

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**INFLUENCIA DEL EFECTO ALCALINO EN LAS  
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MORTERO REFORZADO  
CON FIBRAS DE ABACÁ.**

**AUTOR:**

**GABRIELA ESTHEFANÍA CALLE BALLADARES**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de**

**INGENIERA CIVIL**

**TUTOR:**

**ING. STEFANY ALCÍVAR BASTIDAS, MSc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**13 de septiembre del 2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Calle Balladares, Gabriela Esthefanía**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Civil**.

### **TUTORA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc.**

### **DECANA DE LA FACULTAD**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Lilia Valarezo Moreno, M.S.**

**Guayaquil, a los 13 del mes de septiembre del año 2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Calle Balladares, Gabriela Esthefanía**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Influencia del efecto alcalino en las propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibras de abacá** previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 13 del mes de septiembre del año 2019**

**LA AUTORA**

f. \_\_\_\_\_  
**Calle Balladares Gabriela Esthefanía**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA CIVIL**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Calle Balladares, Gabriela Esthefanía**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Influencia del efecto alcalino en las propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibras de abacá**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 13 del mes de septiembre del año 2019**

**LA AUTORA:**

f. \_\_\_\_\_  
**Calle Balladares Gabriela Esthefanía**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL**

## REPORTE URKUND

URKUND

### Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TESIS GABRIELA CALLE.docx (D55530436)  
**Submitted:** 9/12/2019 7:27:00 PM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 1 %

#### Sources included in the report:

TESIS\_MASACO\_JORGE.pdf (D38563237)  
TFT\_SOZORANGA\_CÉSAR.pdf (D48216103)  
<http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>

#### Instances where selected sources appear:

3

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por su amor y guía.

A mis padres, por haberme criado con amor y buenos valores, que me permiten ser la mujer que soy el día de hoy. Quiero decirles que los amo y agradezco a Dios infinitamente por ser su hija. Gracias por enseñarme que con paciencia, perseverancia y responsabilidad se pueden alcanzar todos los sueños y metas.

A mi familia por mantenerse siempre unida e incentivarme en todo momento.

De manera especial agradezco a la Ing. Stefany Alcivar, por toda su guía, asesoría y apoyo en este trabajo, sin el cual no hubiese podido lograrlo. Por motivarme siempre a investigar, y a dar lo mejor de mí. Por haber confiado en mí y escogerme para poder continuar con el desarrollo de esta investigación.

Al centro de Innovación de Holcim, por permitir hacer uso de sus instalaciones y equipos, por la asesoría brindada y su apoyo durante el periodo de elaboración de esta Tesis.

Al CEINVES por haber permitido y brindado su apoyo durante la utilización de sus equipos.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, por todo su esfuerzo y trabajo que me permitió tener una buena educación. Por brindarme su amor y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida y creer en mí, mis ideales y decisiones tomadas.

A mi familia, que con su apoyo y entusiasmo me animaron a tomar y vencer todos los retos que se me han presentado.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc.**  
TUTOR

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Lilia Valarezo Moreno, M.S.**  
DECANA DE LA FACULTAD

f. \_\_\_\_\_

**Ing. José Barros Cabezas, MSc.**  
DOCENTE DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Gilberto Martínez Rehpani, MSc.**  
OPONENTE

# ÍNDICE

## CAPÍTULO I

1	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	ANTECEDENTES.....	3
1.2	OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4	HIPÓTESIS.....	5
1.5	JUSTIFICACIÓN.....	5
2	MARCO TEÓRICO.....	7
2.1	MORTERO.....	7
2.1.1	<i>Función</i> .....	7
2.2	ARENA.....	8
2.3	CEMENTO.....	9
2.4	FIBRAS VEGETALES.....	10
2.5	ABACÁ.....	11
2.5.1	<i>Fibra de abacá</i> .....	11
2.6	TRATAMIENTO ALCALINO.....	12
2.6.1	<i>Hidróxido de Sodio</i> .....	12
3	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	15
3.1	PRIMERA ETAPA (REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA).....	15
3.2	SEGUNDA ETAPA (EXPERIMENTAL).....	16
3.2.1	<i>Fase 0</i> .....	17
3.2.2	<i>Fase I</i> .....	17
3.2.3	<i>Fase II</i> .....	18
4	ELABORACIÓN DE PROBETAS.....	20
4.1	PREPARACIÓN DE LA FIBRA DE ABACÁ.....	20
4.1.1	<i>Corte de fibra</i> .....	20
4.1.2	<i>Tratamiento alcalino de la fibra de abacá</i> .....	20
4.2	ELABORACIÓN DE PROBETAS.....	22

4.2.1	<i>Materiales</i> .....	22
4.2.2	<i>Amasado</i> .....	24
4.2.3	<i>Moldes</i> .....	24
5	ENSAYOS Y RESULTADOS.....	29
5.1	NOMENCLATURA.....	29
5.2	FASE 0: CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE ABACÁ.....	30
5.2.1	<i>Tracción</i> .....	30
5.2.2	<i>Ensayo de absorción de agua</i> .....	32
5.2.3	<i>TGA</i> .....	33
5.3	FASE I: DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO Y DOSIFICACIÓN.....	37
5.3.1	<i>Ensayos previos a la elaboración de las probetas</i> .....	37
5.3.2	<i>Ensayos posteriores a la elaboración de las probetas</i> .....	45
5.4	FASE II: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MORTERO REFORZADO.....	61
5.4.1	<i>Densidad</i> .....	62
5.4.2	<i>Flexotracción</i> .....	64
5.4.3	<i>Retracción</i> .....	67
5.4.4	<i>Fractura</i> .....	70
5.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	73
5.5.1	<i>Fase 0</i> .....	73
5.5.2	<i>Fase I</i> .....	76
5.5.3	<i>Fase II</i> .....	77
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
6.1	CONCLUSIONES.....	86
6.2	RECOMENDACIONES.....	88
	REFERENCIAS.....	89
	ANEXOS.....	93

# ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. GRANULOMETRÍA SEGÚN ASTM C144 – 04. ....	8
TABLA 2. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA. ....	9
TABLA 3. REQUISITOS FÍSICOS DEL CEMENTO PARA MORTERO. ....	10
TABLA 4. TRATAMIENTO DE HIDRÓXIDO DE SODIO APLICADO A DIFERENTES FIBRAS NATURALES. ....	13
TABLA 5. CONTENIDO DE CEMENTO EN UNA AMASADA DE MORTERO MEZCLADA EN LABORATORIO. ....	22
TABLA 6. ESPECIFICACIÓN POR DOSIFICACIÓN. REQUISITOS. ....	23
TABLA 7. PROCEDIMIENTO DE AMASADO PARA LA ELABORACIÓN DE PROBETAS. ....	24
TABLA 8. NOMENCLATURA - TRATAMIENTO. ....	29
TABLA 9. NOMENCLATURA - TAMAÑO. ....	29
TABLA 10. NOMENCLATURA - DOSIFICACIÓN. ....	29
TABLA 11. RESULTADOS DE ENSAYO A TRACCIÓN, FIBRA NATURAL. ....	31
TABLA 12. RESULTADOS DE ENSAYO A TRACCIÓN, FIBRA CON HS. ....	32
TABLA 13. RESULTADOS % HUMEDAD. ....	33
TABLA 14. RESULTADOS % FLUJO, SF. ....	39
TABLA 15. RESULTADOS % FLUJO. 2,0 – 0,2. ....	39
TABLA 16. RESULTADOS % FLUJO. 2,0 – 0,3. ....	40
TABLA 17. RESULTADOS % FLUJO. 2,0 – 0,4. ....	40
TABLA 18. RESULTADOS % FLUJO. 2,5 – 0,2. ....	40
TABLA 19. RESULTADOS % FLUJO. 2,5 – 0,3. ....	40
TABLA 20. RESULTADOS % FLUJO. 2,5 – 0,4. ....	40
TABLA 21. RESULTADOS % FLUJO. 3,0 – 0,2. ....	41
TABLA 22. RESULTADOS % FLUJO. 3,0 – 0,3. ....	41
TABLA 23. RESULTADOS % FLUJO. 3,0 – 0,4. ....	41
TABLA 24. PROCEDIMIENTO DE AMASADO PARA ENSAYO DE VICAT. ....	42
TABLA 25. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN. HS 2,0 – 0,2. ....	47
TABLA 26. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN. HS 2,0 – 0,3. ....	48
TABLA 27. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN. HS 2,0 – 0,4. ....	48
TABLA 28. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN. HS 2,5 – 0,2. ....	49
TABLA 29. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN. HS 2,5 – 0,3. ....	49
TABLA 30. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN. HS 2,5 – 0,4. ....	50
TABLA 31. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN. HS 3,0 – 0,2. ....	50
TABLA 32. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN. HS 3,0 – 0,3. ....	51
TABLA 33. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN. HS 3,0 – 0,4. ....	51
TABLA 34. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN. HS – 2,0 – 0,2. ....	53
TABLA 35. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN. HS – 2,0 – 0,3. ....	54

TABLA 36. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN. HS – 2,0 – 0,4. ....	55
TABLA 37. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN. HS – 2,5 – 0,2. ....	56
TABLA 38. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN. HS – 2,5 – 0,3. ....	57
TABLA 39. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN. HS – 2,5 – 0,4. ....	58
TABLA 40. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN. HS – 3,0 – 0,2. ....	59
TABLA 41. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN. HS – 3,0 – 0,3. ....	60
TABLA 42. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN. HS – 3,0 – 0,4. ....	61
TABLA 43. RESULTADO DE ENSAYO DE DENSIDAD. ....	63
TABLA 44. RESULTADO DE RESISTENCIA DE FLEXIÓN. ....	65
TABLA 45. RESULTADO DE RESISTENCIA DE COMPRESIÓN. ....	65
TABLA 46. RESULTADO DE RESISTENCIA DE FLEXIÓN. ....	66
TABLA 47. RESULTADO DE RESISTENCIA DE COMPRESIÓN. ....	66
TABLA 48. LECTURA DE MUESTRAS SIN FIBRA SIN CURADO. ....	68
TABLA 49. RESULTADOS DE RETRACCIÓN, MUESTRAS SIN FIBRA CON CURADO DE 7 DÍAS. ....	68
TABLA 50. LECTURA DE MUESTRAS SIN FIBRA CON CURADO DE 7 DÍAS. ....	69
TABLA 51. RESULTADOS DE RETRACCIÓN, MUESTRAS SIN FIBRA CON CURADO DE 7 DÍAS. ....	69
TABLA 52. LECTURA DE MUESTRAS CON FIBRA SIN CURADO. ....	69
TABLA 53. RESULTADOS DE RETRACCIÓN, MUESTRAS CON FIBRA SIN CURADO. ....	70
TABLA 54. LECTURA DE MUESTRAS CON FIBRA CON CURADO DE 7 DÍAS. ....	70
TABLA 55. RESULTADOS DE RETRACCIÓN, MUESTRAS CON FIBRA CON CURADO DE 7 DÍAS. ....	70
TABLA 56. COMPARACIÓN DE RESULTADOS, ESFUERZO A TRACCIÓN. ....	74
TABLA 57. RESULTADOS % FLUJO. RESUMEN. ....	76
TABLA 58. RESULTADOS TIEMPO DE FRAGUADO VICAT. ....	76
TABLA 59. RESULTADOS FASE 1, RESISTENCIA A FLEXIÓN. ....	77
TABLA 60. RESULTADOS FASE I. RESISTENCIA A COMPRESIÓN. ....	77
TABLA 61. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DENSIDAD. ....	78
TABLA 62. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE FLEXOTRACCIÓN. ....	78
TABLA 63. TABLA CARGA VS DEFLEXIÓN - CARGA VS ABERTURA DE GRIETA. ....	81
TABLA 64. TABLA CARGA VS DEFLEXIÓN - CARGA VS ABERTURA DE GRIETA. ....	82

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. CURVA GRANULOMÉTRICA.....	9
ILUSTRACIÓN 2. DIAGRAMA DE TRABAJO DE PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO.....	16
ILUSTRACIÓN 3. DIAGRAMA DE TRABAJO DE SEGUNDA ETAPA DEL PROYECTO.....	17
ILUSTRACIÓN 4. PROCEDIMIENTO DEL TRATAMIENTO DE HIDRÓXIDO DE SODIO.....	21
ILUSTRACIÓN 5. MOLDES PARA ENSAYO DE FLEXOTRACCIÓN.....	25
ILUSTRACIÓN 6. MOLDES PARA ENSAYO DE RETRACCIÓN (UNIDADES SI).....	26
ILUSTRACIÓN 7. ESPECIFICACIÓN SOBRE MOLDES DE ENSAYO DE FRACTURA.....	26
ILUSTRACIÓN 8. MOLDES PARA ENSAYO DE FRACTURA.....	27
ILUSTRACIÓN 9. SISTEMA DE POLEAS Y PLACAS DE ENSAYO A TRACCIÓN.....	31
ILUSTRACIÓN 10. ENSAYO A TRACCIÓN, FIBRA NATURAL.....	31
ILUSTRACIÓN 11. ENSAYO A TRACCIÓN, FIBRA CON HS.....	32
ILUSTRACIÓN 12. BALANZA.....	33
ILUSTRACIÓN 13. RESULTADOS TGA, MUESTRA 1.....	34
ILUSTRACIÓN 14. RESULTADOS TGA, MUESTRA 2.....	34
ILUSTRACIÓN 15. RESULTADOS TGA, MUESTRA 3.....	35
ILUSTRACIÓN 16. RESULTADOS TGA, MUESTRA 4.....	35
ILUSTRACIÓN 17. RESULTADOS TGA, MUESTRA 5.....	36
ILUSTRACIÓN 18. RESULTADOS TGA, MUESTRA 6.....	36
ILUSTRACIÓN 19. PASO A PASO DE ENSAYO DE FLUJO.....	39
ILUSTRACIÓN 20. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE VICAT.....	43
ILUSTRACIÓN 21. EQUIPO HOLCIM HEAT.....	44
ILUSTRACIÓN 22. RESULTADOS HOLCIM HEAT - FASE I.....	45
ILUSTRACIÓN 23. DISPOSITIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	45
ILUSTRACIÓN 24. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN.....	47
ILUSTRACIÓN 25. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN.....	52
ILUSTRACIÓN 26. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DENSIDAD.....	63
ILUSTRACIÓN 27. ENSAYO A FLEXIÓN, PROBETA HAN LLEGADO A FALLA.....	64
ILUSTRACIÓN 28. ENSAYO A COMPRESIÓN, SEMIPRISMA HA LLEGADO A FALLA.....	64
ILUSTRACIÓN 29. LECTURA DE PROBETAS PARA DETERMINACIÓN DE RETRACCIÓN.....	67
ILUSTRACIÓN 30. ESPECIFICACIÓN SOBRE SISTEMA DE CARGA DE ENSAYO DE FRACTURA.....	71
ILUSTRACIÓN 31. SISTEMA DE ENSAYO DE FRACTURA.....	72
ILUSTRACIÓN 32. GRAFICAS DE DEFLEXIÓN Y ABERTURA DE GRIETA.....	73
ILUSTRACIÓN 33. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBAS TGA.....	75
ILUSTRACIÓN 34. COMPARACIÓN DE RETRACCIÓN ENTRE MUESTRAS.....	79
ILUSTRACIÓN 35. FISURÓMETRO.....	80

