

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

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

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto:

**DISEÑO DE UN MORTERO CON ARCILLAS, CEMENTO PORTLAND TIPO I Y HE  
INCLUYENDO FIBRAS DE COCO PARA USO EN IMPRESORAS 3D**

Autores:

Paul Renato Flores Tapia

Bacilio Israel Nieto Núñez

Tutor:

Ing. Javier Palacios, MsC.

Riobamba – Ecuador

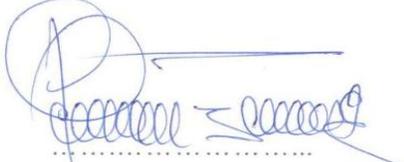
Año 2018

## REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “DISEÑO DE UN MORTERO CON ARCILLAS, CEMENTO PORTLAND TIPO I Y HE INCLUYENDO FIBRAS DE COCO PARA USO EN IMPRESORAS 3D” presentado por **Paul Renato Flores Tapia, Bacilio Israel Nieto Núñez** y dirigida por: Ing. Javier Palacios. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para la constancia de lo expuesto firman:

Ing. Javier Palacios  
**Tutor del Proyecto**



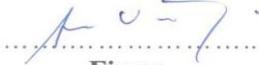
Firma

Ing. Diego Hidalgo  
**Miembro del Tribunal**



Firma

Dr. Víctor García  
**Miembro del Tribunal**

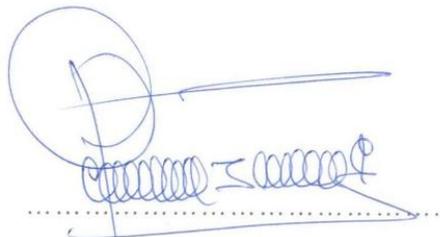


Firma

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, **Ing. Javier Palacios**, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “DISEÑO DE UN MORTERO CON ARCILLAS, CEMENTO PORTLAND TIPO I Y HE INCLUYENDO FIBRAS DE COCO PARA USO EN IMPRESORAS 3D”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a los Señores **Paul Renato Flores Tapia, Bacilio Israel Nieto Núñez**, para que se presenten ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,

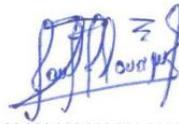


Ing. Javier Palacios

**TUTOR DE TESIS**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Paul Renato Flores Tapia, Bacilio Israel Nieto Núñez e Ing. Javier Palacios; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



.....  
Sr. Paul Renato Flores Tapia

C.I. 060409293-2



.....  
Sr. Bacilio Israel Nieto Núñez

C.I. 060382844-3

## **AGRADECIMIENTO**

El amor recibido, la dedicación y la paciencia que me brindaron mis padres durante toda esta etapa universitaria, es simplemente única y se convirtieron en el pilar fundamental para alcanzar tan anhelada meta.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por cada día confiar y creer en mí, a mis hermanas por la paciencia y apoyo incondicional, a mis tíos, primos y amigos que siempre han estado conmigo cuando más los necesitaba, a mi sobrino Andrés a quien quiero mucho, gracias por ser parte de mi vida.

Gracias a Dios por la vida de mis padres, también porque cada día bendice mi vida con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que sé que me quieren, y por permitirme amar a mis padres, gracias a mis padres por permitirme conocer a Dios y a su infinito amor, sin el nada de esto sería posible.

A mi tutor Ing. Javier Palacios por la paciencia, dedicación y por guiarnos tan acertadamente durante el desarrollo de este proyecto.

*Paul Renato Flores Tapia*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi querida madre Myrian por la gran ayuda que me ha dado en la vida y sobre todo en este proyecto.

Agradezco a mis amigos por la ayuda y consejos que me brindaron y sobre todo por los momentos compartidos que se quedarán en mi mente como buenos recuerdos.

A mis profesores por transmitirme el conocimiento necesario para realizar este proyecto con profesionalismo y ética.

A mi tutor Ing. Javier Palacios por la paciencia, dedicación y por guiarnos tan acertadamente durante el desarrollo de este proyecto.

*Bacilio Israel Nieto Núñez*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios quien con sus bendiciones me permite luchar días tras día por mis sueños.

A mi amada madre Beatriz a quien adoro con el alma por ser una mujer luchadora que siempre quiso darme lo mejor y me dio la oportunidad de culminar esta meta, a mi segunda madre Jacqueline, quien es un una pieza fundamental en mi vida y siempre esta puesta a ayudarme de todas las formas posibles, a mi hermana Vero que siempre mostro su apoyo y paciencia estando conmigo en todo momento. ¡Te amo hermana, eres como una madre para mí!

A mi padre Juan que siempre estuvo pendiente de mí brindándome su apoyo incondicional.

A toda mi familia que es lo mejor que tengo en la vida, siempre me han hecho sentir como un ser amado e importante, el apoyo y el cariño se siente y también son parte de esto.

*Paul Renato Flores Tapia*

## **DEDICATORIA**

A mí querida madre Myrian por estar en mi vida apoyándome, creer en mí y nunca dejar que me rinda, por haberme enseñado a levantarme y retomar el camino. Gracias madre querida por estar no solo en los momentos difíciles de mi vida si no también en los llenos de alegría triunfo, todo lo que he logrado te lo debo a ti.

A mi tierna sobrina Alisson quien con sus travesuras y risas llenan de alegría mis días, su cariño es lo mejor que la vida me pudo brindar y es una de las razones que me motivas a seguir luchando, gracias por existir.

*Bacilio Israel Nieto Núñez*

## CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN .....	xiii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	3
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
4. METODOLOGÍA.....	10
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	15
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	27
6.1. CONCLUSIONES.....	27
6.2. RECOMENDACIONES .....	27
7. BIBLIOGRAFIA .....	28
8. ANEXOS .....	30
Anexo 1: Análisis Granulométrico.....	30
Anexo 2: Determinación del Límite Líquido bajo la Norma INEN 691 (INEN, 2010).....	36
Anexo 3: Determinación del Límite Plástico bajo la Norma INEN 692 (INEN, 2010).....	38
Anexo 4: Determinación de los Tiempos de fraguado de las muestras.....	40
Anexo 5: Retracción de las probetas de morteros .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1.-</b> Esquema de la metodología planteada .....	10
<b>Figura N° 2.-</b> Resumen del ensayo Granulométrico .....	16
<b>Figura N° 3.-</b> Resumen del ensayo de contenido de humedad de las arcillas .....	17
<b>Figura N° 4.-</b> Curva del límite líquido de las 2 arcillas .....	18
<b>Figura N° 5.-</b> Limite plástico de las arcillas .....	19
<b>Figura N° 6.-</b> Tiempo de inicio de fraguado de los diferentes morteros. ....	20
<b>Figura N° 7.-</b> Trabajabilidad de los morteros realizados con arcilla de la mina Cochancay .	22
<b>Figura N° 8.-</b> Trabajabilidad de los morteros realizados con arcilla de la mina Santa Clara	22
<b>Figura N° 9.-</b> Curva de retracción de los morteros de la Mina Cochancay .....	24
<b>Figura N° 10.-</b> Curva de retracción de los morteros de la Mina Santa Clara .....	25
<b>Figura N° 11.-</b> Curva Granulométrica - Muestra 1, Arcilla Cochancay .....	30
<b>Figura N° 12.-</b> Curva Granulométrica - Muestra 2, Arcilla Cochancay .....	31
<b>Figura N° 13.-</b> Curva Granulométrica - Muestra 3, Arcilla Cochancay .....	32
<b>Figura N° 14.-</b> Curva Granulométrica - Muestra 1, Arcilla Santa Clara .....	33
<b>Figura N° 15.-</b> Curva Granulométrica - Muestra 2, Arcilla Santa Clara .....	34
<b>Figura N° 16.-</b> Curva Granulométrica - Muestra 3, Arcilla Santa Clara .....	35
<b>Figura N° 17.-</b> Limite Liquido - Mina Cochancay .....	36
<b>Figura N° 18.-</b> Limite Liquido - Mina Santa Clara.....	37
<b>Figura N° 19.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-0%-I) .....	42
<b>Figura N° 20.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-1%-I) .....	43
<b>Figura N° 21.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-2%-I) .....	44
<b>Figura N° 22.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-0%-HE) .....	45
<b>Figura N° 23.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-1%-HE) .....	46
<b>Figura N° 24.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-2%-HE) .....	47
<b>Figura N° 25.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-0%-I) .....	48
<b>Figura N° 26.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-1%-I) .....	49
<b>Figura N° 27.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-2%-I) .....	50
<b>Figura N° 28.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-0%-HE) .....	51
<b>Figura N° 29.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-1%-HE) .....	52
<b>Figura N° 30.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-1%-HE) .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1.-</b> Composición Química de la fibra de coco .....	6
<b>Tabla N° 2 -</b> Propiedades de la fibra de coco.....	7
<b>Tabla N° 3.-</b> Composición Química de las Arcillas.....	8
<b>Tabla N° 4.-</b> Resumen del ensayo granulométrico de las muestras .....	15
<b>Tabla N° 5.-</b> Resumen del porcentaje de humedad de las arcillas .....	16
<b>Tabla N° 6 -</b> Cuadro resumen del Limite Liquido .....	17
<b>Tabla N° 7.-</b> Resumen del límite plástico de las 2 arcillas .....	18
<b>Tabla N° 8.-</b> Tiempo de inicio de fraguado de los morteros.....	20
<b>Tabla N° 9.-</b> Diámetros estabilizados para evaluar la trabajabilidad.....	21
<b>Tabla N° 10.-</b> Retracción de los morteros de la Mina Cochancay .....	23
<b>Tabla N° 11.-</b> Retracción de los morteros de la Mina Santa Clara .....	24
<b>Tabla N° 12.-</b> Resumen de Resultados y Discusión .....	26
<b>Tabla N° 13.-</b> Granulometría - Muestra 1, Arcilla Cochancay .....	30
<b>Tabla N° 14.-</b> Granulometría - Muestra 2, Arcilla Cochancay .....	31
<b>Tabla N° 15.-</b> Granulometría - Muestra 3, Arcilla Cochancay .....	32
<b>Tabla N° 16.-</b> Granulometría - Muestra 1, Arcilla Santa Clara .....	33
<b>Tabla N° 17.-</b> Granulometría - Muestra 2, Arcilla Santa Clara .....	34
<b>Tabla N° 18.-</b> Granulometría - Muestra 3, Arcilla Santa Clara .....	35
<b>Tabla N° 19.-</b> Limite Liquido - Mina Cochancay.....	36
<b>Tabla N° 20.-</b> Limite Liquido - Mina Santa Clara .....	37
<b>Tabla N° 21.-</b> Limite Plástico – Mina Cochancay .....	38
<b>Tabla N° 22.-</b> Limite Plástico – Mina Santa Clara .....	39
<b>Tabla N° 23.-</b> Tiempos de Fraguado - Mina Cochancay .....	40
<b>Tabla N° 24.-</b> Tiempos de Fraguado - Mina Santa Clara .....	41
<b>Tabla N° 25.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-0%-I).....	42
<b>Tabla N° 26.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-1%-I).....	43
<b>Tabla N° 27.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-2%-I).....	44
<b>Tabla N° 28.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-0%-HE).....	45
<b>Tabla N° 29.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-1%-HE).....	46
<b>Tabla N° 30.-</b> Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-2%-HE).....	47

<b>Tabla N° 31.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-0%-I).....	48
<b>Tabla N° 32.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-1%-I).....	49
<b>Tabla N° 33.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-2%-I).....	50
<b>Tabla N° 34.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-0%-HE).....	51
<b>Tabla N° 35.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-1%-HE).....	52
<b>Tabla N° 36.-</b> Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-2%-HE).....	53

## RESUMEN

En la actualidad ha sido notable el avance tecnológico que día tras día exige al ser humano adoptar nuevos conocimientos técnicos en diferentes áreas. En este sentido la aparición de las impresoras 3D ha revolucionado la industria de la construcción, pues ayuda a reducir el consumo de recursos en los procesos constructivos, tales como el uso de obra falsa, el desperdicio de material y el tiempo no productivo de la mano de obra. En nuestro país existen investigaciones destinadas a desarrollar materia prima capaz de cumplir con las exigencias de estas impresoras, una de éstas fue realizada con arcillas de la región y cemento portland tipo I y a pesar de que se obtuvieron buenos resultados aún presenta problemas de retracción. La presente investigación tiene como objetivo reducir este fenómeno mediante la incorporación de fibras de coco y cemento portland tipo HE. Para ello se elaboraron probetas de ensayo con porcentajes de fibra 0, 1 y 2 % con la finalidad de evaluar la influencia de estas fibras en la pérdida de volumen que sufren estos morteros y compararlos entre sí. Se obtuvo como resultado que la fibra de coco añadida en un porcentaje de 2% presenta una retracción de 2.33% a los 28 días, la cual es menor que del mortero realizado sin fibras siendo esta 2.97%. Este material podría servir como alternativa para la construcción de viviendas como una solución económica e innovadora dentro de la industria de la construcción.

**Palabras claves:** Impresoras 3D, fibras de coco, arcillas, retracción, mortero.

## ABSTRACT

Nowadays, the technological advance has been remarkable, day after day it demands the human being to adopt new technical knowledge in different areas. In this sense, the appearance of 3D printers has revolutionized the construction industry, because it helps to reduce the consumption of resources in construction processes, such as the use of fake work, waste material and non-productive time from handwork. In our country, there are studies aimed at the raw material able to accomplish the demands of these printers, one of this was carried out with clays from the region and Portland cement type, even though good results were obtained it still presents retraction problems. The objective of this research is to reduce this phenomenon by incorporating coconut fibers and Portland cement HE type. To do this graduated cylinders were prepared with percentages of fiber 0, 1 and 2% in order to evaluate the influence of these fibers in the loss of volume that suffers these mortars and to compare among them. It was obtained as a result that the coconut fiber added in a percentage of 2% presents a retraction of 2.33% at 28 days, which is less than the mortar made without fibers being 2.97%. This material could serve as an alternative for the construction of houses as an economic and innovative solution within the construction industry.

Keywords: 3D printers, coconut fibers, clays, retraction, mortar

  
Reviewed by: Romero, Hugo  
Language Center Teacher



## 1. INTRODUCCIÓN

La tecnología ha ido creciendo vertiginosamente en los últimos años, es así como la creación de las impresoras 3D ha ido revolucionando el ámbito de la construcción ya que permite fabricar diversos tipos de objetos con mayor eficiencia consiguiendo ahorrar hasta un 60 % de la materia prima, un 70 % del tiempo requerido y un 80 % de los costos laborales (Torres Remón, 2016).

En la actualidad, ya es posible la construcción de viviendas mediante el uso de las impresoras 3D. Esto resulta muy beneficioso a largo plazo ya que se reducen problemas comunes que suelen presentarse en la construcción tradicional, tales como el uso de obra falsa, desperdicio de material, tiempos muertos, etc., obteniéndose de esta manera un ahorro económico en el proceso de construcción (ClaurinArq, 2017).

Según Uribe (2015), los minerales arcillosos tras un largo proceso evolutivo a lo largo de la historia se han convertido en un elemento fundamental para la construcción. Gracias a la plasticidad que desarrollan al ser mezclados con el agua resulta un material idóneo para ser usado en impresoras 3D ya que puede ser moldeada fácilmente y mantener su forma y resistencia durante el proceso de fraguado.

