.

5.1. Ensayos de granulometría

Para obtener los resultados de la granulometría de las muestras expuestas en la tabla 7 se llevó a cabo el procedimiento del ensayo por tamizado, siguiendo la norma INEN 696 (INEN, 2011). En anexos 1, las tablas 19, 20, 21, manifiestan los cálculos del ensayo granulométrico de las muestras.

Tabla 7. Resumen del ensayo granulométrico de las muestras

GRANULOMETRÍA			
TAMICES	Arcilla Cochancay % pasa	Arcilla Santa Clara % pasa	Kilo % pasa
3/8"	100.00	100.00	100.00
N° 4	100.00	100.00	91.58
N° 8	98.39	99.19	71.74
N° 16	80.89	73.79	49.30
N°30	58.75	54.23	34.47
N° 50	36.42	40.52	24.85
N° 100	20.72	30.24	19.84
Módulo de finura	3.05	3.02	3.08

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

En la figura 2 se puede observar que tanto la muestra MC, MSC y MK poseen un módulo de finura alto. Es importante recalcar que el ensayo de granulometría para las 3 muestras se determinó en su estado natural sin tratamiento alguno, razón por la cual, el módulo de finura de las muestras MC y MSC al ser arcillas es excesivo a diferencia de la muestra MK que por su tamaño se clasifica en una arena.

Además, se muestra que los valores de las 3 muestras están dentro de los rangos de módulo de finura para elaborar morteros que van de 2.3 a 3.1 según la norma ASTM-C33 (ASTM, 2000). La cantidad de material fino ayuda en la trabajabilidad de los morteros.

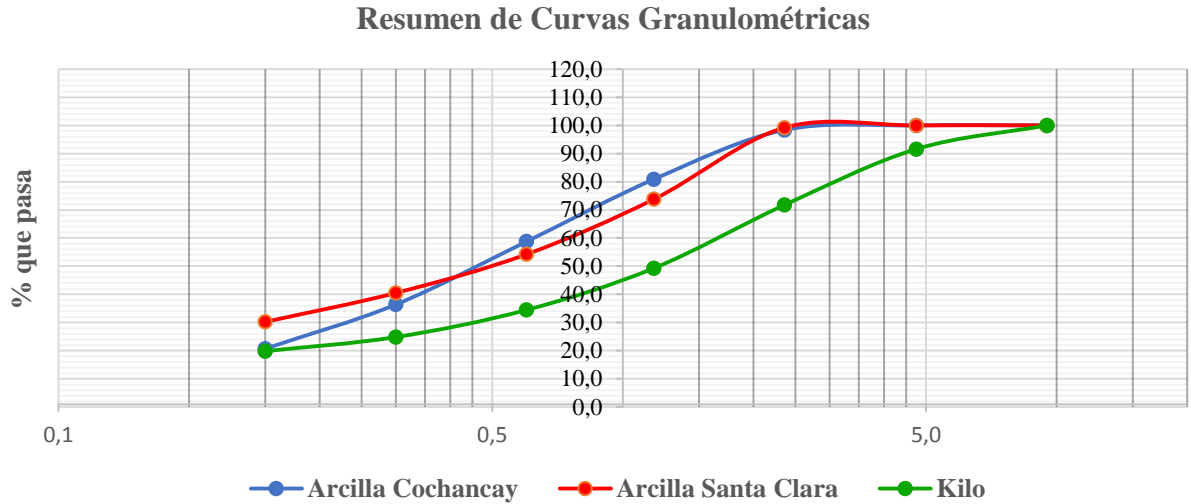


Figura 2. Resumen del ensayo granulométrico de las muestras.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

5.2. Ensayos de contenido de humedad

Para el ensayo de contenido de humedad de las muestras se siguió lo descrito en la norma INEN 690 (INEN, 2010), obteniendo los porcentajes de humedad para cada una de las muestras expuestas en la tabla 8. En anexos 2, las tablas 22, 23, 24, evidencian los cálculos de los ensayos.

Tabla 8. Resumen del porcentaje de humedad de las muestras

PORCENTAJE DE HUMEDAD		
Arcilla Cochancay	Arcilla Santa Clara	Kilo
38.72 % (0.32)	11.23 % (0.07)	1.09 % (0.03)

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

(Los valores medios con la desviación estándar de 3 muestras)

En la figura 3 se puede observar que el material con menor porcentaje de humedad corresponde a la muestra MK que muestra un porcentaje de humedad despreciable, comprobando la escasa capacidad que posee el material para absorber agua. Mientras que, por otro lado, las arcillas MC y MSC tienen excelentes propiedades para absorber agua.

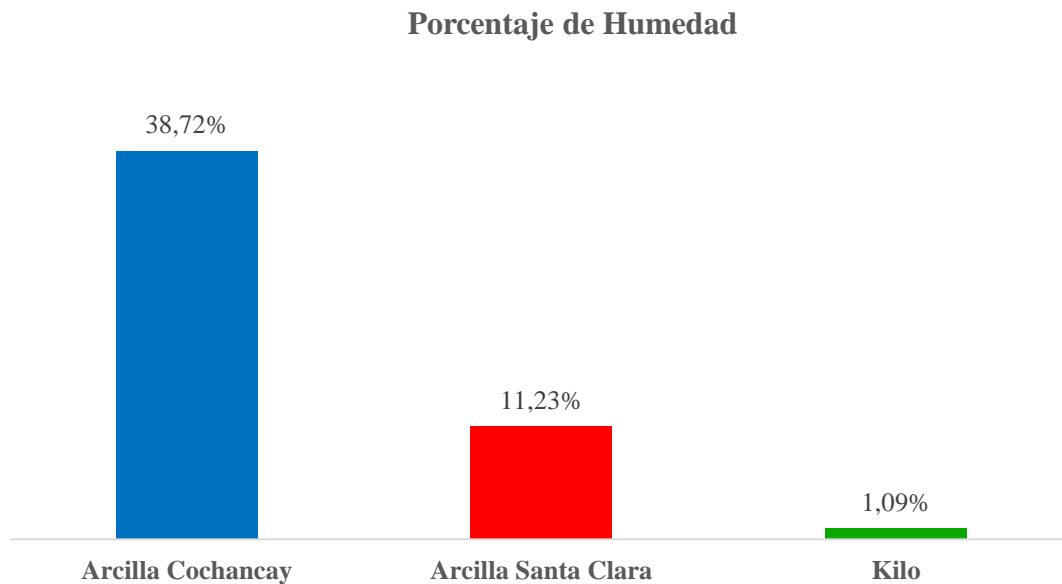


Figura 3. Resumen del porcentaje de humedad de las muestras.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

5.3. Ensayos de límite líquido y límite plástico

En la metodología de esta investigación se describió anteriormente los ensayos para determinar el límite líquido y límite plástico de las muestras según la norma INEN 691 (INEN, 2010) y la norma INEN 692 (INEN, 2010).

En el anexo 3, las tablas 25, 26, 27, señalan los cálculos de los ensayos de límite líquido de las muestras MC, MSC y MK.

En la tabla 9 se muestran los valores de los ensayos de límite líquido de las muestras.

Tabla 9. Resumen del límite líquido de las muestras

LÍMITE LÍQUIDO					
Arcilla Cochancay		Arcilla Santa Clara		Kilo	
N° GOLPES	% HUMEDAD	N° GOLPES	% HUMEDAD	N° GOLPES	% HUMEDAD
10	81.38	10	43.07	10	30.21
20	77.34	20	37.73	20	25.72
30	65.90	30	35.06	30	23.38
40	69.69	40	31.48	40	24.78

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

En la figura 4 se muestran los límites líquidos a los 25 golpes de cada muestra, teniendo 73.58% para la muestra MC, 36.84% para la muestra MSC y 26.03% para la muestra MK. La muestra MK como se observa en la gráfica posee bajos contenido de límite líquido y límite plástico a diferencia de las arcillas (MC y MSC), debido a que se lo clasifica a la muestra como una arena gruesa por su granulometría y tamaño.

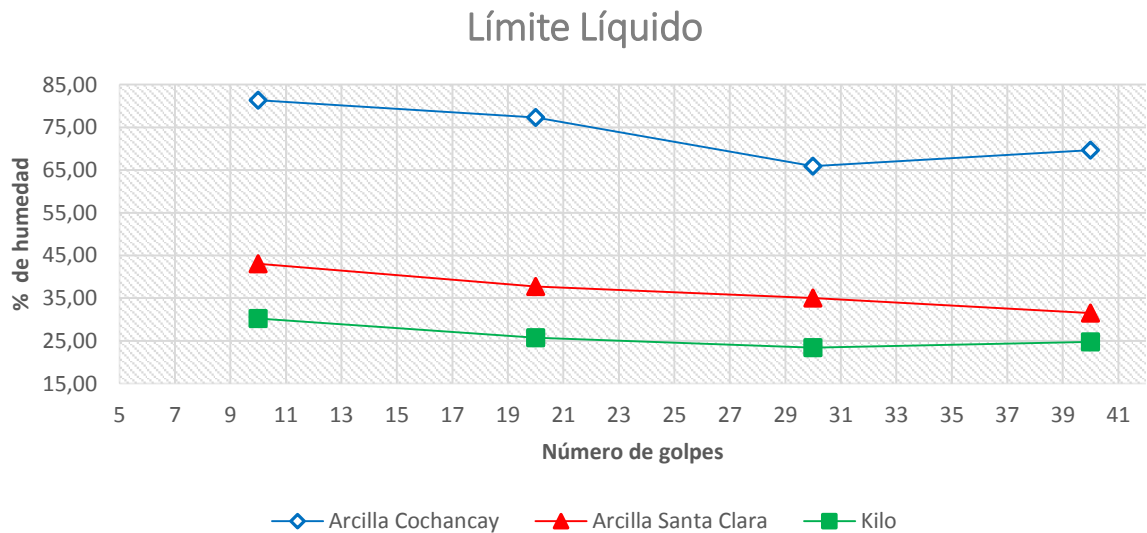


Figura 4. Resumen límite líquido de las muestras.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

En el anexo 4, las tablas 28, 29, 30, muestran los cálculos de los ensayos de límite plástico de las muestras MC, MSC y MK.

