



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

TRABAJO DE TITULACIÓN

DISEÑO DE UN MORTERO CON ARCILLAS Y CEMENTO PORTLAND TIPO I

PARA SU USO EN IMPRESORAS 3D

Autor:

Silvia Piedad Chimbolema Morocho

Tutor:

Ing. Javier Palacios

Riobamba – Ecuador

Año 2017

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “DISEÑO DE UN MORTERO CON ARCILLAS Y CEMENTO PORTLAND TIPO I PARA SU USO EN IMPRESORAS 3D” presentado por **Silvia Piedad Chimbolema Morocho** 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 conestado 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. Tito Castillo

Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Javier Palacios

Director del Proyecto



Firma

Ing. Alexis Martínez

Miembro del Tribunal

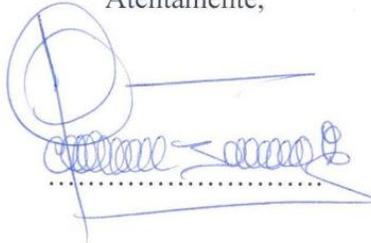


Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Javier Palacios, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “DISEÑO DE UN MORTERO CON ARCILLAS Y CEMENTO PORTLAND TIPO I PARA SU USO EN IMPRESORAS 3D”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a la Señorita **Silvia Piedad Chimbolema Morocho** 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 INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Silvia Piedad Chimbolema Morocho e Ing. Javier Palacios; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



.....
Sta. Silvia Piedad Chimbolema Morocho

C.I. 060460987-5

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la vida y por darme la fuerza necesaria para esforzarme cada día. Quiero agradecer a mi familia quienes son parte fundamental para que yo pueda realizar este proyecto de investigación, en especial a mi madre María Morocho quien ha estado apoyando incondicionalmente, con su amor, confianza, sacrificio y paciencia; a mis hermanos Danilo y Katy, a mis abuelitos Rosa y Melchor por ser las personas que me han acompañado durante mi trayecto estudiantil y de vida.

Y de manera especial extendiendo mi agradecimiento al Ingeniero Javier Palacios, quien como tutor y docente me ha prestado su guía durante el desarrollo del presente proyecto investigativo.

Por: Silvia Piedad Chimbolema Morocho.

DEDICATORIA

El siguiente proyecto investigativo quiero dedicar a mi madre María Morocho, quien es mi pilar más importante en mi vida, porque gracias a su cariño, sacrificio y esfuerzo a lo largo de mi vida ha hecho posible que pueda culminar mi carrera profesional.

Por: Silvia Piedad Chimbolema Morocho.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo General.....	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4
3 MARCO TEÓRICO.....	5
4 METODOLOGÍA	9
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
6.1 Conclusiones	30
6.1. Recomendaciones	30
7 BIBLIOGRAFÍA.	31
8 ANEXOS	34
Anexo 1. Granulometría.....	34
Anexo 2. Límite Líquido bajo la norma INEN 691 (INEN, 2010).	37
Anexo 3. Límite plástico bajo la norma INEN 692 (INEN, 2010).	40
Anexo 4. Límite de Contracción bajo la norma ASTM D-427 (ASTM, 2006).	43
Anexo 5. Tiempo de fraguado de las muestras.	46

Anexo 6. Dosificaciones de las muestras.....	48
Anexo 7. Compresión de las probetas de morteros a largo plazo	50
Anexo 8. Compresión de probetas sin Aditivo.	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen Marco Teórico.....	8
Tabla 2. Resumen del ensayo granulométrico de las muestras.....	17
Tabla 3. Resumen del porcentaje de humedad de las arcillas NTE 690 (INEN, 2010).....	18
Tabla 4. Resumen del límite líquido de las 3 arcillas.	19
Tabla 5. Resumen del límite plástico de las 3 arcillas.	20
Tabla 6. Resumen del límite de contracción de las arcillas.	21
Tabla 7. Composición química de las arcillas.	22
Tabla 8. Tiempo de inicio de fraguado de los 3 morteros	24
Tabla 9. Diámetros estabilizados para evaluar la trabajabilidad.....	25
Tabla 10. Morteros con aditivo y el diámetro estabilizado para evaluar la trabajabilidad.	26
Tabla 11. Resumen de Resultados y Discusión.	29
Tabla 12. Datos Granulométricos- Arcilla mina Cochancay (M1).....	34
Tabla 13. Datos Granulométricos- Arcilla mina Santa Clara (M2).....	35
Tabla 14. Datos Granulométricos- Arcilla mina Shirahuan (M3).	36
Tabla 15. Datos Límite Líquido - mina Cochancay (M1).	37
Tabla 16. Datos Límite Líquido- mina Santa Clara (M2).....	38
Tabla 17. Datos Límite Líquido- mina Shirahuan (M3).....	39
Tabla 18. Datos Límite plástico- mina Cochancay (M1).....	40
Tabla 19. Datos Límite plástico- mina Santa Clara(M2).....	41
Tabla 20. Datos Límite plástico- mina Shirahuan(M3).	42
Tabla 21. Datos Límite contracción – mina Cochancay (M1).....	43
Tabla 22. Datos Límite contracción – mina Santa Clara (M2).	44

Tabla 23. Datos Límite contracción – mina Shirahuan (M3).	45
Tabla 24. Tiempo de fraguado de las muestras sin aditivo.....	46
Tabla 25. Tiempo de fraguado de las muestras con aditivo.....	47
Tabla 26. Dosificación – mina Cochancay (M1).....	48
Tabla 27. Dosificación – mina Santa Clara (M2).	49
Tabla 28. Dosificación – mina Shirahuan (M3).....	49
Tabla 29. Datos ensayo a compresión - Mina Cochancay con aditivo (M1).....	50
Tabla 30. Datos ensayo a compresión - mina Santa Clara con aditivo (M2).....	50
Tabla 31. Datos ensayo a compresión - mina Shirahuan con aditivo (M3).....	51
Tabla 32. Datos ensayo a compresión -mina Cochancay (M1).	52
Tabla 33. Datos ensayo a compresión -mina Santa Clara (M2).	52
Tabla 34. Datos ensayo a compresión -mina Shirahuan (M3).....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la Metodología Planteada.....	9
Figura 2. Resumen del ensayo granulométrico de las 3 arcillas.	17
Figura 3. Resumen del ensayo del contenido de humedad de las arcillas.	18
Figura 4. Curvas del límite líquido de las 3 arcillas.	19
Figura 5. Límite plástico de las arcillas.	20
Figura 6. Límite de contracción de las arcillas.	21
Figura 7. Tiempo de inicio de fraguado de los diferentes morteros.	24
Figura 8. Trabajabilidad de los morteros sin aditivo.	25
Figura 9. Trabajabilidad de los morteros con aditivo.	27

Figura 10. Evolución de las resistencias a compresión.....	28
Figura 11. Curva Granulométrica Mina Cochancay.	34
Figura 12. Curva Granulométrica Mina Santa Clara.	35
Figura 13. Curva Granulométrica Mina Shirahuan.....	36
Figura 14. Límite Líquido de la Mina Cochancay.	37
Figura 15. Límite Líquido -Mina Santa Clara	38
Figura 16. Limite Liquido de la Mina Shirahuan	39
Figura 17. Datos del ensayo a compresión de la Mina Cochancay con aditivo.....	50
Figura 18. Datos del ensayo a compresión de la Mina Santa Clara con aditivo.....	51
Figura 19. Datos del ensayo a compresión de la Mina Shirahuan con aditivo.	51
Figura 20. Datos del ensayo a compresión de la Mina Cochancay sin aditivo.....	52
Figura 21. Datos del ensayo a compresión de la Mina Santa Clara sin aditivo.....	53
Figura 22. Datos del ensayo a compresión de la Mina Shirahuan sin aditivo.	53

RESUMEN

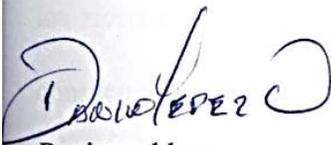
En la actualidad las impresoras 3D sirven para fabricar de manera más rápida todo tipo de obras civiles, esta tecnología permite ahorrar un 60% en los materiales, el 70% en el tiempo de producción y el 80% de los costos laborales. Sin embargo, el principal limitante para utilizar esta tecnología en nuestro país es contar con un material con las características que se adapten a estos equipos. Esta investigación tiene como objetivo la obtención de un mortero, que presente buenas características de fraguado, resistencia y trabajabilidad, utilizando arcillas de la región, obtenidas de las minas locales, cemento y aditivos para su uso en impresoras 3D. Con el fin de evaluar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del nuevo material, se realizó una comparación entre tres tipos de arcillas utilizadas en este estudio. Se obtuvo resistencias de 15 Mpa, tiempos de fraguado menores a 3 horas, límite líquido de 24%, límite plástico de 14%, contenido de humedad 25%, óxido de silicio de 66%, óxido de aluminio 26% y el límite de retracción de 64%. Este nuevo material podría servir para construir viviendas como una solución económica e innovadora para la industria de la construcción. La retracción del material es un aspecto que requiere mayor investigación.

Palabras claves: arcillas, compresión, impresoras 3D, mortero, propiedades físicas y mecánicas.

ABSTRACT

At present, 3d printers are used to manufacture all kinds of civil works faster, this technology saves 60% in materials and 70% in production time; 80% of labor costs. However, the main constraint to use this technology in our country is to have a material with the characteristics that adapt to these equipments. This research aims to obtain a mortar, which has good characteristics of setting, resistance and workability, using clay from the region, obtained from local mines, cement and additives for use in 3d printers. In order to evaluate the physical, chemical and mechanical properties of the new material, a comparison was made between three types of clays used in this study. Resistances of 15 Mpa were obtained, curing times less than 3 hours, liquid limit of 24%, and plastic limit of 14%, moisture content 25%, silicon oxide of 66%, aluminum oxide 26% and the retraction limit of 64%. This new material could be used to build homes as an economic and innovative solution for the construction industry. The material's retraction is an aspect that requires greater investigation.

Key Words: clays, compression, 3d printers, mortar, physical and mechanical properties.



Reviewed by:
Danilo Yépez O
English professor



1 INTRODUCCIÓN

Desde hace más de 20 años existen las impresoras 3D, pero es hasta el día de hoy donde realmente se está aprovechando su verdadero potencial sobre todo abriendo un gran espacio de análisis en la Ingeniería Civil. (Vazhnov, 2016)

Con el uso de las impresoras 3D en la construcción, ya es posible realizar viviendas utilizando la nueva tecnología; a más de ello estos avances ayudará a largo plazo a reducir las problemáticas como el empleo de obra falsa, desperdicio de materiales, tiempo muerto, etc. de esta manera se proveerá un ahorro económico en el proceso de construcción sin embargo el principal limitante para el uso de las impresoras 3D es desarrollar un mortero con materiales locales que se adapte al uso de estos nuevos equipos. (ClarínArq, 2017)

En la actualidad existen varias empresas como (D-Shape, Contour-Crafting y Concrete Printing), que desarrollan elementos de hormigón a gran escala, se trata, por lo tanto, de un sistema novedoso que podría llegar a plantear múltiples ventajas, las cuales pueden ser: la rapidez y la optimización del proceso, la independencia de la mano de obra durante la ejecución, que reduce los riesgos laborales, la no utilización de moldes o encofrados, reduciendo material y como consecuencia coste. (Torres Remón, 2016)

La tecnología de D-Shape fue desarrollada y patentada a mediados de la década de los 90, por Enrico Dini, Ingeniero Civil y Mecánico, este método de fabricación consiste en una catalización selectiva de materiales dentro de un sustrato, que supera al modo de construcción convencional en cuatro aspectos como es: la calidad, tiempo, costo y seguridad. En calidad, porque la máquina es capaz de crear estructuras con cualquier tipo de forma; tiempo, porque es cuatro

veces más rápido que otros métodos; costo, porque la producción de estructuras esta entre un 30% y 50% menor a los costos normales. (Dini, 2010)

Por otra parte, esta investigación propone desarrollar un material cementante basado en el uso de materiales de producción o disponibilidad en minas locales como: cenizas volantes, escorias de clinker, caolín, puzolanas y arcillas. (Torres Remón, 2016)

Según (Uribe, 2015), la arcilla pasó por un largo proceso evolutivo durante la historia, que la convirtió en un elemento fundamental para la edificación, las materias primas de mayor aplicación en impresoras 3D son los minerales arcillosos, estos varían mucho en cuanto a características químicas, mineralógicas y físicas pero una característica común es su estructura laminar cristalina, es así que este proyecto de investigación busca realizar el diseño de un mortero, con el uso de recursos locales; entre los materiales considerados se destacan los siguientes: arcillas y cemento portland tipo I.

Hoy en día para construir una vivienda, se necesita una amplia variedad de materiales, decenas de trabajadores y muchas horas para crearlos poco a poco, gracias a las impresoras 3D se ha logrado disminuir los costos y el tiempo de construcción, ya que estas máquinas son de tamaño pequeño y fácil de transportar y no requiere una preparación previa demasiado prolongada porque cuenta con un sistema de estabilización propio, elabora la mezcla de materiales e imprime, este proceso de impresión está automatizado, de modo que reduce el margen de error humano. (ClarínArq, 2017)

Actualmente no se conoce en nuestro medio la dosificación para elaborar un mortero para impresoras 3D con materiales locales y tras la búsqueda de investigaciones recientes en los repositorios de las principales universidades del país, no se encontró publicaciones sobre las

características y elaboración de un mortero con arcillas y cemento portland tipo I. En el Ecuador aún se mantiene un desconocimiento total sobre este tipo de material que cambiara totalmente el campo constructivo a futuro. (Vazhnov, 2016)

Por todo ello, es necesario encontrar una mezcla adecuada, incorporando materiales que asegure la conexión entre las distintas capas generadas y que garantice resistencia y durabilidad. Diseñar una mezcla que se adapte a esta nueva tecnología en la industria constructiva. Es decir un material que presente similitudes en las composiciones de las mezclas compatibles con la técnica de impresión en 3D. (Torres Remón, 2016).

Tomando en cuenta estos aspectos se formula la siguiente pregunta de investigación, ¿Es posible lograr un mortero con arcillas y cemento Portland Tipo I, adecuado para impresión 3D?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General.

Diseñar un mortero con las arcillas y cemento Portland Tipo I, con características adecuados para su uso en impresoras 3D.

2.2 Objetivo Específico.

Seleccionar y analizar las características físicas y mecánicas de las arcillas para una adecuada dosificación y diseñar mezclas de morteros de resistencias optimas a corto y a largo plazo.