En nuestro país existen varias limitaciones que impiden el uso de estas tecnologías. Una de ellas es la carencia de materia prima ya que a pesar de que disponemos de vastos recursos naturales no los aprovechamos y perdemos la oportunidad de generar nuestros propios materiales. Existen investigaciones sobre la materia prima más adecuada capaz de adaptarse correctamente a los requerimientos de estas impresoras, su objeto de análisis fue la resistencia a la compresión y los tiempos de fraguado, sin embargo se ha evidenciado problemas de retracción debido a las condiciones de fraguado. Es por este motivo que esta investigación tiene como objetivo obtener la

dosificación de un mortero al que se le incorpora fibras de coco de tal manera que su composición permita controlar la retracción (Chimbolema, 2017).

Sharma & Singgh (2017), incorporaron fibras de coco a la dosificación tradicional de un hormigón con el principal objetivo de proporcionar resistencia a la retención de grietas, logrando obtener excelentes resultados. En el presente estudio se incorporaran estas fibras naturales que reforzaran al mortero que estará compuesto de arcillas de la región obtenidas de las minas; Cochancay (Cemento Chimborazo), Mina Santa Clara (Puyo – Tena) y cemento Chimborazo portland tipo I y tipo HE el cual permitirá obtener mayores resistencias a edades tempranas (Cemento Chimborazo, 2012).

Se tomarán como base investigaciones anteriores en las cuales ya fueron determinadas las propiedades físicas y mecánicas de las arcillas que utilizaremos en este proyecto y en base a éstas se realizaran dosificaciones diferentes. Con éstas dosificaciones se elaboraran probetas de estudio, las mismas que serán sometidas a ensayos de retracción a edades de 7, 14, 21 y 28 días, con lo cual se realizará comparaciones entre los distintos tipos de dosificación (Chimbolema, 2017).

Tomando en cuenta los aspectos mencionados se formula la siguiente pregunta de investigación. ¿Es posible que mediante la incorporación de fibras de coco en el mortero diseñado con arcillas y cemento portland tipo I y HE, se reduzcan las fisuras causadas por el fenómeno de retracción?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Reducir el fenómeno de retracción que presenta el mortero compuesto de arcillas y cemento portland tipo I y HE, incorporando fibras naturales de coco a su mezcla.

### **2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO**

Medir las variaciones de longitud de las probetas con distintos porcentajes de fibra de coco a diferentes edades.

### 3. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de morteros para impresoras 3D ha ido en aumento de forma muy significativa. Pese a que existe una gran cantidad de dosificaciones para crear morteros con estas características especiales, éstos requieren materias primas exclusivas y muy cuidadas, tanto en la geometría como en la naturaleza de los compuestos (Garcés & Catrillón, 2017).

Dentro de los materiales que han sido usados como materia prima para las impresoras 3D se encuentran los hormigones y morteros. Torres Remón (2016) contribuyó con una línea base inicial de investigación mediante la elaboración de diferentes dosificaciones de morteros de hormigón con la finalidad de estudiar las propiedades de dichas mezclas como son la trabajabilidad y las resistencias. Además mencionó que para el diseño de las mismas es imprescindible controlar la calidad y las dosificaciones de los materiales, la relación agua/cemento, las condiciones de trabajo y el equipo empleado.

De la misma manera en nuestro país se han realizado investigaciones sobre morteros elaborados en base a arcillas y cemento portland tipo I, obteniendo buenos resultados como resistencias a la compresión de 15 MPa., tiempos de fraguado menores a 3 horas, entre otros, pero con problema de retracción que ocurre al momento del fraguado y principio de endurecimiento, de ahí se origina el punto de partida de la presente investigación la cual tiene como objetivo controlar de cierta manera la retracción que ocurre en dicho mortero (Chimbolema, 2017).

Según Sánchez & Barrios (1997) la retracción es el proceso de reducción de volumen que sufren las pastas, los morteros y los hormigones antes, durante y después del fraguado cuando son expuestos al aire. Esto se debe a la pérdida de agua a medida que transcurre el tiempo. La retracción sucede cuando los hormigones y morteros presentan variaciones de volumen ocurriendo dilataciones o contracciones durante su vida útil por causas físico-químicas y está relacionada con

la pérdida paulatina del agua de la mezcla. La pérdida de agua ocurre cuando el mortero no se encuentra en un ambiente permanentemente húmedo o saturado de manera que desde la fase plástica el agua capilar y el agua absorbida se irán evaporando progresivamente a una temperatura ordinaria. Como efecto de esta evaporación se producirá una contracción de menisco la cual obliga a que los granos de los agregado se aproximen entre sí disminuyendo su volumen (Cabrera-Covarrubias, Gómez-Soberón, Almaral-Sánchez, Arredondo-Rea, & Corral-Higuera, 2015).

Altamirano & Sanchez (2015), mencionan que gracias a la granulometría del agregado fino se determina en gran parte la demanda de agua en la mezcla así como también en la resistencia del concreto. Así mientras más fina es la arena es necesario mayor cantidad de agua lo que origina una disminución del volumen del concreto y el apareamiento de grietas por pérdida de agua, apareciendo mayor retracción y menor resistencia.

En los últimos años una gran cantidad de investigadores han optado por remplazar parte del agregado fino que se ocupa para la elaboración de hormigón con fibras naturales para ser usado en construcción. Su importancia radica en reducir los costos y ahorrar la energía consumida en la producción de otros tipos de fibras. Además, puede ser empleado como posible sustituto del asbesto-cemento, el cual ha dejado de utilizarse por relacionarlo a enfermedades como la asbestosis (Limonte, 2016).

Altamirano & Sanchez (2015), realizaron mezclas de concreto con fibras de coco sin tratar y tratadas químicamente. En estas no se evidenció retracción pues se verificó que tanto las muestras cilíndricas como las muestras de losas y vigas no presentaban grietas o fisuras en su superficie, inclusive en aquellas mezclas que requerían cierta cantidad de agua adicional al momento del mezclado para mejorar su trabajabilidad. La investigación concluye que las fibras naturales de

coco evitan las grietas en las mezclas en estado fresco, garantizando que éstas tendrán mayor durabilidad a lo largo del tiempo.

La fibra de coco, cuyo nombre científico es *cocos nucifera*, pertenece al grupo de las fibras duras, tales como el sisal, el abacá y henequén. Aunque la resistencia a la tracción de la fibra de coco seca es baja en comparación con la de sisal, disminuye mucho menos por inmersión en agua. Después de 4 meses de inmersión el bonote pierde solamente del 35 al 45 % de su resistencia (Paricaguán, 2015).

Las fibras de coco son obtenidas de la cáscara del mismo. Para ello, es necesario que dicha cáscara permanezca en el sol hasta que tome un color parecido al de la cabuya y colocarla en una máquina desfibradora. Se calcula que en doce cascaras de coco se puede obtener un kilogramo de fibra (Estrella, 2016).

Entre las fibras vegetales, la fibra de coco tiene una de las más altas concentraciones de lignina lo que la hace más fuerte tal y como se aprecia en la siguiente tabla: (Estrella, 2016).

**Tabla N° 1.-** Composición Química de la fibra de coco

<b>Componentes</b>	<b>% Peso</b>
Lignita	42.5
Celulosa	32.3
Pentosa	14.7
Grasas saponificables	5.1
Grasa insaponificables	0.7
Cenizas	3.5
Proteínas	1.2
<b>Total</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Adaptado de Estrella (2016).

Según Quito (2016), la fibra de coco se puede clasificar en tres tipos principales: una larga y fina que se conoce con el nombre de fibra de estera o hilo y se utiliza principalmente como

aislante termo acústico y como cuerda, una más tosca que se conoce con el nombre de fibra de cerda utilizada en la fabricación de escobas y cepillos, y una fibra corta conocida con el nombre de fibra para colchones. También existe el polvo de coco que se utiliza como sustrato hortícola, mejorador de suelos, en paneles de construcción, etc.

Existen muchas investigaciones relacionadas con el uso de fibras como refuerzo del concreto y han tenido un auge importante. Esta técnica no es nueva en el mundo de la construcción de hecho se remonta muchos años antes de la aparición del cemento pórtland y del concreto cuando se utilizaban materiales como pasto, fique, junco y hasta pelo animal que eran agregados al adobe con el fin de evitar la fisuración y mejorar la resistencia a tensión (Altamirano & Sanchez, 2015).

Estrella (2016), utilizó en su investigación, fibras de coco producidas por una empresa procesadora de coco ubicada en el cantón San Lorenzo de la provincia de Esmeraldas, las cuales presentan las siguientes propiedades:

**Tabla N° 2** - Propiedades de la fibra de coco

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Diámetro de la fibra	297,35	[ $\mu m$ ]
Densidad	1,28	[ $g/cm^3$ ]
Densidad Lineal	44,59	[ $Tex$ ]
Área	0,04	[ $mm^2$ ]
Módulo de Young	7939,04	[ $MPa$ ]
Tenacidad	0,66	[ $N/Tex$ ]
Deformación a la rotura	15,72	[%]
Resistencia a la tracción	849,38	[ $MPa$ ]
Absorción	94,77	[%]

**Fuente:** Adaptado de Estrella (2016)

Chimbolema (2017) utilizó en su investigación arcillas de las minas Cochancay y Santa Clara, las cuales fueron sometidas a un ensayo de fluorescencia por rayos x. Éstas arcillas

presentan una mayor concentración de silicio, aluminio y hierro, su composición no se aleja mucho del rango óptimo por lo que se pueden usar como material para la construcción. Se nota además que la arcilla de la mina Cochancay tiene un alto contenido de hierro por lo que presenta una mayor resistencia. Los resultados de dicho ensayo se presentan en la tabla N° 3:

**Tabla N° 3.-** Composición Química de las Arcillas

Mina Cochancay		Mina Santa Clara	
Compuestos	Porcentaje	Compuestos	Porcentaje
$SiO_2$	39,95%	$SiO_2$	57,82%
$Al_2O_3$	25,57%	$Al_2O_3$	22,71%
$Fe_2O_3$	21,21%	$Fe_2O_3$	1,17%
$TiO_2$	2,09%	$K_2O$	2,03%
$MgO$	1,23%	$TiO_2$	1,03%
$Na_2O$	0,47%	$MgO$	0,78%
$CaO$	0,40%	$Na_2O$	6,70%
$MnO$	0,35%	$CaO$	0,40%
$K_2O$	0,14%	$P_2O_5$	0,15%
$SO_3$	0,11%	$MnO$	0,06%
$V_2O_5$	0,05%	$V_2O_5$	0,04%
$Cr_2O_3$	0,05%	$ZrO_2$	0,03%
$P_2O_5$	0,04%	$SO_3$	0,02%
$CuO$	0,04%	$ZnO$	0,02%
$NiO$	0,02%	$Cr_2O_3$	0,02%
$ZnO$	0,02%	$SrO$	1,00%
$ZrO_2$	0,01%	$Rb_2O$	1,00%
$Ga_2O_3$	38PPM%		

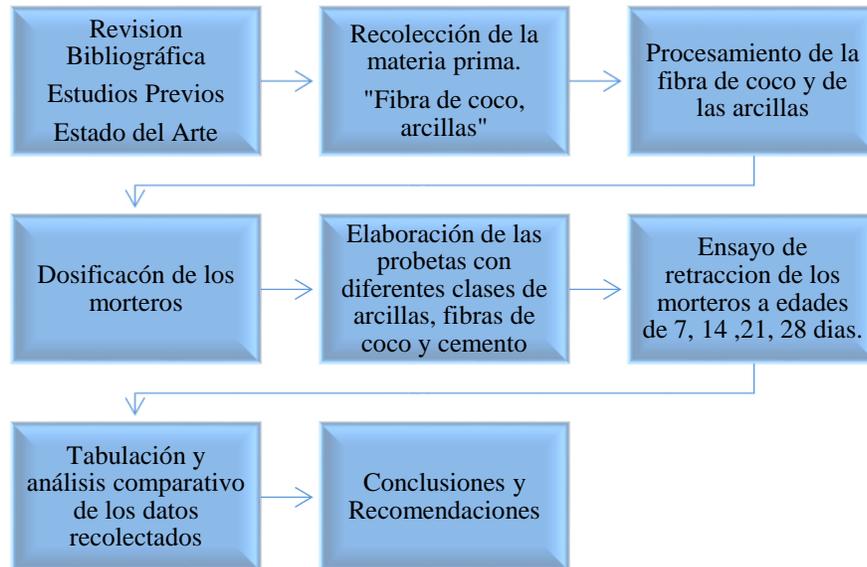
**Fuente:** Adaptado de Chimbolema (2017).

En esta investigación se plantea el uso de un cemento puzolánico de alta resistencia y durabilidad Portland tipo HE, el cual se caracteriza principalmente por aportar al concreto

endurecido una capacidad de resistir la acción del medioambiente que lo rodea lo que permite alargar su vida útil y desarrollar con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento (Cemento Chimborazo, 2012).

## 4. METODOLOGÍA

En el siguiente diagrama se muestra el proceso sistemático que se siguió para el desarrollo de la investigación.



**Figura N° 1.-** Esquema de la metodología planteada

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

La presente investigación tiene un alcance experimental. Se evidencia que mediante la manipulación de una variable independiente correspondiente a la cantidad de fibras de coco, bajo ciertos parámetros como el cambio de sus porcentajes producen efectos específicos en las propiedades del mortero, uno de estos es la retracción siendo ésta la variable dependiente de interés.

Para la revisión bibliográfica se partió con la búsqueda de artículos científicos los cuales acreditaron la existencia del problema sobre la retracción del mortero y a su vez aportaron información para resolverlo usando fibras naturales de coco. Esto se realizó usando diferentes bases de datos como Scopus, Scielo, ProQuest, ASCE, repositorios digitales de universidades y buscadores web como google académico, con el objetivo de asegurar que la información obtenida sea real, actual y aprobada por la comunidad científica.

Las fibras de coco utilizadas en el proyecto fueron producidas en el cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas y suministradas como monofilamentos, los mismos que fueron cortados a un tamaño de 3 a 4 cm. Las arcillas se obtuvieron de la Mina Cochancay “Cemento Chimborazo” y de la Mina Santa Clara “Vía Puyo - Tena”. Se utilizó cemento portland tipo I y cemento portland puzolánico HE. Se realizaron análisis físicos y mecánicos de la materia prima para determinar sus propiedades como granulometría, límites de Atterberg, tiempos de fraguado, trabajabilidad y retracción, según los procedimientos establecidos por el (Instituto Ecuatoriano de Normalización) (INEN, 2010) y (American Society of Testing Materials) (ASTM, 2006).

La norma INEN 696 (INEN, 2011) detalla el procedimiento a seguir para realizar la granulometría de las arcillas mismo que se realiza para determinar el porcentaje granulométrico de las partículas y su módulo de finura. El procedimiento de este ensayo consiste en colocar las muestras en bandejas metálicas para posteriormente ponerlas a secar en el horno por un lapso de 24 horas a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Una vez transcurrido este tiempo, la muestra se encontrará libre de contenido de humedad y lista para sacarla del horno. Se toma 65 gramos en una bandeja metálica, y se coloca en los tamices ordenados de manera descendente: N° 3/8”, N° 4, N° 8, N°16, N° 30, N°50 y N°100 y se los coloca en la máquina tamizadora por 5 minutos. Una vez tamizada se retira cuidadosamente y se procede a registrar los pesos acumulados en cada uno de los tamices para finalmente calcular y tabular los datos obtenidos. Cabe indicar que se tomó tres muestras de cada de arcilla para así obtener un resultado más confiable.