En la tabla 10 se resumen los valores de índice de plasticidad y límite plástico de cada muestra.

Tabla 10. Resumen del Límite Plástico de las muestras

LÍMITE PLÁSTICO		
Muestras	Índice de plasticidad (IP)	Límite plástico
Arcilla Cochancay	27.91	45.67
Arcilla Santa Clara	16.49	20.34
Kilo	2.29	23.73

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

En la figura 5 se observa, que la muestra MC posee un alto porcentaje de límite plástico a comparación de la muestra MSC y MK, mostrando en la elaboración de los morteros una buena trabajabilidad y resistencias altas. Sin embargo, en lo que se refiere a índices de plasticidad, la muestra MK posee el valor más bajo, debido a que el material es una arena.

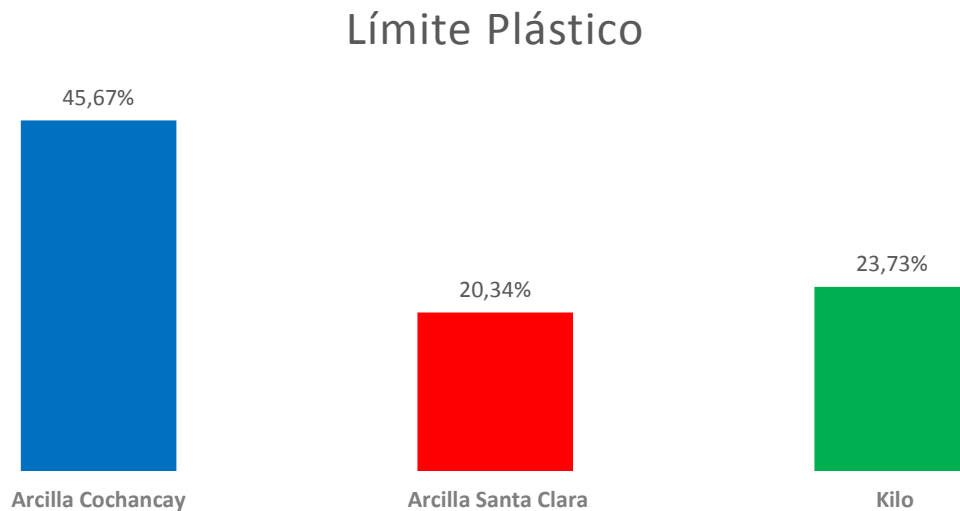


Figura 5. Resumen límite líquido de las muestras.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

5.4. Análisis químico

En la tabla 11 muestro los resultados de la caracterización química elemental de la muestra MC, MSC y MK, después de haber realizado el ensayo de fluorescencia de rayos x.

Tabla 11. Análisis químico elemental de los agregados.

COMPOSICIÓN QUÍMICA					
Arcilla Cochancay		Arcilla Santa Clara		Kilo	
Componentes	%	Componentes	%	Componentes	%
<i>SiO₂</i>	39.95	<i>SiO₂</i>	57.82	<i>SiO₂</i>	71.80
<i>Al₂O₃</i>	25.57	<i>Al₂O₃</i>	22.71	<i>Al₂O₃</i>	13.28
<i>Fe₂O₃</i>	21.21	<i>Fe₂O₃</i>	1.17	<i>Fe₂O₃</i>	1.36
<i>TiO₂</i>	2.09	<i>TiO₂</i>	1.03	<i>TiO₂</i>	0.11
<i>MgO</i>	1.23	<i>MgO</i>	0.78	<i>MgO</i>	0.26
<i>Na₂O</i>	0.47	<i>Na₂O</i>	6.70	<i>Na₂O</i>	2.93
<i>CaO</i>	0.40	<i>CaO</i>	0.40	<i>CaO</i>	0.54
<i>MnO</i>	0.35	<i>MnO</i>	0.06	<i>MnO</i>	0.04
<i>K₂O</i>	0.14	<i>K₂O</i>	2.03	<i>K₂O</i>	4.60
<i>SO₃</i>	0.11	<i>SO₃</i>	0.02	<i>SO₃</i>	0.02
<i>V₂O₅</i>	0.05	<i>V₂O₅</i>	0.04	<i>V₂O₅</i>	0.20
<i>Cr₂O₃</i>	0.05	<i>Cr₂O₃</i>	0.02	<i>ZnO</i>	0.01
<i>P₂O₅</i>	0.04	<i>P₂O₅</i>	0.15	<i>SrO</i>	0.01
<i>CuO</i>	0.04	<i>ZnO</i>	0.02	<i>CuO</i>	69 PPM
<i>NiO</i>	0.02	<i>ZrO₂</i>	0.03		
<i>ZnO</i>	0.02	<i>SrO</i>	1.00		
<i>ZrO₂</i>	0.01	<i>Rb₂O</i>	1.00		

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

En la figura 6 se evidencia que las muestras MC, MSC y MK presentan valores altos de silicio, que por su estructura dura y cristalina se utilizan en el área de la construcción especialmente para crear vidrio artificial, cerámicas y cemento. Las arcillas MC y MSC

presentan concentraciones altas de aluminio ayudando de esta manera a que los morteros sean más livianos.

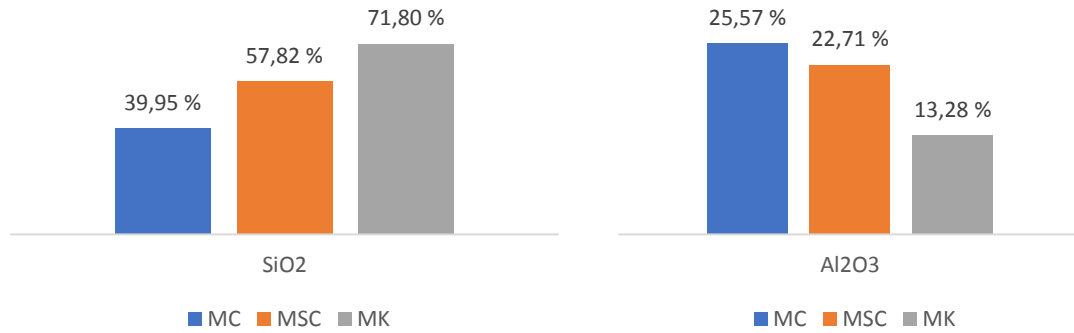


Figura 6. Análisis químico elemental de los agregados.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Con ayuda de la figura 7 se puede resaltar que la muestra MK posee porcentajes excesivos de sodio y potasio. El sodio y el potasio pueden corroer al acero, sin embargo, no afectarían a los morteros utilizados en impresoras 3D, debido a que en esta técnica no se emplea acero longitudinal.

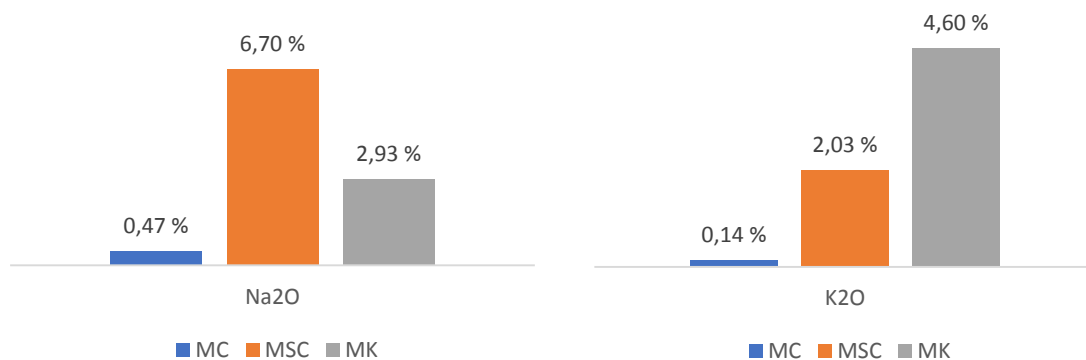


Figura 7. Porcentajes de sodio y potasio en los agregados.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

El “kilo” (MK), es un material que no se encuentra clasificado, por tal razón, hubo la necesidad de realizar un ensayo adicional de difracción de rayos x. Los resultados se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados Ensayo de difracción de rayos x del “kilo”

ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	
Fases Minerales	%
Cuarzo	39.00
Muscovita 2M1	13.02
Anorthita	3.98
Albita alta K0.16	37.83
Calcita	0.47
Dolomita	2.30
Gypsum	1.96
Actinolita	1.15

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Al mostrarse los resultados por difracción de rayos x del “kilo”, se observa que los valores más altos en las fases minerales de este material corresponden al Cuarzo y a la Albita con un 39% y 37.83%, respectivamente. Logrando de este modo clasificar al material como una arena con alto contenido de SiO_2 , pues el principal componente de la arena es la sílice, que se encuentra generalmente en forma de cuarzo. Además, es importante clasificar al material como un feldespato alcalino pues está compuesto de minerales mixtos, en este caso entre el feldespato potásico y la albita.

Una vez analizadas la propiedades físicas y químicas de los materiales, siguiendo el orden de esta metodología, procedemos a los resultados de la Fase II. Para un mejor seguimiento de las actividades en esta fase, es importante mencionar que se elaboró varios morteros, los mismo que contenían arcilla, kilo, cemento y aditivo. Los componentes que variaron en estos morteros fueron el tipo de arcilla y el tipo de cemento. Como lo indiqué previamente se trabajó con dos tipos de arcillas, siendo una la arcilla Cochancay y otra la arcilla Santa Clara y de igual manera

con el cemento tipo I y el tipo HE. Y así se generando de esta manera los 4 morteros que contempla esta investigación. Con el fin de evitar confusiones las mezclas serán llamadas de la siguiente manera MC-I, MSC-I, MC-HE y MSC-HE. Es decir, los morteros que tienen las siglas MC contienen la arcilla Cochancay, los que tienen la sigla MSC contiene arcilla Santa Clara. Los morteros que tienen siglas I o HE se hace referencia al tipo de cemento que se está utilizando en la mezcla.