3 MARCO TEÓRICO

El constante avance tecnológico obliga al ser humano a adoptar nuevos conocimientos técnicos a diferentes áreas. El uso de impresoras 3D ayuda a reducir el consumo de recursos en los procesos de construcción como el uso de obra falsa, el desperdicio de materiales, el tiempo no productivo de la mano de obra (Jofre, 2017). De esta manera se logra un importante ahorro económico en el proceso de construcción de una vivienda. La mejora del material de impresión 3D se ha vuelto el objetivo de muchas empresas del todo el mundo de todos los sectores de industria, pues el principal limitante para su uso es la necesidad de materiales exclusivamente adaptados para el proceso de impresión. (Corp, 2017)

Dentro de los materiales utilizados en la construcción se encuentran hormigones y morteros. La obtención de materiales cementicios no tradicionales no es algo nuevo, pues los denominados cementos de suelo fueron desarrollados en la unión soviética del siglo pasado y se conoce como geopolimeros. Otros materiales como las arcillas también se han probado en la elaboración de materiales cementicios con buenos resultados (Sukmak, De Silva, Horpibulsuk, & Chindaprasirt, 2015). Un aspecto fundamental a considerar son los parámetros relacionados con los materiales que se usan en impresoras 3D, como la trabajabilidad, tiempo de fraguado y resistencias a compresión. (Andrews-Phaedonos,2016)

Según (Torres Remón, 2016) el hormigón es aquel que se elabora con el tamaño máximo de árido superior a 8 mm, mientras que el tamaño máximo del mortero, puede llegar hasta 8 mm. Para el diseño de la mezcla de mortero y hormigones es imprescindible controlar la calidad y las dosificaciones de los materiales, la relación agua/cemento, las condiciones de trabajo y el equipo empleado. (Gil, 2015)

El desarrollo de morteros para impresoras 3D, en el campo constructivo ha ido en aumento de forma muy significativa. A pesar de la gran cantidad de dosificaciones existentes para crear morteros con estas características especiales, estos materiales requieren materias primas exclusivas y muy cuidadas, en cuanto a la geometría y la naturaleza de los compuestos. Otro aspecto importante es la relación agua/cemento, que suele ser baja, entre 0.15 y 0.25, para reducir el número de poros capilares y evitar el transporte de gases y líquidos que ataquen al hormigón. (Mella Stappung, 2004)

Por todo ello, es imprescindible controlar los tiempos de fraguado de las mezclas, las resistencias iniciales, así como la trabajabilidad adecuada para evitar problemas en la impresora 3D, también para asegurar la resistencia del elemento conforme va aumentando en tamaño, garantizando capa a capa esta resistencia y capacidad para soportar la inmediata carga colocada. (Gil, 2015)

La arcilla-cemento es la mezcla íntima y homogénea de la arcilla pulverizado con determinadas cantidades de cemento portland y agua de esta manera se obtiene un nuevo material resistente a los esfuerzos de compresión, prácticamente impermeable, termo aislante y estable en el tiempo, llegando hasta el presente como una verdadera alternativa de solución a la demanda actual de viviendas en los sectores de medianos y bajos recursos (Toirac Corral , 2008) . Las mezclas de arcilla-cemento como material de construcción deben cumplir varios requisitos, entre ellos ser económicas y tener la suficiente durabilidad. Esto se cumple en la gran mayoría de los casos cuando existe un predominio de las fracciones gruesas y la suficiente fracción fina que aporta la cohesión necesaria para poder trabajar con esta masa. (Chiguay , 2007)

Generalmente los suelos aptos para impresoras 3D, son aquellos que tienen tales proporciones de suelos gruesos y finos que producen una granulometría abierta, sin predominio

excesivo de un determinado tamaño. De igual forma su plasticidad debe ser tal que aporte una determinada cohesión a la mezcla, lo que mejora la trabajabilidad sin que se produzcan agrietamientos por contracción. Los límites de plasticidad lo fijan el límite líquido y el límite plástico de la arcilla. Ambos límites están representados por un por ciento de humedad, el límite líquido refleja el punto en que el suelo comienza a fluir como un líquido, al límite plástico se le conoce como un por ciento de humedad en que el suelo pasa de un estado rígido (elástico) a un estado plástico. Estos límites dependen no solo del contenido de arcilla sino de su tipo y rango admisible para mezclas de arcilla-cemento. Donde el límite líquido es menor a 45% y el límite plástico es menor a 18%. (Uribe, 2015)

Es importante tomar en cuenta la caracterización química de los materiales y de la granulometría respectivamente, con el fin de realizar fácilmente comparaciones entre ellos. Es posible apreciar los altos porcentajes de óxido de sílice en los materiales de origen arcillosos, así como la alta presencia de óxido de aluminio en el metacaolín. En los subproductos del hormigón o mortero se observa la alta presencia de óxido de calcio debido a que su materia prima es el cemento. En la granulometría se establece que todos los materiales presentan tamaños menores a los 100 mm. Para garantizar la obtención de materiales adecuados, la trabajabilidad propuesta para los morteros es de 150 ± 10 mm medida por el ensayo de consistencia en la mesa de sacudidas, donde se opta por unificar el porcentaje de sustitución de cemento a través de una dosificación por volumen. (Echeverría Melo , 2014)

Según (Calderón Avendaño, 2012), el tiempo de fraguado considerado para impresoras 3D, es de 15 a 25 minutos, de este modo es importante explicar el proceso entre fraguado y endurecimiento de las mezclas. El fraguado puede definirse como la condición alcanzada por una pasta cementicia, mortero u hormigón, que ha perdido plasticidad, medido en términos de

resistencia a la penetración, llegando a adquirir algo de resistencia, mientras que, el endurecimiento consiste en la ganancia de resistencias de una pasta fraguada. De forma concreta, el tiempo de fraguado es el periodo 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 y adquisición de las resistencias en la pasta. El ensayo de determinación del tiempo de fraguado es realizado mediante la aguja de Vicat, pero pueden caracterizarse de forma generalizada por el inicio de la rigidez de la pasta “Inicio de fraguado” y por la pérdida de plasticidad de la pasta “Final de Fraguado”.

Según (González de la Cadena, 2016), los súper plastificantes son aditivos que tienen como principal objetivo aumentar la trabajabilidad de las mezclas, reduciendo la relación agua/cemento, sin afectar la resistencia ni otras características de los morteros, por este motivo al introducir súper plastificantes en las mezclas, se consigue reducir la cantidad de agua de amasado hasta el 30%.

Tabla 1. Resumen Marco Teórico.

MATERIAL	PROPIEDADES	REFERENCIA
Arcilla-Cemento	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio de Fraguado 15 a 25 min. • Relación agua/cemento 0,15 - 0,25. • Trabajabilidad o consistencia 150 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> • (Calderón Avendaño, 2012) • (Mella Stappung, 2004) • (Torres Remón, 2016)
Suelo-cemento	<ul style="list-style-type: none"> • Límite líquido menor a 45% • Límite plástico menor a 18% • Límite de contracción de 3% a 6 %. 	<ul style="list-style-type: none"> • (Toirac Corral , 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 Melo , 2014) • (Toirac Corral , 2008)

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

4 METODOLOGÍA

El proceso seguido para el desarrollo de la investigación se presenta a continuación con ayuda de un esquema gráfico, en el que se detalla de manera general los pasos de la misma.

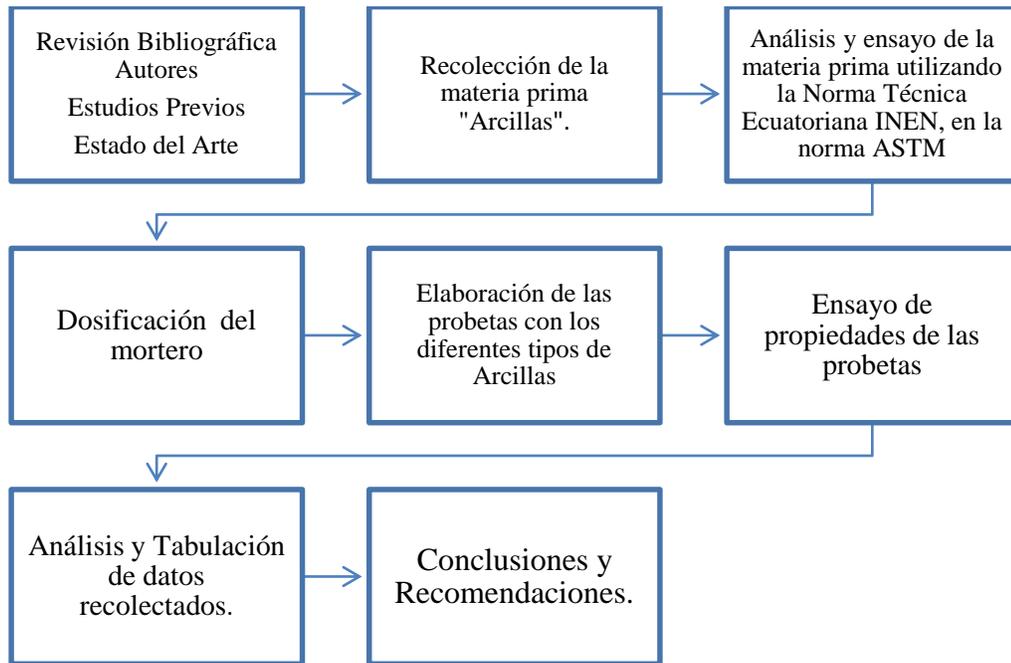


Figura 1. Esquema de la Metodología Planteada.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Esta investigación tiene un alcance exploratorio, pues se enfoca en la búsqueda de insumos locales para producir un nuevo material cementante que sea útil para la impresora 3D.

Se realizó una revisión bibliográfica utilizando como fuentes artículos científicos muchos de estos encontrados en la base de datos de SCielo, Scopus, ACSE, ScienceDirect y en repositorios digitales de universidades, al igual que buscadores web como google académico, con el objetivo de obtener información real sobre el tema de investigación, los cuales me proporcionaron información sobre la identificación de materiales y propiedades que debe tener un buen material para impresoras 3D.

La recolección de la materia prima se llevó a cabo en 3 zonas del país, las cuales se encuentran en la Mina Cochancay (Sierra), Mina Shirihuan (Costa) y la Mina Santa Clara (Oriente), se escogió estas minas con el fin de obtener muestras de las 3 regiones continentales del país, los mismos que actualmente se encuentran disponibles y en explotación. Además, se utilizó el cemento portland tipo I para la elaboración morteros con las 3 muestras.

Luego las muestras de arcillas fueron llevadas hasta el laboratorio de ensayo de materiales, donde se realizaron los análisis físicos, químicos y mecánicos de cada una de las muestras para determinar sus propiedades como granulometría, límite líquido, límite plástico, límite de contracción, contenido de humedad, composición química, tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia a compresión, según procedimientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN, 2010) y American Standard of Testing Materials (ASTM, 2000).

Para la determinación de la granulometría de las muestras se realizó con la ayuda de la norma ASTM D-422 (ASTM, 2000), la cual indica que el método de ensayo se lo realiza por tamizado. Este ensayo permite determinar el porcentaje granulométrico de las partículas con el fin de analizar su tipo y sus propiedades mecánicas. El procedimiento del ensayo empieza colocando las muestras de las arcillas en bandejas metálicas, para colocar al horno a una temperatura de 150 °C, por un tiempo de 24 horas, la misma que permite eliminar el contenido de humedad del material, después de haber transcurrido el tiempo de secado, sacamos del horno y tomamos 65 g de la muestra en una bandeja metálica, luego se ordena los tamices: N° ¾, 4, 16, 40, 100, 200 en orden descendente y se coloca en la maquina tamizadora por 5 minutos, una vez tamizada retiramos cuidadosamente y se procede a registrar los pesos acumulados en cada uno de los tamices, por último se calcula y tabula los datos obtenidos. Repetir el mismo procedimiento para las 2 muestras restantes.

Según la norma INEN 690 (INEN, 2010), el contenido de humedad de la arcilla se obtiene colocando la muestra en unos recipientes y se procede a pesarlos para luego colocarlo al horno a una temperatura de 105° C por 24 horas, transcurrido este tiempo se procede a pesar y tabular los datos obtenidos, por último se repite el procedimiento para las 2 muestras restantes.

Según la norma INEN 691 (INEN, 2010), para la determinación del límite líquido de la muestra se utiliza el equipo Casagrande, el procedimiento empieza tomando 250 g del material que pasa el tamiz Nro. 100 y se coloca en una fuente de porcelana, se añade un poca de agua sobre la muestra y se mezcla completamente, luego se coloca una cantidad en la copa y se extiende con la ayuda de la espátula evitando que se quede atrapado burbujas de aire, además con ayuda del acanalador se realiza un canal en la muestra y se procede a girar la manecilla de Casagrande a una velocidad de 2 revoluciones por segundo (r/s), después se debe registrar los golpes al momento que las dos mitades de la muestra se ponga en contacto al fondo del canal, por ultimo anotar el número de golpes y se calcula y tabula los datos obtenidos, repetir el mismo procedimiento para las 2 muestras restantes.

Según la norma INEN 692 (INEN, 2010), para la determinación del límite plástico de la muestra, se añade agua y se mezcla completamente en la fuente de porcelana hasta conseguir una pasta homogénea y se toma una porción aproximadamente de 10 g de la muestra y se moldea con ayuda de los dedos y una placa de vidrio, hasta formar un rollo de 3 mm de diámetro, se recoge las porciones desmenuzadas de los rollos de suelo en un recipiente metálico, después se pesa y coloca en el horno por 24 horas, para determinar el contenido de agua, por último se calcula y tabula los datos obtenidos. Repetir el procedimiento para las 2 muestras restantes.

Según la norma ASTM D-427 (ASTM, 2006), para determinar el límite de contracción de la arcilla, el procedimiento empieza pulverizando la muestra y se añade una pequeña cantidad de agua y se mezcla hasta tener una pasta homogénea, luego se pesa la capsula de contracción y se coloca el mercurio, y se retira el mismo para después poner la muestra de arcilla en 3 capas, y se pesa la capsula con la muestra húmeda para colocarla al horno a una temperatura de 110° C por 24 horas, transcurrido este tiempo se pesa la capsula con la muestra seca, para después llenar con mercurio el cristal de lucita y se coloca la pastilla de muestra seca en el cristal de lucita para luego pesarlo, por ultimo tabular los datos y realizar el cálculo, repetir el procedimiento para las 2 muestras restantes.