Se determinó el contenido de humedad de las arcillas según lo estipulado en la norma INEN 690 (INEN, 2010). Se obtiene colocando la muestra en unos recipientes y se procede a pesarlos para luego colocarlos al horno a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, transcurrido este tiempo se procede a pesar y tabular los datos obtenidos.

El límite líquido de las muestras se determinó mediante la norma INEN 691 (INEN, 2010). Se toma 250 g. de muestra que pase por el tamiz Nro. 100 y se la coloca en una fuente de porcelana para después agregarle un poco de agua y mezclarla completamente. Se agrega una cantidad de esta mezcla en la copa y con ayuda de una espátula se la extiende con la finalidad de evitar la aparición de burbujas de aire. Con ayuda del acanalador se realiza un canal y se procede a girar la manecilla de Casagrande a una velocidad de 2 revoluciones por segundo (*rev/s*). Se registra los golpes al momento en que las dos mitades de la mezcla se pongan en contacto al fondo del canal y finalmente se realizan los cálculos pertinentes.

El límite Plástico de las muestras se determinó mediante la norma INEN 692 (INEN, 2010). El ensayo consiste en añadir agua a la muestra y mezclarla en la fuente de porcelana hasta conseguir una pasta homogénea, se toma una porción de 10 g. aproximadamente y se moldea con ayuda de los dedos y una placa de vidrio hasta formar un rollo de 3 mm de diámetro. Estos rollos se colocan en un recipiente metálico para pesarlos y ponerlos en el horno por un lapso de 24 horas y determinar el contenido de agua. Finalmente se realizan los cálculos pertinentes.

La dosificación del mortero fue la propuesta por (Chimbolema, 2017) en el diseño de un mortero con arcillas y cemento portland tipo I para su uso en impresoras 3D:

Dosificación mina Cochancay “Cemento Chimborazo”:

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

Dosificación Mina Santa Clara “vía Puyo - Tena”:

250 kg de Arcilla – 37.5 kg de Cemento – 67,44 Kg de agua

A la dosificación se le incorporó fibras de coco al 0, 1 y 2 % del volumen total del mortero y además se adicionó aditivo Plastocrete 161 HE en un porcentaje de 3% del peso total del cemento.

Las fibras fueron añadidas al final de la mezcla del mortero, dispersándolas y mezclándolas con las manos. Se lanzó la mezcla hacia arriba para evitar la formación de grumos y obtener una mejor distribución de las fibras en la pasta.

Se determinó el principio de fraguado de cada una de las mezclas según lo estipulado por la norma INEN 158 (INEN, 2009). El procedimiento consiste en elaborar dos muestras por cada dosificación obteniendo un total de 24. Posteriormente se colocan en el molde troncocónico normalizado para después situarlo en el equipo de Vicat y comenzar con el proceso de determinación del inicio de fraguado mediante la Aguja de Vicat. Inmediatamente después del moldeo se deja reposar el espécimen de ensayo por 30 minutos sin ser perturbado. Se determina la penetración de la aguja en ese momento y cada 15 minutos de allí en adelante hasta que se obtenga una penetración de 25 milímetros o menor.

La trabajabilidad de las mezclas se la realizó tomando como referencia la norma INEN 157 (INEN, 2009). El ensayo se lleva a cabo con el mortero fresco para determinar su consistencia 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. Para ello es importante definir el tiempo exacto en el que se levanta el cono para producirse el escurrimiento. Este tiempo es una variable definida previamente que consiste en el período desde que se cesa el amasado hasta el momento exacto del levantamiento del cono troncocónico. Por esto se establecen tiempos concretos y luego de transcurridos se mide en centímetros el diámetro de la mezcla estabilizada para observar su disminución o aumento.

Para determinar la retracción del mortero se realizó ensayos basados en la norma ASTM C 157 (ASTM, 2006). Se elaboraron 6 probetas prismáticas de 25x25x285 milímetros por cada dosificación y fueron evaluadas a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, dándonos un total de 72 probetas. Dicho ensayo consiste en medir la pérdida de longitud que sufren las probetas a lo largo

del tiempo utilizando un deformímetro de 0.01 milímetros con un rango de 0 a 10 milímetros apoyado sobre una base metálica en donde se calibrará y encerará con la ayuda de una barra metálica de 285 milímetros de longitud. Una vez realizado todo esto se procede a medir las deformaciones que sufren cada una de las probetas a lo largo del tiempo.

Las probetas fueron almacenadas en un sitio cerrado del laboratorio a una temperatura de  $16\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una separación entre unas de otras de 0.5 centímetros y con una humedad de  $70\% \pm 5$ . Cabe indicar que las probetas tuvieron un curado de 24 horas.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión bibliográfica sobre la retracción de morteros evidenciaron que no existen muchos estudios relevantes a nivel mundial sobre el tema en cuestión, ya que todos aquellos estudios en los que incorporaban fibras naturales se centraban en la resistencia del material. Algunos de ellos exponen de manera puntual que el material en estudio presentó un bajo porcentaje de retracción, dato que se ha tomado como punto de partida para este estudio.

En la recolección de la materia prima que se utilizó, no se presentó inconveniente alguno ya que las fibras de coco fueron proveídas por una microempresa del cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas, dedicada a la comercialización de estas fibras. De la misma manera, las arcillas se obtuvieron sin problema, pues se obtuvo fácil acceso a las minas (Cochancay y Santa Clara) y con ayuda de herramienta menor se las pudo recolectar y transportar.

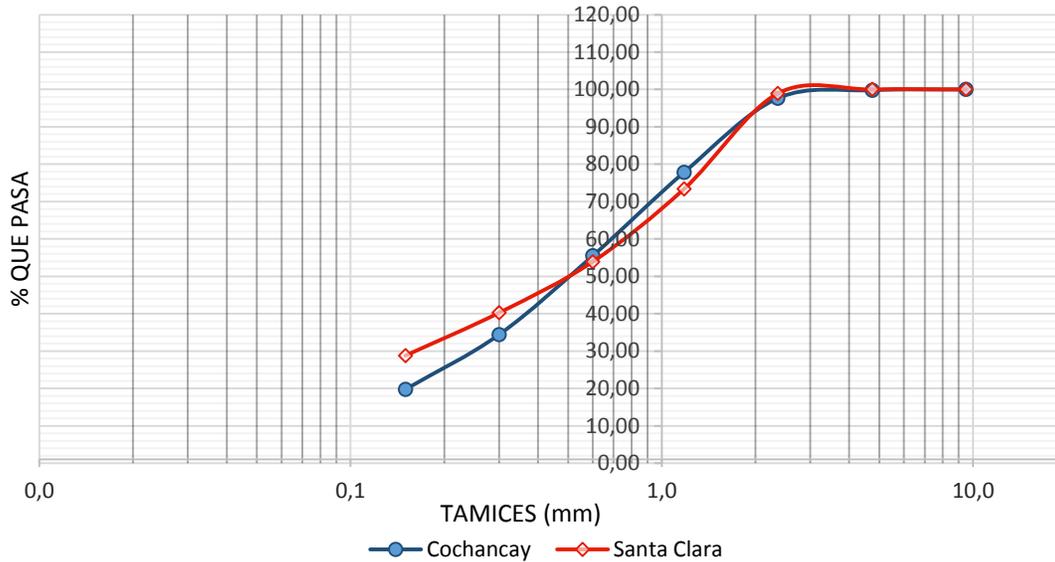
Para determinar la granulometría de las muestras se realizó mediante el ensayo por tamizado, bajo la norma INEN 696 (INEN, 2011). En el Anexo 1, y en la Tabla N° 4, se muestran los cálculos del ensayo granulométrico de las dos muestras.

**Tabla N° 4.-** Resumen del ensayo granulométrico de las muestras

<b>GRANULOMETRÍA</b>		
<b>TAMICES</b>	<b>Mina Cochancay % pasa</b>	<b>Mina Santa Clara % pasa</b>
3/8"	100.00	100.00
N° 4	99.80	100
N° 8	97.66	98.93
N° 16	77.85	73.41
N° 30	55.49	53.92
N° 50	34.41	40.25
N° 100	19.75	28.80
Módulo de Finura	3.15	3.03

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

### Resumen de las curvas granulométricas



**Figura N° 2.-** Resumen del ensayo Granulométrico

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

En la figura N° 2 se puede observar que la arcilla de la mina Cochancay tiene un alto porcentaje de módulo de finura en comparación a la arcilla de la mina Santa Clara, lo que implica que tenga una mejor trabajabilidad y una mejor textura. Se puede también observar que la muestra de la mina Cochancay tiene mayor porcentaje de material fino siendo esto perjudicial para el mortero ya que mientras más fino sea el material provocará más retracción. La granulometría de las dos muestras se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma INEN 696 (INEN, 2011)

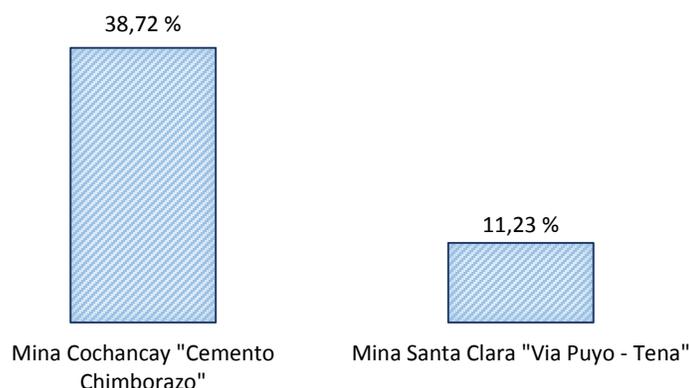
Según la norma INEN 690 (INEN, 2010) se realizó el ensayo de contenido de humedad y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla N° 5.-** Resumen del porcentaje de humedad de las arcillas

<b>Porcentaje de Humedad</b>	
Mina Cochancay	Mina Santa Clara
<b>38.72</b>	<b>11.23</b>

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

### Porcentaje de Humedad



**Figura N° 3.-** Resumen del ensayo de contenido de humedad de las arcillas

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

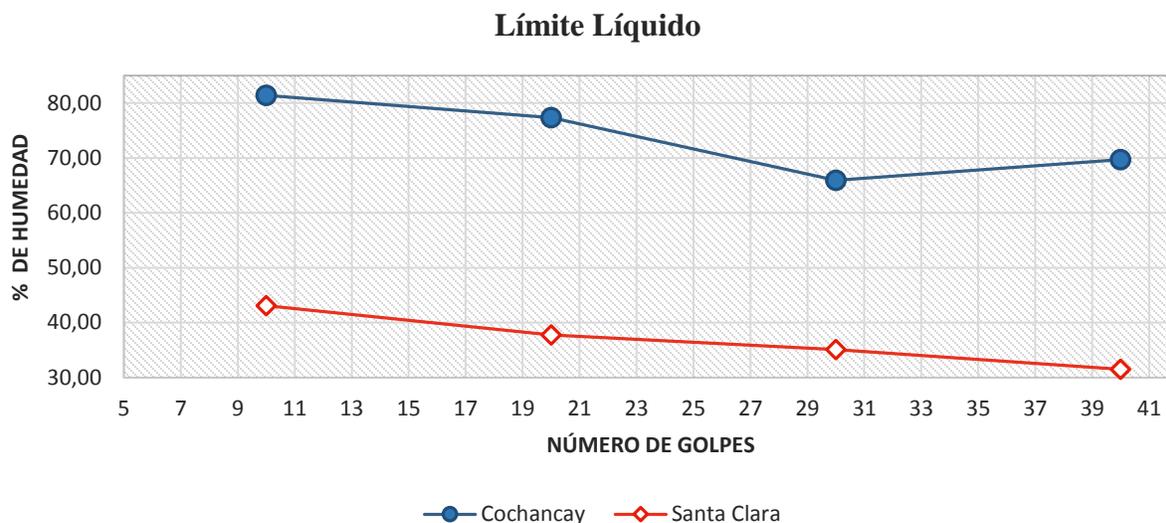
Como se puede observar en la figura N° 3, la arcilla de la mina Cochancay presenta un mayor contenido de humedad, aproximadamente 39%. Este aspecto es muy importante al momento de realizar la dosificación ya que mientras más agua requiera la mezcla es más susceptible a agrietarse ocasionando la disminución de volumen que provocará la aparición de grietas que luego darán paso a la retracción y por ende disminuirá la resistencia.

Según la norma INEN 691(INEN, 2010), se determinó el límite líquido de las muestras. En la siguiente tabla y en el Anexo 2 y en las tablas 19 y 20, se muestran los cálculos del ensayo de límite líquido.

**Tabla N° 6 –** Cuadro resumen del Limite Liquido

<b>LIMITE LÍQUIDO</b>			
Mina Cochancay		Mina Santa Clara	
<b>N° GOLPES</b>	<b>% HUMEDAD</b>	<b>N° GOLPES</b>	<b>% HUMEDAD</b>
10	81.38	10	43.07
20	77.34	20	37.73
30	65.90	30	35.06
40	69.69	40	31.48

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



**Figura N° 4.-** Curva del límite líquido de las 2 arcillas

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Como se puede observar en la figura N° 4, la arcilla de la mina Cochancay tiene un límite líquido de 73.58 % a los 25 golpes, mientras que la arcilla de la mina Santa Clara presenta un límite líquido de 36.84 % a la misma cantidad de golpes. Estos resultados evidencian que la arcilla de la mina Cochancay está dentro de los suelos con alto contenido de arcilla ya que posee un límite líquido alto y por ende posee una alta plasticidad la cual le permite deformarse sin agrietarse ante un esfuerzo mecánico. Por otra parte la arcilla de la mina Santa Clara al poseer un límite líquido bajo es considerada como arcilla – limosa debido a su textura y moderada consistencia.

Según la norma INEN 692 (INEN, 2010), se obtuvo el límite plástico de las arcillas. En la siguiente tabla y en el anexo 3 se muestran los resultados del ensayo

**Tabla N° 7.-** Resumen del límite plástico de las 2 arcillas

<b>Límite Plástico</b>		
Muestras	Índice de plasticidad (IP)	Límite plástico
Mina Cochancay	27.91	45.67
Mina Santa Clara	16.49	20.34

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

## Límite Plástico

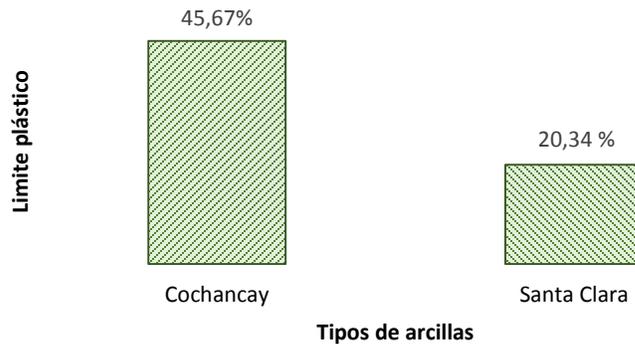


Figura N° 5.- Limite plástico de las arcillas

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

La figura N° 5 muestra que la arcilla de la mina Cochancay presenta un límite plástico de 45.67% el mismo que se encuentra considerablemente separado del límite líquido que es de 73.58% dando un índice de plasticidad de 27.91%. Esto hace que la arcilla sea más plástica y como posee una buena composición química, le brinda una buena resistencia y trabajabilidad a la mezcla garantizando de este modo que el material sea adecuado para ser usado como mortero. Por otra parte la arcilla de la mina Santa Clara tiene un límite de plasticidad bajo y en consecuencia un índice de plasticidad bajo y al ser considerado como una arcilla limosa por su bajo porcentaje de límite líquido, es claro entonces que se obtendrá una baja resistencia ya que las arcillas dependen fundamentalmente del contenido de agua, mientras más secas estén tienden a perder su plasticidad, se disgregan y de la misma manera si existe exceso de agua se separan las láminas.