ILUSTRACIÓN 36. PROBETA HA LLEGADO A LA FRACTURA. ....	80
ILUSTRACIÓN 37. COMPARACIÓN CARGA VS DEFLEXIÓN.....	83

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad analizar el comportamiento mecánico del mortero reforzado con fibras de abacá previamente tratadas con un 3% de solución de hidróxido de sodio (NaOH).

Se ha determinado el tamaño y dosificación óptima, el mismo que corresponde a 3,0 cm y 0,2% de fibra de abacá con respecto al peso de los sólidos.

Es importante mencionar que la fibra de abacá utilizada en este trabajo presenta resultados interesantes en comparación con otras fibras, se han desarrollado ensayos de TGA, tracción, Absorción de agua; considerando que no existen normas establecidas para fibras vegetales. Por otro lado, se analizó el comportamiento mecánico del mortero con resultados prometedores lo cual nos lleva a coincidir en que futuras investigaciones serían necesarias con el fin de analizar el comportamiento de fractura, el cual se trató de llevar a cabo, pero presentó ciertas dificultades. Adicional, se sugiere un análisis de durabilidad para investigaciones futuras.

**Palabras Claves:** *mortero, abacá, NaOH, propiedades mecánicas, fibra natural, tamaño, dosificación.*

## ABSTRACT

The present research has the purpose of analyzing the mechanical behavior of reinforced mortar with abaca fibers, previously treated with a 3% of NaOH solution.

It has been determined the most accurate size and dosage, the same that corresponds to 3cm and 0,2% of the total solid's weight.

It's important to mention that the abaca fiber used in this work shows interesting results in comparison to other natural fibers. TGA, traction, and water absorption has been performed to the fiber. On the other hand, the mechanical behavior of mortars reinforced with abaca fibers has given promising results which leads us to promote future researches with the main objective of analyzing fracture, the same that was performed in this investigation, but for some reasons it couldn't be achieved. In addition, durability analysis is suggested.

**Key words:** *mortar, abaca, NaOH, mechanical properties, natural fiber, size, dosage.*

# **CAPÍTULO I**

# 1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se desarrollará una introducción al tema de investigación planteado, la influencia de usar fibras naturales tratadas (tratamiento alcalino) en la elaboración de morteros, la importancia de analizar el comportamiento del material a través de sus propiedades mecánicas.

## 1.1 Antecedentes

La búsqueda de la aplicación de materiales eco-amigables en la construcción ha incrementado, se ha prestado una especial atención al uso de fibras procedentes de fuentes vegetales renovables. Últimamente la composición biológica de materiales han sido el foco de investigaciones académicas e industriales, muchos estudios se han enfocado en buscar la manera de usar las fibras naturales en la producción de elementos de construcción de bajo costo.(Çomak, Bideci, & Salli Bideci, 2018). En el campo de la construcción, las fibras naturales son una opción muy llamativa, debido dos principales razones:

La primera es debido al bajo costo producción y al limitado impacto ecológico. La segunda se debe a que algunas fibras naturales tienen buenas propiedades mecánicas. El uso de estas fibras naturales en el hormigón en comparación con las microfibras sintéticas es, por lo tanto, un tema de estudio de gran interés.

El uso de fibras naturales en el compuesto de cemento es una solución común para mejorar el efecto de aparición tempranas de grietas. El compuesto de cemento reforzado con fibras es generalmente caracterizado por tener una alta fuerza a tensión y esfuerzo de flexión, más fuerza y más ductilidad al comportamiento de aparición de grietas.(Ferreira, Pepe, Martinelli, de Andrade Silva, & Toledo Filho, 2018). Los estudios han demostrado que las fibras naturales tienen mayor tenacidad, mejor impacto y mayor capacidad de deformación. El bajo costo, la densidad baja, lo reciclable y la biodegradación son características de las fibras vegetales que las convierten en una alternativa sustentable comparado con fibras sintéticas. Por otro lado, el origen orgánico de las fibras vegetales

aumenta la degradación en el ambiente del compuesto cementicio. Teniendo una visión sobre esto, algunos autores han estudiado la factibilidad en aplicar un tratamiento que evite la degradación de las fibras. (Mercedes, Gil, & Bernat-Maso, 2018). Entre las fibras naturales que han sido analizadas se encuentran las de coco, sisal, yute, cáñamo, curaua; debido a su amplia disponibilidad, especialmente en los países tropicales. (Ferreira, Silva, Lima, & Toledo Filho, 2017). Por otro lado, se encuentran las fibras de abacá que se conoce comúnmente como cáñamo de Manila. En países tropicales como Filipinas, las plantas de abacá se encuentran en abundancia. Esta planta por las condiciones climáticas también crece en abundancia en Ecuador siendo éste el segundo país exportador de abacá en el mundo (15%), precedido por Filipinas (Ritcher, Stromann, & Müssig, 2013). Las fibras de abacá han demostrado un enorme potencial como agentes de refuerzo en materiales compuestos, este se ha aplicado en la industria automotora, se ha convertido en la primera fibra vegetal que cumple con los requisitos estrictos de calidad de transporte. (Cai, Takagi, Nakagaito, Li, & Waterhouse, 2016)

Desafortunadamente las fibras naturales tienen algunas desventajas, entre ellas, la más importante la susceptibilidad de degradación que se puede presentar de diferentes maneras y pueden ser afectadas al momento de mezclarla con el cemento. Por esta razón a las fibras se les debe emplear un tratamiento químico. Una vez aplicado el tratamiento la superficie de éstas es modificada, pero aparte las fibras están más limpias y las impurezas se remueven. (Snoeck et al., 2015). El tratamiento Alcalino es uno de los métodos más utilizados para la modificación de fibras celulósicas. Un considerable cuerpo de trabajo ha reportado una mejoría en las propiedades mecánicas de las fibras vegetales y en sus componentes debido al tratamiento alcalino. (Cai et al., 2016)

## **1.2 Objetivo General**

Analizar las propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibras de abacá mediante ensayos experimentales usando como referencia un mortero tradicional

## **1.3 Objetivos específicos**

- Caracterizar la fibra de abacá sometida al tratamiento alcalino usando ensayos de tracción, TGA, absorción de agua
- Determinar el tamaño y dosificación óptima de la fibra de abacá tratada en mortero
- Analizar mínimo tres propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibra y el mortero de referencia.