Para encontrar la dosificación óptima se combinó únicamente los porcentajes del peso de la mezcla de la arcilla y del kilo, y el cemento tuvo un porcentaje del 25% en todas las dosificaciones, que se evidencian en la tabla 13, teniendo valores altos de resistencia a la compresión, al colocar 37.5% de arcilla y 37.5 % de kilo.

Tabla 13. Dosificaciones iniciales en peso (25% de cemento)

Dosificación	Arcilla %	Kilo %	Arcilla Cochancay	Arcilla Santa Clara
			Resistencia MPa (7 días)	Resistencia MPa (7 días)
1	37.5	37.5	7.67 (0.33)	6.02 (0.22)
2	56.0	19.0	3.50 (0.16)	4.18 (0.18)
3	19.0	56.0	6.25 (0.34)	3.85 (0.25)
4	45.0	30.0	4.51 (0.08)	2.80 (0.12)
5	41.0	34.0	4.03 (0.28)	2.45 (0.29)
6	30.0	45.0	5.74 (0.47)	3.76 (0.31)

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

(Los valores medios con la desviación estándar de 3 muestras)

A continuación, muestro la dosificación (1:1.5:1.5) del mortero exitoso de esta investigación:

375 kg de Cemento - 562.5 kg de Arcilla—562.5 kg de Kilo—352.5 Kg de agua—22.5 kg de aditivo

5.5. Ensayos de tiempos de fraguado y trabajabilidad

En el anexo 5, la tabla 31, indica los valores de los ensayos de tiempo de fraguado de los 4 morteros. El aditivo que se utilizó fue Plastocrete 161 HE de Sika.

Como se puede observar en la tabla 14 y la figura 8, los morteros elaborados con cemento tipo HE muestran un menor inicio de tiempo de fraguado debido a las características propias del cemento. Sin embargo, los tiempos de inicio de fraguado de los morteros MC-I y MC-HE se encuentran dentro de un rango aceptable que es de 15 a 25 minutos, haciendo que el mortero presente una buena trabajabilidad y que no exista escurrimiento.

Tabla 14. Resumen del tiempo de inicio de fraguado de los morteros elaborados con Plastocrete 161 HE, Sika.

Mortero	% peso cemento	Tiempo inicio de fraguado (min)
MC-I	3	30
MSC-I	3	45
MC-HE	6	25
MSC-HE	6	40

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

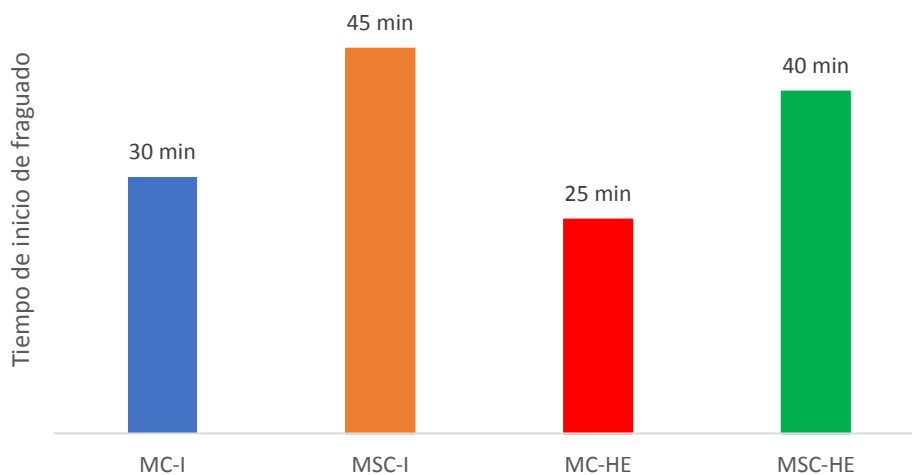


Figura 8. Tiempo de inicio de fraguado de los morteros.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Para el ensayo de trabajabilidad se estableció tiempos para el levantamiento del cono troncónico se puede observar los resultados en la tabla 15.

Tabla 15. *Ensayo para evaluar la trabajabilidad de los morteros*

Mortero	% Aditivo	Tiempo (min)	Diámetro (cm)
MC-I	3	1.0	15.0
		1.5	15.0
		2.0	15.5
		3.0	16.0
		5.0	16.5
MSC-I	3	1.0	13.0
		1.5	13.5
		2.0	14.0
		3.0	14.0
		5.0	15.0
MC-HE	6	1.0	11.5
		1.5	12.0
		2.0	12.0
		3.0	12.0
		5.0	12.0
MSC-HE	6	1.0	10.5
		1.5	10.5
		2.0	11.5
		3.0	11.5
		5.0	12.0

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A

En la figura 9 se muestra las curvas de trabajabilidad de cada mortero, evidenciando una tendencia de crecimiento de diámetro al seguir transcurriendo el tiempo. Los morteros presentan una estabilización inmediata, lo que significa que no existe un escurrimiento excesivo en las mezclas. De esta manera se demuestra que los 4 morteros presentan una buena trabajabilidad, pues la trabajabilidad depende del porcentaje del acelerador de fraguado ya que si poseen mayor cantidad de aditivo plastificante los morteros poseen menor escurrimiento. Por tal razón los

morteros que emplean el cemento tipo HE tienen menor crecimiento en su diámetro a medida que pasa el tiempo a diferencia de los morteros con cemento tipo I.

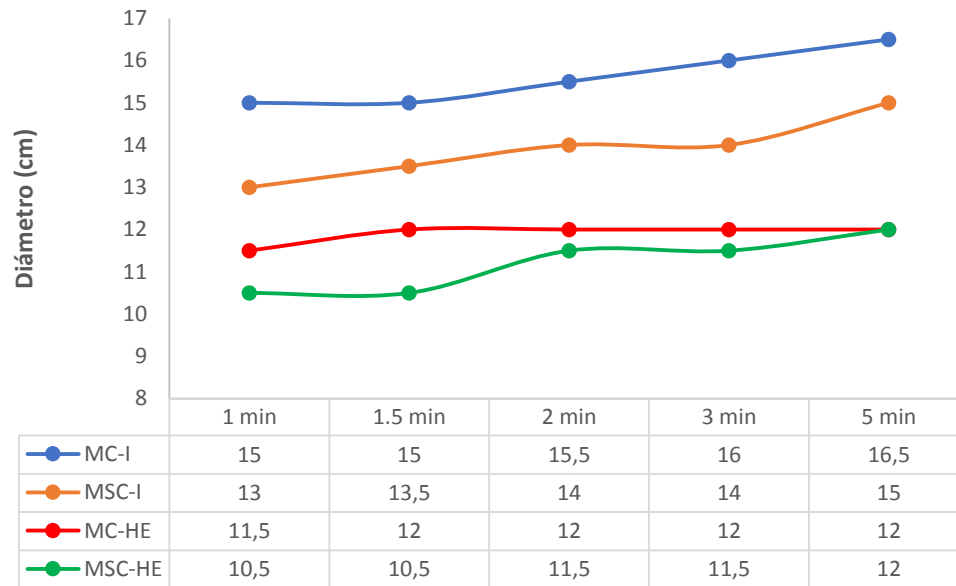


Figura 9. Trabajabilidad de morteros.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

5.6. Ensayos de resistencia a compresión.

Los ensayos a compresión de los morteros se realizaron a corto y a largo plazo. Para los ensayos a corto plazo se elaboró por cada tipo de mortero 3 especímenes en forma de cubo para cada tiempo de ensayo que fue de 6, 9, 12 y 24 horas con un total de 48 probetas. Para los ensayos a largo plazo, se elaboró 5 especímenes por cada tipo de mortero en forma cilíndrica para los 7, 14, 21 y 28 días con un total de 80 probetas. Los resultados obtenidos de cada tipo de mortero ensayado a compresión a corto plazo se muestran en la figura 10 mientras que a largo plazo en la figura 11. En el anexo 6, las figuras, 18, 19, 20, 21, exponen las curvas de resistencia versus tiempo de los 4 morteros.

En la tabla 16 y la figura 10 se reflejan los valores obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión a corto plazo de los 4 morteros elaborados en esta metodología. Se puede observar que las resistencias más bajas, corresponden a los 2 morteros elaborados con cemento I (MC-I y MSC-I) debido a que se colocó el 3% de aditivo al ser el valor que recomienda el fabricante, a diferencia de los 2 morteros restantes (MC-HE y MSC-HE) en las que se empleó el 6% de aditivo por ser cemento tipo HE para lo cual fue necesario realizar pruebas a las mezclas variando el porcentaje de aditivo de 3, 4, 5 y 6 %.