Un aspecto importante dentro de esta investigación fue la evaluación de los tiempos de fraguado, mismos que fueron realizados con el equipo de Vicat a cada uno de los morteros realizados. En la Tabla N° 7 se muestra un resumen de los distintos morteros compuestos por las 2 clases de arcilla, 2 tipos de cemento y 2 porcentajes de fibra de coco al igual que la muestra patrón la cual fue realizada sin la adición de fibras.

El Anexo 4 muestra los resultados de este ensayo con mayor detalle.

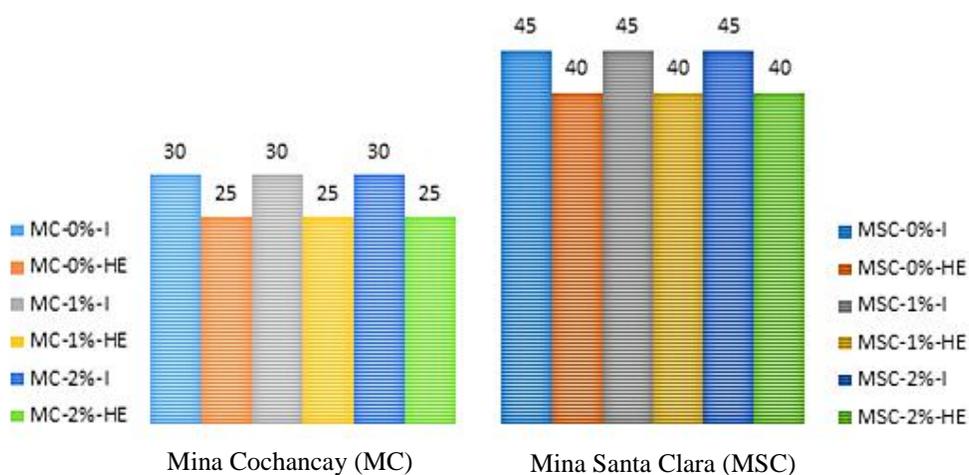
**Tabla N° 8.-** Tiempo de inicio de fraguado de los morteros

Arcilla	% De fibra de coco	Tipo de cemento	Tiempo de inicio de fraguado (min)
Mina Cochancay	0	I	30
	0	HE	25
	1	I	30
	1	HE	25
	2	I	30
	2	HE	25
Mina Santa Clara	0	I	45
	0	HE	40
	1	I	45
	1	HE	40
	2	I	45
	2	HE	40

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Para poder representar los morteros realizados gráficamente y con la finalidad de que haya una mejor comprensión, la arcilla de la mina Cochancay será representada con las siglas MC, mientras que la arcilla de la mina Santa Clara por MSC, después de estas siglas estará el porcentaje de fibras de coco 0, 1, 2 % seguido del tipo de cemento I, HE.

### Tiempos de inicio de fraguado



**Figura N° 6.-** Tiempo de inicio de fraguado de los diferentes morteros.

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Como se puede observar en la figura N° 6, los morteros realizados con el cemento tipo HE y arcilla de la mina Cochancay tienen un menor inicio de fraguado, lo que indica que se encuentran dentro del rango óptimo expuesto por la literatura, la cual indica un rango de 15 a 25 minutos, garantizando de esta forma que el mortero tenga una buena trabajabilidad y no exista escurrimientos. Al añadir fibras de coco no se evidencia ningún cambio ya que los morteros con fibra empiezan a fraguar al mismo tiempo que los morteros sin fibra, sin embargo estas fibras ayudan a que los morteros terminen de fraguar mucho más rápido ya que absorben la humedad. Los morteros realizados con la arcilla de la mina Santa Clara, se encuentra fuera de este rango. Cabe recalcar que la tecnología de impresión 3D está íntimamente ligada con el proceso con el que se va a imprimir el material.

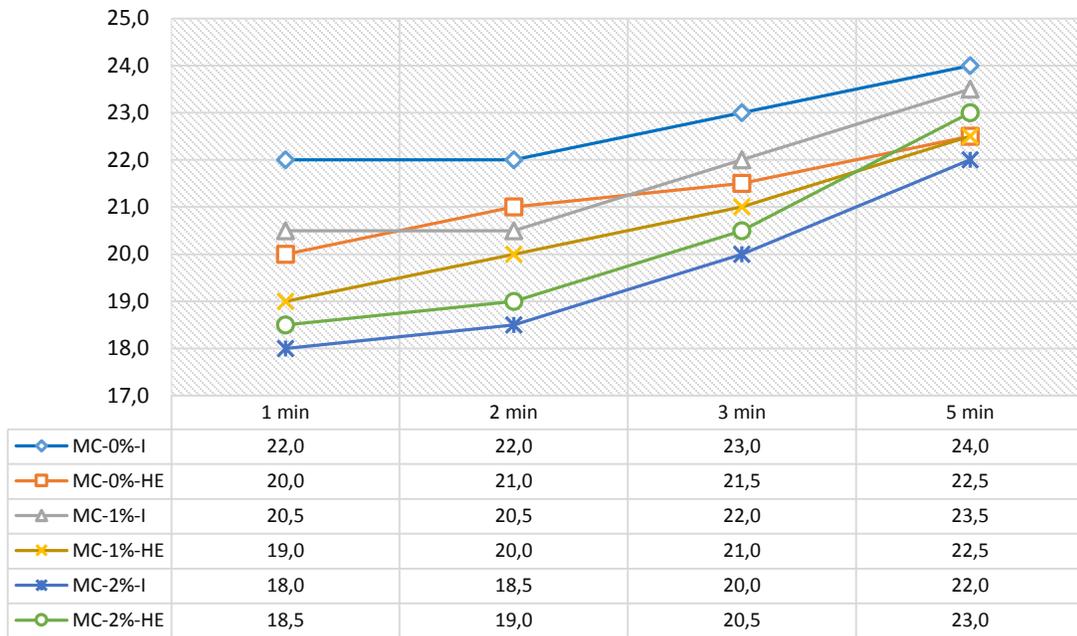
La trabajabilidad de cada una de las muestras, se determinó estableciendo ciertos tiempos de levantamiento del cono troncónico normalizado. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 9.-** Diámetros estabilizados para evaluar la trabajabilidad.

<b>Mezcla \ Tiempo</b>	<b>DIAMETRO (cm)</b>			
	<b>1 min</b>	<b>2 min</b>	<b>3 min</b>	<b>5 min</b>
MC-0%-I	22.0	22.0	23.0	24.0
MC-0%-HE	20.0	21.0	21.5	22.5
MC-1%-I	20.5	20.5	22.0	23.5
MC-1%-HE	19.0	20.0	21.0	22.5
MC-2%-I	18.0	18.5	20.0	22.0
MC-2%-HE	18.5	19.0	20.5	23.0
MSC-0%-I	15.0	15.5	16.0	17.0
MSC-0%-HE	14.0	14.0	15.0	16.0
MSC-1%-I	13.0	13.5	14.5	15.0
MSC-1%-HE	12.0	13.0	14.0	14.5
MSC-2%-I	12.5	13.0	13.5	14.0
MSC-2%-HE	12.0	12.5	13.0	13.4

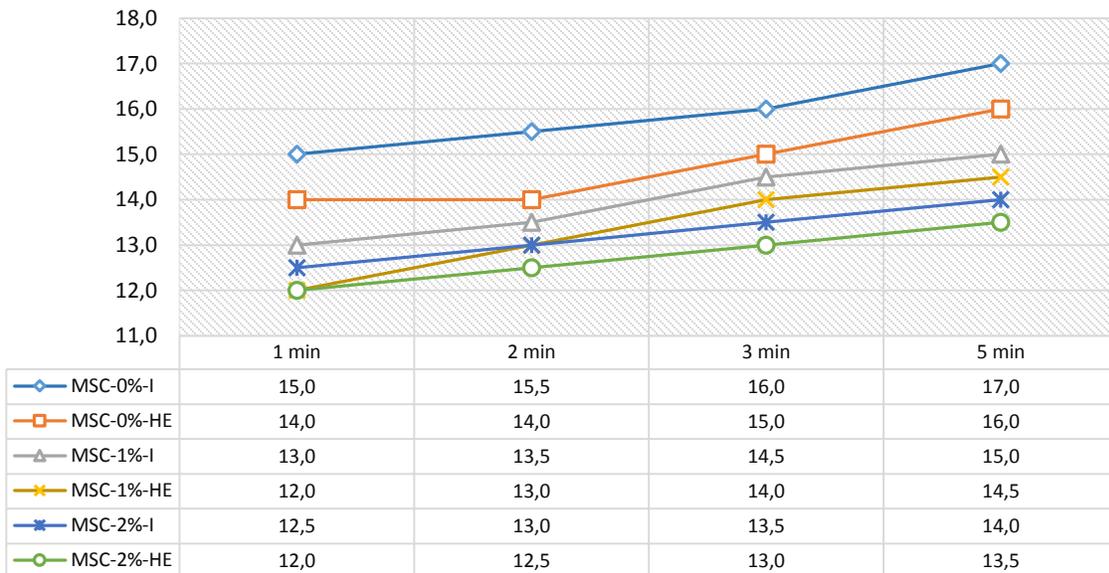
**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Para facilitar la representación de resultados, la figura N° 7, muestra los resultados de la arcilla de la mina Cochancay, mientras que la figura N° 8 de la mina Santa Clara.



**Figura N° 7.-** Trabajabilidad de los morteros realizados con arcilla de la mina Cochancay

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



**Figura N° 8.-** Trabajabilidad de los morteros realizados con arcilla de la mina Santa Clara

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

En la figura N° 7 se observa que las muestras MC-1%-I y MC-0%-I, presenta un mayor diámetro estabilizado en comparación a las demás. Los resultados obtenidos evidencian que las curvas de trabajabilidad de todas las muestras tienen tendencia a seguir aumentando con el tiempo, esto significa que no existe escurrimiento y que las mezclas se estabilizan rápidamente. Las muestras realizadas con cemento tipo HE presentan diámetros ligeramente menores que los conseguidos con cemento tipo IP, ya que al tener un menor tiempo de fraguado hace que el mortero se establezca más rápido, sin embargo todas las muestras realizadas con arcilla de la mina Cochancay superan el rango mínimo establecido para ser usado en impresoras 3D que es de 15 centímetros según lo indica la literatura, por esta razón al elegir una dosificación óptima tomaremos como referencia las muestras que presentaron un menor inicio de fraguado ya que mientras menor inicio de fraguado existe se adquiere buena estabilidad y menor escurrimiento, seleccionando así la muestra MC-2%-HE la cual tiene un diámetro de 23 centímetros .

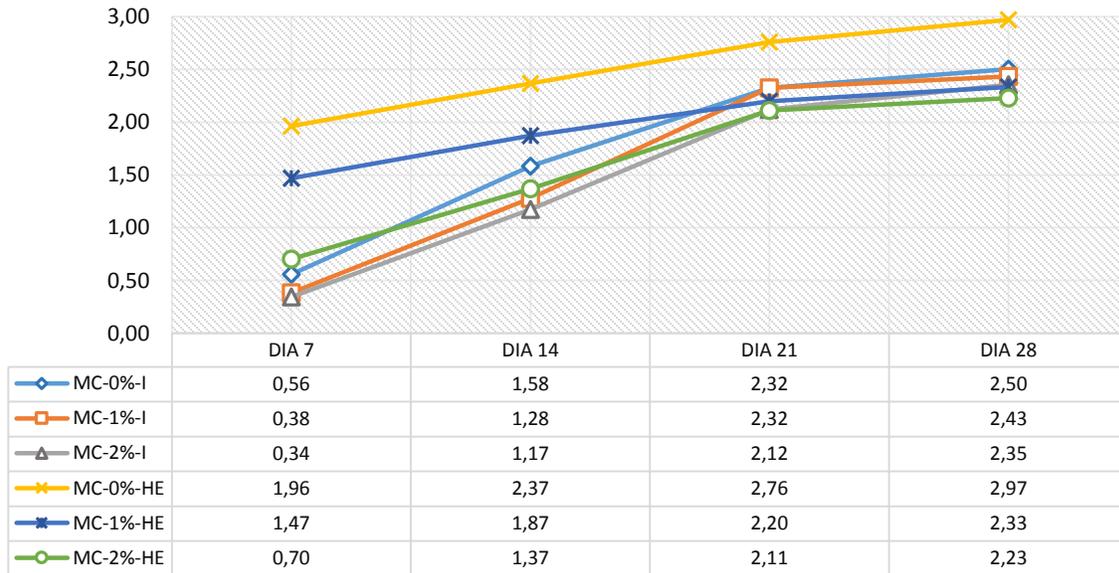
Por último se presentan los resultados de la retracción o pérdida de volumen de nuestros morteros, para lo cual se realizó 6 probetas por cada dosificación y fueron evaluadas a las edades de 7, 14, 21 y 28 días. Se siguieron los procedimientos de la Norma ASTM C 157 (ASTM, 2006) siendo los resultados los siguientes:

**Tabla N° 10.-** Retracción de los morteros de la Mina Cochancay

<b>Probetas</b>	<b>Retracción (%)</b>			
	<b>Día 7</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 21</b>	<b>Día 28</b>
MC-0%-I	0.56	1.58	2.32	2.50
MC-1%-I	0.38	1.28	2.32	2.43
MC-2%-I	0.34	1.17	2.12	2.35
MC-0%-HE	1.96	2.37	2.76	2.97
MC-1%-HE	1.47	1.87	2.20	2.33
MC-2%-HE	0.70	1.37	2.11	2.23

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

### Curva de Retracción - Mina Cochancay



**Figura N° 9.-** Curva de retracción de los morteros de la Mina Cochancay

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Como se observar en la figura N° 9, existe una drástica caída del encogimiento de la probeta con el cemento HE incluyendo fibra, esto se puede deber a que tiene un tiempo de fraguado y endurecimiento menor que el del cemento IP permitiendo que la pasta se adhiriera más rápido a las fibras las cuales contrarrestan las fuerzas tractivas del mortero causadas por la contracción que sufren al perder el agua progresivamente.