## **1.4 Hipótesis**

- El uso del hidróxido de sodio en la fibra de abacá mejorará las características mecánicas del mortero de revestimiento.
- El tamaño y dosificación de la fibra de abacá tratada con NaOH, influiría en los resultados de flexotracción del mortero

## **1.5 Justificación**

Previo a la reciente investigación sobre las fibras de abacá (Freire, 2019) en la cual se probó diferentes tratamientos con diferentes porcentajes de aplicación, se concluyó que el tratamiento que ayudara a la fibra a tener mejores resultados es el de NaOH.

En varias investigaciones se probó que la dosificación y el tamaño de la fibra en la aplicación de un mortero es de suma importancia debido a que con esto se puede conseguir resultados muy buenos de flexotracción a los 28 días.

# **CAPÍTULO II**

## **2 MARCO TEÓRICO**

Este capítulo consta de una extensa revisión bibliográfica sobre la fibra de abacá con el propósito de reconocer los beneficios sobre el uso de este material natural. Se buscará la factibilidad de la fibra mediante la medición de las propiedades mecánicas cuando existe una matriz cementicia y la caracterización del material trabajando como un compuesto único. Por último, se hablará sobre un tratamiento en específico en cual se le ha aplicado a la fibra de abacá.

### **2.1 Mortero**

Un mortero se define como un material compuesto que resulta de la mezcla de cemento, agua y arena; en algunos casos se le agrega materiales adicionales como aditivos o fibras. Cada relación varía dependiendo de la necesidad que exista, es decir que de acuerdo a la utilidad que se le quiera dar las cantidades del compuesto van a cambiar. En este caso las propiedades que tendrá el mortero, van a depender de la calidad de los materiales utilizados. El Instituto ecuatoriano de Normalización hace referencia a la norma ASTM C1180 para especificar las propiedades y funciones de un mortero.

#### **2.1.1 Función**

El mortero es utilizado fundamentalmente para pegar los bloques entre las uniones o juntas (verticales y horizontales). Gracias a su capacidad de adherencia puede ser empleado para crear revestimientos en elementos de mampostería mejor conocido como “enlucido”. Otra función importante es proteger a las unidades de mampostería de los agentes climáticos.

Dado que el mortero generalmente posee casi los mismos materiales que el hormigón, se suele confundir entre ambos y creer que pueden ser utilizados de la misma forma. Existen diferencias importantes entre ellos como por ejemplo que el mortero es utilizado para pegar unidades de mampostería y de esta forma se crea un elemento estructural, en cambio el hormigón por si solo se lo considera como un elemento estructural. Otra diferencia notable es al

momento de utilizarlos, para utilizar el hormigón por lo general se realizan encofrados que conserven la mayor cantidad de agua posible, por otro lado el mortero al ser colocado sobre una unidad de mampostería, ésta absorbe casi de manera instantánea parte del agua que posee el mortero. Además, si se habla de propiedades mecánicas, en el hormigón se busca que posea una alta resistencia a compresión; en el mortero dicha resistencia es solo uno de los puntos importantes a cumplir.

## 2.2 Arena

El material granular utilizado para esta investigación es una arena recolectada del Río Boliche. Con el fin de lograr la exactitud en la investigación, se procedió a implementar una característica al momento de dosificar la arena. Esta consta de armar una curva perfecta, es decir que con los límites que nos da la norma ASTM C144 – 04 se creará una curva con las cantidades exactas de cada tamiz la cual estará posicionada en el centro de los límites.

Es muy importante recordar que la arena recolectada de la fuente de origen sin ni una modificación en la granulometría cumple con los límites establecidos y que se implementa este método para tener exactitud en resultados. Un punto que se debe de tener en cuenta cuando se realiza un estudio en un laboratorio es la humedad de los materiales que se utilizarán, por este motivo toda la arena destinada a utilizarse para el proyecto de investigación se la puso en el horno por 24 horas a una temperatura de 100°C

TAMIZ	% PASANTE	MINIMO PERMITIDO	MAXIMO PERMITIDO	CUMPLE
4 (4,75 mm)	100%	100%	100%	SI
8 (2,36 mm)	97%	95%	100%	SI
16 (1,18 mm)	91%	70%	100%	SI
30 (600 $\mu$ m)	75%	40%	75%	SI
50 (300 $\mu$ m)	28%	10%	35%	SI
100 (150 $\mu$ m)	3%	2%	15%	SI
200 (75 $\mu$ m)	1%	0%	5%	SI

**Tabla 1. Granulometría según ASTM C144 – 04.**

Fuente: Autor

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
4 (4,75 mm)	0	0%	0%	100%
8 (2,36 mm)	40,5	3%	3%	98%
16 (1,18 mm)	218,7	14%	16%	84%
30 (600 $\mu$ m)	461,7	29%	45%	56%
50 (300 $\mu$ m)	534,6	33%	78%	23%
100 (150 $\mu$ m)	226,8	14%	92%	9%
200 (75 $\mu$ m)	97,2	6%	98%	3%
FONDO	40,5	3%	100%	0%
TOTAL	1620,00			

Tabla 2. Granulometría de la arena.

Fuente: Autor

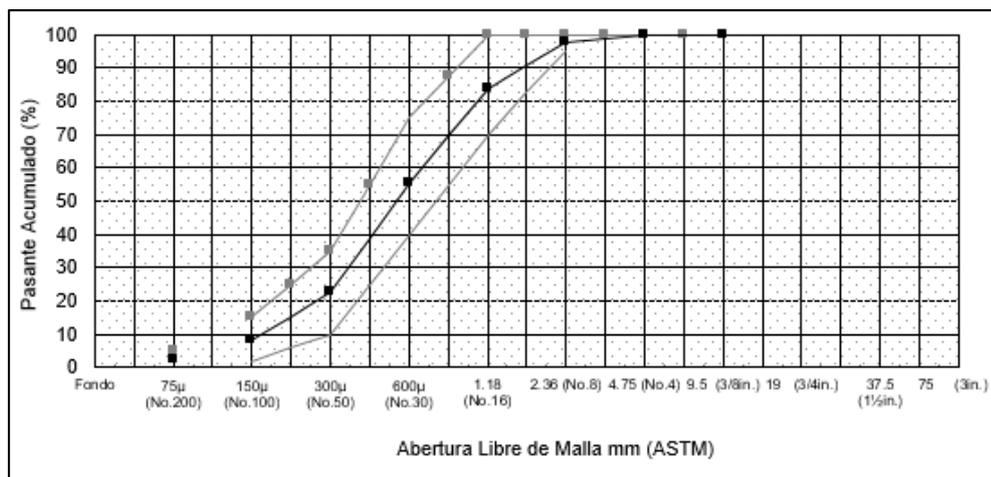


Ilustración 1. Curva granulométrica.