La composición química de las arcillas se obtuvo mediante el ensayo de fluorescencia de rayos x, las cuales muestran los componentes químicos que contiene cada una de ellas, además están formados por la combinación de varios óxidos, para la determinación de la composición química de la muestras se utilizó aproximadamente 25g primeramente se pulverizó la muestra, para ser colocada en la pastilla y en la prensa para pastillas automática, por último se colocó en la máquina de rayos x Full Análisis Vac 34mm y se esperó por 30 minutos para obtener el resultado. Repetir el procedimiento para las 2 muestras restantes.

Para la dosificación del mortero se escogió la misma dosificación que se llevó a cabo en la elaboración del súper adobe (Miranda, 2016) en cuanto al porcentaje de suelo y cemento, para saber cuál es la cantidad de agua que se incorporaría en la mezcla se procedió a sacar el contenido de humedad.

- Dosificación mina Cochancay “Cemento Chimborazo”.

250 kg de Arcilla – 37,50 Kg de Cemento – 56,09 Kg de agua

- Dosificación”, Mina Shirahuan “Echeandia”.

250 kg de Suelo común – 37,50 kg de Cemento – 60,42 Kg de agua

- Dosificación Mina Santa Clara “vía Puyo - Tena”

250 de Suelo común - 37.5 kg de Cemento – 67,44 Kg de agua

A continuación, se describe el procedimiento de la elaboración de las probetas.

Se elaboró probetas de morteros en forma de cubos de 50 x 50 mm, los mismos que serán ensayados a compresión a tempranas edades, como son a 6,9,12 y 24 horas para lo cual se realizaron 24 morteros para las tres muestras, siendo 12 con aditivo plastificante (plastocrete) y 12 sin aditivo plastificante, se procedió a tomar sus dimensiones y el área para ser ensayados, luego colocamos el espécimen centrándolo en el eje donde va a ser aplicada la carga hasta obtener su resistencia a la compresión, tomar los resultados de la resistencia obtenidos de cada cubo para su posterior análisis. Repetir el procedimiento para las 24 probetas, a la edad de 6, 9, 12 y 24 horas.

Además, se elaboró probetas en forma de cilindros para ser ensayados a compresión a largo plazo, para lo cual se realizará 36 muestras con aditivo plastificante denominado (plastocrete) y 36 sin aditivo, obteniendo así 72 probetas. Para realizar el ensayo a compresión de las probetas se procedió a tomar sus dimensiones y el área para ser ensayados, con la ayuda de las placas metálicas, se colocó el espécimen en el eje donde va a ser aplicada la carga hasta obtener su resistencia a compresión, una vez realizada las probetas con arcillas se coloca en una superficie plana libre de humedad, para realizar las pruebas posteriores a la edad de 7, 14, 21 y 28 días, por último tabular los resultados de los datos obtenidos, repetir el procedimiento para las 72 probetas realizadas.

Según la norma INEN 158 (INEN, 2009), el procedimiento a seguir para determinar el principio de fraguado de cada una de las mezclas consiste en elaborar 2 morteros por cada muestra, posteriormente se coloca en el molde troncocónico normalizado para el ensayo de principio y final de fraguado para situarlo inmediatamente después del vertido en el equipo de Vicat y comenzar con el proceso de determinación del inicio de fraguado, mediante la Aguja de Vicat, se determina cuando comienza el fraguado de la mezcla en función del aspecto del mortero y de la aguja al salir del molde troncocónico.

Para medir la trabajabilidad de las mezclas, se toma como referencia la norma INEN 157 (INEN, 2009), el método describe el ensayo que se realiza con el mortero fresco para determinar la consistencia de éste mediante el ensayo de asentamiento y de escurrimiento. La evolución de la trabajabilidad consiste en medir el diámetro de la mezcla estabilizada al levantar el cono normalizado, de cada uno de los morteros. Por ello, es importante definir el tiempo exacto en el que se levanta el molde troncocónico normalizado para producirse el escurrimiento. Dicho tiempo, es una variable definida previamente, que consiste en el periodo desde que se cesa el amasado al parar la amasadora, hasta el momento exacto del levantamiento del cono troncocónico. Por ello, se establecen unos tiempos concretos, transcurrido este tiempo se mide el diámetro de la mezcla estabilizada en centímetros. Todo ello con el objetivo de observar la disminución o aumento del diámetro de la mezcla estabilizada conforme se incrementa el tiempo.

Se organizó y presentó de manera gráfica los resultados de análisis de datos obtenidos en los ensayos realizados respectivamente, para esto se utilizó diagramas de barras, donde se pudo

determinar cuál es el material que tiene buenas características y propiedades para la aplicación en impresoras 3D.

Finalmente se obtuvo las conclusiones y recomendaciones de esta investigación.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión bibliográfica sobre materiales para impresoras 3D, mostraron que no existen muchos estudios relevantes a nivel mundial sobre materiales que puedan ser utilizados, centrándose en buscar un material adecuado para su aplicación.

Para la recolección de la materia prima utilizada en la fabricación de morteros para impresoras 3D, se utilizó herramientas menor para las 3 minas, la arcilla ubicada en la mina de Santa Clara hace fácil su recolección ya que se encuentra cerca de la vía Puyo-Tena, esta presenta un color rojo claro y en estado húmedo ya que el clima se tornaba lluvioso, en cambio la arcilla proveniente de la mina Shirahuan presenta un color blanco parecido al cal, finalmente la arcilla proveniente de la mina Cochancay presenta un color rojo oscuro y en estado húmedo, el único inconveniente que presentaban las 3 muestras, era al momento de traer el material ya que no contaba con transporte propio.

Para tener una mejor interpretación de los datos de aquí en adelante a los morteros elaborados con arcilla proveniente de la mina Cochancay se representa como (M1), a los morteros elaborados con la arcilla proveniente de la mina Santa Clara como (M2) y a los morteros elaborados con la arcilla de la mina Shirahuan como (M3).

Para determinar la granulometría de las muestras se realizó mediante el ensayo por tamizado, bajo la norma ASTM D-422 (ASTM, 2000). En el anexo 1, y en las tablas 12, 13 y 14, se muestran los cálculos del ensayo granulométrico de las muestras M1, M2 y M3.

Tabla 2. Resumen del ensayo granulométrico de las muestras.

GRANULOMETRÍA			
TAMICES	M1 % pasa	M2 % pasa	M3 %pasa
3/8"	100,00	100,00	100,00
N° 4	98,20	81,20	94,00
N° 10	96,80	59,00	85,60
N° 40	30,40	19,20	30,40
N° 100	12,00	3,80	4,60
N° 200	6,80	1,60	1,00
Módulo de Finura	2,84	2,35	2,56

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

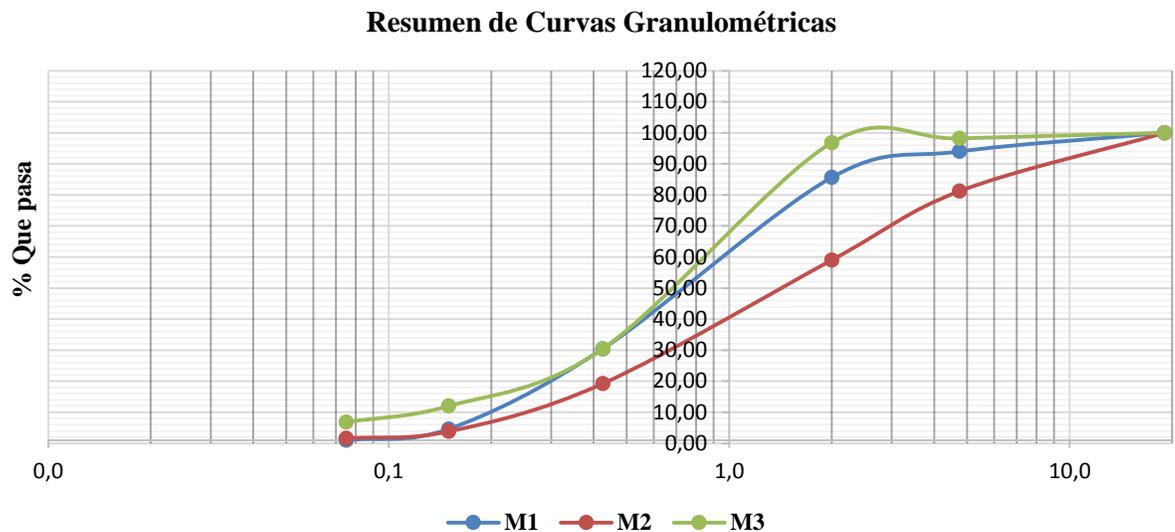


Figura 2. Resumen del ensayo granulométrico de las 3 arcillas.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

En la figura 2 se puede observar que la muestra M1, tiene un alto porcentaje de módulo de finura en cuanto a las muestra M2 y M3, lo que ayuda a tenga una buena trabajabilidad y una buena textura, además se puede observar que la muestra M1, tiene mayor porcentaje de material fino lo que es malo para el mortero ya que mientras más fino sea el material más retracción existe. Además según la norma ASTM-C33 (ASTM, 2000) establece límites para módulo de finura no inferior a 2.3 ni superior a 3.1; lo que significa que las tres muestras están dentro del rango pero las muestras M2 y M3 tienen bajas resistencias.

El ensayo de contenido de humedad se realizó bajo la norma INEN 690 (INEN, 2010), y se obtuvo los siguientes resultados después de realizar los procedimientos antes descrito.

Tabla 3. Resumen del porcentaje de humedad de las arcillas NTE 690 (INEN, 2010).

PORCENTAJE DE HUMEDAD		
M1	M2	M3
23,40	17,40	25,47
% DE HUMEDAD		22,090

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

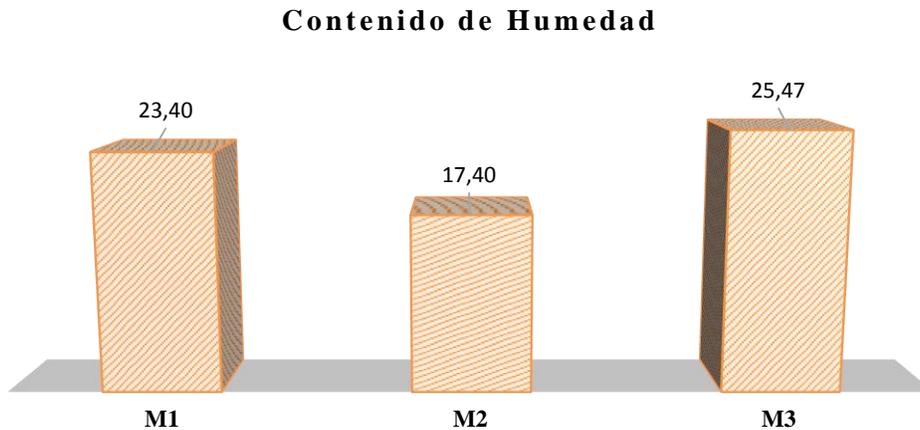


Figura 3. Resumen del ensayo del contenido de humedad de las arcillas.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

En la figura 3 se puede observar que el material con mayor contenido de humedad es la muestra M3, aproximadamente con un 26%, aunque no es muy significativo debemos tomar en cuenta al momento de realizar la dosificación, ya que las muestras al no ser corregidos por agua, pierden resistencia y estas muestras por lo general incorporan agua a la estructura.

De acuerdo al procedimiento antes descrito por la norma INEN 691 (INEN, 2010), se determinó el límite líquido de las muestras.

En el anexo 2 y en las tablas 15,16 y 17, muestran los cálculos del ensayo de límite líquido de las muestras M1, M2 y M3.

Tabla 4. Resumen del límite líquido de las 3 arcillas.

LÍMITE LÍQUIDO					
M1		M2		M3	
N° GOLPES	% HUMEDAD	N° GOLPES	% HUMEDAD	N° GOLPES	% HUMEDAD
5	26,97	7	33,40	10	23,70
15	24,45	17	28,65	17	20,08
22	22,18	28	21,57	16	15,91

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

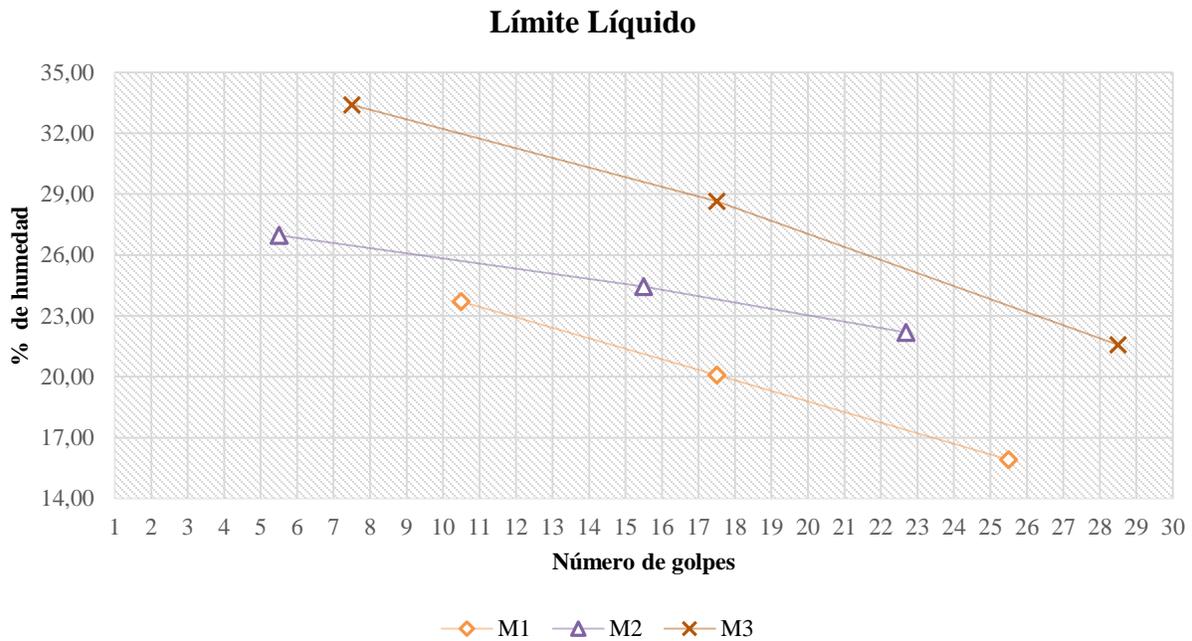


Figura 4. Curvas del límite líquido de las 3 arcillas.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

En la figura 4 se puede observar que la muestra M1 tiene un límite líquido de 17% a los 25 golpes, en cambio la muestra M2 tiene un límite líquido de 21% a la misma cantidad de golpes, y finalmente la muestra M3 tiene un límite líquido de 23,80% a los 25 golpes, es decir las muestras para que sean consideradas como suelos con alto contenido de arcilla deben poseer altos límites líquidos y plásticos, de esta manera se puede deducir que las muestras M2 como M3 son considerados como arcilla-limoso debido a su textura y moderada consistencia, en cambio la muestra M1 se considera como un material limoso.