Tabla 16. Evolución del valor medio de las resistencias a compresión a corto plazo de los morteros

Mortero	6 horas	9 horas	12 horas	24 horas
MC-I	1.93 (0.12)	2.23 (0.05)	2.20 (0.14)	2.63 (0.21)
MSC-I	1.60 (0.00)	1.77 (0.09)	1.86 (0.12)	1.87 (0.17)
MC-HE	2.33 (0.22)	2.43 (0.09)	2.66 (0.05)	3.37 (0.05)
MSC-HE	1.93 (0.09)	2.80 (0.16)	3.23 (0.21)	4.66 (0.12)

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

(Los valores medios con la desviación estándar de 3 muestras)

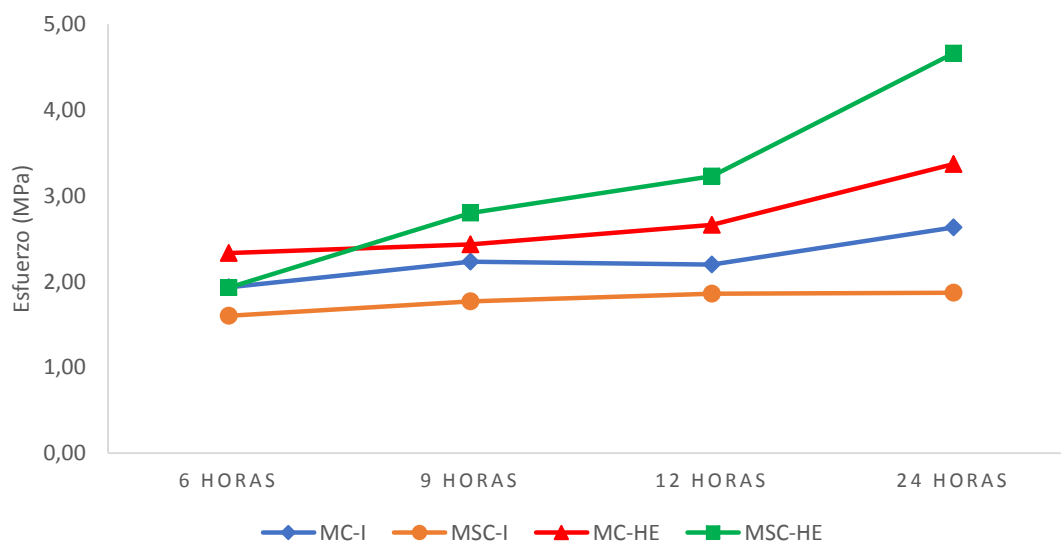


Figura 10. Evolución del valor medio de las resistencias a compresión a corto plazo de los morteros.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

En la tabla 17 y la figura 11 se muestra lo referente a las probetas ensayadas a largo plazo obteniendo resistencias altas en los morteros MC-I, MC-HE y MSC-HE. Sobresaliendo el valor de 21.29 MPa, que es el requerimiento para utilizar la técnica 3D en elementos estructurales.

Tabla 17. Evolución del valor medio de las resistencias a compresión a largo plazo de los morteros

Mortero	7 días	14 días	21 días	28 días
MC-I	7.88 (0.19)	11.04 (0.81)	16.44 (0.19)	17.90 (0.22)
MSC-I	3.94 (0.19)	5.56 (0.26)	6.60 (0.67)	6.62 (0.20)
MC-HE	9.44 (0.14)	15.68 (0.62)	18.54 (0.13)	21.29 (0.27)
MSC-HE	9.14 (0.28)	11.73 (0.20)	14.75 (0.25)	17.54 (0.17)

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

(Los valores medios con la desviación estándar de 5 muestras)

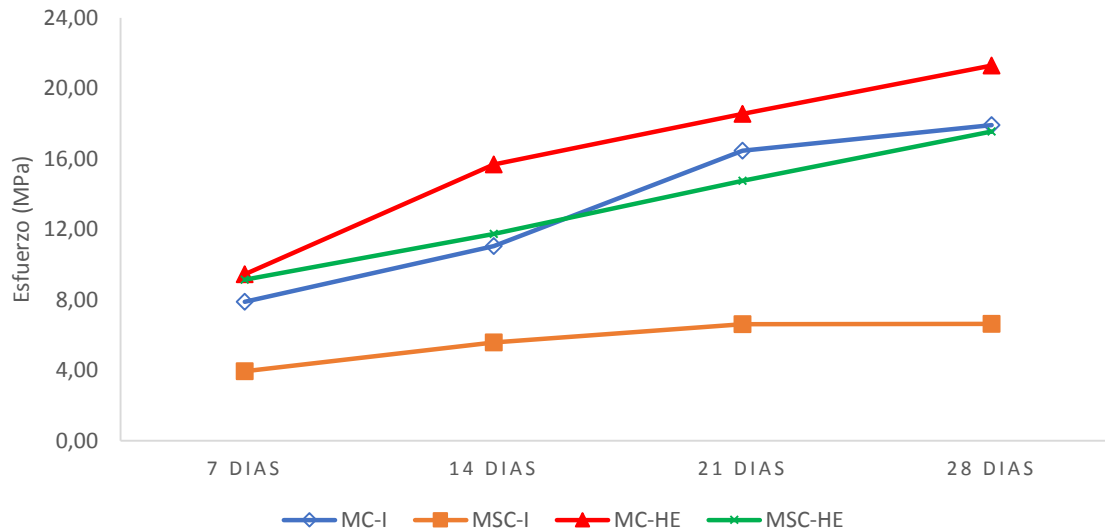


Figura 11. Evolución del valor medio de las resistencias a compresión a largo plazo de los morteros.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

En la tabla 18 se observa que los morteros MC-I y MC-HE cumplen aproximadamente con los parámetros requeridos para ser empleados en técnicas 3D. Comparando los valores referenciales de las propiedades de la técnica 3D, se puede reflejar una pequeña variación con los valores obtenidos en esta investigación en los tiempos de fraguado y la trabajabilidad, pues los mismos dependen del tipo y la cantidad de aditivo colocado en los morteros. Por tal razón

el mortero MC-HE cumple con las características para ser impreso y con la resistencia a la compresión necesaria para elementos estructurales con un valor de 21.20 MPa. Al comparar los resultados de esta investigación con los resultados de Chimbolema (2017) se evidencia el incremento de la resistencia a la compresión al adicionar kilo a la mezcla MC-I, pero esto no sucede en el mortero MSC-I debido a que la arcilla Santa Clara empleada en la mezcla del mortero al presentar valores altos de sodio y potasio sufren una reacción química con los álcalis del cemento atacando los silicatos de los otros agregados, teniendo como resultado la disminución de la resistencia a compresión (Villareal, Herrera, Ramirez, & Revoredo, 2016)

Tabla 18. Comparación de resultados con valores reportados

PROPIEDADES	Valores referenciales para impresoras 3D	Resultados de Chimbolema (2017)		RESULTADOS INVESTIGACIÓN			
		MC-I	MSC-I	MC-I	MSC-I	MC-HE	MSC-HE
Inicio de fraguado	15 a 25 min (Calderon, 2012)	30 min	50 min	30 min	45 min	25 min	40 min
Trabajabilidad	150 mm (Torres Remón, 2016)	180 mm	150 mm	165 mm	150 mm	120 mm	120 mm
Resistencia	21 MPa	15.36 MPa	7.30 MPa	17.9 MPa	6.62 MPa	21.29 MPa	17.54 MPa

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El mortero elaborado con arcilla Cochancay, “kilo” y cemento tipo HE cumplió con los requerimientos de tiempo de inicio de fraguado, trabajabilidad y resistencia a la compresión necesarios para ser impresos. Sin embargo, es importante recalcar que los 3 morteros restantes no cumplieron únicamente los parámetros de la resistencia mínima de 21 MPa.

- I. Las arcillas Cochancay y Santa Clara presentan un módulo de finura alto que ocasionaron problemas de retracción en los morteros. Las arcillas presentaron altos contenidos de humedad por lo que fue necesario realizar correcciones de la cantidad de agua colocada en los morteros, pues al no realizarlas las resistencias bajan. Por los altos contenidos de límite líquido y límite plástico se clasificó a la arcilla Cochancay como un material arcillo-limoso y a la arcilla Santa Clara como un material limoso.
- II. El “kilo” se clasificó como una arena gruesa con altos porcentajes de sodio y potasio, por lo tanto, puede causar daños de corrosión a fibras de acero que se pueden emplear en morteros para ser impresos con la técnica 3D. Una de las ventajas sobresalientes del “kilo” para el diseño de un mortero imprimible fue la baja capacidad del material para absorber agua cumpliendo parámetros de relaciones agua-cemento bajas.
- III. La dosificación óptima del diseño de las mezclas resultó al emplear el 25% de cemento, el 37.5% de la arcilla y el 37.5% de kilo. Los porcentajes corresponden al peso de la mezcla.
- IV. Los valores más altos de resistencia a la compresión a los 28 días pertenecen a los 2 morteros elaborados con arcilla Cochancay - Kilo (MC-I, MC-HE). Sin embargo, se evidencia un incremento notorio de las resistencias a compresión en los morteros que se

emplea el cemento tipo HE, para la arcilla Cochancay - Kilo (MC-HE) y para la arcilla Santa Clara - Kilo (MSC-HE) debido a las características propias que presenta este tipo de cemento, pues presenta menor cantidad de C2S que permite que el Clinker sea fácil de moler y mayor cantidad de C3A responsable de resistencias altas a edades tempranas y un rápido inicio de fraguado.

6.2 Recomendaciones

Mediante este proyecto de investigación se encontró un mortero con características que permiten aplicar la técnica de impresión 3D en elementos estructurales. Sin embargo, mediante los resultados obtenidos del ensayo de fluorescencia de rayos x se halló que el “kilo” es un material con altos contenidos de sodio y potasio que ocasionan la corrosión del acero con el tiempo, por lo cual es necesario buscar un tratamiento adecuado para que el “kilo” se utilice nuevamente dentro del ámbito de la construcción.