Fuente: Autor

### 2.3 Cemento

El cemento a utilizarse en la investigación es el de tipo GU de Holcim Ecuador. Denominado Holcim Fuerte Tipo GU es un cemento hidráulico que se constituye por compuestos como Clinker de cemento portland, sulfato de calcio y una o más adiciones de puzolanas naturales. El producto es muy conocido debido a que está diseñado para todo tipo de construcción, contando como principales características su resistencia, durabilidad y destacado desempeño que cumple y excede los estándares de la norma NTE INEN 2380 (Holcim Ecuador S.A., 2015).

De acuerdo a las especificaciones de la Tabla 3, el cemento corresponde a un tipo M.

REQUISITO	TIPOS DE CEMENTO PARA MORTERO		
	N	S	M
Finura, retenido sobre el tamiz de 45 $\mu$ m (No. 325), % máximo.	24	24	24
Expansión en autoclave, % máximo	1,0	1,0	1,0
Tiempo de fraguado por el método de Gillmore:			
Fraguado inicial, minutos, no menor a	120	90	90
Fraguado inicial, minutos, no mayor a	1 000	1 000	1 000
Resistencia a la compresión, (promedio de tres cubos):			
Resistencia a la compresión de cubos de mortero, elaborado en volumen, de 1 parte de cemento y 3 partes de mezcla de arenas (50% de arena graduada normalizada y 50% de arena normalizada 20 – 30) preparados y ensayados de acuerdo con esta norma, debe ser igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a continuación:			
7 días, MPa.	3,5	9,0	12,4
28 días, MPa.	6,2	14,5	20,0
Resistencia de adherencia en flexión.			
28 días, mínimo, MPa	0,5	0,7	0,8
Contenido de aire del mortero:			
% Mínimo, en volumen	8	8	8
% Máximo, en volumen	17	15	15
Retención de agua, % mínimo respecto al flujo original	70	70	70

**Tabla 3. Requisitos físicos del cemento para mortero.**

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012)

Se ha propuesto homogenizar el material con el fin de reducir la posibilidad de que exista algún resultado incoherente, es necesario tener en cuenta que por ser un estudio de laboratorio se trata de tener los resultados más exactos controlando factores que puedan impedir lo planteado.

## 2.4 Fibras vegetales

Debido a su factibilidad, abundancia y eco-amigabilidad con el medio ambiente, muchos países han demostrado el fuerte interés por el uso de fibras naturales en diferentes áreas entre ellas para la construcción. Existen muchos beneficios en el uso de las fibras naturales incluyendo la sostenibilidad y el bajo consumo de energía; compuestos reforzados con fibras vegetales tienen el potencial de convertirse en la opción sustentable en la industria de la construcción.

## **2.5 Abacá**

Musa textiles o abacá es una planta que pertenece a la familia de las musáceas, puede llegar a medir alrededor de 5 metros o más; se encuentra distribuida en lugares con climas trópicos húmedos. Aunque es nativa de Filipinas, se conoce como segundo país exportador a Ecuador, representando un 15% del valor total. El abacá tiene una apariencia similar a la planta de banano, pero se diferencian al momento de medir propiedades y usos.

### **2.5.1 Fibra de abacá**

Las fibras de abaca están compuestas por células largas y delgadas que conforman la estructura de soporte de la hoja, pueden llegar a medir de 1,5 a 4 m de longitud. Presenta un brillo natural y el color depende de la manera en que se ha extraído, es decir que las de color blanco son de mejor calidad en comparación con las de color oscuro. Las células individuales de la fibra tienen forma cilíndrica, la parte exterior de la fibra se encuentra compuesta por varios huecos y los diámetros de la fibra están típicamente en un rango de 250–300  $\mu\text{m}$ .

Las propiedades mecánicas de las fibras naturales están enormemente relacionadas a las condiciones de crecimiento y factores como el clima, tiempo de cosecha, instrumentos de cosecha, entre otros. La fibra de abacá es una de las fibras naturales más resistentes y también es una de las pocas fibras la cual puede soportar una prolongada exposición al agua del mar. Muy aparte del uso normal que se le puede dar a la fibra, estudios han demostrado que la fibra de abacá ha evolucionado en muchos usos incluyendo materiales compuestos para la industria automovilística, hasta incluso en aplicaciones industriales. (Armechin & Coseco, 2012)

Conocida como una fibra natural con excelente esfuerzo a tensión debido a su composición celular. La composición consiste agua soluble (1.4%), grasa y cera (0.2–3%), pectina (0.5–1%), lignina (5–13%), hemicelulosa (19–25%) y principalmente celulosa (56–68%). Se describe que la fibra de abacá posee un esfuerzo a flexión específico muy cercano al de una fibra de vidrio, es la primera fibra natural que cumple con los requisitos de calidad estrictos de

componentes utilizados en el exterior de los vehículos de carretera, especialmente con una buena resistencia a impactos con piedras, exposición de elementos y la humedad. (Bledzki, Mamun, & Faruk, 2007)

## **2.6 Tratamiento Alcalino**

No obstante, una deficiencia muy común de muchos compuestos reforzados con fibras naturales es la débil adhesión a la matriz cementicia y la posible degradación de la fibra, que se le puede atribuir a la naturaleza hidrofílica de las fibras naturales. Por lo tanto, para desarrollar compuestos con propiedades mecánicas mejoradas es necesario impartir cierto grado de hidrofobicidad a las fibras mediante tratamientos químicos adecuados. (Cai et al., 2016)

El tratamiento alcalino es uno de los métodos más útiles para la modificación de las fibras celulósicas. Un considerable grupo de trabajo ha demostrado una mejora al momento de aplicar un tratamiento alcalino sobre las propiedades mecánicas y en la composición de las fibras naturales. El tratamiento sucede en agua, lo que provoca que la fibra se hinche y aumente el área de la superficie interna. El tratamiento causa una disminución en el grado de polimerización y cristalinidad, así como la separación de los enlaces estructurales entre la lignina y la celulosa, y la desintegración de la estructura de la lignina. (Zukowski, de Andrade Silva, & Toledo Filho, 2018)

### **2.6.1 Hidróxido de Sodio**

Una manera de aplicar un tratamiento alcalino es mediante el uso del hidróxido de sodio; se han realizado varias investigaciones con distintos porcentajes de aplicación obteniendo resultados positivos en la mejora de las propiedades mecánicas de la fibra, pero es importante resaltar que son algunas las variantes (tamaño de fibra, composición de matriz cementicia, porcentaje de hidróxido) que se toman en cuenta con tal de encontrar el objetivo propuesto por cada investigador.

El hidróxido de sodio es la sustancia más utilizada para limpiar la superficie de las fibras naturales, remueve la hemicelulosa, la lignina, la pectina y los

aceites naturales que normalmente vienen cubiertas las fibras naturales; adicional aumenta la rugosidad de la superficie.