En el anexo 3 y en las tablas 18,19 y 20, se muestran los cálculos del ensayo de límite plástico de las muestras M1, M2 y M3. Después de realizar el procedimiento para el ensayo de límite plástico bajo la norma INEN 692 (INEN, 2010), se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 5. Resumen del límite plástico de las 3 arcillas.

LÍMITE PLÁSTICO		
Muestras	Índice de plasticidad (IP)	Límite Plástico
M1	2,87	14,13
M2	17,26	3,74
M3	21,12	2,68

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

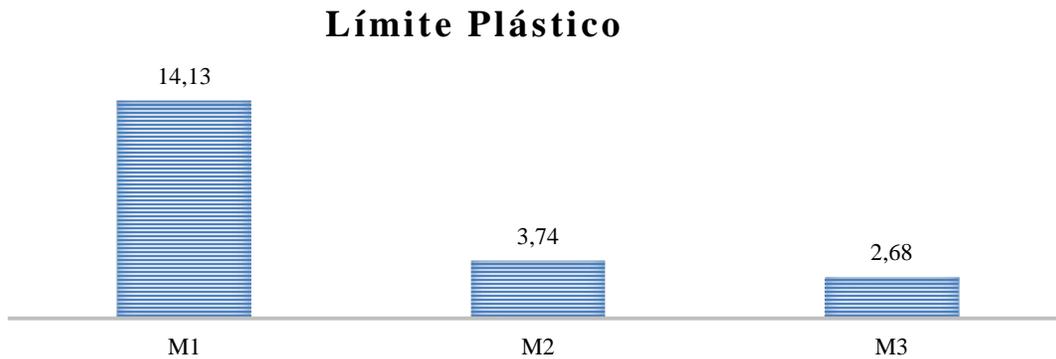


Figura 5. Límite plástico de las arcillas.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

En la figura 5 se puede observar, que las muestras M1, M2 y M3 poseen límites plásticos bajos, las muestras por ende tienen un índice de plasticidad bajo, la muestra M1 tiene un índice de plasticidad bajo considerándose como un suelo limoso, pero tiene una buena composición química que le da buena resistencia y trabajabilidad, por otra parte la muestra M2 tiene un índice de plasticidad mayor que la muestra M1 y es considerado como una arcilla limosa por tener porcentajes de límites líquido y plástico bajos esta muestra tiene una resistencia baja, finalmente la muestra M3, tiene un índice de plasticidad superior a las dos muestras anteriores y es también considerado como una arcilla limosa, de baja resistencia.

Después de seguir el procedimiento para determinar el límite de contracción descrito anteriormente, mediante la norma ASTM D-427 (INEN, 2010), se pudo obtener los siguientes resultados. En el anexo 4 y en las tablas 21,22 y 23, muestran los cálculos del ensayo de límite de contracción de las muestras M1, M2 y M3.

Tabla 6. Resumen del límite de contracción de las arcillas.

LÍMITE DE CONTRACCIÓN		
M1%	M2 %	M3%
63,69	39,37	37,81

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

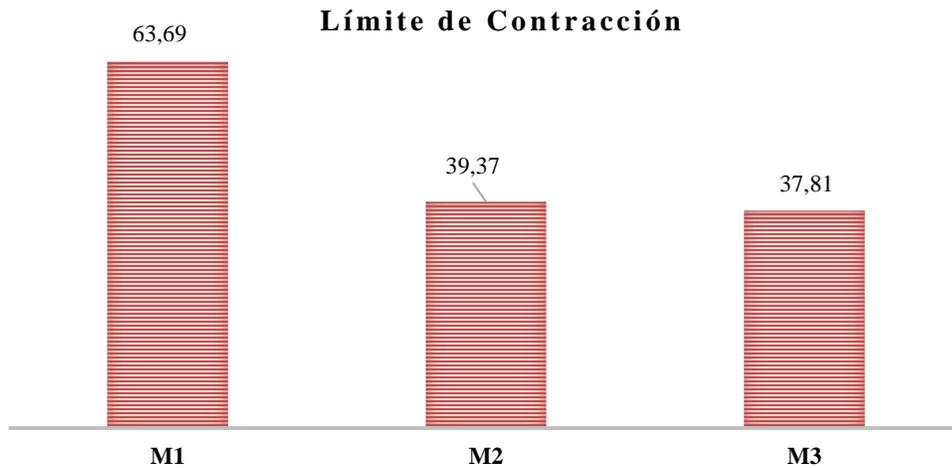


Figura 6. Límite de contracción de las arcillas.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Una de las principales causas de la rotura o fisuras de los morteros es la contracción ya que, si excede del 3 % al 6%, se genera fisuras y pierde el tamaño original.

En la figura 6, se puede observar que las muestras M1, M2 y M3, no tienen el porcentaje de límite de contracción establecido, esto es debido a que las muestras se encontraban en estado seco, siendo la muestra M1, con mayor porcentaje de contracción esto también depende de la

cantidad de material fino que tenga, ya que a mayor cantidad de suelo fino mayor retracción posee, esto es malo para los morteros ya que puede existir fisuras y baja resistencia.

La caracterización química de las arcillas se realizó mediante fluorescencia de rayos x, los análisis químicos elementales de las tres arcillas se presentan en la tabla 7. Teniendo en cuenta que para la fabricación materiales de construcción, deben tener un contenido de SiO₂ entre 50 y 60%, así como entre 20 y 30 % de Al₂O₃, la arcilla M3, por sí sola, no es la más apropiada para la fabricación de este tipo de morteros, porque no alcanza el nivel de Al₂O₃ requerido. (Nime Ramirez, Bravo Cabrejos, Mejia Santillán, & Silva Valdiviezo, 2011)

Después de haber realizado el ensayo de fluorescencia por rayos x se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 7. Composición química de las arcillas.

M1		M2		M3	
Compuestos	%	Compuestos	%	Compuestos	%
SiO ₂	39,95%	SiO ₂	57,82%	SiO ₂	65,74%
Al ₂ O ₃	25,57%	Al ₂ O ₃	22,71%	Al ₂ O ₃	16,99%
Fe ₂ O ₃	21,21%	Fe ₂ O ₃	1,17%	Na ₂ O	6,53%
TiO ₂	2,09%	K ₂ O	2,03%	Fe ₂ O ₃	7,89%
MgO	1,23%	TiO ₂	1,03%	CaO	1,09%
Na ₂ O	0,47%	MgO	0,78%	TiO ₂	0,42%
CaO	0,40%	Na ₂ O	6,70%	K ₂ O	0,16%
MnO	0,35%	CaO	0,40%	ZrO ₂	0,02%
K ₂ O	0,14%	P ₂ O ₅	0,15%	SO ₃	0,02%
SO ₃	0,11%	BaO	8,00%	MnO	0,01%
V ₂ O ₅	0,05%	MnO	0,06%	Cl	0,01%
Cr ₂ O ₃	0,05%	V ₂ O ₅	0,04%	SrO	100 PPM%
P ₂ O ₅	0,04%	ZrO ₂	0,03%		
CuO	0,04%	SO ₃	0,02%		
NiO	0,02%	ZnO	0,02%		
ZnO	0,02%	Cr ₂ O ₃	0,02%		
ZrO ₂	0,01%	SrO	1,00%		
Ga ₂ O ₃	38PPM%	Rb ₂ O	1,00%		

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

En general se observa mayor concentración de silicio, aluminio y hierro en todas las muestras. Además, se puede apreciar que la composición química de estas tres arcillas no se aleja

mucho del rango óptimo, Por su parte, la arcilla M1 y M2, por su composición química, podría utilizarse. De esta manera el silicio es considerado como un vidrio y no le afecta a la muestra, el aluminio en cambio favorece al mortero haciéndolo más liviano además se le considera un metal noble ya que no se oxida, el sodio no afecta al mortero, pero si se considera realizar un hormigón afecta al acero, el hierro en cambio le da buena resistencia a la muestra. Por esta razón la muestra M1, es la muestra que tiene más resistencia ya que contiene más porcentaje de hierro, no tanta así las muestras M2 y M3 ya que tiene menor porcentaje de hierro y presentan menor resistencia.

Además de la resistencia el hierro es considerado un agente colorante más común en las arcillas, resaltando así dos factores que determinan el color como: la cantidad de hierro presente o la presencia de otra sustancia como el titanio y el calcio. Esta propiedad es importante ya que permite controlar las cualidades de trabajo por ejemplo la propiedad plástica de una arcilla puede ser muy diferente dependiendo si el sodio Na o el calcio Ca que posea. (Cañón Bermúdez, 2012)

De acuerdo con los criterios definidos en la metodología se realizan los ensayos con el equipo de Vicat de los diferentes morteros, para determinar los tiempos en la que las diferentes pastas comienzan a fraguar. En la tabla 8 se resumen los distintos morteros formados por diferentes arcillas, con un tipo aditivo, con sus correspondientes tiempos de inicio de fraguado. En el anexo5 y en las tablas 24 y 25 se puede observar los resultados con más detalles. Considerando a las muestras M1, M2 y M3 con aditivo y representándolos de la siguiente manera a cada muestra M1-CA, M2-CA y M3-CA y a la muestra sin aditivo como M1-SA, M2-SA y M3-SA respectivamente.

Tabla 8. Tiempo de inicio de fraguado de los 3 morteros

MORTERO	TIPO DE ADITIVO	CANTIDAD DE ADITIVO		TIEMPO DE INICIO DE FRAGUADO (min)
		Peso (gr/l)	% peso cemento	
M1-CA	plastificante	15	3%	30 min
M2-CA	plastificante	15	3%	50 min
M3-CA	plastificante	15	3%	105 min
M1-SA	-	-	-	45 min
M2-SA	-	-	-	110 min
M3-SA	-	-	-	145 min

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

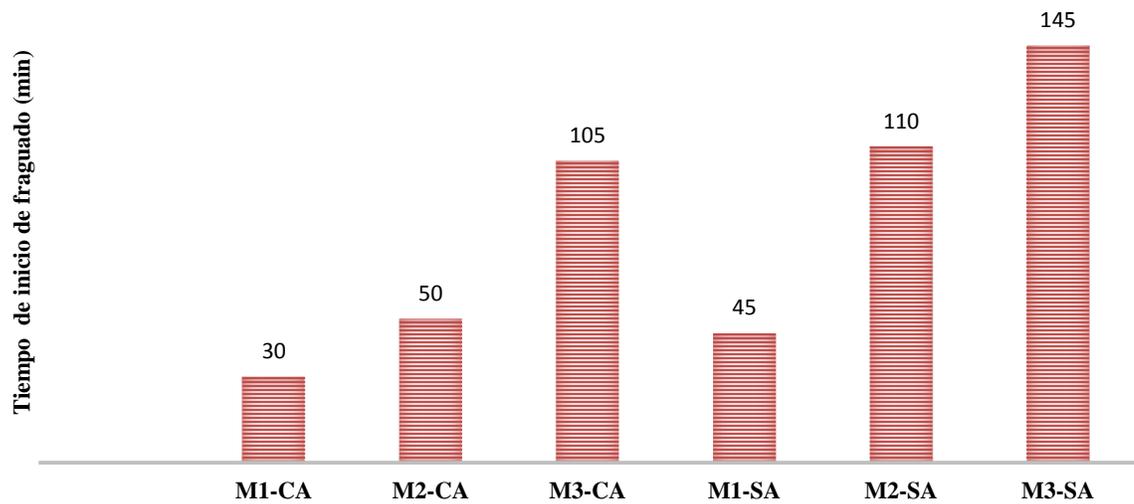


Figura 7. Tiempo de inicio de fraguado de los diferentes morteros.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Como se puede observar en la figura 7, la muestra M1-CA tiene un menor inicio de fraguado, lo que es bueno porque se encuentra en el rango óptimo descrito por la literatura que es de 15 a 25 minutos, esto hace que el mortero tenga buena trabajabilidad y no exista escurrimiento, al igual que la muestra M1-SA tiene un inicio de fraguado considerable porque mucho de estas tecnologías dependen del proceso con el que se vaya a imprimir el material.

Para la determinación de la trabajabilidad de las muestras se elaboró morteros sin aditivo con las 3 arcillas, estableciendo ciertos tiempos de levantamiento del cono troncocónico

normalizado como se muestra en la tabla 9 y los morteros con aditivos se puede observar los resultados en la tabla 10. Los resultados de ambos tipos de morteros se observan por separados a continuación.

Tabla 9. Diámetros estabilizados para evaluar la trabajabilidad.