Finalmente, es necesario el diseño, creación y utilización de un prototipo que simule las actividades de una impresora 3D con el fin de probar los morteros hallados en esta investigación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. (2000). ASTM-C33. Análisis granulométrico por tamizado. Obtenido de <http://www.sitecal.com.bo/files/14.%20ENSAYO%20GRANULOMETRICO%20GRAVA-ARENA.pdf>
- Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2016). Fabricación aditiva de hormigón en la construcción: potenciales y desafíos de la impresión en hormigón 3D. *Prototipos virtuales y físicos*, 11(3), 209-225. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17452759.2016.1209867>
- Calderon, A. (2012). Democratización de la impresión 3D con fotopolímeros. *Universidad de Chile. Tesis de Pregrado*. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112106/cf-calderon_aa.pdf?sequence=1
- Chiguay, J. (2007). Análisis razón agua/cemento con mortero de cemento blanco. *Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de Ingeniería. Escuela de Ingeniería en Construcción. Tesis de pregrado. Valdivia, Chile., 7-11*. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfic534a/sources/bmfic534a.pdf>
- Chimbolema, S. (2017). Diseño de un mortero con arcillas y cemento portland tipo I para su uso en impresoras 3D. *Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Civil. Tesis de pregrado. Riobamba, Ecuador*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4341>
- Echeverría, N. (2014). Evaluación de diferentes adiciones frente a su capacidad para fijar ión cloruro en morteros. *Universidad politécnica de Catalunya. Departamento de Ingeniería de la construcción. Tesis de postgrado. Barcelona, España., 5-10*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/21119?locale-attribute=en>
- Francolí, J., & Díaz, R. (2014). Estado actual y perspectivas de la impresión 3D. (G. d. Catalunya, Ed.) *Artículos de Economía Industrial. Dirección General de Industria. Barcelona, España., 3-8*. Obtenido de http://empresaiocupacio.gencat.cat/web/.content/19_-_industria/documents/economia_industrial/impressio3d_es.pdf
- García, V. (2018). Comunicación privada.
- Guzman, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. (P. U. Javeriana., Ed.) Santafé de Bogotá, Colombia: Bhandar Editores Ltda. Obtenido de https://books.google.es/books?id=EWq-QPJhsRAC&dq=Tecnologia+del+concreto+y+del+mortero&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). Impresión 3D de edificios y componentes de construcción como el futuro de la construcción sostenible? *Procedia Engineering*.



- ScienceDirect.*, 151, 292-299. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816317453>
- INEN. (2009). INEN 157. *Cemento Hidráulico. Determinación de la Consistencia Normal, Método Vicat.*
- INEN. (2009). INEN 158. *Cemento Hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat.*
- INEN. (2010). INEN 690. *Áridos para Hormigón. Determinación del contenido total de humedad.*
- INEN. (2010). INEN 691. *Mecánica de suelos. Determinación del límite líquido. Método Casa Grande.*
- INEN. (2010). INEN 692. *Mecánica de suelos. Determinación del límite plástico.*
- INEN. (2011). INEN 696. *Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso.*
- Jimenez, M., & Porras, J. (2013). La fabricación aditiva. La evidencia de una necesidad. *Universidad Pontificia Comillas. Departamento de Ingeniería Mecánica. Madrid, España.*, 64-68. Obtenido de http://www2.uned.es/egi/publicaciones/articulos/La_fabricacion_aditiva_La_evidencia_de_una_necesidad.pdf
- Mella, A. (2004). Estudio, caracterización y evaluación de puzolnas locales en la masa cerámica del ladrillo. *Universidad del Bío Bío. Facultad de arquitectura, construcción y diseño. Departamento ciencias de la construcción. Tesis de pregrado. Concepción, Chile.*, 14-18. Obtenido de http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2004/mella_a/doc/mella_a.pdf
- Miranda, M. (2016). Elaboración de una dosificación para fabricación de superadobe, con ensacados de yute, cabuya y análisis comparativo de resistencia a compresión con mampuesto de ladrillo del Cantón Chambo, Provincia de Chimborazo. *Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Civil. Tesis de pregrado. Riobamba, Ecuador.* Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/3193>
- Pegna, J. (1997). Investigación exploratoria de construcción de sólidos de forma libre. *ScienceDirect*, 5(5), 427-437. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580596001665>
- Porras, M. (2012). Análisis técnico-económico de técnicas de fabricación aditiva. *Universidad Pontificia de Comillas. Tesis de pregrado. Madrid, España.*, 18-30. Obtenido de <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/50a4d66bb89d5.pdf>
- Rivadeneira, C. (2014). Mejoramiento de las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda final para la Empresa Cemento Chimborazo C.A. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ingeniería Química. Tesis de*

- pregrado. Riobamba, Ecuador., 96. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3419>
- Toirac, J. (2008). El suelo-cemento como material de construcción. *Ciencia y sociedad. Área de Ingeniería. Instituto Tecnológico de Santo Domingo. Santo Domingo, Ecuador.*, 33(4), 528-532. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/870/87012672003.pdf>
- Torres Remón, R. (2016). *Diseño de hormigón para impresoras 3D*.
- Torres, R. (2016). Diseño de hormigón para impresoras 3D. *Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de la construcción y proyectos de Ingeniería Civil. Tesis de postgrado. Valencia, España.*, 22-34. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/67255/TORRES%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20hormig%C3%B3n%20para%20impresi%C3%B3n%20en%203D.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Uribe, R. (2015). Investigaciones de Materias Primas Minerales No Metálicas en el Ecuador. *Revista Politecnica*, 36(3), 34. Obtenido de https://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/607
- Vásquez, R. (2009). *Cemento y sus aplicaciones*. (U. N. Chimborazo, Ed.) Obtenido de file:///C:/Users/Asus%20Portatil/Downloads/100611_Cemento_y_sus_aplicaciones.pdf
- Vazhnov, A. (2016). *Impresión 3D: Cómo va a cambiar al mundo*. (Vol. 3). Editorial Baikal. . Obtenido de <http://librodescargas.info/impresion-3d-como-va-a-cambiar-el-mundo-B00DBPMSOW.pdf>
- Villareal, M., Herrera, R., Ramirez, A., & Revoredo, C. (2016). *SlideShare*. Obtenido de Reacciones Químicas del cemento.: <https://es.slideshare.net/LuzAngelicaMartinez/reacciones-quimicas-en-el-concreto>
- Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). Una revisión crítica del uso de la impresión 3D en la industria de la construcción. (C. I. Construcción., Ed.) *Automation in Construction*(68), 21-31. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/301720096_A_critical_review_of_the_use_of_3-D_printing_in_the_construction_industry

8. ANEXOS

Anexo 1. Granulometría

Tabla 19. Datos Granulométricos - Arcilla Cochancay (MC)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Muestra (M1)	Arcilla Mina Cochancay	Fecha de Muestreo	24/01/2018 (10:00)			
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	25/01/2018 (11:15)			
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por	Ximena A. Yerovi M.			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
Tamices	Retenido Parcial + Recipiente (g)	Retenido Parcial - Recipiente (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa	Limites específicos serie finos	
3/8"	134	0	0.00	100.00	100	100
N° 4	134	0	0.00	100.00	95	100
N° 8	142	8	1.61	98.39	80	100
N° 16	221	87	19.11	80.89	50	85
N° 30	244	110	41.25	58.75	25	60
N° 50	245	111	63.58	36.42	5	30
N° 100	212	78	79.28	20.72	0	10
Bandeja	237	103	100.00	0.00		
Total		497				
Módulo de finura		3.05				

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

CURVA GRANULOMÉTRICA

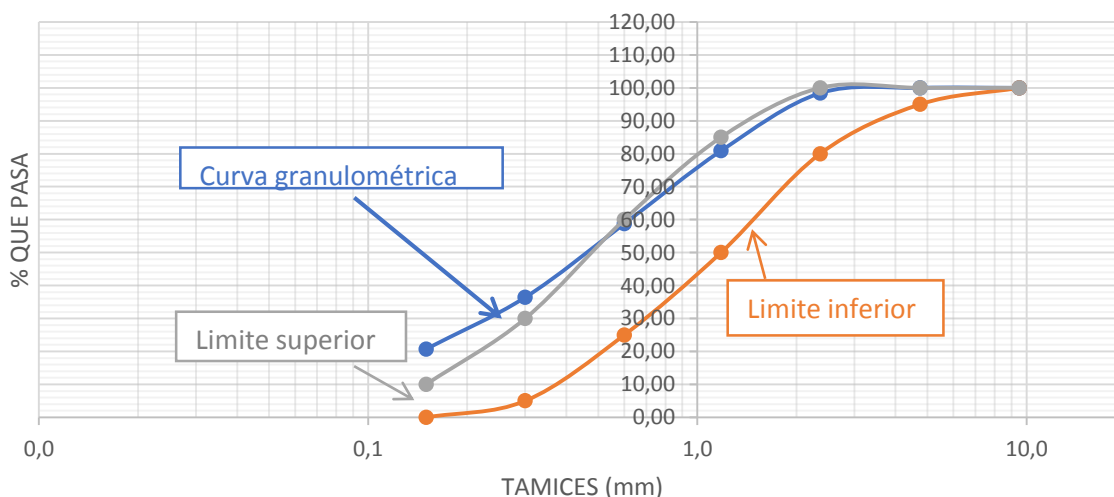


Figura 12. Curva Granulométrica Arcilla Cochancay

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Tabla 20. Datos Granulométricos - Arcilla Santa Clara (MSC)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
Muestra (M2)	Arcilla Santa Clara	Fecha de Muestreo	24/01/2018 (10:00)			
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	25/01/2018 (11:00)			
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por	Ximena A. Yerovi M.			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
Tamices	Retenido Parcial + Recipiente (g)	Retenido Parcial - Recipiente (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites específicos serie finos	
3/8"	134	0	0.00	100.00	100	100
N° 4	134	0	0.00	100.00	95	100
N° 8	138	4	0.81	99.19	80	100
N° 16	260	126	26.21	73.79	50	85
N°30	231	97	45.77	54.23	25	60
N° 50	202	68	59.48	40.52	5	30
N° 100	185	51	69.76	30.24	0	10
Bandeja	284	150	100.00	0.00		
Total		496				
Módulo de finura		3.02				