**Tabla N° 11.-** Retracción de los morteros de la Mina Santa Clara

Probetas	Retracción (%)			
	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
MSC-0%-I	1.81	2.20	2.30	2.31
MSC-1%-I	1.62	1.83	2.04	2.05
MSC-2%-I	1.36	1.68	1.86	1.86
MSC-0%-HE	2.11	2.32	2.43	2.44
MSC-1%-HE	1.07	1.31	1.65	1.68
MSC-2%-HE	0.86	0.96	1.25	1.27

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

### Curva de Retracción - Mina Santa Clara

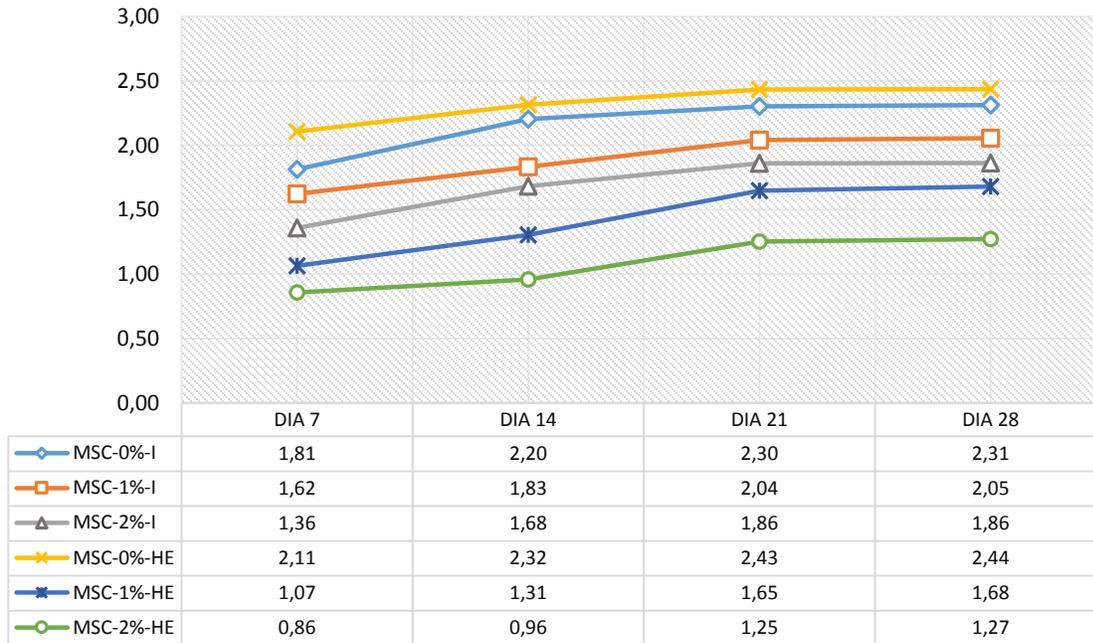


Figura N° 10.- Curva de retracción de los morteros de la Mina Santa Clara

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Como se puede observar en la figura N° 10, la retracción del mortero se ha visto mitigada con la inclusión de fibra de coco tanto para el cemento tipo IP como para el HE, sobre todo para este último pasando de un 2.44% de encogimiento de su longitud con 0% de fibra a 1.27% de encogimiento con la inclusión del 2% de fibra debido a que éstas fibras se oponen a las fuerzas tractivas del mortero.

En ambos gráficos (figura N° 9 y N° 10) se puede observar que las probetas con cemento tipo HE sin inclusión de fibras sufren una notoria retracción frente a las probetas de cemento tipo IP, esto puede deberse a que el cemento tipo HE es un cemento destinado a la obtención de altas resistencia a tempranas edades lo que ocasiona que se produzca un mayor calor de hidratación evaporando de manera acelerada el agua contenida en la pasta, esta elevada temperatura de hidratación está relacionada con el alto contenido de aluminatos y silicatos tricálcicos que contienen estos cementos.

Por otra parte, considerando el inicio de fraguado y la trabajabilidad se observó que la mezcla de cemento portland tipo HE y arcilla de la mina Cochancay, con 2% de fibras de coco (MC-2%-HE) se encuentra dentro de los límites permisibles para ser usado en una impresora 3D, al igual que fue la mezcla que presentó menores pérdidas de volumen a edades tempranas y a largo plazo, la misma tiene una resistencia a la compresión de 4.50 MPa a los 28 días.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados obtenidos en la presente investigación:

**Tabla N° 12.-** Resumen de Resultados y Discusión

<b>MEZCLA</b>	<b>Tiempo de Fraguado (min)</b>	<b>Trabajabilidad (cm)</b>	<b>Retracción (%)</b>
MC-0%-I	30	24.0	2.50
MC-0%-HE	25	22.5	2.43
MC-1%-I	30	23.5	2.35
MC-1%-HE	25	22.5	2.97
MC-2%-I	30	22.0	2.33
MC-2%-HE	25	23.0	2.23
MSC-0%-I	45	17.0	2.31
MSC-0%-HE	40	16.0	2.05
MSC-1%-I	45	15.0	1.86
MSC-1%-HE	40	14.5	2.44
MSC-2%-I	45	14.0	1.68
MSC-2%-HE	40	13.5	1.27

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

El objetivo de esta investigación fue el de reducir el fenómeno de retracción que presenta el mortero diseñado con arcillas y cemento portland tipo I mediante la incorporación de fibras de coco y cemento portland tipo HE. Una vez realizados los ensayos y hecho un análisis comparativo entre las muestras estudiadas, se determinó que al incorporar fibras de coco y cemento portland tipo HE se disminuye la retracción, siendo la arcilla proveniente de la mina Santa Clara (Puyo - Tena) la que presentó mejores resultados.

La inclusión de fibras de coco en el mortero con arcilla reduce notablemente la retracción por secado sin embargo, la retracción aún sigue siendo elevada alcanzado un mínimo de encogimiento del 1.27% para la mezcla MSC-2%-HE y 2.23% para la mezcla MC-2%-HE del total de su longitud inicial. Las mezclas que mejor comportamiento sufren ante la retracción al incluir fibras de coco son las que contiene cemento HE el cual se caracteriza por tener un tiempo de fraguado menor y alta resistencia, esto podría significar que un rápido fraguado ayuda a que la pasta se adhiera a las fibras con mayor rapidez disminuyendo la retracción notablemente.

### **6.2. RECOMENDACIONES**

El enfoque del presente proyecto fue orientado netamente a la retracción del mortero, creando una línea base que conjuntamente con los demás proyectos que se han desarrollado sobre este tema, puedan dar paso a un material de óptimas condiciones y propiedades, por lo que se recomienda juntar todos los materiales producto de estas investigaciones.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Altamirano, G., & Sanchez, S. (2015). Utilización de la fibra de coco en la elaboración de piezas ecosustentables de mampostería. *Unidad Académica de Ingeniería UAGro.*, (October).
- ASTM. (2000). ASTM D-422 Análisis Granulométrico. *American Society of Testing Materials*.
- ASTM. (2006). ASTM C 157 Método de prueba estándar para el cambio de longitud del mortero y el cemento de cemento hidráulico endurecido. *American Society of Testing Materials*.
- Cabrera-Covarrubias, F. G., Gómez-Soberón, J. M., Almaral-Sánchez, J. L., Arredondo-Rea, S. P., & Corral-Higuera, R. (2015). Mechanical properties of mortars containing recycled ceramic as a fine aggregate replacement. *Revista de La Construcción*, 14(3), 22–29.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-915X2015000300003>
- Cemento Chimborazo. (2012). Fichas Técnicas.
- Chimbolema, S. (2017). Diseño de un mortero con arcillas y cemento portland tipo i para su uso en impresoras 3D. *Universidad Nacional de Chimborazo*.
- ClaurinArq. (2017). Claurin.com Arq. Construcciones. Retrieved from [https://www.clarin.com/arq/construccion/impresora-3d-construyo-casa-24-horas-40-barata\\_0\\_r1qb2nTjg.html](https://www.clarin.com/arq/construccion/impresora-3d-construyo-casa-24-horas-40-barata_0_r1qb2nTjg.html)
- Estrella, A. (2016). Estudio de un material compuesto a base de fibras naturales de cabuya para mejorar las propiedades mecánicas de elementos de concreto reforzado. *Universidad Nacional de Chimborazo*.
- Garcés, D., & Catrillón, O. (2017). Diseño de una Técnica Inteligente para Identificar y Reducir los Tiempos Muertos en un Sistema de Producción. *Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Y Arquitectura*.
- INEN. INEN 158 Determinación del tiempo de fraguado, Método VICAT (2009). Quito - Ecuador.

- INEN. INEN 690 Determinación del contenido de agua étodo del secado al horno (2010). Quito - Ecuador.
- INEN. INEN 691 Determinación del Límite Líquido Método de Casa Grande (2010).
- INEN. INEN 692 Determinación del Límite Plástico (2010).
- INEN. INEN 696 Análisis Granulométrico en los áridos, fino y gruesos (2011).
- Limonte, G. (2016). Evaluación de medidas de mitigación de la hormigones para obras hoteleras en Cayo Coco . *Universidad Central “Martha Abreli” De Las Villas*.
- Paricaguán, B. (2015). Contribución al estudio del comportamiento mecánico y fisicoquímico del concreto reforzado con fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar para su uso en construcción. *Universidad de Carabobo, Direccion de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería*.
- Quito, A. (2016). Aprovechamiento de los residuos de coco para su uso interno y exportación. *Universidad de Guayaquil*.
- Sánchez, J., & Barrios, J. (1997). La retracción en los morteros de cal. *Materiales de Construcción*, 47(245), 17–28.
- Sharma, S., & Singgh, J. (2017). Impact of partial replacement with rice husk ash and proportionate addition of coconut fibre on concrete. *Departament of Civil Engineering, 1806–1813*.
- Torres Remón, R. (2016). Diseño de hormigón para impresión en 3D. *Universidad Politecnica de Valencia*.
- Uribe, R. A. (2015). Investigaciones de Materias Primas Minerales No Metálicas en el Ecuador. *Revista Politécnica*, 36(3), 34–44.

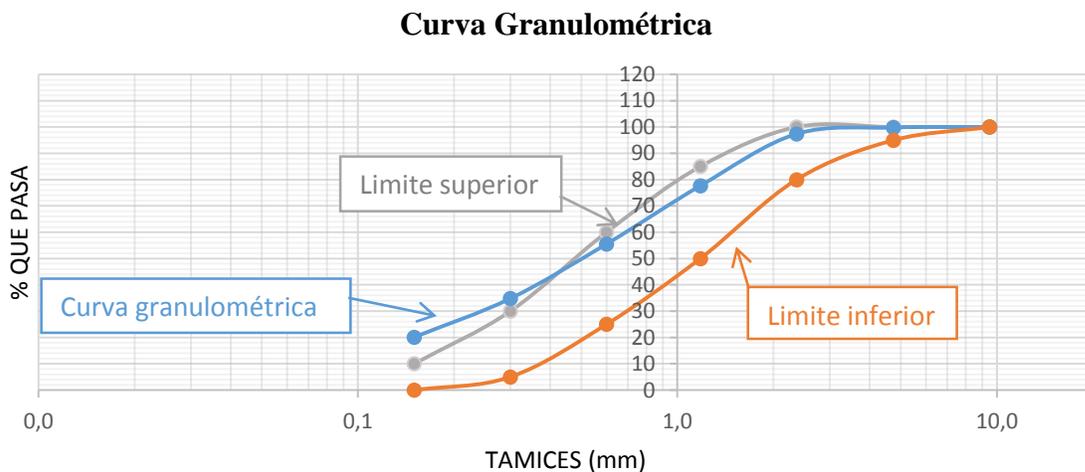
## 8. ANEXOS

### Anexo 1: Análisis Granulométrico

**Tabla N° 13.- Granulometría - Muestra 1, Arcilla Cochancay**

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>Muestra 1:</b> Mina Cochancay		<b>Fecha de Muestreo:</b> 24/01/2018 (10H00)					
<b>Ubicación:</b> Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH		<b>Fecha de Ensayo:</b> 25/01/2018 (11H00)					
<b>Director del Proyecto:</b> Ing. Javier Palacios		<b>Realizado por:</b> Paul Flores y Bacilio Nieto					
<b>TABULACION DE RESULTADOS</b>							
TAMICES	Retenido Parcial + Recipiente (g)	Retenido Parcial – Recipiente (g)	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos		
<b>3/8"</b>	134	0	0,00	100,00	100	100	
<b>N° 4</b>	135	1	0,20	99,80	95	100	
<b>N° 8</b>	146	12	2,62	97,38	80	100	
<b>N° 16</b>	232	98	22,33	77,67	50	85	
<b>N° 30</b>	244	110	44,47	55,53	25	60	
<b>N° 50</b>	237	103	65,19	34,81	5	30	
<b>N° 100</b>	207	73	79,88	20,12	0	10	
<b>BANDEJA</b>	234	100	100,00	0,00			
<b>TOTAL</b>		497					
<b>MÓDULO DE FINURA</b>		<b>3,15</b>					

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



**Figura N° 11.- Curva Granulométrica - Muestra 1, Arcilla Cochancay**

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Tabla N° 14.- Granulometría - Muestra 2, Arcilla Cochancay



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

**Muestra 2:** Mina Cochancay

**Fecha de Muestreo:** 24/01/2018 (10H00)

**Ubicación:** Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba,  
Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

**Fecha de Ensayo:** 25/01/2018 (11H00)

**Director del Proyecto:** Ing. Javier Palacios

**Realizado por:** Paul Flores y Bacilio Nieto

**TABULACION 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
N° 4	135	1	0,20	99,80	95
N° 8	142	8	1,81	98,19	80
N° 16	221	87	19,28	80,72	50
N° 30	244	110	41,37	58,63	25
N° 50	245	111	63,65	36,35	5
N° 100	212	78	79,32	20,68	0
<b>BANDEJA</b>	237	103	100,00	0,00	
<b>TOTAL</b>		498			
<b>MÓDULO DE FINURA</b>		<b>3,06</b>			

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Curva Granulométrica**

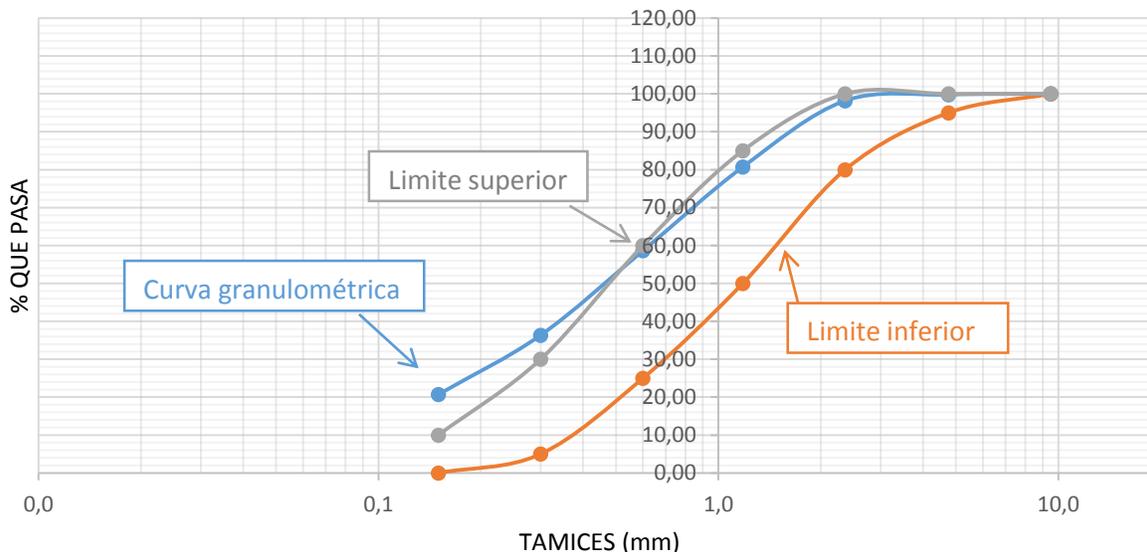


Figura N° 12.- Curva Granulométrica - Muestra 2, Arcilla Cochancay

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Tabla N° 15.- Granulometría - Muestra 3, Arcilla Cochancay

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>Muestra 3:</b> Mina Cochancay		<b>Fecha de Muestreo:</b> 24/01/2018 (10H00)				
<b>Ubicación:</b> Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH		<b>Fecha de Ensayo:</b> 25/01/2018 (11H00)				
<b>Director del Proyecto:</b> Ing. Javier Palacios		<b>Realizado por:</b> Paul Flores y Bacilio Nieto				
<b>TABULACION DE RESULTADOS</b>						
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	135	1	0,20	99,80	95	100
N° 8	146	12	2,61	97,39	80	100
N° 16	245	111	24,85	75,15	50	85
N° 30	248	114	47,70	52,30	25	60
N° 50	235	101	67,94	32,06	5	30
N° 100	202	68	81,56	18,44	0	10
<b>BANDEJA</b>	226	92	100,00	0,00		
<b>TOTAL</b>		499				
<b>MÓDULO DE FINURA</b>		<b>3,25</b>				