MORTERO	% ADITIVO	TIEMPO (min)	DIÁMETRO(cm)
M1-SA	0%	1min	18
		2 min	18
		4 min	17
		6 min	16
M2-SA	0%	1min	14,5
		2 min	13
		4 min	12
		6 min	11,5
M3-SA	0%	1min	15,5
		2 min	15
		4 min	14,5
		6 min	14

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

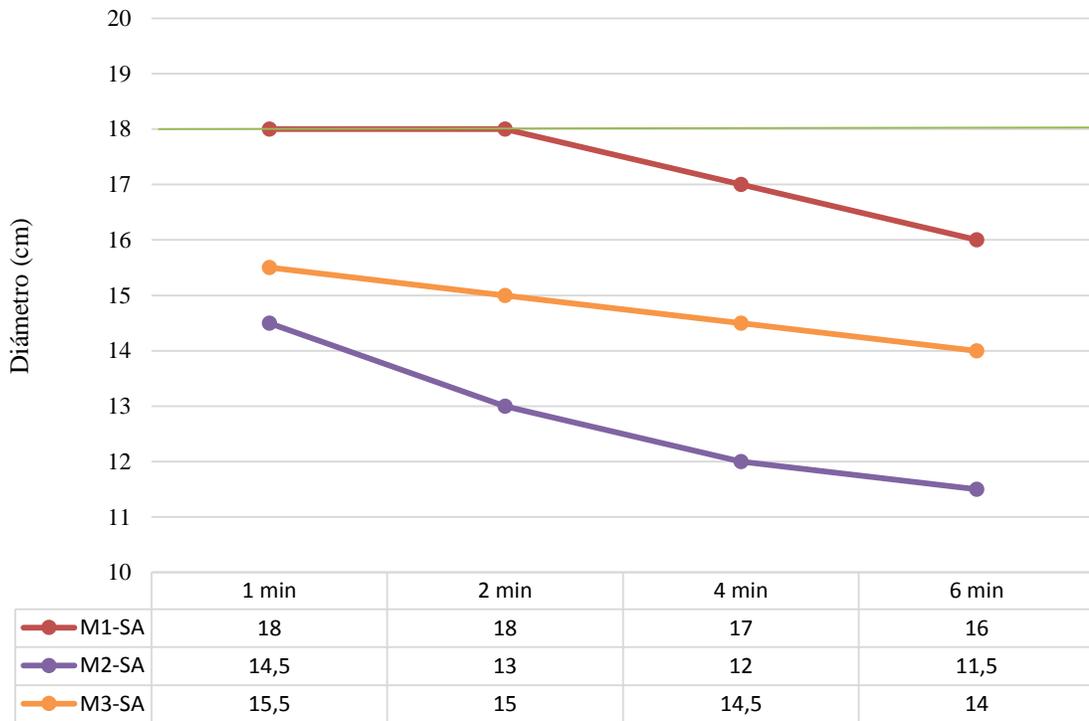


Figura 8. Trabajabilidad de los morteros sin aditivo.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Como se observa en la figura 8, la muestra M1-SA presenta mayor diámetro, estabilizado que la M2-SA y M3-SA. Las curvas de trabajabilidad definidas tras los resultados obtenidos tienen tendencia a seguir disminuyendo con el tiempo, lo que significa que sigue habiendo escurrimiento y no hay estabilización de la mezcla de forma inmediata, eso depende del tiempo de fraguado ya que mientras más se demore en fraguar más escurrimiento existe. Además, la figura también muestra mayor escurrimiento en los morteros sin acelerador, que es mayor cuando menos cantidad de acelerador de fraguado posea la mezcla. Los morteros con menores escurrimientos son los que poseen mayor cantidad de acelerador de fraguado

Tabla 10. Morteros con aditivo y el diámetro estabilizado para evaluar la trabajabilidad.

MORTERO	% ADITIVO	TIEMPO (min)	DIÁMETRO(cm)
M1-CA	3%	1 min	15
		1,5 min	17
		2 min	17
		3 min	18
		5 min	18
M2-CA	3%	1 min	12
		1,5 min	12
		2 min	12
		3 min	13
		5 min	14
M3-CA	3%	1 min	10,5
		1,5 min	10,5
		2 min	10,5
		3 min	11
		5 min	12,5

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

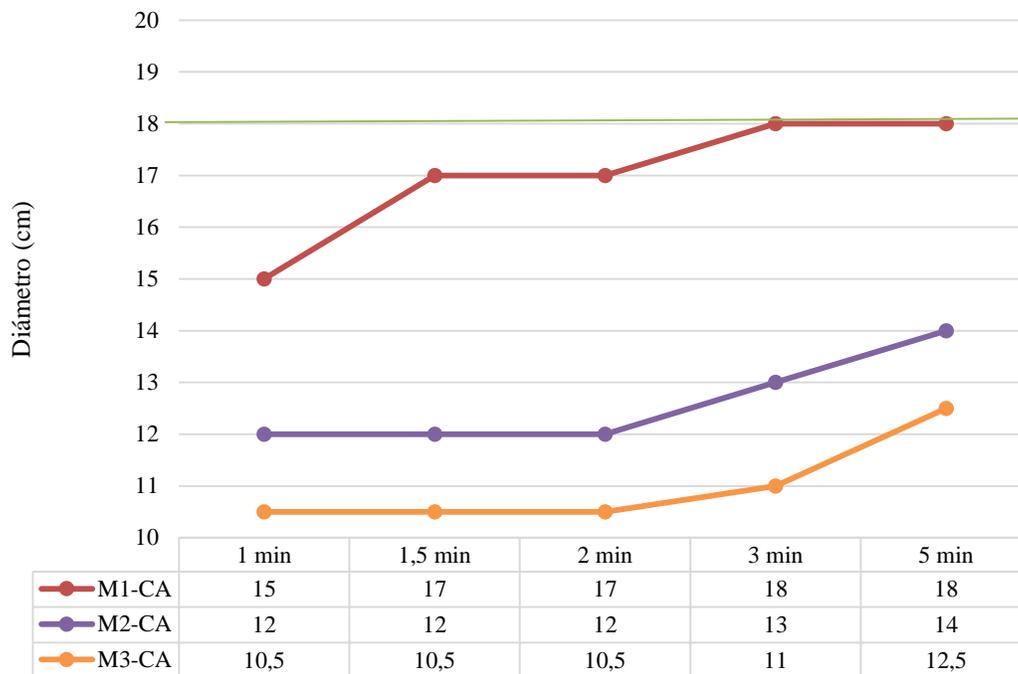


Figura 9. Trabajabilidad de los morteros con aditivo.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Como ilustra la figura 9, las curvas de trabajabilidad definidas tras los resultados obtenidos tienen tendencia a seguir aumentando con el tiempo, lo que significa que ya no hay escurrimiento y tiene una estabilización de la mezcla de forma inmediata. De esta manera la muestra M1-CA presenta buena trabajabilidad llegando a un diámetro de 18 cm cumpliendo con lo establecido que es de 15 cm, considerado como un diámetro mínimo para una buena trabajabilidad ya que esta muestra tiene un tiempo de fraguado de 30 minutos lo que significa que mientras menor inicio de fraguado existe, adquiere buena estabilidad y menor escurrimiento, hay que tener en cuenta que la trabajabilidad depende del porcentaje de acelerador de fraguado ya que si poseen mayor cantidad de aditivo plastificante los morteros poseen menor escurrimiento.

Además de la evaluación de la trabajabilidad se ensayan las probetas con morteros a compresión para evaluar las resistencias de las mezclas a corto y largo plazo (6, 9, 12 y 24 horas

para corto plazo y 7,14,21, y 28 días para largo plazo). De los 24 morteros realizados se emplean 12 para morteros sin aditivo y 12 para morteros con acelerador de fraguado (4 para cada muestra).

En primer lugar, se obtiene de las muestras M1-CA, M2-CA, M3-CA, M1-SA, M2-SA. Y M3-SA, la evolución de la resistencia a compresión en Megapascal (Mpa) resultado de ensayar 3 probetas par cada mortero con una cantidad total de 72 morteros (36 para pastas sin aditivo, 12 para M1-SA, M2-SA y M3-SA respectivamente y 36 para pastas con aditivo, 12 para M1-CA, M2-CA, M3-CA). Los resultados obtenidos de cada uno de los morteros ensayados a compresión se muestran en las figuras 10.

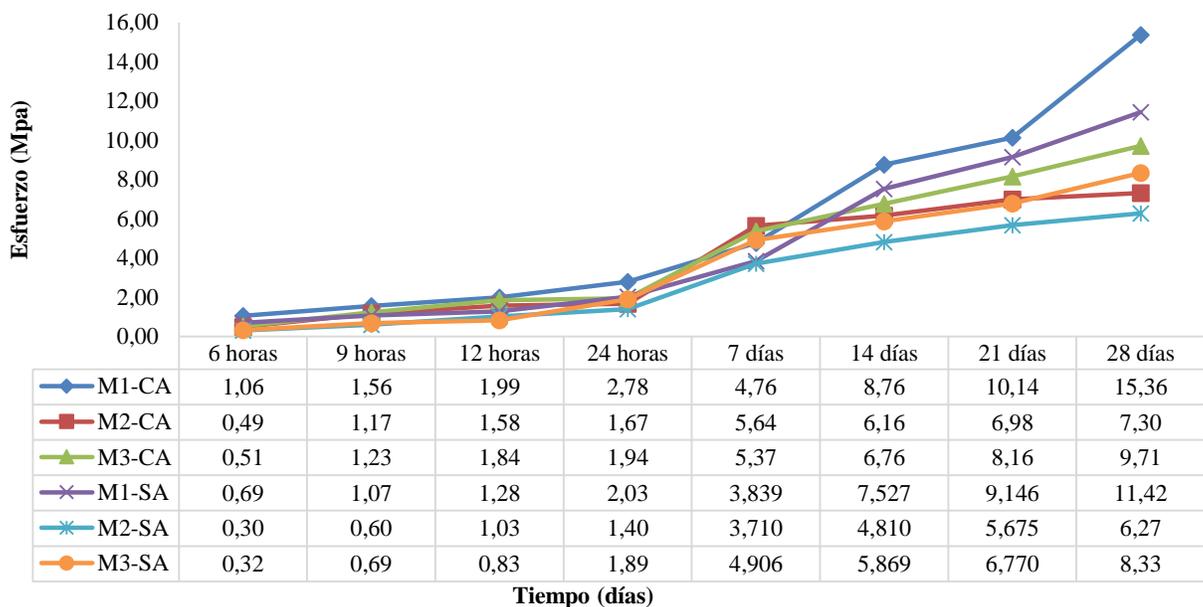


Figura 10. Evolución de las resistencias a compresión.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

En la figura 10 se indica los resultados de los morteros ensayados a compresión, al analizar la resistencia a tiempos cortos, se obtienen resistencias bajas, concretamente en los morteros con 0 % acelerador de fraguado para las 6,9,12 y 24 horas.

En cuanto a las resistencias a tiempos largos ensayadas a compresión, las resistencias aumentan conforme pasa el tiempo y la cantidad de acelerador de fraguado que se incorpore lo cual fue de 3%. Obteniendo así que la muestra M1-CA tiene una resistencia de 15,36 Mpa con el acelerador de fraguado y la muestra M1-SA tiene una resistencia de 11,42 Mpa sin acelerador de fraguado.

Tabla 11. Resumen de Resultados y Discusión.

PROPIEDADES	IMPRESORAS 3D	M1	M2	M3
Inicio de Fraguado	15 a 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 % a 6%	63,69	39,37	37,81
Resistencia		15,36 Mpa	7,30 Mpa	9,71 Mpa

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

En la tabla 11 se puede observar que el material M1 aproximadamente cumple con los parámetros requerido para ser usados en impresoras 3D, ya que en la determinación del inicio de fraguado excede un rango mínimo de 5 min, esto no quiere decir que sea malo porque todo depende del proceso constructivo que tiene cada tecnología.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue diseñar un mortero con arcillas y cemento portland tipo 1, para impresoras 3D. Luego de realizar los ensayos y análisis de tres tipos de morteros con 3 arcillas, se logró determinar que el mortero proveniente de la mina Cochancay (Cemento Chimborazo M1), cumple con los requerimientos o parámetro, de plasticidad, límite líquido, resistencia, trabajabilidad y tiempo de fraguado, lo que hace estimar que dichos morteros tienen características prometedoras como material imprimible.

Un inconveniente común que presentaron todos los morteros ensayados es el límite de contracción o retracción mayor al 3%, debido a que se usó el material seco, lo que hace que cambie sus propiedades para lo que se requiere que el material se encuentre con un contenido de humedad óptimo, ya que al momento de ser producido en sitio puede presentar fisuras y una contracción importante que le haga perder su forma inicial de impresión.

6.1.Recomendaciones

Este proyecto, corresponde a una fase inicial de investigación en la que se elaboraron diferentes dosificaciones de morteros para impresoras 3D, con arcillas para estudiar propiedades físicas, químicas, sin embargo, el número de muestras es pequeña, lo que hace falta más muestras para confirmar los hallazgos.

Finalmente hay que investigar el tema de la retracción ya que no cumple con los parámetros sugeridos, además de buscar la forma de reducirla.

7 BIBLIOGRAFÍA.

- Valenzuela Soto, A., Tiburcio Munivé, G., Sáñez Aguilar, M., & Burgos Flores, D. (2008). Dialnet. Obtenido de Estabilización de un material arcilloso con cal, zeolita y cemento portland para su uso en mampostería.
- ASTM. (2000). Analisis Granulometricopor tamizado. En A. S. Materials.
- ASTM. (2006). Determinacion del Limite de Contraccion. En A. S. Materials.
- Bermejo Nuñez, E. B., Galvez Ruiz, J. C., & Fernandez Canovas, M. (2010). Retracción y fluencia de hormigón autocompactante de resistencia moderada. Iberica.
- Calderón Avendaño, A. A. (2012). Democratización de la impresión 3D con fotopolímeros.
- Cañón Bermúdez, J. D. (2012). Caracterización físico - química y mineralógica de morteros de cal empleados en puentes históricos de arco de ladrillo en la región del alto Cauca (Colombia) .
- Castaño, J. O. (2009). Fluencia y Retraccion de Hormigon de Aridos reciclados.
- Castillo Lara, R., & Alujas Díaz, A. (Abril de 2011). Scielo. Obtenido de Estudio de la adición de arcillas calcinadas en la durabilidad de hormigones.
- Chiguay , J. E. (2007). Analisis de Morteros Blancos.
- ClarínArq. (22 de Mrzo de 2017). Clarin.com Arq Construcciones. Obtenido de Clarin.com Arq Construcciones: https://www.clarin.com/arq/construccion/impresora-3d-construyo-casa-24-horas-40-barata_0_r1qb2nTjg.html
- Dini, E. (21 de Abril de 2010). D-Shape: Una enorme impresora 3D. Obtenido de D-Shape: Una enorme impresora 3D: D-Shape_%20Una%20enorme%20impresora%203D%20-%20NeoTeo.

- Echeverría Melo , N. A. (2014). Evaluación de diferentes adicionales frente a su capacidad para fijar ión cloruro en morteros.
- Gil, I. (2015). La Impresión 3D.
- Gomez Quiñonez, D. R., Flores Arambulo, J. R., & Rada Valdivieso, J. A. (2011). Elaboración y uso de Bloques de hormigón y bloques de arcillas en mampostería. Guayaquil.
- González de la Cadena, J. F. (2016). Estudio del mortero de pega usado en el cantón Cuenca. propuesta de mejora, utilizando adiciones de cal.
- INEN. (2010). Determinación del contenido de Agua.
- INEN. (2010). Determinación del Límite Plástico. En N. T. Ecuatoriana.
- INEN, N. (2009). Determinación de la Consistencia Normal, Método Vicat.
- INEN, N. (2010). Determinación del Límite Líquido; Método Casa Grande.
- INEN, N. E. (2009). Retracción y fluencia de hormigón autocompactante de resistencia moderada.
- Mella Stappung, A. (2004). Estudio, caracterización y evaluación de puzolnas locales en la masa cerámica del ladrillo.
- 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. Riobamba.
- Nime Ramirez, F. E., Bravo Cabrejos, J. A., Mejía Santillán, M. E., & Silva Valdiviezo, D. (2011). Caracterización mineralógica de la fracción arcillosa de vertisols de la parcela de la Universidad Nacional de Piura, San Lorenzo, Piura.
- NTE. (2010). NORMA INEN 856. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0856.2010.pdf>

Ñunez, E., Ruiz, J., & Fernandez, M. (2010). Retracción y fluencia de hormigón autocompactante de resistencia moderada .