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

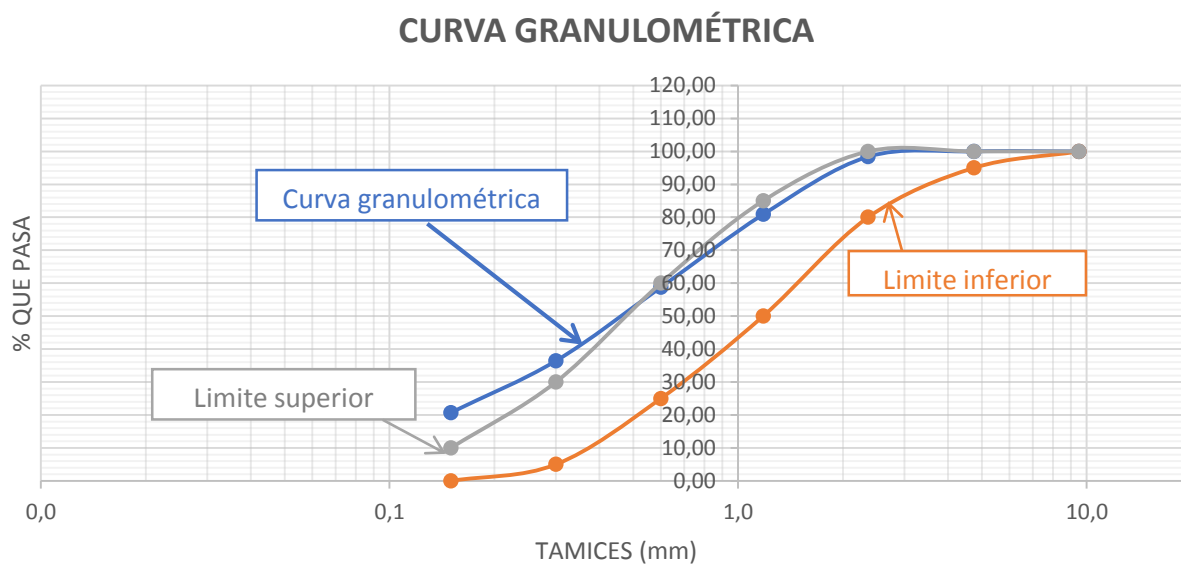


Figura 13. Curva Granulométrica Arcilla Santa Clara

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Tabla 21. Datos Granulométricos – Kilo (MK)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



Muestra (M3)	Kilo	Fecha de Muestreo	25/01/2018 (10:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	26/01/2018 (11:00)
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por	Ximena A. Yerovi M.

TABULACIÓN DE RESULTADOS

Tamices	Retenido Parcial + Recipiente (g)	Retenido Parcial - Recipiente (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites específicos serie finos	
3/8"	134	0	0.00	100.00	100	100
N° 4	176	42	8.42	91.58	95	100
N° 8	233	99	28.26	71.74	80	100
N° 16	246	112	50.70	49.30	50	85
N° 30	208	74	65.53	34.47	25	60
N° 50	182	48	75.15	24.85	5	30
N° 100	159	25	80.16	19.84	0	10
Bandeja	233	99	100.00	0.00		
Total		499				
Módulo de finura		3.08				

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

CURVA GRANULOMÉTRICA

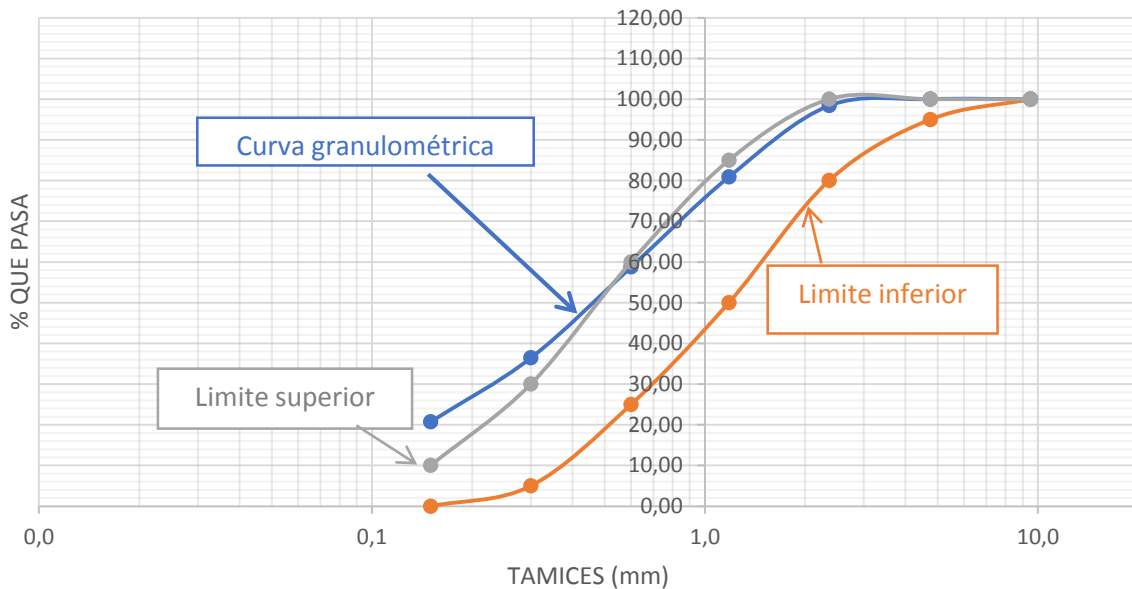


Figura 14. Curva Granulométrica Kilo

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.



Anexo 2. Contenido de Humedad

Tabla 22. Datos de contenidos de humedad Arcilla Cochancay (MC)

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Muestra (M1)	Arcilla Cochancay	Fecha de Muestreo	24/01/2018 (10:00)			
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	25/01/2018 (11:00)			
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por	Ximena A. Yerovi M.			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
RECIPIENTES	Masa Rec (g)	Masa Rec + Mn (g)	Masa Rec+Ms (g)	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	% Humedad
TARA 1	9.38	23.07	19.28	14	9.90	38.28
TARA 2	9.5	20.61	17.50	11	8.00	38.88
TARA 3	30.96	46.14	41.88	15	10.92	39.01
% Humedad Promedio	38.72					



Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Tabla 23. Datos de contenidos de humedad Arcilla Santa Clara (MSC)

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Muestra (M2)	Arcilla Santa Clara	Fecha de Muestreo	24/01/2018 (9:45)			
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	25/01/2018 (10:00)			
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por	Ximena A. Yerovi M.			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
RECIPIENTES	Masa Rec (g)	Masa Rec + Mn (g)	Masa Rec+Ms (g)	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	% Humedad
TARA 1	9.52	25.99	24.34	16	14.82	11.13
TARA 2	9.29	24.48	22.94	15	13.65	11.28
TARA 3	29.82	55.76	53.13	26	23.31	11.28
% Humedad Promedio	11.23					

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.


Tabla 24. Datos de contenidos de humedad Kilo (MK)

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Muestra (M3)	Kilo	Fecha de Muestreo	25/01/2018 (10:00)			
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	26/01/2018 (11:00)			
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por	Ximena A. Yerovi M.			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
RECIPIENTES	Masa Rec (g)	Masa Rec + Mn (g)	Masa Rec+Ms (g)	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	% Humedad
TARA 1	17.14	86.27	85.55	69	68.41	1.05
TARA 2	17.29	87.25	86.48	70	69.19	1.11
TARA 3	17.27	82.20	81.50	65	64.23	1.09
% Humedad Promedio	1.09					

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Anexo 3. Límite Líquido

Tabla 25. Datos Límite Líquido - Arcilla Cochancay

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Muestra (M1)	Arcilla Cochancay	Fecha de Muestreo	25/01/2018 (10:00)					
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	26/01/2018 (11:00)					
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por	Ximena A. Yerovi M.					
TABULACIÓN DE RESULTADOS								
INTERVALO	5 - 15		16 - 25		26 - 35		36-45	
N° GOLPES	10		20		30		40	
RECIPIENTES	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4	Tara 5	Tara 6	Tara 5	Tara 6
Masa Rec (g)	9.13	9.32	9.26	9.34	9.35	9.33	9.21	9.41
Masa Rec + Mn (g)	16.74	16.04	15.65	16.66	16.76	16.42	13.04	13.08
Masa Rec+Ms (g)	13.32	13.03	12.87	13.46	13.81	13.61	11.47	11.57
Masa Húmeda (g)	7.61	6.72	6.39	7.32	7.41	7.09	3.83	3.67
Masa Seca (g)	4.19	3.71	3.61	4.12	4.46	4.28	2.26	2.16
% Humedad	81.62	81.13	77.01	77.67	66.14	65.65	69.47	69.91
% Humedad Promedio	81.38		77.34		65.90		69.69	

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Límite Líquido "Arcilla Cochancay"

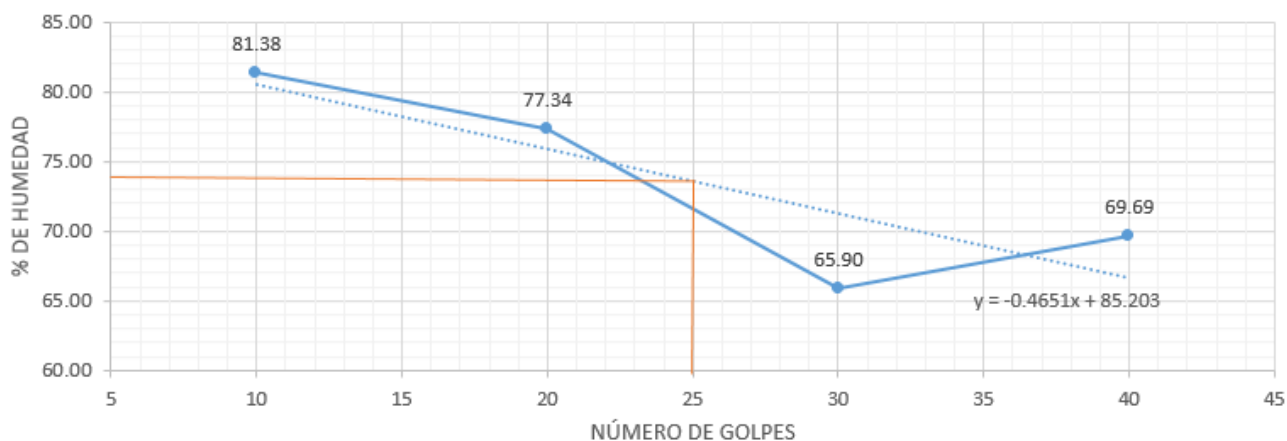


Figura 15. Límite Líquido Arcilla Cochancay.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Tabla 26. Datos Límite Líquido – Santa Clara