La Tabla 4 muestra un resumen de las diversas fibras que se le ha aplicado el tratamiento alcalino de hidróxido de sodio y los beneficios se han obtenido.

Fibra	Tipo de tratamiento	Beneficios
Hoja	Hidróxido de sodio (NaOH)	Mejoran las propiedades mecánicas. Ofrece un óptimo aislamiento térmico (Jiang, y otros, 2018).
Abacá		Con un 5% de solución se ven mejoras de un 8% en el esfuerzo a tracción y un 38% en el módulo de Young. (Cai et al., 2016)
Lino & Cáñamo		Ayuda a controlar el tamaño y el número de grietas. Demuestra mejora en la resistencia a tracción y en el módulo de Young (Snoeck et al., 2015)

**Tabla 4. Tratamiento de hidróxido de sodio aplicado a diferentes fibras naturales.**

Fuente: Autor

Es importante considerar que grandes porcentajes de hidróxido de sodio degrada la celulosa, reduciendo un porcentaje considerable de su esfuerzo a tracción y módulo de Young.

# **CAPÍTULO III**

### **3 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

El siguiente trabajo se lo ha dividido en seis capítulos:

1. Introducción
2. Marco teórico
3. Metodología de trabajo
4. Elaboración de las probetas
5. Ensayos y resultados
6. Conclusiones (análisis final del trabajo)

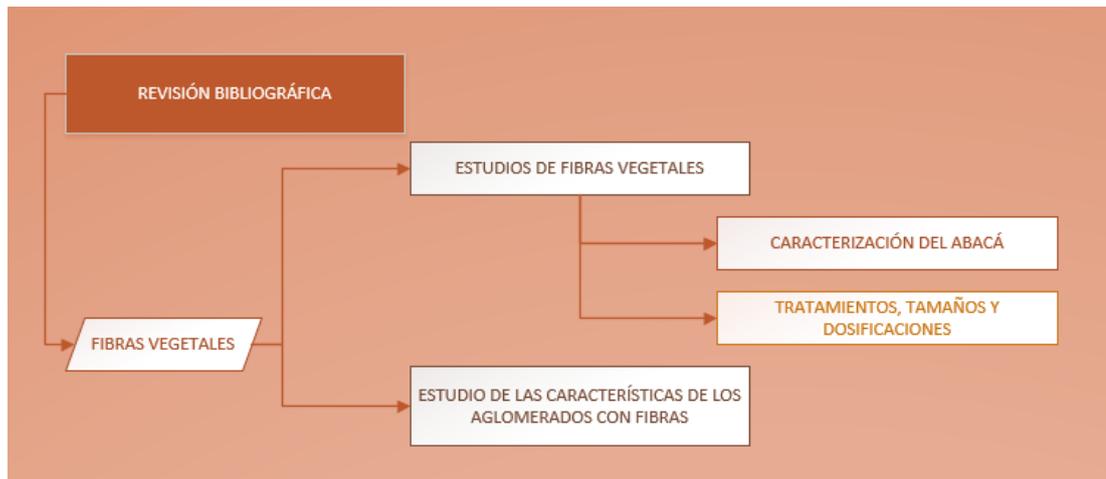
Es fundamental aclarar que este trabajo de investigación se basa en la fabricación de un mortero de enlucido el cual es reforzado con fibras de abacá tratadas con un procedimiento alcalino (NaOH 3%). Se plantea una metodología de trabajo con el propósito de cumplir con el objetivo general de la investigación.

#### **3.1 Primera etapa (Revisión bibliográfica)**

En esta etapa se ha realizado la revisión bibliográfica pertinente con el tema propuesto donde se logra caracterizar la fibra de abacá con y sin tratamiento (Ecuador) y a su vez analizar los ensayos que sirven para determinar las propiedades mecánicas que se consideran importantes e indispensables para el comportamiento óptimo del material propuesto (mortero reforzado con fibra de abacá para mampostería de enlucido)

El trabajo de investigación se lo ha desarrollado en colaboración con Holcim Ecuador S.A., quienes han brindado el apoyo en el desarrollo del trabajo proporcionando información, material, y un laboratorio con equipo especial para la ejecución de ensayos.

Continuando con la metodología propuesta según (Freire, 2019) donde el mortero establecido en función de la norma INEN 2 518:20; se definió que sería con relación 3:1.



**Ilustración 2. Diagrama de trabajo de primera etapa del proyecto.**

Fuente: Autor

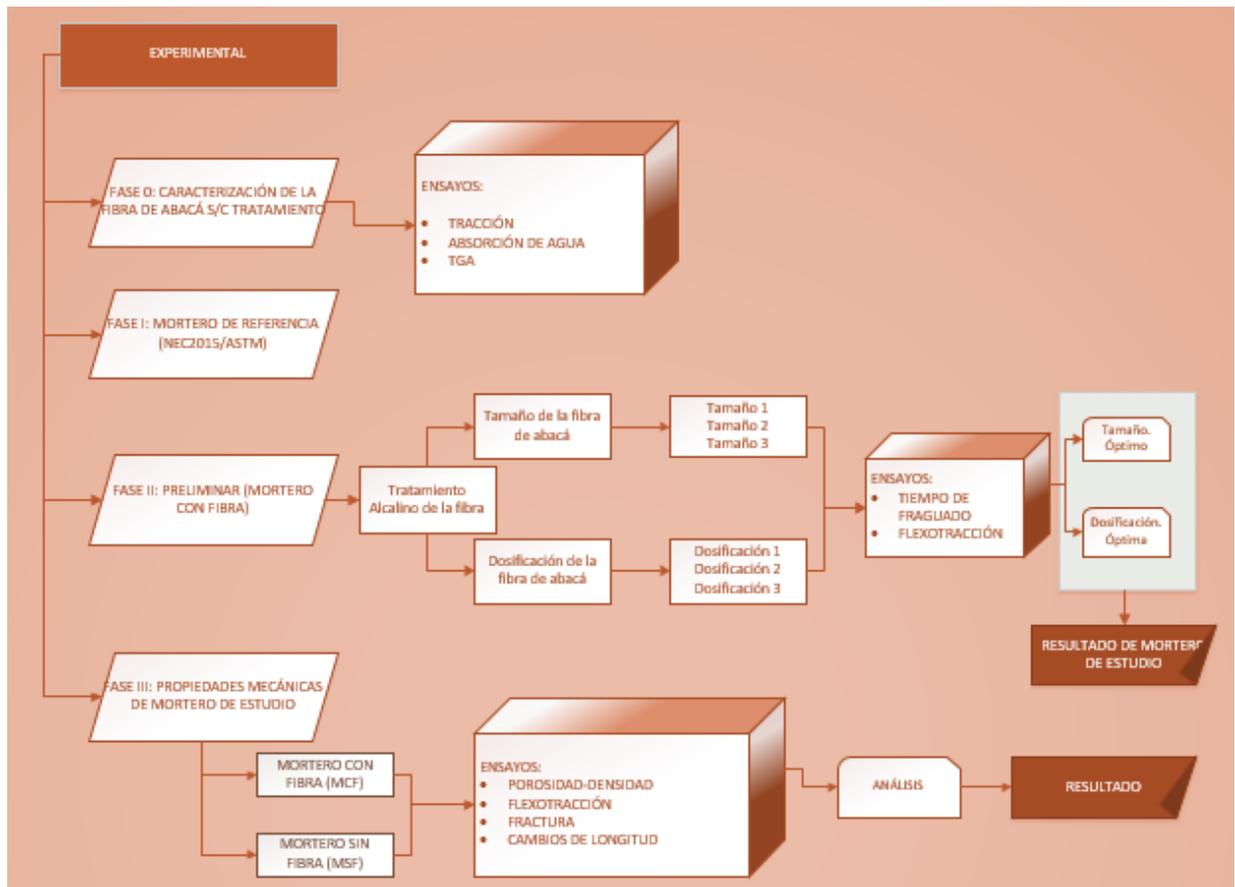
### **3.2 Segunda etapa (Experimental)**