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

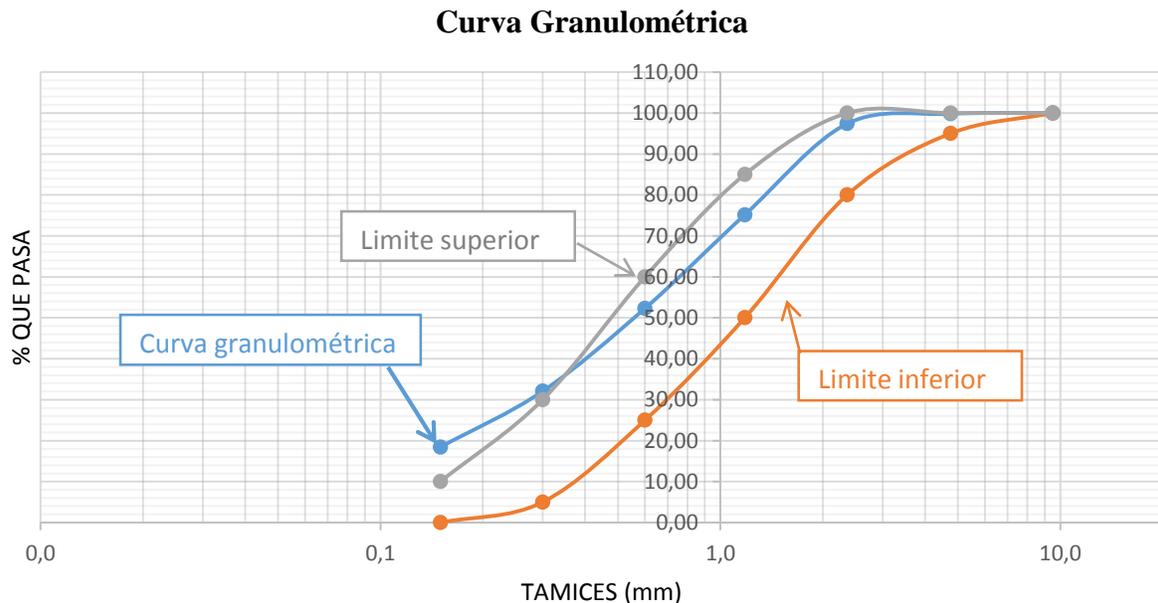


Figura N° 13.- Curva Granulométrica - Muestra 3, Arcilla Cochancay

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Tabla N° 16.- Granulometría - Muestra 1, Arcilla Santa Clara

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>Muestra 1:</b> Mina Santa Clara		<b>Fecha de Muestreo:</b> 24/01/2018 (10H30)				
<b>Ubicación:</b> Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH		<b>Fecha de Ensayo:</b> 25/01/2018 (11H30)				
<b>Director del Proyecto:</b> Ing. Javier Palacios		<b>Realizado por:</b> Paul Flores y Bacilio Nieto				
<b>TABULACION DE RESULTADOS</b>						
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	135	0	0,00	100,00	95	100
N° 8	140	6	1,20	98,80	80	100
N° 16	261	127	26,71	73,29	50	85
N° 30	231	97	46,18	53,82	25	60
N° 50	202	68	59,84	40,16	5	30
N° 100	198	64	72,69	27,31	0	10
<b>BANDEJA</b>	270	136	100,00	0,00		
<b>TOTAL</b>		498				
<b>MÓDULO DE FINURA</b>		<b>3,07</b>				

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

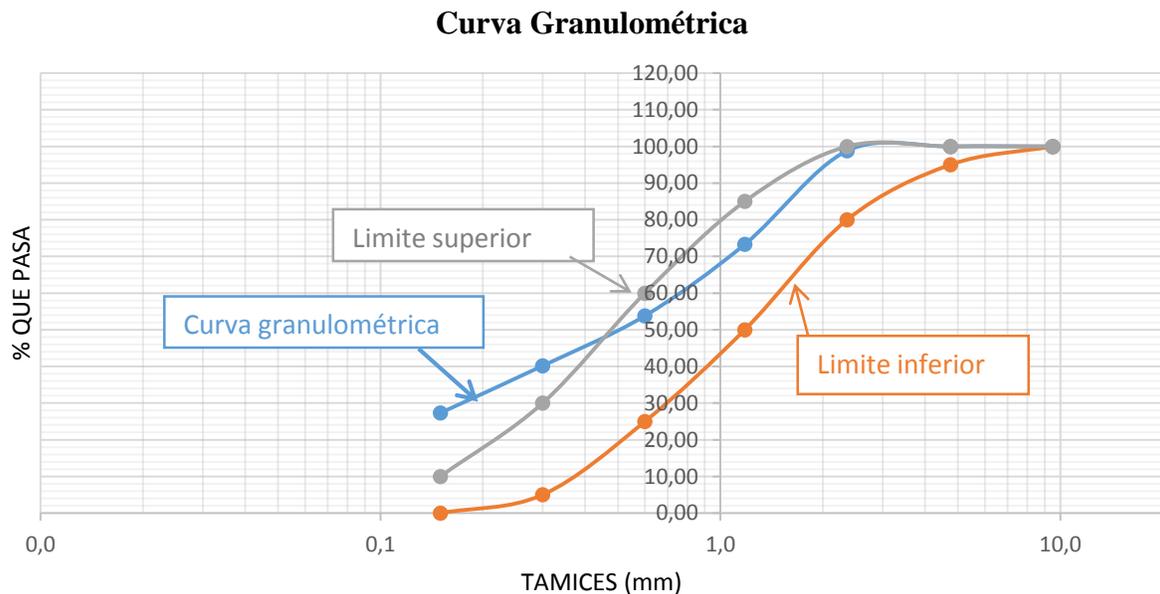


Figura N° 14.- Curva Granulométrica - Muestra 1, Arcilla Santa Clara

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Tabla N° 17.- Granulometría - Muestra 2, Arcilla Santa Clara

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>Muestra 2:</b> Mina Santa Clara		<b>Fecha de Muestreo:</b> 24/01/2018 (10H30)				
<b>Ubicación:</b> Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH		<b>Fecha de Ensayo:</b> 25/01/2018 (11H30)				
<b>Director del Proyecto:</b> Ing. Javier Palacios		<b>Realizado por:</b> Paul Flores y Bacilio Nieto				
<b>TABULACION DE RESULTADOS</b>						
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
<b>BANDEJA</b>	<b>284</b>	<b>150</b>	<b>100,00</b>	<b>0,00</b>		
<b>TOTAL</b>		<b>496</b>				
<b>MÓDULO DE FINURA</b>		<b>3,02</b>				

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

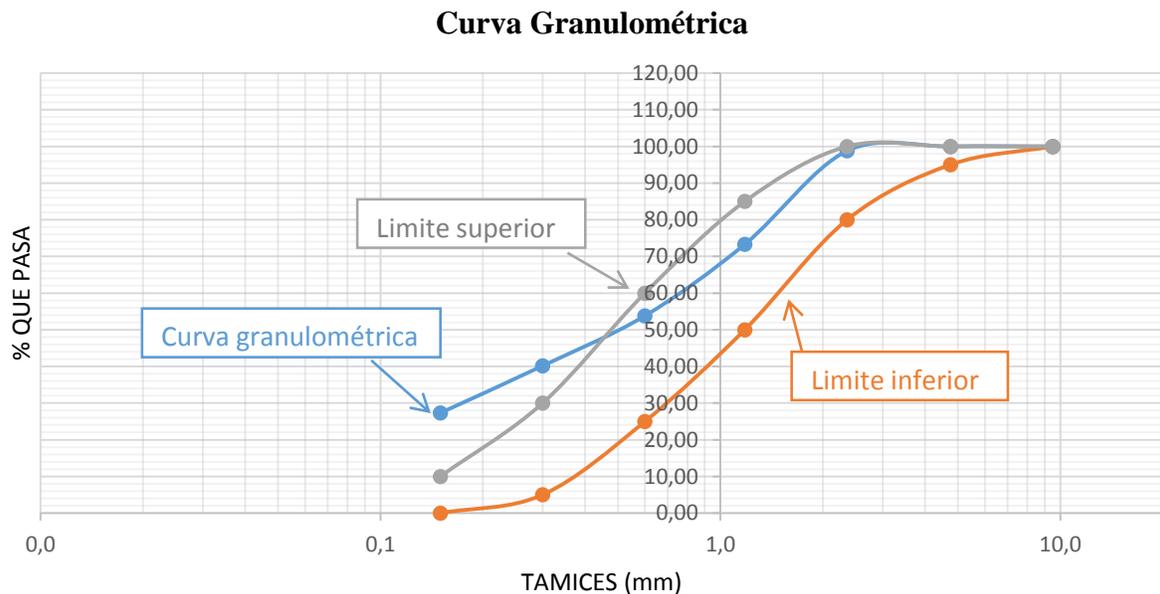


Figura N° 15.- Curva Granulométrica - Muestra 2, Arcilla Santa Clara

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Tabla N° 18.- Granulometría - Muestra 3, Arcilla Santa Clara

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>Muestra 3:</b> Mina Santa Clara		<b>Fecha de Muestreo:</b> 24/01/2018 (10H30)				
<b>Ubicación:</b> Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH		<b>Fecha de Ensayo:</b> 25/01/2018 (11H30)				
<b>Director del Proyecto:</b> Ing. Javier Palacios		<b>Realizado por:</b> Paul Flores y Bacilio Nieto				
<b>TABULACION DE RESULTADOS</b>						
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	140	6	1,20	98,80	80	100
N° 16	262	128	26,85	73,15	50	85
N° 30	231	97	46,29	53,71	25	60
N° 50	202	68	59,92	40,08	5	30
N° 100	190	56	71,14	26,86	0	10
<b>BANDEJA</b>	<b>278</b>	<b>144</b>	<b>100,00</b>	<b>0,00</b>		
<b>TOTAL</b>		<b>499</b>				
<b>MÓDULO DE FINURA</b>		<b>3,05</b>				

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

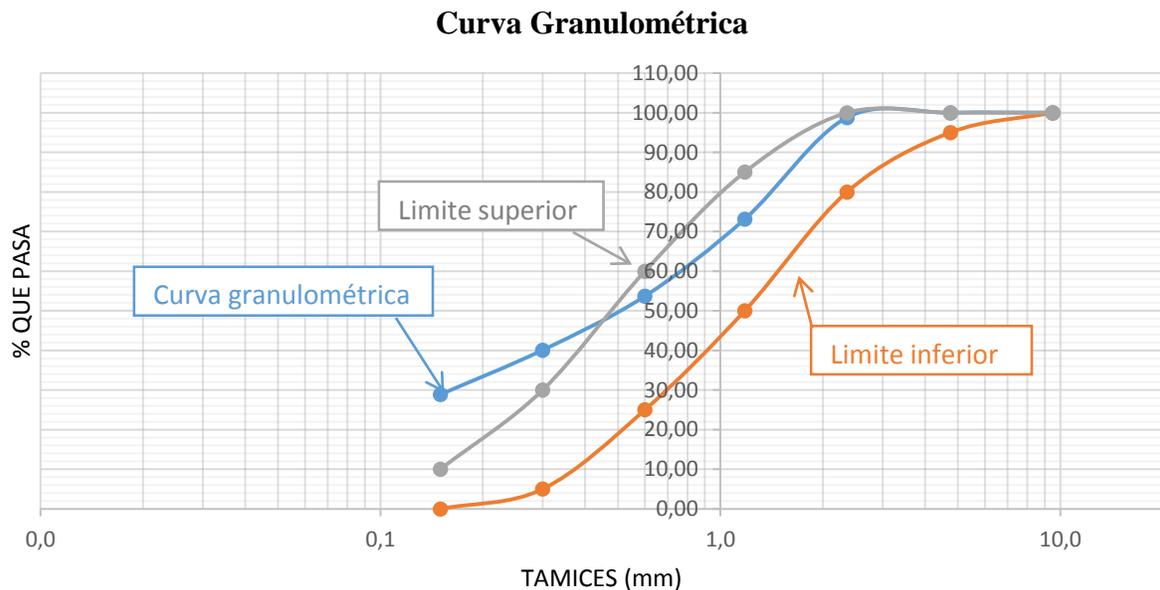


Figura N° 16.- Curva Granulométrica - Muestra 3, Arcilla Santa Clara

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Anexo 2: Determinación del Límite Líquido bajo la Norma INEN 691 (INEN, 2010)**

**Tabla N° 19.- Limite Liquido - Mina Cochancay**



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



**Muestra:** Mina Cochancay

**Fecha de Muestreo:** 24/01/2018 (09H45)

**Ubicación:** Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba,  
Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

**Fecha de Ensayo:** 25/01/2018 (10H00)

**Director del Proyecto:** Ing. Javier Palacios

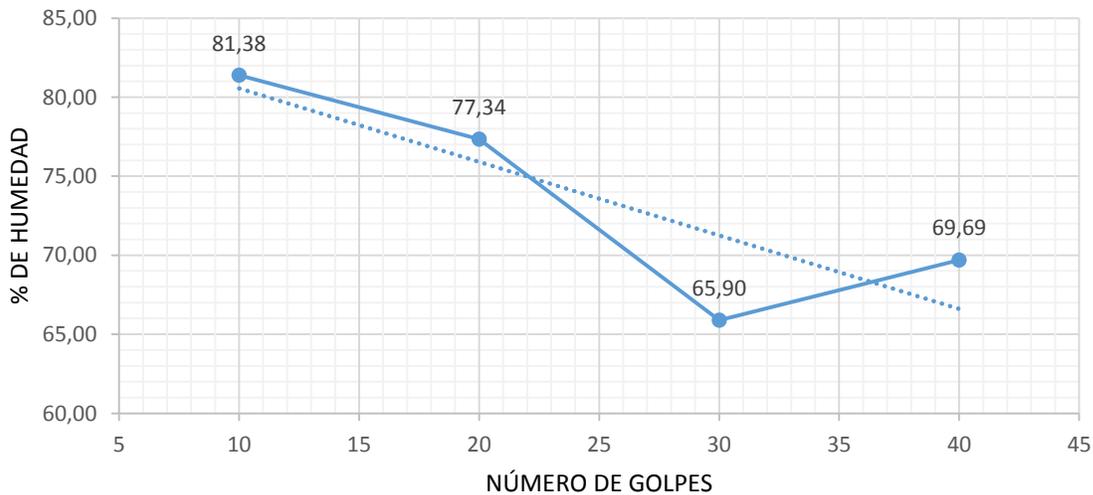
**Realizado por:** Paul Flores y Bacilio Nieto

**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
<b>% Humedad Promedio</b>	<b>81.38</b>		<b>77.34</b>		<b>65.90</b>		<b>69.69</b>	

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Límite Líquido "Mina Cochancay"**



**Figura N° 17.- Limite Liquido - Mina Cochancay**

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Tabla N° 20.- Limite Liquido - Mina Santa Clara



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



**Muestra:** Mina Santa Clara

**Fecha de Muestreo:** 24/01/2018 (09H45)

**Ubicación:** Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba,  
Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH