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
Muestra (M2)	Arcilla Santa Clara	Fecha de Muestreo	29/01/2018 (11:00)					
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	29/01/2018 (11:15)					
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por	Ximena A. Yerovi M.					
TABULACIÓN DE RESULTADOS								
INTERVALO	5 - 15		16 - 25		26 - 35		36-45	
Nº GOLPES	10		20		30		40	
RECIPIENTES	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4	Tara 5	Tara 6	Tara 7	Tara 8
Masa Rec (g)	8.70	9.34	9.37	9.03	9.60	9.28	9.05	9.00
Masa Rec + Mn (g)	15.11	16.35	20.69	21.40	24.34	25.51	20.88	18.10
Masa Rec+Ms (g)	13.18	14.24	17.59	18.01	20.52	21.29	18.01	15.95
Masa Húmeda (g)	6.41	7.01	11.32	12.37	14.74	16.23	11.83	9.10
Masa Seca (g)	4.48	4.90	8.22	8.98	10.92	12.01	8.96	6.95
% Humedad	43.08	43.06	37.71	37.75	34.98	35.14	32.03	30.94
% Humedad Promedio	43.07		37.73		35.06		31.48	

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

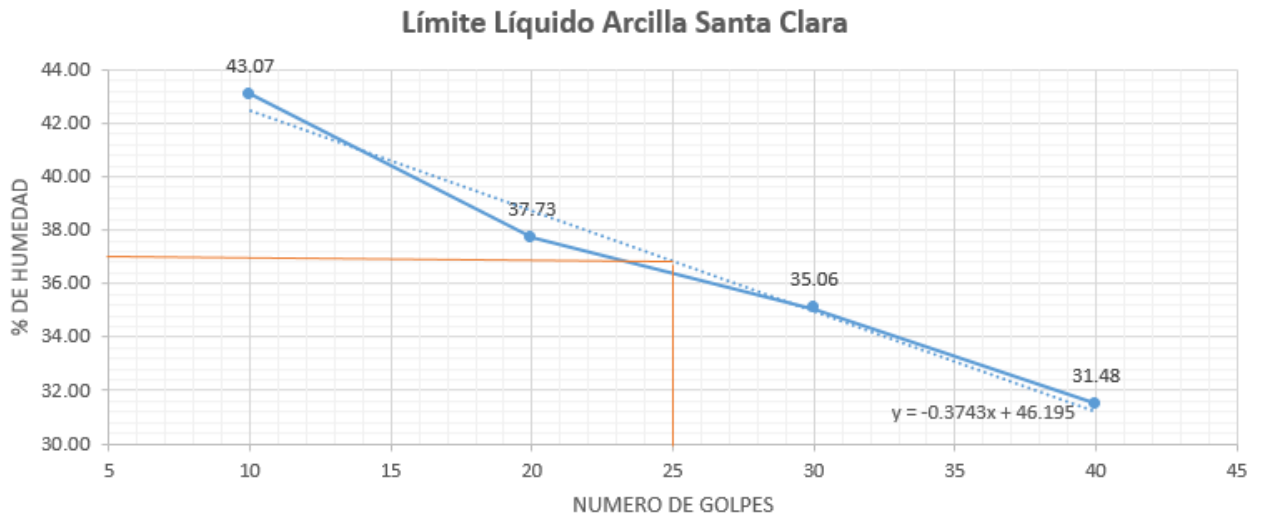




Figura 16. Límite Líquido Arcilla Santa Clara.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Tabla 27. Datos Límite Líquido – Kilo

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO							
		FACULTAD DE INGENIERÍA							
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Muestra (M3)	Kilo	Fecha de Muestreo				29/01/2018 (14:00)			
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo				29/01/2018 (14:15)			
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por				Ximena A. Yerovi M.			
TABULACIÓN DE RESULTADOS									
INTERVALO	5 - 15		16 - 25		26 - 35		36-45		
N° GOLPES	10		20		30		40		
RECIPIENTES	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4	Tara 5	Tara 6	Tara 7	Tara 8	
Masa Rec (g)	17.29	17.07	16.80	17.14	16.88	17.10	17.26	17.04	
Masa Rec + Mn (g)	30.27	32.75	29.68	25.53	23.43	24.90	23.69	23.35	
Masa Rec+Ms (g)	27.26	29.11	27.05	23.81	22.19	23.42	22.39	22.12	
Masa Húmeda (g)	12.98	15.68	12.88	8.39	6.55	7.80	6.43	6.31	
Masa Seca (g)	9.97	12.04	10.25	6.67	5.31	6.32	5.13	5.08	
% Humedad	30.19	30.23	25.66	25.79	23.35	23.42	25.34	24.21	
% Humedad Promedio	30.21		25.72		23.38		24.78		

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Límite Líquido Kilo

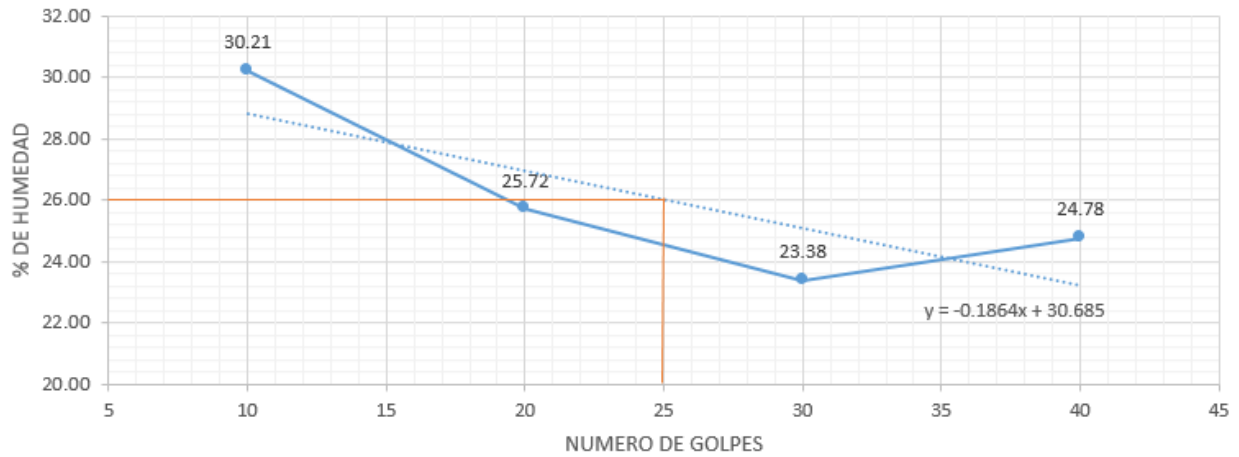




Figura 17. Límite Líquido Kilo.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Anexo 4. Límite Plástico

Tabla 28. Datos Límite Plástico – Arcilla Cochancay

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Muestra (M1)	Arcilla Cochancay	Fecha de Muestreo	29/01/2018 (08:00)			
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	29/01/2018 (08:15)			
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por	Ximena A. Yerovi M.			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
RECIPIENTES	Masa Recipiente (g)	Masa R+Mn (g)	Masa R+Ms (g)	Masa Mn (g)	Masa Ms (g)	% Humedad
TARA 1	9.13	9.56	9.43	0.43	0.30	43.33
TARA 2	9.11	9.48	9.36	0.37	0.25	48.00
LIMITE PLÁSTICO	45.67					
INDICE DE PLASTICIDAD						
LIMITE PLASTICO	9.11					
LIMITE LIQUIDO	73.58					
INDICE DE PLASTICIDAD	64.47					
RESULTADO	MATERIAL PLASTICO					

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Tabla 29. Datos Límite Plástico – Arcilla Santa Clara



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Muestra (M2)	Arcilla Santa Clara	Fecha de Muestreo	29/01/2018 (11:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba,	Fecha de Ensayo	29/01/2018 (11:15)
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por	Ximena A. Yerovi M.

TABULACIÓN DE RESULTADOS

RECIPIENTES	Masa Recipiente (g)	Masa R+Mn (g)	Masa R+Ms (g)	Masa Mn (g)	Masa Ms (g)	% Humedad
TARA 1	9.50	9.74	9.70	0.24	0.20	20.00
TARA 2	9.52	9.87	9.81	0.35	0.29	20.69
LIMITE PLÁSTICO	20.34					

INDICE DE PLASTICIDAD

LIMITE PLASTICO	20.34
LIMITE LIQUIDO	36.84
INDICE DE PLASTICIDAD	16.49
RESULTADO	MATERIAL PLASTICO

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Tabla 30. Datos Límite Plástico – Kilo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Muestra (M3)	Kilo	Fecha de Muestreo	29/01/2018 (14:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba,	Fecha de Ensayo	29/01/2018 (14:15)
Director del Proyecto	Ing. Marco Javier Palacios Carvajal	Realizado por	Ximena A. Yerovi M.