Una segunda etapa que corresponde la parte experimental, la misma que se ha dividido en tres fases:

1. Fase 0: Caracterizar la fibra de abacá tratada y no tratada mediante ensayos que permitan comparar las propiedades de las fibras de Ecuador vs. las fibras de Filipinas.
2. Fase I: Determinar el tamaño y dosificación óptima de las fibras tratadas con Hidróxido de Sodio al 3% de concentración mediante ensayos de flexo tracción y tiempo de fraguado
3. Fase II: Analizar el comportamiento mecánico del mortero reforzado con fibra de abacá mediante ensayos de densidad, porosidad, energía de fractura.

Como previamente se indicó para este trabajo de investigación se está contando con la ayuda y soporte de la empresa privada Holcim Ecuador S.A., principalmente en la parte experimental.

A continuación, se detalla esquemáticamente la metodología de trabajo de esta fase:



**Ilustración 3. Diagrama de trabajo de segunda etapa del proyecto.**

Fuente: Autor

### 3.2.1 Fase 0

En esta fase, se caracterizará la fibra de abacá en estado natural y la fibra sometida al tratamiento alcalino ya establecido anteriormente, mediante ensayos que se detallan en la ilustración 3, los cuales son tracción, absorción de agua y TGA. Estos ensayos se hacen con dos finalidades primero comparar el comportamiento de la fibra tratada y no tratada, pero también para comparar el comportamiento de la fibra de Ecuador vs. la fibra de Filipinas.

### 3.2.2 Fase I

Para esta fase se elaborarán varias muestras de morteros tradicionales (sin fibra y con fibra) tomando como referencia las normas NEC2015/ASTM C1180 en la cual se debe de cumplir con las siguientes condiciones:

-El cemento de uso, es el tipo GU de Holcim

-Debe de cumplir con un flujo de 110+/-5 %

En esta fase se determinará el mortero óptimo para continuar con la siguiente fase que analizará las propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibras tratadas (método alcalino NaOH 3%). Adicional se tienen dos variantes que por medio de la revisión bibliográfica se las definió de tal manera que se prueben tres tipos de tamaños de fibra de abacá (2, 2.5, 3 cm) y tres porcentajes de aplicación de fibra (0.2, 0.3, 0.4 %). Para finalizar la etapa, a las diferentes muestras se las evaluará por medio de los ensayos de tiempo de fraguado y flexo-tracción para determinar que mortero presentará los mejores resultados, el cual se lo determinará como el mortero optimo o de estudio.

Las probetas se las ensayará a flexo-tracción a 7, 14, 21 y 28 días para obtener información adicional y poder realizar una comparación al momento que se ponga en práctica la investigación sobre la aplicación de morteros reforzados con fibras bajo la influencia de un efecto alcalino.

### **3.2.3 Fase II**

La fase II inicia con la definición de un mortero de estudio es decir con un elemento el cual posee una dosificación y tamaño óptimo de aplicación de fibra tratada, el cual se pondrá a prueba mediante ensayos que han sido recomendados por diferentes autores. Cambio de longitud o también conocido como retracción, flexo-tracción, porosidad - densidad y fractura son los ensayos propuestos para esta fase los cuales tienen el fin de ayudar a definir las propiedades mecánicas tanto para un mortero reforzado con fibras de abacá y un mortero tradicional. La fase finaliza con una comparación de resultados que ayudarán a ver de una forma más clara porque es necesario implementar las fibras naturales de abacá con un tratamiento alcalino a elementos de construcción definidos en esta investigación.

# **CAPÍTULO IV**

## **4 ELABORACIÓN DE PROBETAS**

En el capítulo se detallará el procedimiento para la elaboración de las probetas de muestra.

En el presente trabajo de investigación se desea realizar una comparación en base al comportamiento del mortero bajo la influencia de la fibra de abacá, por tal motivo se elaboraron dos tipos de morteros:

- El mortero tradicional que corresponde al mortero sin fibra
- El mortero reforzado con fibra de abacá, recordando que estas fibras han sido tratadas mediante un proceso alcalino y que se determinarán tamaño y dosificación óptima para mejorar su comportamiento.

La elaboración de probetas se la realizó en base a la norma UNE-EN-196-1 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2005) (Anexo 2).

### **4.1 Preparación de la fibra de abacá**

La fibra de abacá utilizada en este trabajo de investigación corresponde a la fibra de segunda calidad, la cual es una fibra de mejor calidad.

#### **4.1.1 Corte de fibra**

Teniendo un antecedente de varias investigaciones, se eligió un rango de tamaño recomendado que variaba entre 2 – 3 cm (Silva, y otros, 2017). Por tal razón los tamaños utilizados para la investigación fueron 2 cm, 2.5 cm y 3 cm.

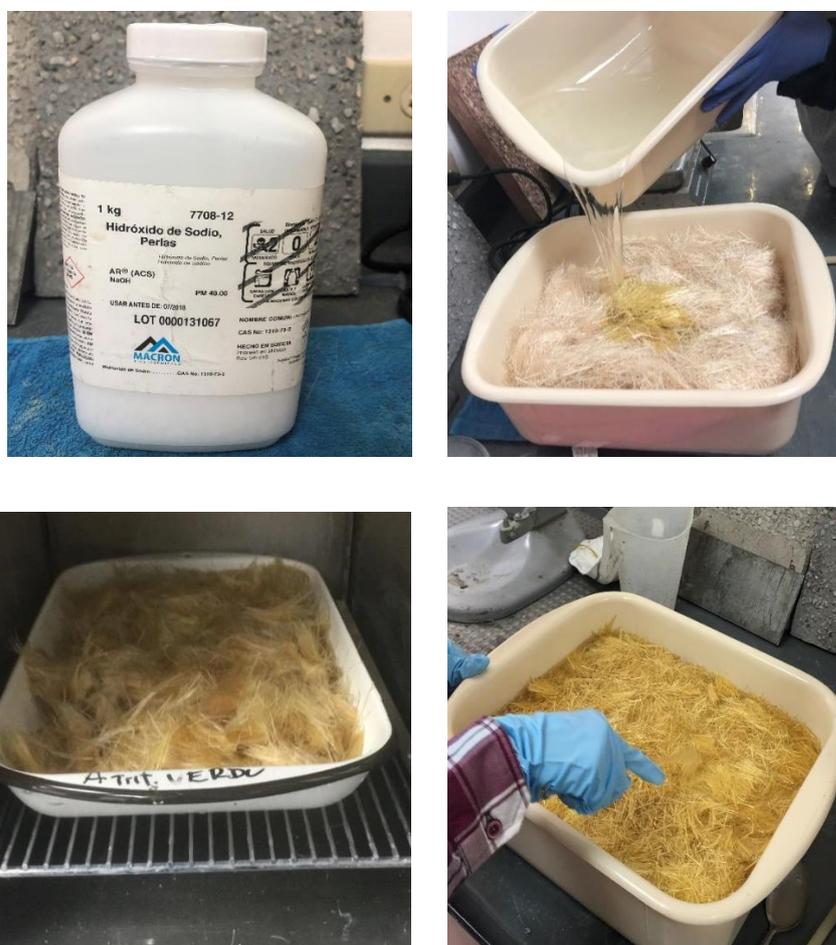
#### **4.1.2 Tratamiento alcalino de la fibra de abacá**