Rodriguez, C. (2013). Los morteros, control de calidad.

Tecnico, B. (2014). Bentonica Sodica y Calcica.

Toirac Corral , J. (2008). El suelo-cemento como material de construccion.

Torres Remón, R. (2016). Diseño de hormigon para impresoras 3D.

UCEM. (2016). Procedimiento para la Determinacion de la Humedad. En C. Chimborazo.

Uribe, R. (2015). Investigaciones de Materias Primas Minerales No Metálicas en el Ecuador. Quito: Revista Politecnica.

Vazhnov, A. (2016). Impresion 3D.

Villalaz, c. (2011). Google books. Obtenido de mecanica de suelos y cimentaciones.

8 ANEXOS

Anexo 1. Granulometría.

Tabla 12. Datos Granulométricos- Arcilla mina Cochancay (M1).

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
Muestra (M1)	Mina Cochancay	Fecha de Muestreo	12/062017 (14:00)			
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	13/062017 (14:15)			
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
Tamices	Retenido Parcial + Recipiente (g)	Retenido Parcial - Recipiente (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
3/8"	450	0	0,00	100,00	100	100
N° 4	544	94	18,80	81,20	95	100
N° 10	561	111	41,00	59,00	50	85
N° 40	649	199	80,80	19,20	10	60
N° 100	527	77	96,20	3,80	2	30
N° 200	461	11	98,40	1,60	0	10
Bandeja	458	8	100,00	0,00		
Total		500				
Módulo de finura		3,35				

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

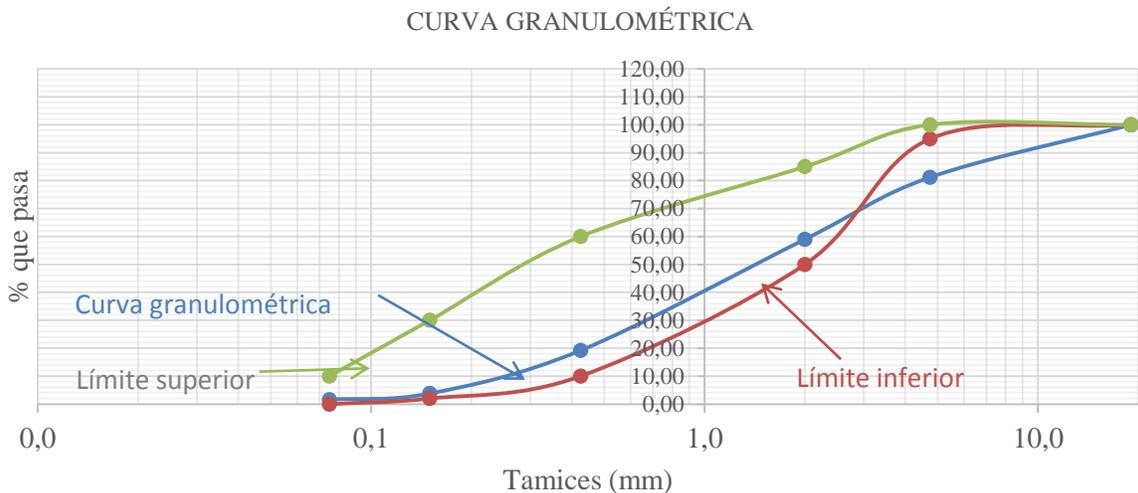


Figura 11. Curva Granulométrica Mina Cochancay.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 13. Datos Granulométricos- Arcilla mina Santa Clara (M2).



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



Muestra (M2)	Mina Santa Clara	Fecha de Muestreo	12/062017 (14:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	13/062017 (14:15)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE RESULTADOS

Tamices	Retenido Parcial + Recipiente (g)	Retenido Parcial - Recipiente (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
3/8"	234	0	0,00	100,00	100	100
N° 4	243	9	1,80	98,20	95	100
N° 16	241	7	3,20	96,80	50	85
N° 40	566	332	69,60	30,40	10	60
N° 100	326	92	88,00	12,00	2	30
N° 200	260	26	93,20	6,80	0	10
Bandeja	268	34	100,00	0,00		
Total		500				
Módulo de finura		2,56				

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

CURVA GRANULOMÉTRICA

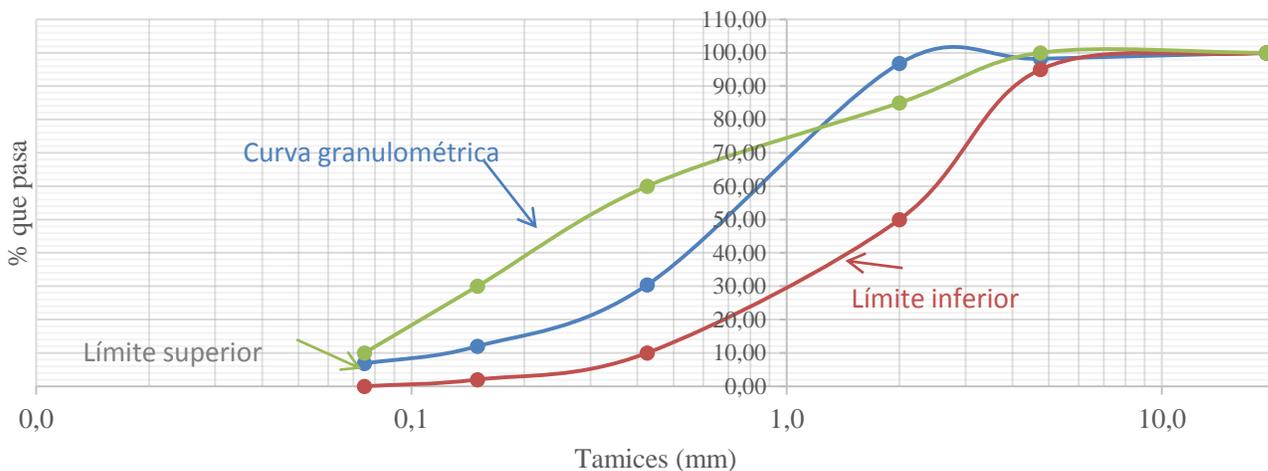


Figura 12. Curva Granulométrica Mina Santa Clara.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 14. Datos Granulométricos- Arcilla mina Shirahuan (M3).



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



Muestra (M1)	Mina Cochancay	Fecha de Muestreo	12/062017 (14:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	13/062017 (14:15)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE RESULTADOS

Tamices	Retenido Parcial + Recipiente (g)	Retenido Parcial - Recipiente (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
3/8"	165	0	0,00	100,00	100	100
N° 4	195	30	6,00	94,00	95	100
N° 10	207	42	14,40	85,60	50	85
N° 40	441	276	69,60	30,40	10	60
N° 100	294	129	95,40	4,60	2	30
N° 200	183	18	99,00	1,00	0	10
Bandeja	170	5	100,00	0,00		
Total		500				
Módulo de finura	2,84					

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

CURVA GRANULOMÉTRICA

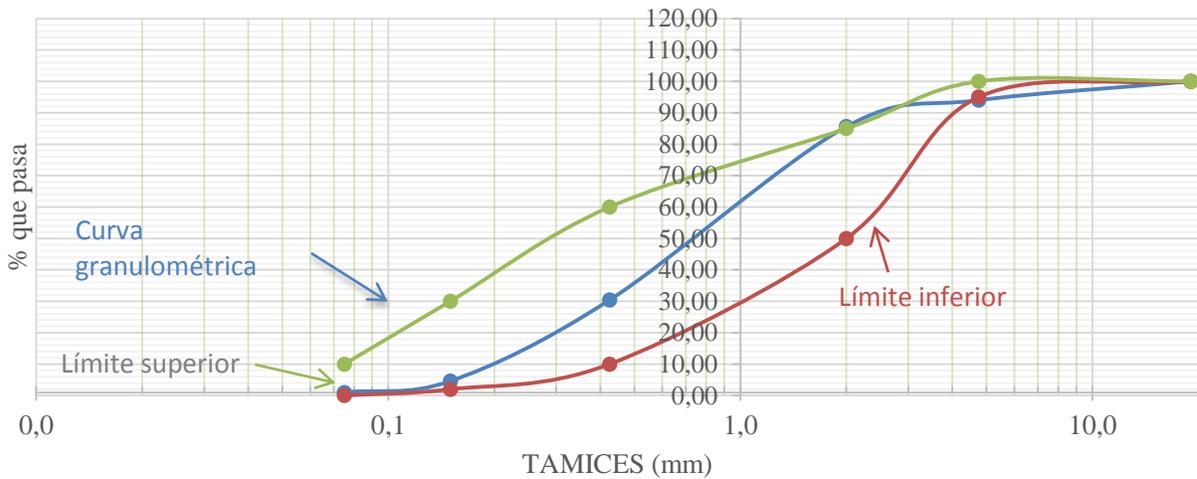


Figura 13. Curva Granulométrica Mina Shirahuan.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Anexo 2. Límite Líquido bajo la norma INEN 691 (INEN, 2010).

Tabla 15. Datos Límite Líquido - mina Cochancay (M1).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Muestra (M1)	Mina Cochancay	Fecha de Muestreo	08/06/2017 (11:30)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	08/06/2017 (13:00)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE RESULTADOS

INTERVALO	5 - 15		16 - 25		26 - 35		36-45	
Nº GOLPES	5		15		27		31	
RECIPIENTES	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4	Tara 5	Tara 6	Tara 7	Tara 8
Masa Rec (g)	18,1	18,0	18,3	18,0	18,2	18,4	18,2	18,3
Masa Rec + Mn (g)	25,1	23,7	23,2	23,3	23,5	24,1	23,1	23,5
Masa Rec+Ms (g)	23,6	22,5	22,2	22,3	22,6	23,0	23,4	22,1
Masa Húmeda (g)	7,0	5,7	4,9	5,3	5,3	5,7	4,9	5,2
Masa Seca (g)	5,5	4,5	3,9	4,3	4,4	4,6	5,2	3,8
% Humedad	27,27	26,67	25,64	23,26	20,45	23,91	5,77	36,84
% Humedad Promedio	26,97		24,45		22,18		15,54	

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

LÍMITE LÍQUIDO

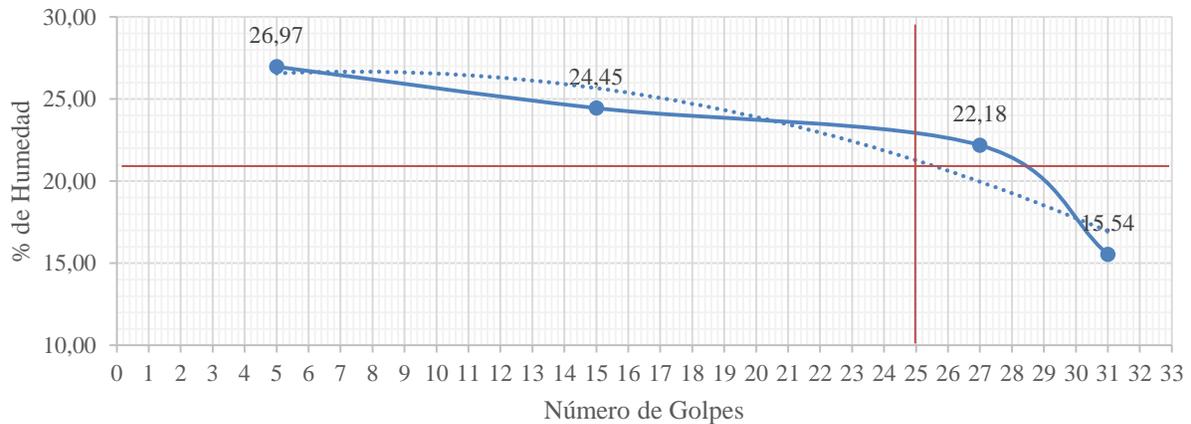


Figura 14. Límite Líquido de la Mina Cochancay.
Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 16. Datos Límite Líquido- mina Santa Clara (M2).



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



Muestra (M2)	Mina Santa Clara	Fecha de Muestreo	08/06/2017 (13:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	08/06/2017 (15:30)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE RESULTADOS						
INTERVALO	5 - 15		15 - 25		25 - 35	
Nº GOLPES	7		17		28	
RECIPIENTES	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4	Tara 5	Tara 6
Masa Rec (g)	18,1	18,2	18,3	18,0	18,2	18,1
Masa Rec + Mn (g)	25,1	24,2	23,8	23,0	23,6	24,0
Masa Rec+Ms (g)	23,6	22,5	22,2	22,3	22,6	23,0
Masa Húmeda (g)	7,0	6,0	5,5	5,0	5,4	5,9
Masa Seca (g)	5,5	4,3	3,9	4,3	4,4	4,9
% Humedad	27,27	39,53	41,03	16,28	22,73	20,41
% Humedad Promedio	33,40		28,65		21,57	

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

LÍMITE LÍQUIDO

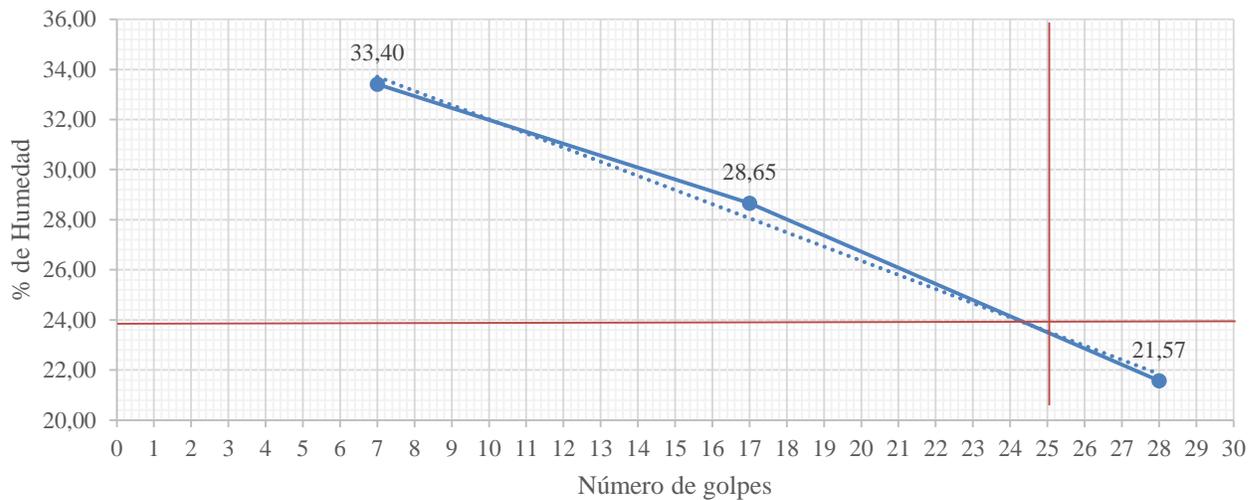


Figura 15. Límite Líquido -Mina Santa Clara

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 17. Datos Límite Líquido- mina Shirahuan (M3).