TABULACIÓN DE RESULTADOS

RECIPIENTES	Masa Recipiente (g)	Masa R+Mn (g)	Masa R+Ms (g)	Masa Mn (g)	Masa Ms (g)	% Humedad
TARA 1	17.24	18.64	18.37	1.40	1.13	23.89
TARA 2	16.87	18.60	18.27	1.73	1.40	23.57
LIMITE PLÁSTICO	23.73					



INDICE DE PLASTICIDAD

LIMITE PLASTICO	23.73
LIMITE LIQUIDO	26.03
INDICE DE PLASTICIDAD	2.29
RESULTADO	MATERIAL PLASTICO

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Anexo 5. Tiempos de Fraguado

Tabla 31. Datos de los tiempos de fraguado de los morteros

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL 	
ENSAYO: DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE LOS MORTEROS UBICACIÓN: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach. Realizado por: Ximena Alexandra Yerovi Muñoz Tutor de Proyecto: Ing. Marco Javier Palacios Carvajal Fecha Muestra: 11/04/2018 Fecha Ensayo: 11/04/2018	
ARCILLA COCHANCA Y CEMENTO TIPO I "MC-I" Hora Elaboracion Mortero: 17:00 Penetracion de la Ajuja de Tiempo Inicial(h) Vicat(mm)	ARCILLA SANTA CLARA Y CEMENTO TIPO I "MSC-I" Hora Elaboracion Mortero: 17:10 Penetracion de la Ajuja de Tiempo Inicial(h) Vicat(mm)
17:30 25 17:45 22 18:00 20 18:15 18 18:30 16 18:45 14 19:00 12 19:15 9 19:30 6 19:45 2 20:00 0	17:40 25 17:55 23 18:10 16 18:25 13 18:40 9 18:55 6 19:10 5 19:25 3 19:40 2 19:55 1 20:10 0
ARCILLA COCHANCA Y CEMENTO TIPO HE "MC-HE" Hora Elaboracion Mortero: 17:45 Penetracion de la Ajuja de Tiempo Inicial(h) Vicat(mm)	ARCILLA SANTA CLARA Y CEMENTO TIPO HE "MSC-HE" Hora Elaboracion Mortero: 18:00 Penetracion de la Ajuja de Tiempo Inicial(h) Vicat(mm)
18:15 25 18:30 13 18:45 6 19:00 2 19:15 1 19:30 0	18:30 25 18:45 21 19:00 17 19:15 14 19:30 6 19:45 4 20:00 3 20:15 0

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Anexo 6. Curvas de Resistencia versus Tiempo.

Curvas de Resistencia versus Tiempo (MC-I)

RESUMEN MORTERO "ARCILLA COCHANCA Y CEMENTO TIPO I"

DIAS	RESISTENCIA Mpa
0	0
7	7.88
14	11.04
21	16.44
28	17.90

Resistencia a la compresión
"Arcilla Cochancay y Cemento tipo I"

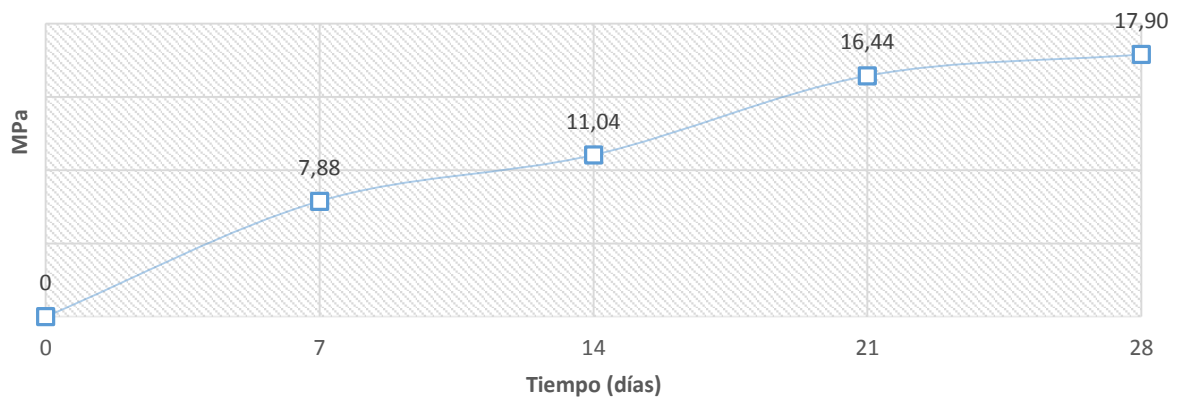


Figura 18. Curva Resistencia versus tiempo del mortero MC-IP.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Curvas de Resistencia versus Tiempo (MSC-I)

RESUMEN MORTERO "ARCILLA SANTA CLARA Y CEMENTO TIPO I"

DIAS	RESISTENCIA Mpa
0	0
7	3.94
14	5.56
21	6.60
28	6.62

Resistencia a la compresión "Arcilla Santa Clara y Cemento tipo I"

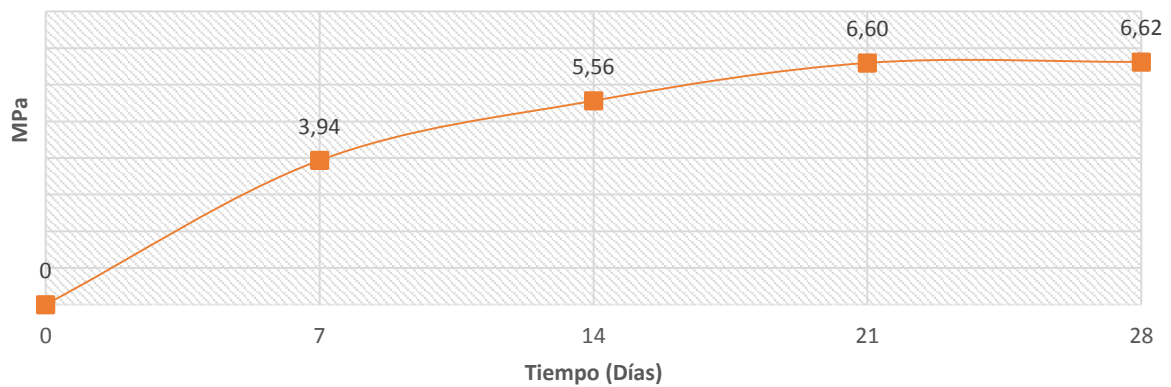


Figura 19. Curva Resistencia versus tiempo del mortero MSC-IP.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Curvas de Resistencia versus Tiempo (MC-HE)

RESUMEN MORTERO "ARCILLA COCHANCA Y CEMENTO TIPO HE"

DIAS	RESISTENCIA Mpa
0	0
7	9.44
14	15.68
21	18.54
28	21.29

Resistencia a la compresión "Arcilla Cochancay y Cemento tipo HE"

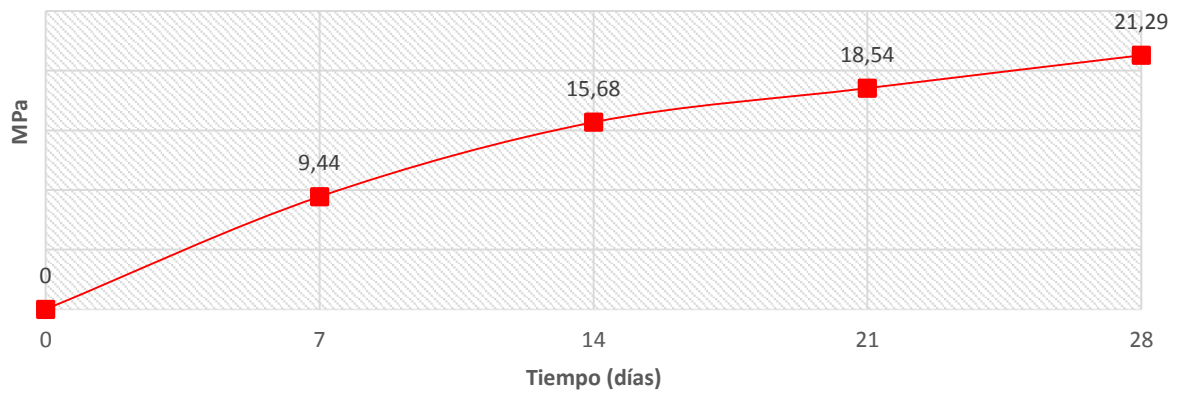


Figura 20. Curva Resistencia versus tiempo del mortero MC-HE.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.

Curvas de Resistencia versus Tiempo (MSC-HE)

RESUMEN MORTERO "ARCILLA SANTA CLARA Y CEMENTO TIPO HE"	
DIAS	RESISTENCIA Mpa
0	0
7	9.14
14	11.73
21	14.75
28	17.54

Resistencia a la compresión
"Arcilla Santa Clara y Cemento tipo HE"

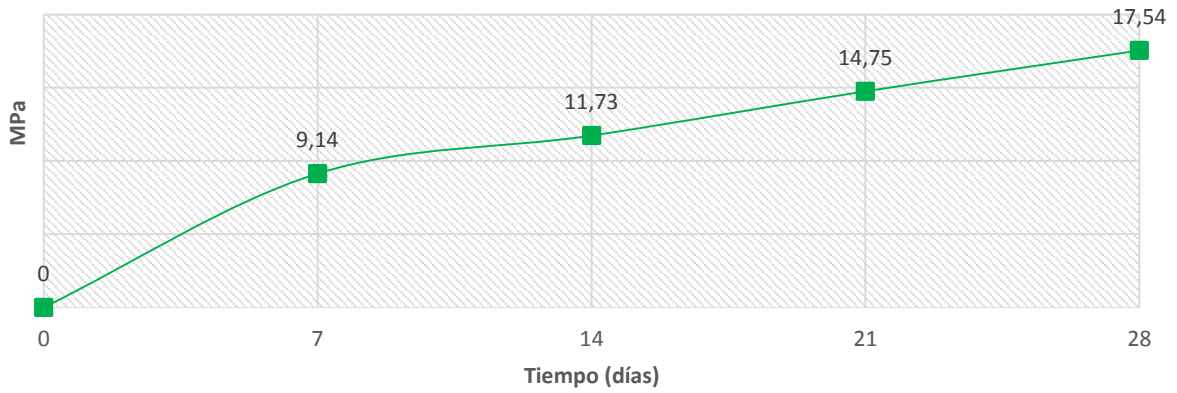


Figura 21. Curva Resistencia versus tiempo del mortero MSC-HE.

Elaborado por: Yerovi M. Ximena A.