**Fecha de Ensayo:** 25/01/2018 (10H00)

**Director del Proyecto:** Ing. Javier Palacios

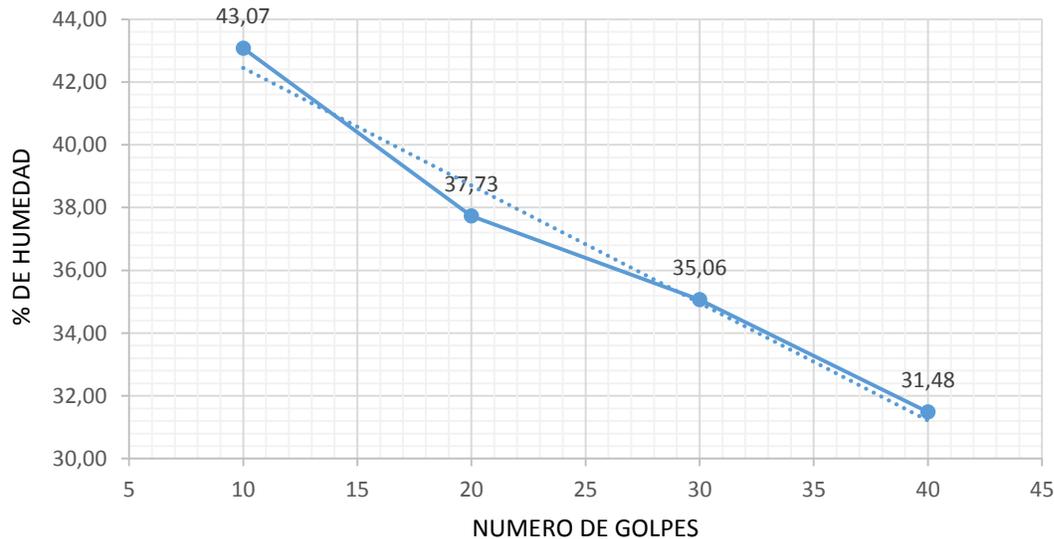
**Realizado por:** Paul Flores y Bacilio Nieto

**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)	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
<b>% Humedad Promedio</b>	<b>43.07</b>		<b>37.73</b>		<b>35.06</b>		<b>31.48</b>	

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Límite Líquido "Mina Santa Clara"**



**Figura N° 18.- Limite Liquido - Mina Santa Clara**

Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Anexo 3:** Determinación del Límite Plástico bajo la Norma INEN 692 (INEN, 2010)

**Tabla N° 21.-** Limite Plástico – Mina Cochancay

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> </div>  </div>						
<b>Muestra:</b> Mina Cochancay			<b>Fecha de Muestreo:</b> 24/01/2018 (09H45)			
<b>Ubicación:</b> Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH			<b>Fecha de Ensayo:</b> 25/01/2018 (10H00)			
<b>Director del Proyecto:</b> Ing. Javier Palacios			<b>Realizado por:</b> Paul Flores y Bacilio Nieto			
<b>TABULACIÓN DE RESULTADOS</b>						
Recipientes	Masa recipiente (g)	Masa R+Mn (g)	Masa R+Mn (g)	Masa Mn (g)	Masa Ms (g)	% Humedad
Tara 1	9.13	9.56	9.43	0.43	0.30	43.30
Tara 2	9.11	9.48	9.36	0.37	0.25	48.00
Limite Plástico			45.67			
<b>Índice de Plasticidad</b>						
Limite Plástico	45.67					
Limite Liquido	73.58					
Índice de plasticidad	27.91					
<b>Resultado:</b>		<b>MATERIAL PLÁSTICO</b>				

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Tabla N° 22.- Limite Plástico – Mina Santa Clara

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>Muestra:</b> Mina Santa Clara		<b>Fecha de Muestreo:</b> 24/01/2018 (09H45)				
<b>Ubicación:</b> Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH		<b>Fecha de Ensayo:</b> 25/01/2018 (10H00)				
<b>Director del Proyecto:</b> Ing. Javier Palacios		<b>Realizado por:</b> Paul Flores y Bacilio Nieto				
<b>TABULACIÓN DE RESULTADOS</b>						
Recipientes	Masa recipiente (g)	Masa R+Mn (g)	Masa R+Mn (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			
<b>Índice de Plasticidad</b>						
Limite Plástico	20.34					
Limite Liquido	36.84					
Índice de plasticidad	16.49					
<b>Resultado:</b>		<b>MATERIAL PLÁSTICO</b>				

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Anexo 4:** Determinación de los Tiempos de fraguado de las muestras

**Tabla N° 23.-** Tiempos de Fraguado - Mina Cochancay

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<b>Ubicación:</b>	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH	<b>Fecha de Muestreo:</b> 21/03/2018 <b>Fecha de Ensayo:</b> 21/03/2018 <b>Realizado por:</b> Paul Flores y Bacilio Nieto			
<b>Director del Proyecto:</b>	Ing. Javier Palacios				
<b>TABULACIÓN DE RESULTADOS</b>					
<b>MC 0% CI</b>		<b>MC 1% CI</b>		<b>MC 2% CI</b>	
Hora de elaboración: 11:00		Hora de elaboración: 11:00		Hora de elaboración: 11:00	
Tiempo (h)	Distancia (mm)	Tiempo (h)	Distancia (mm)	Tiempo (h)	Distancia (mm)
11:30	25	11:30	25	11:30	25
11:45	23	11:45	22	12:00	23
12:00	21	12:00	16	12:15	21
12:15	18	12:15	14	12:30	16
12:30	16	12:30	11	12:45	9
12:45	15	12:45	8	13:00	6
13:00	13	13:00	5	13:15	4
13:15	8	13:15	4	13:30	2
13:30	5	13:30	2	13:45	0
13:45	3	13:45	0		
14:00	0				
<b>MC 0% HE</b>		<b>MC 1% HE</b>		<b>MC 2% HE</b>	
Hora de elaboración: 11:10		Hora de elaboración: 11:10		Hora de elaboración: 11:10	
Tiempo (h)	Distancia (mm)	Tiempo (h)	Distancia (mm)	Tiempo (h)	Distancia (mm)
11:35	25	11:35	25	11:35	25
11:40	21	11:40	20	11:40	23
11:55	18	11:55	15	11:55	15
12:10	12	12:10	9	12:10	9
12:25	8	12:25	7	12:25	5
12:40	4	12:40	3	12:40	2
12:55	2	12:55	1	12:55	0
13:10	0	13:10	0		

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

Tabla N° 24.- Tiempos de Fraguado - Mina Santa Clara

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>Ubicación:</b>	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de Ingeniería Civil UNACH	<b>Fecha de Muestreo:</b>	21/03/2018		
<b>Director del Proyecto:</b>	Ing. Javier Palacios	<b>Fecha de Ensayo:</b>	21/03/2018		
		<b>Realizado por:</b>	Paul Flores y Bacilio Nieto		
<b>TABULACIÓN DE RESULTADOS</b>					
<b>MSC 0% CI</b>		<b>MSC 1% CI</b>		<b>MSC 2% CI</b>	
Hora de elaboración: 15:00		Hora de elaboración: 15:00		Hora de elaboración: 15:00	
Tiempo (h)	Distancia (mm)	Tiempo (h)	Distancia (mm)	Tiempo (h)	Distancia (mm)
15:45	25	15:45	25	15:45	25
16:00	22	16:00	17	16:00	21
16:15	15	16:15	14	16:15	15
16:30	13	16:30	10	16:30	10
16:45	10	16:45	7	16:45	8
17:00	7	17:00	5	17:00	7
17:15	5	17:15	4	17:15	5
17:30	4	17:30	3	17:30	3
17:45	3	17:45	2	17:45	0
18:00	2	18:00	0		
18:15	0				
<b>MSC 0% HE</b>		<b>MSC 1% HE</b>		<b>MSC 2% HE</b>	
Hora de elaboración: 15:10		Hora de elaboración: 15:10		Hora de elaboración: 15:10	
Tiempo (h)	Distancia (mm)	Tiempo (h)	Distancia (mm)	Tiempo (h)	Distancia (mm)
15:50	25	15:50	25	15:50	25
16:05	20	16:05	22	16:05	17
16:20	18	16:20	18	16:20	12
16:35	13	16:35	13	16:35	15
16:50	7	16:50	9	16:50	7
17:05	8	17:05	7	17:05	5
17:20	6	17:20	5	17:20	3
17:35	5	17:35	3	17:35	2
17:50	3	17:50	1	17:50	0
18:05	2	18:05	0		
18:20	0				

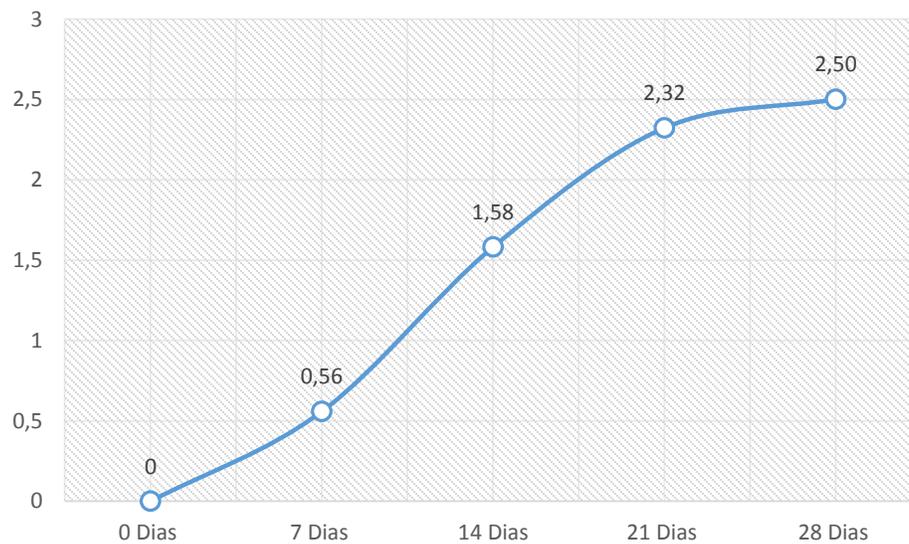
Elaborado por: Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

## Anexo 5: Retracción de las probetas de morteros

**Tabla N° 25.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-0%-I)

<b>Resumen Mortero MC-0%-I</b>	
0 Días	0
7 Días	0.56
14 Días	1.58
21 Días	2.32
28 Días	2.50

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



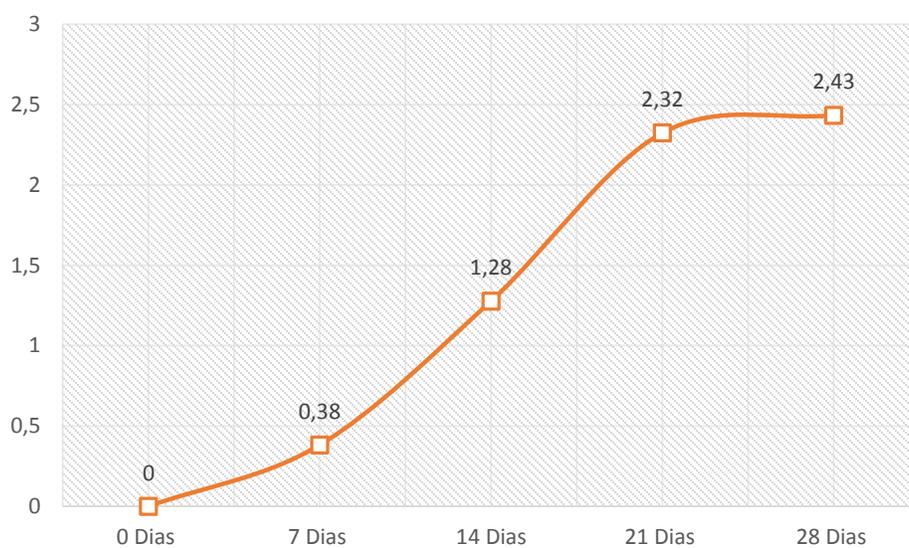
**Figura N° 19.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-0%-I)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Tabla N° 26.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-1%-I)

<b>Resumen Mortero MC-1%-I</b>	
0 Días	0
7 Días	0.38
14 Días	1.28
21 Días	2.32
28 Días	2.43

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



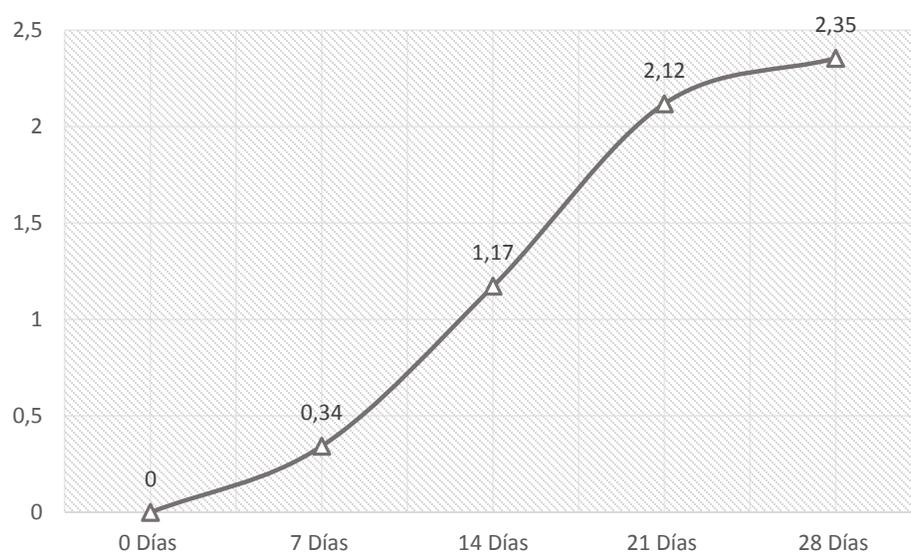
**Figura N° 20.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-1%-I)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Tabla N° 27.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-2%-I)

<b>Resumen Mortero MC-2%-I</b>	
0 Días	0
7 Días	0.34
14 Días	1.17
21 Días	2.12
28 Días	2.35

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



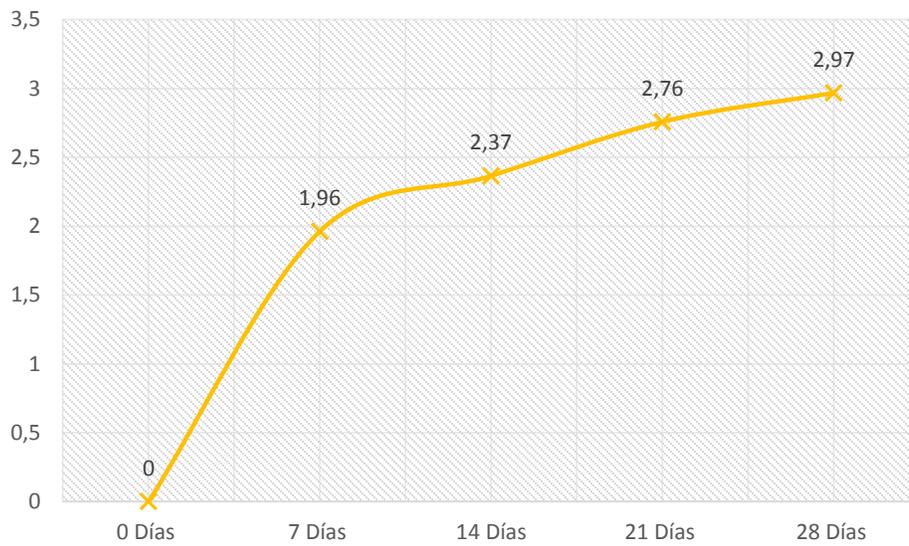
**Figura N° 21.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-2%-I)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Tabla N° 28.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-0%-HE)