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



Muestra (M3)	Mina Shirahuan	Fecha de Muestreo	12/062017 (14:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	13/062017 (14:15)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE RESULTADOS

INTERVALO	5 - 15		16 - 25		26 - 35		36-45	
Nº GOLPES	10		17		25		30	
RECIPIENTES	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4	Tara 5	Tara 6	Tara 5	Tara 6
Masa Rec (g)	18,0	18,1	14,6	14,9	18,6	18,7	18,3	18,4
Masa Rec + Mn (g)	23,8	24,3	20,8	20,1	24,5	25,9	24,5	25,9
Masa Rec+Ms (g)	22,7	23,1	19,8	19,2	23,7	24,9	23,7	24,9
Masa Húmeda (g)	5,8	6,2	6,2	5,2	5,9	7,2	6,2	7,5
Masa Seca (g)	4,7	5,0	5,2	4,3	5,1	6,2	5,4	6,5
% Humedad	23,40	24,00	19,23	20,93	15,69	16,13	14,81	15,38
% Humedad Promedio	23,70		20,08		15,91		15,10	

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

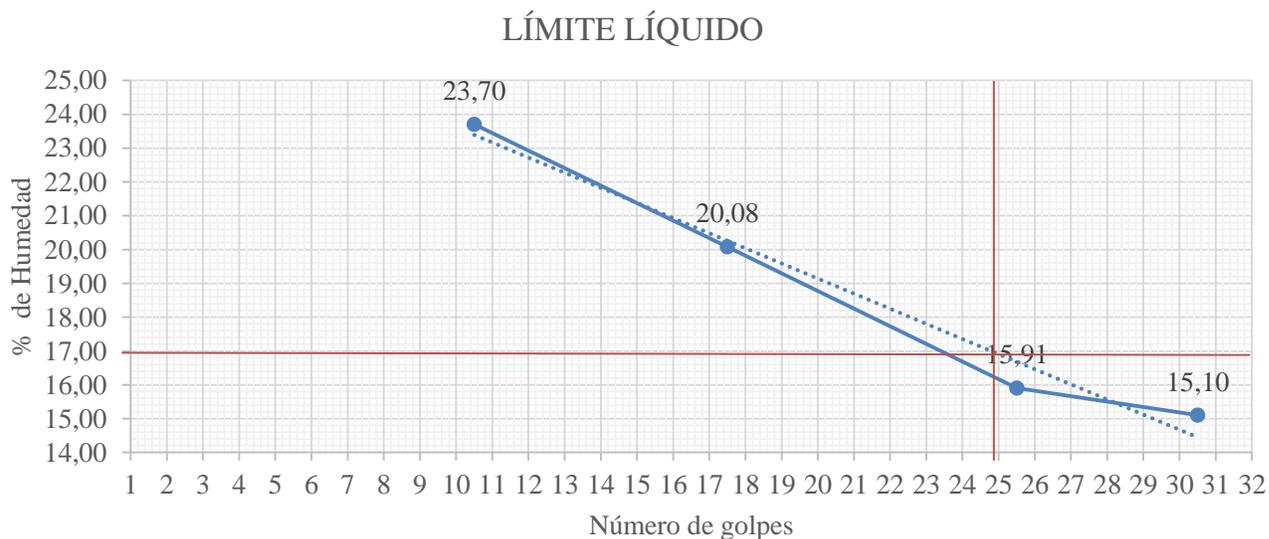


Figura 16. Limite Liquido de la Mina Shirahuan

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Anexo 3. Límite plástico bajo la norma INEN 692 (INEN, 2010).

Tabla 18. Datos Límite plástico- mina Cochancay (M1).

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra (M1)	Mina Cochancay			Fecha de Muestreo	08/06/2017 (11:30)	
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.			Fecha de Ensayo	08/06/2017 (13:00)	
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios			Realizado por	Silvia Chimbolema	
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
Recipientes	Masa Recipiente (g)	Masa R+Mn (g)	Masa R+Ms (g)	Masa Mn (g)	Masa Ms (g)	% Humedad
Tara 1	14,3	19,8	18,9	5,5	4,6	19,6
Tara 2	14,1	19,1	18,7	5	4,6	8,7
Límite plástico	14,13					
ÍNDICE DE PLASTICIDAD						
Límite plástico	14,13					
Límite líquido	17,00		valor de los 25 golpes			
Índice de plasticidad	2,87					
RESULTADO	MATERIAL PLÁSTICO					
Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.						

Tabla 19. Datos Límite plástico- mina Santa Clara(M2).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Muestra (M2)	Mina Santa Clara	Fecha de Muestreo	08/06/2017 (13:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	08/06/2017 (15:30)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE RESULTADOS

Recipientes	Masa recipiente (g)	Masa R+Mn (g)	Masa R+Ms (g)	Masa Mn (g)	Masa Ms (g)	% Humedad
Tara 1	14,1	18,8	18,6	4,7	4,5	4,4
Tara 2	14,5	17,9	17,8	3,4	3,3	3,0
Límite plástico		3,74				

Índice de plasticidad

Límite plástico	3,74	
Límite líquido	21,00	valor de los 25 golpes
Índice de plasticidad	17,26	

Resultado **MATERIAL PLÁSTICO**

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 20. Datos Límite plástico- mina Shirahuan(M3).



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



Muestra (M2)	Mina Santa Clara	Fecha de Muestreo	08/06/2017 (13:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	08/06/2017 (15:30)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE RESULTADOS

Recipientes	Masa recipiente (g)	Masa R+Mn (g)	Masa R+Ms (g)	Masa Mn (g)	Masa Ms (g)	% Humedad
Tara 1	14,3	18,7	18,6	4,4	4,3	2,3
Tara 2	14,4	17,8	17,7	3,4	3,3	3,0
Límite plástico	2,68					

Índice de plasticidad

Límite plástico	2,68	
Límite líquido	23,80	valor de los 25 golpes
Índice de plasticidad	21,12	

Resultado	MATERIAL PLASTICO
-----------	-------------------

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Anexo 4. Límite de Contracción bajo la norma ASTM D-427 (ASTM, 2006).

Tabla 21. Datos Límite contracción – mina Cochancay (M1).



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



Muestra (M1)	Mina Cochancay`	Fecha de Muestreo	22/08/2017 (09:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	23/08/2017 (09:00)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE RESULTADOS

1. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO HÚMEDO

DATOS	PESO	UNIDAD
Peso de la cápsula de contracción con Hg (Wchg)	283,3	gr
Peso de la cápsula de contracción (Wc)	22	gr
Peso del Hg (WHg)	261,3	gr
Densidad del Hg	13,57	gr/cm3
Volumen de la muestra. (Vm)	19,26	cm3

2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

DATOS	PESO	PESO	UNIDAD
Recipiente #	1	2	
Peso suelo húmedo + recipiente Wm+Wr	23,2	23,5	gr
Peso suelo seco + recipiente Ws +Wr	16,8	17,1	gr
Peso del recipiente Wr	7,4	7,4	gr
Peso de Agua Ww	6,4	6,4	gr
Peso muestra seca Ws	9,4	9,7	gr
Contenido de humedad w%=100 Ww/Ws	68,09	65,98	%
Promedio W%	67,04		%

3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO

DATOS	PESO	UNIDAD
Peso de lucita lleno de Hg. (WHg)	742,4	gr
Peso cristal de lucita con desalojo de Hg. (Wdes.Hg)	485,4	gr
Peso de Hg desalojado (Wdes.Hg)	257	gr
Densidad del Hg	13,57	gr/cm3
Volumen del Suelo contraído	18,94	cm3

4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN

Lc= 63,69

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 22. Datos Límite contracción – mina Santa Clara (M2).



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



Muestra (M2)	Mina Santa Clara	Fecha de Muestreo	22/08/2017 (09:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	23/08/2017 (09:00)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE RESULTADOS

1. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO HÚMEDO

DATOS	PESO	UNIDAD
Peso de la cápsula de contracción con Hg (Wchg)	283,2	gr
Peso de la cápsula de contracción (Wc)	21,9	gr
Peso del Hg (WHg)	261,3	gr
Densidad del Hg	13,57	gr/cm ³
Volumen de la muestra. (Vm)	19,26	cm ³

2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

DATOS	PESO	PESO	UNIDAD
Recipiente #	1	2	
Peso suelo húmedo + recipiente Wm+Wr	23,1	23,1	gr
Peso suelo seco + recipiente Ws +Wr	18,6	18,5	gr
Peso del recipiente Wr	7,5	7,4	gr
Peso de Agua Ww	4,5	4,6	gr
Peso muestra seca Ws	11,1	11,1	gr
Contenido de humedad w%=100 Ww/Ws	40,54	41,44	gr
Promedio W%	40,99		gr

3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO

DATOS	PESO	UNIDAD
Peso de lucita lleno de Hg. (WHg)	742,4	gr
Peso cristal de lucita con desalojo de Hg. (Wldes.Hg)	483,5	gr
Peso de Hg desalojado (Wdes.Hg)	258,9	gr
Densidad del Hg	13,57	gr/cm ³
Volumen del Suelo contraído	19,08	cm ³

4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN

Lc= 39,37

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 23. Datos Límite contracción – mina Shirahuan (M3).



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



Muestra (M1)	Mina Cochancay	Fecha de Muestreo	22/08/2017 (09:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	23/08/2017 (09:00)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE RESULTADOS

1. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO HÚMEDO

DATOS	PESO	UNIDAD
Peso de la cápsula de contracción con Hg (Wchg)	283,4	gr
Peso de la cápsula de contracción (Wc)	22	gr
Peso del Hg (WHg)	261,4	gr
Densidad del Hg	13,57	gr/cm ³
Volumen de la muestra. (Vm)	19,26	cm ³

2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

DATOS	PESO	PESO	UNIDAD
Recipiente #	1	2	
Peso suelo húmedo + recipiente Wm+Wr	20,1	20,4	gr
Peso suelo seco + recipiente Ws +Wr	16,4	16,7	gr
Peso del recipiente Wr	7,4	7,5	gr
Peso de Agua Ww	3,7	3,7	gr
Peso muestra seca Ws	9	9,2	gr
Contenido de humedad w%=100 Ww/Ws	41,11	40,22	gr
Promedio W%	40,67		gr

3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO

DATOS	PESO	UNIDAD
Peso de lucita lleno de Hg. (WHg)	742,4	gr
Peso cristal de lucita con desalajo de Hg. (Wldes.Hg)	484,6	gr
Peso de Hg desalajado (Wdes.Hg)	257,8	gr
Densidad del Hg	13,57	gr/cm ³
Volumen del Suelo contraído	19	cm ³

4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN

Lc=	37,81
-----	-------

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Anexo 5. Tiempo de fraguado de las muestras.

Tabla 24. Tiempo de fraguado de las muestras sin aditivo.



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



Muestra (M1 M2 M3)	Mina Cochancay , Mina Santa Clara , Mina Shirahuan.	Fecha de Muestreo	23//06/2017 (08:30)
Ubicación	Laboratorios de Control de Calidad de la Empresa Cemento Chimborazo.	Fecha de Ensayo	23/06/2017 (15:30)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE DATOS

M1		M2		M3	
Hora Elaboración:17:00		Hora Elaboración:11:40		Hora Elaboración:11:00	
Tiempo (h)	Distancia(mm)	Tiempo (h)	Distancia(mm)	Tiempo(h)	Distancia(mm)
17:30	25	1:30	25	13:45	25
17:45	15	1:57	22	2:00	22
18:00	4	2:22	2	2:26	15
18:30	2	2:28	17	2:04	9
19:00	2	2:42	6	2:51	5
19:30	1	2:52	3	3:05	4
20:00	0	3:05	3	3:21	3
		3:20	0	3:30	0

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 25. Tiempo de fraguado de las muestras con aditivo.



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



Muestra (M1 M2 M3)	Mina Cochancay , Mina Santa Clara , Mina Shirahuan.	Fecha de Muestreo	23//06/2017 (08:30)
Ubicación	Laboratorios de Control de Calidad de la Empresa Cemento Chimborazo	Fecha de Ensayo	23/06/2017 (15:30)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE DATOS

M1		M2		M3	
Hora Elaboración:16:00		Hora Elaboración:11:40		Hora Elaboración:11:00	
Tiempo (h)	Distancia(mm)	Tiempo (h)	Distancia(mm)	Tiempo(h)	Distancia(mm)
16:30	25	12:30	25	12:45	25
17:00	12	12:57	21	13:00	21
17:30	2	13:22	20	13:30	16
18:00	2	13:28	15	14:00	11
18:30	1	13:40	8	14:30	8
19:00	0	14:00	5	15:00	6
		14:30	3	15:30	3
		15:00	0	16:00	0

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Anexo 6. Dosificaciones de las muestras.

Tabla 26. Dosificación – mina Cochancay (M1).



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



Muestra (M1)	Mina Cochancay			Fecha de Muestreo	08/08/2017 (09:00)	
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.			Fecha de Ensayo	09/08/2017 (09:00)	
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios			Realizado por	Silvia Chimbolema	
TABULACIÓN DE DATOS						
Recipientes	Masa Rec (g)	Masa Rec + Mn (g)	Masa Rec+Ms (g)	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	% Humedad
Tara 1	7,50	23,10	21,60	16	14,10	10,64
Tara 2	7,40	23,10	21,50	16	14,10	11,35
% Humedad Promedio	10,99					
Total agua (kg)	45,10					
CODIFICACIÓN	CEMENTO (kg)	ARCILLA (kg)	AGUA (kg)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Mpa)		
M1	37,50	250	56,09	15,36		

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 27. Dosificación – mina Santa Clara (M2).