<b>Resumen Mortero MC-0%-HE</b>	
0 Días	0
7 Días	1.96
14 Días	2.37
21 Días	2.76
28 Días	2.97

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



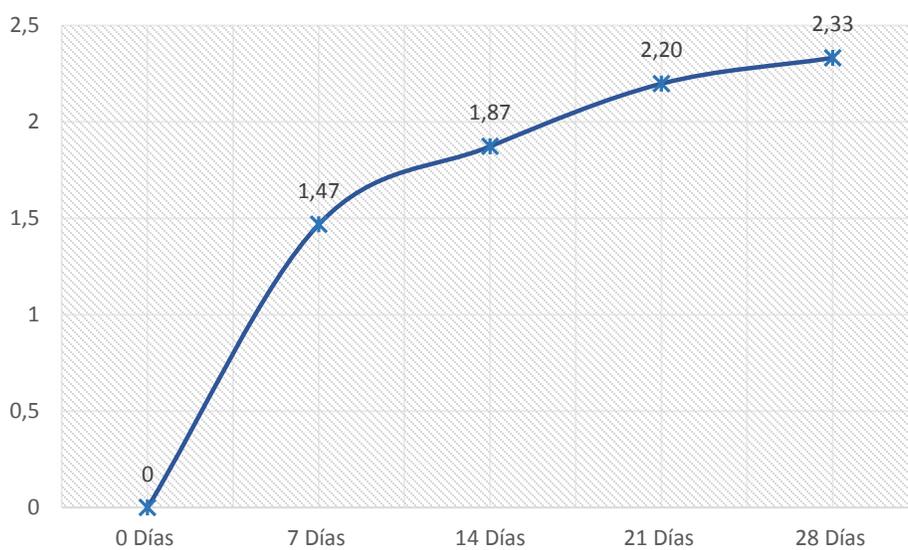
**Figura N° 22.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-0%-HE)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Tabla N° 29.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-1%-HE)

<b>Resumen Mortero MC-1%-HE</b>	
0 Días	0
7 Días	1.47
14 Días	1.87
21 Días	2.20
28 Días	2.33

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



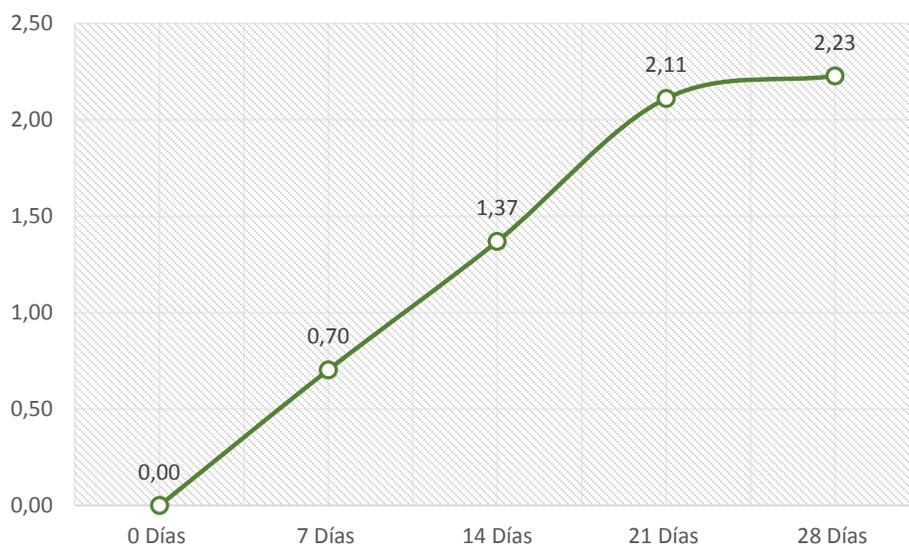
**Figura N° 23.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-1%-HE)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Tabla N° 30.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-2%-HE)

<b>Resumen Mortero MC-2%-HE</b>	
0 Días	0
7 Días	0.70
14 Días	1.37
21 Días	2.11
28 Días	2.23

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



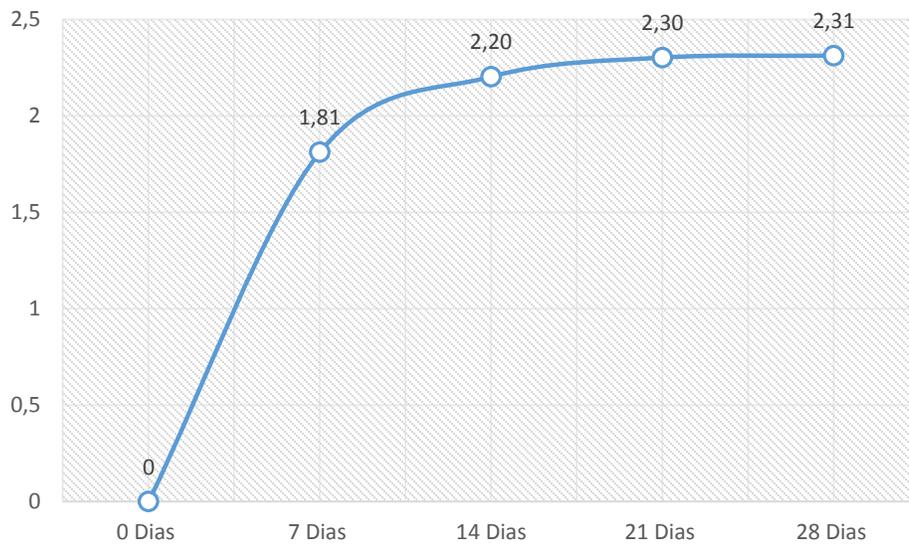
**Figura N° 24.-** Resultados de la retracción - Mina Cochancay (MC-2%-HE)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Tabla N° 31.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-0%-I)

<b>Resumen Mortero MSC-0%-I</b>	
0 Días	0
7 Días	1.81
14 Días	2.20
21 Días	2.30
28 Días	2.31

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



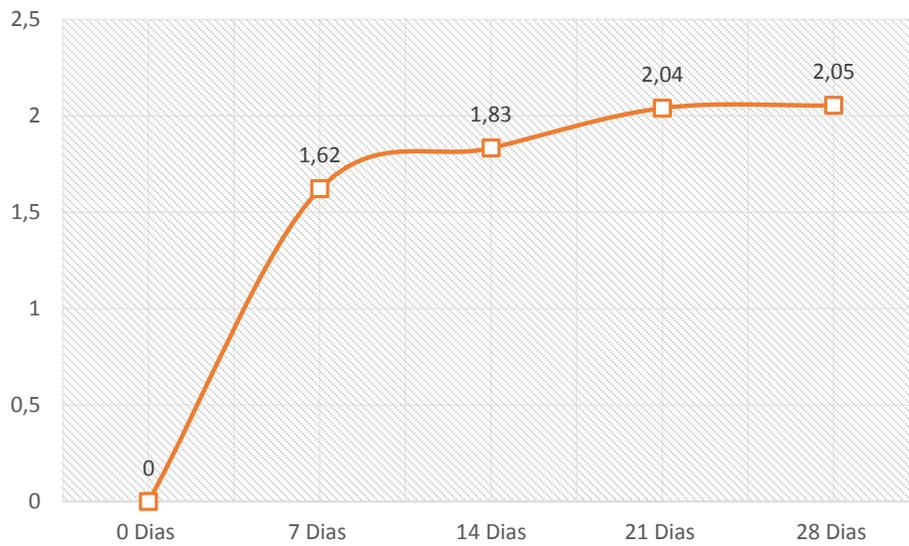
**Figura N° 25.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-0%-I)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Tabla N° 32.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-1%-I)

<b>Resumen Mortero MSC-1%-I</b>	
0 Días	0
7 Días	1.62
14 Días	1.83
21 Días	2.04
28 Días	2.05

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



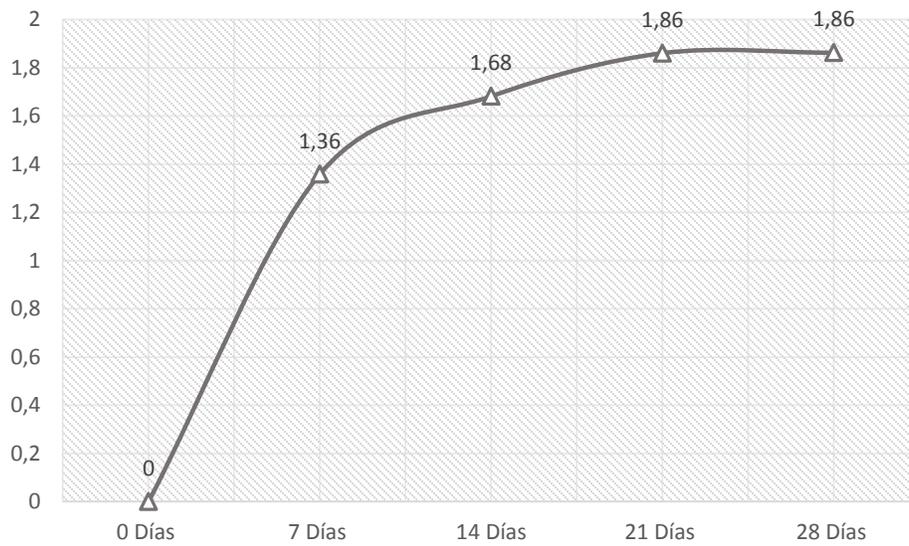
**Figura N° 26.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-1%-I)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Tabla N° 33.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-2%-I)

<b>Resumen Mortero MSC-2%-I</b>	
0 Días	0
7 Días	1.36
14 Días	1.68
21 Días	1.86
28 Días	1.86

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



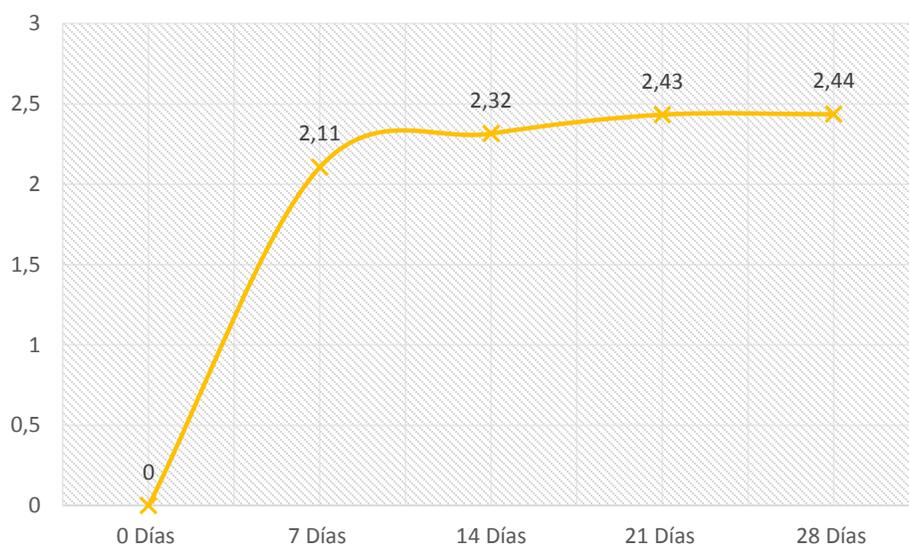
**Figura N° 27.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-2%-I)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Tabla N° 34.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-0%-HE)

<b>Resumen Mortero MSC-0%-HE</b>	
0 Días	0
7 Días	2.11
14 Días	2.32
21 Días	2.43
28 Días	2.44

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



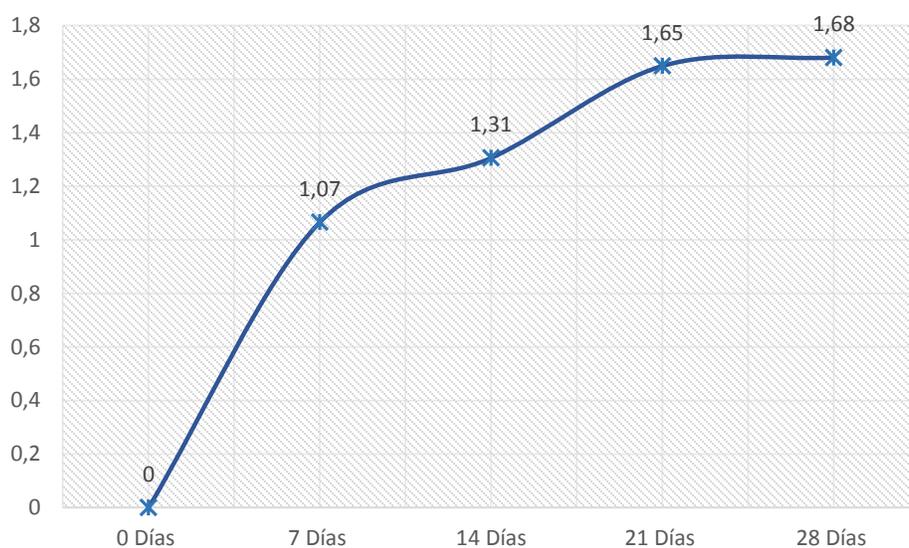
**Figura N° 28.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-0%-HE)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Tabla N° 35.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-1%-HE)

<b>Resumen Mortero MSC-1%-HE</b>	
0 Días	0
7 Días	1.07
14 Días	1.31
21 Días	1.65
28 Días	1.68

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



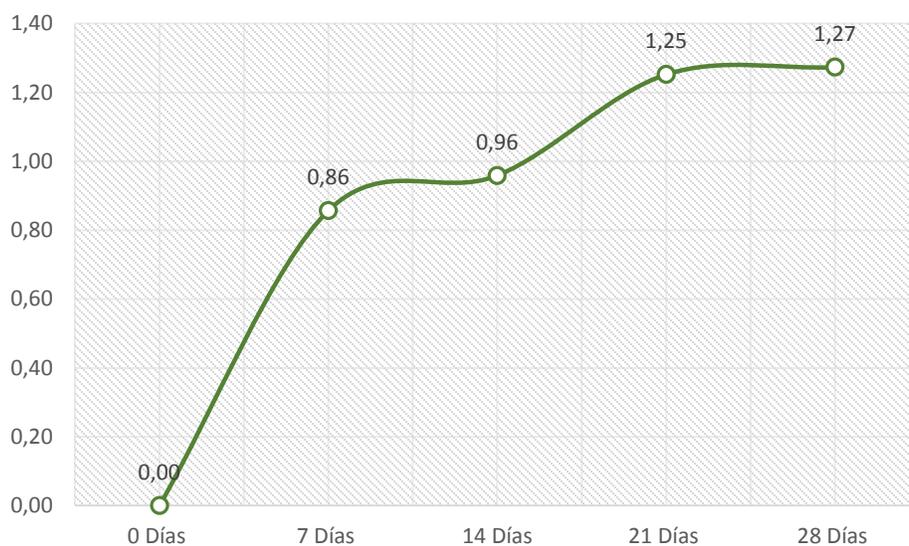
**Figura N° 29.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-1%-HE)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.

**Tabla N° 36.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-2%-HE)

<b>Resumen Mortero MSC-0%-HE</b>	
0 Días	0
7 Días	0.86
14 Días	0.96
21 Días	1.25
28 Días	1.27

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.



**Figura N° 30.-** Resultados de la retracción - Mina Santa Clara (MSC-1%-HE)

**Elaborado por:** Flores T. Paul R. & Nieto N. Bacilio I.