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



Muestra (M2)	Mina Santa Clara	Fecha de Muestreo	08/08/2017 (09:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	09/08/2017 (09:00)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE DATOS

Recipientes	Masa Rec (g)	Masa Rec + Mn (g)	Masa Rec+Ms (g)	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	% Humedad
Tara 1	7,40	23,20	20,80	16	13,40	17,91
Tara 2	7,40	23,50	20,10	16	12,70	26,77
% Humedad Promedio		22,34		TOTAL AGUA (kg)		45,10
CODIFICACIÓN	CEMENTO (kg)	ARCILLA (kg)	AGUA (kg)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Mpa)		
M2	37,50	250	67,44	7,305		

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 28. Dosificación – mina Shirahuan (M3).



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



Muestra (M3)	Mina Shirahuan	Fecha de Muestreo	08/08/2017 (09:00)
Ubicación	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil Unach.	Fecha de Ensayo	09/08/2017 (09:00)
Director del Proyecto	Ing. Javier Palacios	Realizado por	Silvia Chimbolema

TABULACIÓN DE DATOS

Recipientes	Masa Rec (g)	Masa Rec + Mn (g)	Masa Rec+Ms (g)	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	% Humedad
Tara 1	7,40	20,10	18,40	13	11,00	15,45
Tara 2	7,50	20,40	18,70	13	11,20	15,18
% Humedad Promedio		15,32				
Total agua (kg)		45,10				
CODIFICACIÓN	CEMENTO (kg)	ARCILLA (kg)	AGUA (kg)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Mpa)		
M3	37,50	250	60,42	9,715		

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Anexo 7. Compresión de las probetas de morteros a largo plazo

Tabla 29. Datos ensayo a compresión - Mina Cochancay con aditivo (M1).

Resumen Mortero Con Aditivo M1 (Mpa)	
0 días	0
7 días	4,762
14 días	8,76
21 días	10,14
28 días	15,36

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

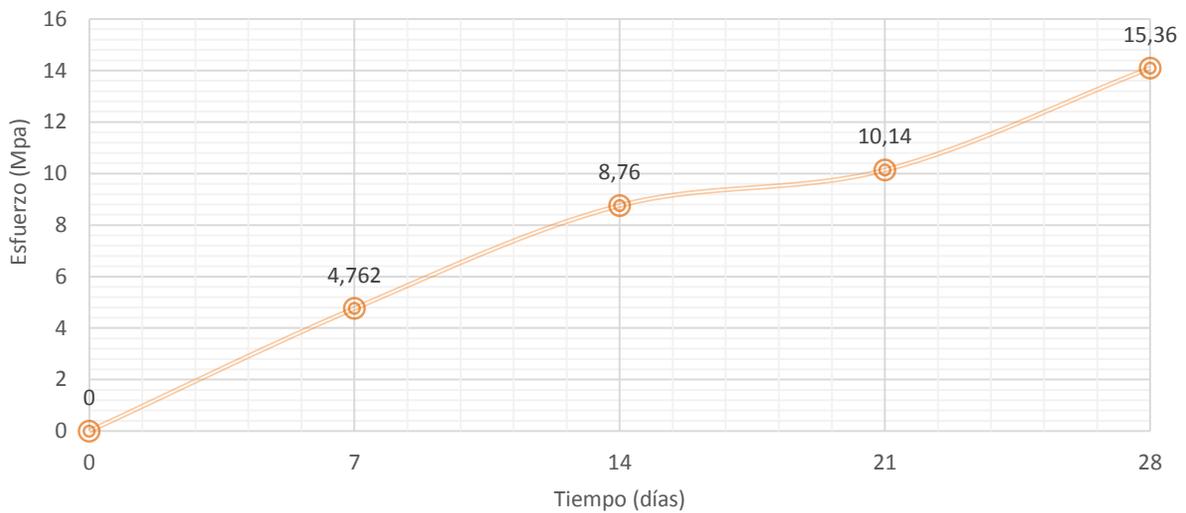


Figura 17. Datos del ensayo a compresión de la Mina Cochancay con aditivo.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 30. Datos ensayo a compresión - mina Santa Clara con aditivo (M2).

Resumen Mortero Con Aditivo M2 (Mpa).	
0 días	0
7 días	5,64
14 días	6,16
21 días	6,98
28 días	7,30

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

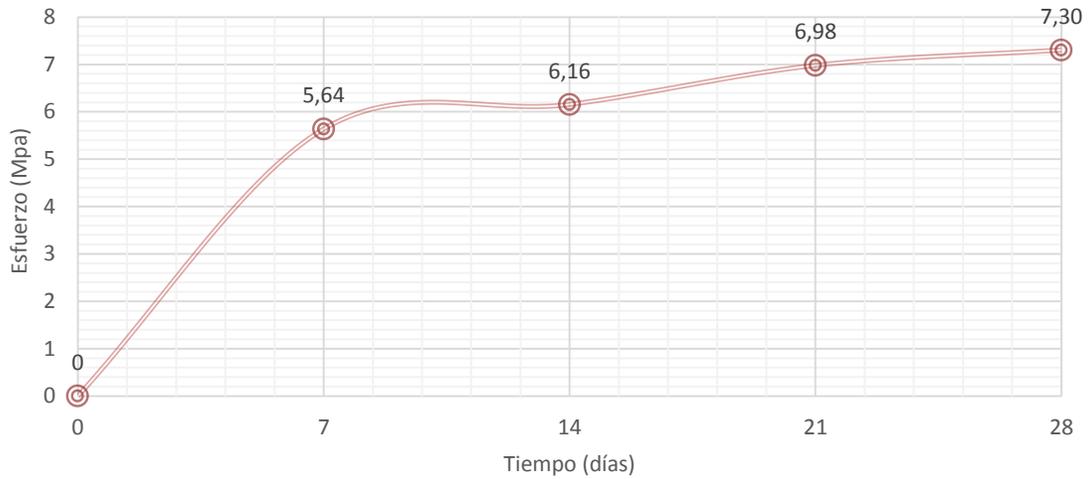


Figura 18. Datos del ensayo a compresión de la Mina Santa Clara con aditivo.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 31. Datos ensayo a compresión - mina Shirahuan con aditivo (M3).

Resumen Mortero Con Aditivo M3 (Mpa)	
0 días	0
7 días	5,37
14 días	6,76
21 días	8,16
28 días	9,71

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

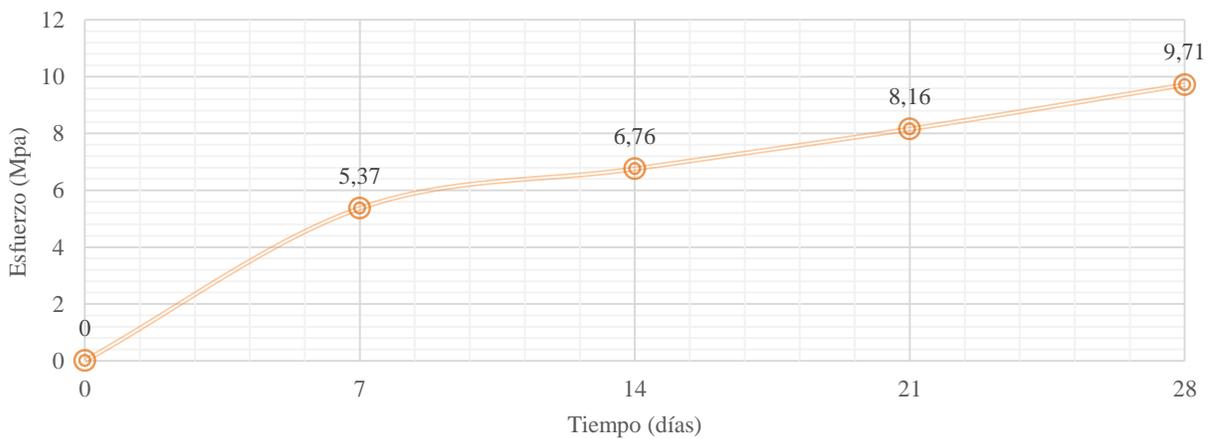


Figura 19. Datos del ensayo a compresión de la Mina Shirahuan con aditivo.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 8. Compresión de probetas sin Aditivo.

Tabla 32. Datos ensayo a compresión -mina Cochancay (M1).

Resumen Mortero Sin Aditivo M1 (Mpa)	
0 días	0
7 días	3,839
14 días	7,53
21 días	9,15
28 días	11,42

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

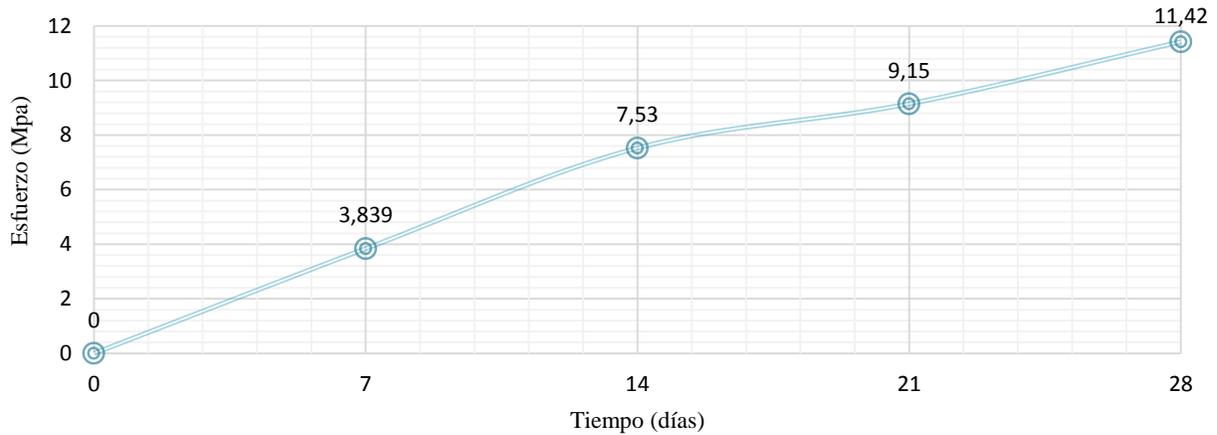


Figura 20. Datos del ensayo a compresión de la Mina Cochancay sin aditivo.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 33. Datos ensayo a compresión -mina Santa Clara (M2).

Resumen Mortero Sin Aditivo M2 (Mpa)	
0 días	0
7 días	3,710
14 días	4,81
21 días	5,68
28 días	6,27

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

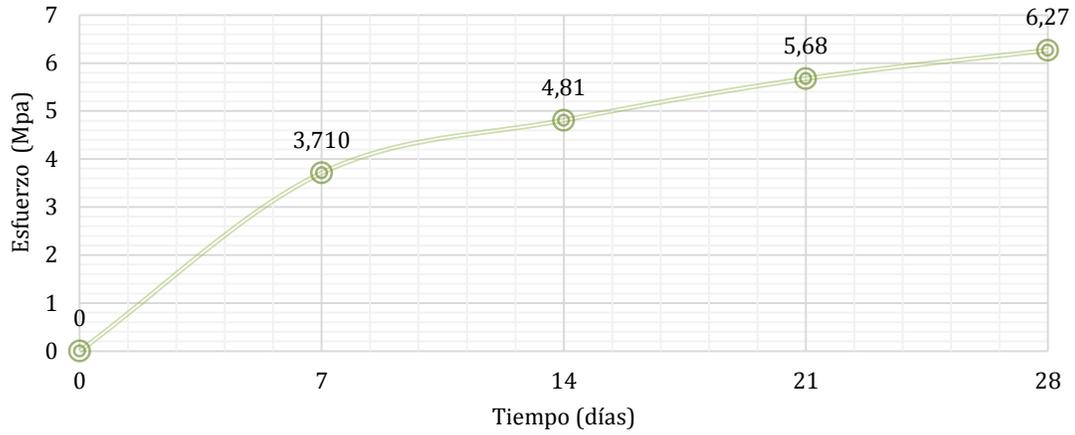


Figura 21. Datos del ensayo a compresión de la Mina Santa Clara sin aditivo.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

Tabla 34. Datos ensayo a compresión -mina Shirahuan (M3).

Resumen Mortero Sin Aditivo M3 (Mpa)	
0 días	0
7 días	4,906
14 días	5,87
21 días	6,77
28 días	8,33

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.

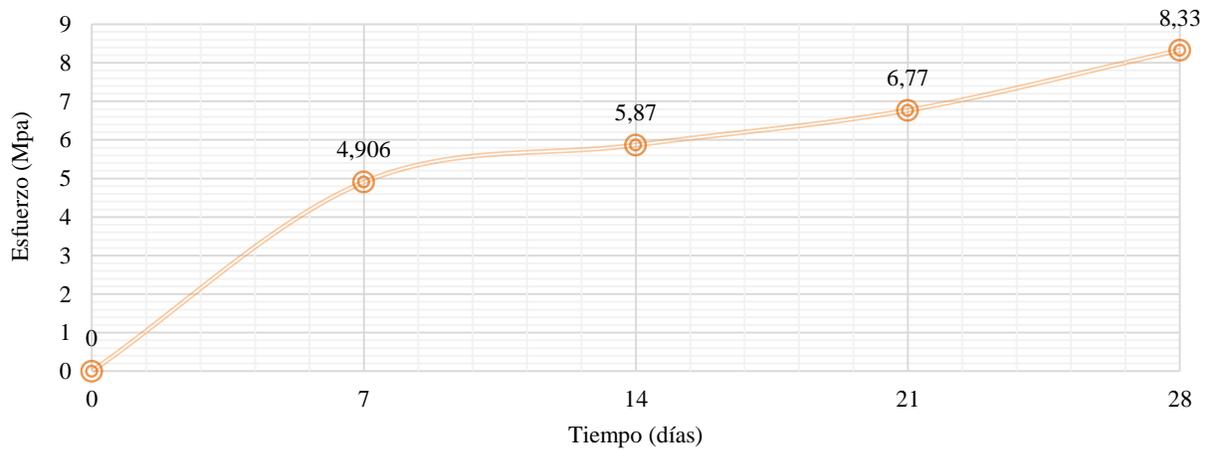


Figura 22. Datos del ensayo a compresión de la Mina Shirahuan sin aditivo.

Elaborado por: Chimbolema M. Silvia P.