En un trabajo de investigación previo sobre las fibras de abacá se comprobó que el tratamiento óptimo para este tipo de fibras es el alcalino a base de hidróxido de sodio.(Freire, 2019)

##### **4.1.2.1 Tratamiento de Hidróxido de sodio (HS)**

Los tamaños determinados para la investigación fueron 2, 2.5 y 3 cm de los cuales se les deben aplicar un tratamiento a base de hidróxido de sodio.

En 5820 g de agua se disolvieron 180 g de hidróxido de sodio, este valor representa a un 3% de la masa total. El hidróxido utilizado para la investigación tenía la presentación en forma de pastilla. Con la ayuda de una máquina para mezclar se logró disolver todo el contenido del químico. Una vez obtenida la mezcla entre agua e hidróxido de sodio se sumergían 350 g de fibra de abacá por 4 horas, verificando que todo el material haya quedado totalmente sumergido. Una vez completado el periodo de tiempo se deben lavar 7 veces las fibras con el fin de que el agua se vuelva transparente. Posterior, inicia el proceso de secado en un horno eléctrico con una temperatura de  $85 \pm 1^\circ\text{C}$  por 24 horas. Por ultimo las fibras fueron enfriadas a una temperatura de laboratorio y se colocaron las bolsas con cierre hermético. Es importante considerar evitar los cambios bruscos de temperatura porque podría provocar que la fibra sufra un choque electrostático.



**Ilustración 4. Procedimiento del tratamiento de hidróxido de sodio.**

Fuente: Autor

## 4.2 Elaboración de probetas

### 4.2.1 Materiales

Para la elaboración de probetas se utilizaron materiales como: cemento, arena y agua. A continuación, se especifican las cantidades:

- Arena: 1620 gramos
- Cemento: 540 gramos
- Agua potable: La cantidad que se utilizará para la elaboración de probetas se determina mediante el ensayo de flujo.
- Fibra de abacá: Como se ha mencionado se probarán con 3 tamaños de fibra y las cantidades varían según fases señaladas en el capítulo 3.
  - o Fase I:  
Tratamiento: hidróxido de sodio  
Tamaño: 2.0 cm, 2.5 cm y 3.0 cm  
Dosificación: 0,2% (4,3 g), 0,3% (6,5 g) y 0,4% (8,6 g)
  - o Fase 2:  
Tratamiento: hidróxido de sodio  
Tamaño: 3.0 cm  
Dosificación: 0,2% (4,3 g)

En base a la norma NTE INEN 2615:2012 se estableció la cantidad de cemento. Esta norma utiliza una masa de cemento establecida en función del tipo de cemento, el cemento que se ha utilizado en esta investigación es el portland GU el cual corresponde a un cemento tipo M y la norma específica que la masa sea de 540 g.

<b>Tipo de cemento para mortero</b>	<b>Masa del cemento, g</b>
N	480
S	510
M	540

**Tabla 5. Contenido de cemento en una amasada de mortero mezclada en laboratorio.**

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012)

Para determinar la cantidad de arena que se utilizará, se toma como referencia la investigación previa de fibra de abacá (Freire, 2019) la cual se basó en dos condiciones; La norma UNE-EN 196-1 y la información proporcionada por la empresa Holcim Ecuador S.A. la cual permitió definir una relación de 1 parte cemento y 2 a 3 partes de arena para la elaboración de probetas. Por otro lado, se anexa tabla de dosificaciones de la norma NTE INEN 2518:2010 la cual sirvió como referencia.

Mortero	Tipo	Dosificaciones por volumen (materiales cementantes)								Relación de áridos (medidos en condición húmeda, suelta)
		Cemento Portland o cemento compuesto	Cemento para mortero			Cemento para mampostería			Cal hidratada o masilla de cal	
			M	S	N	M	S	N		
Cemento y cal	M	1	---	---	---	---	---	---	1/4	No menos que 2¼ y no más que 3 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	1	---	---	---	---	---	---	Sobre ¼ a ½	
	N	1	---	---	---	---	---	---	Sobre ½ a 1¼	
	0	1	---	---	---	---	---	---	Sobre 1¼ a 2½	
Cemento para mortero	M	1	---	---	1	---	---	---	---	
	M	---	1	---	---	---	---	---	---	
	S	½	---	---	1	---	---	---	---	
	S	---	---	1	---	---	---	---	---	
	N	---	---	---	1	---	---	---	---	
	0	---	---	---	1	---	---	---	---	
Cemento para mampostería	M	1	---	---	---	---	---	1	---	
	M	---	---	---	---	1	---	---	---	
	S	½	---	---	---	---	---	1	---	
	S	---	---	---	---	---	1	---	---	
	N	---	---	---	---	---	---	1	---	
	0	---	---	---	---	---	---	1	---	

NOTA. En el mortero no deben ser combinados dos agentes incorporadores de aire

**Tabla 6. Especificación por dosificación. Requisitos.**

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010)

Para la investigación presente se mantiene con la cantidad de arena establecida la cual cumple con relación 3:1 de arena-cemento medido en masa.

### **4.2.2 Amasado**

Para cada lote del mortero se necesita de una mezcladora, por cada lote se elaboran 3 probetas. Es importante mantener los tiempos de amasado dentro de los  $\pm 2$  s.

	<b>Parcial</b>	<b>Cronómetro</b>
1. Verter el agua en el recipiente		
2. Verter el cemento, velocidad lenta	30 seg	
3. Verter arena	15 seg	45 seg
4. Verter fibra	15 seg	1 min
5. Velocidad alta	30 seg	1 min 30 seg
6. Retirar el mortero adherido a las paredes laterales	30 seg	2 min
7. Dejar reposar	1 min	3 min
8. Velocidad alta	1 min	4 min

**Tabla 7. Procedimiento de amasado para la elaboración de probetas.**

Fuente: (Freire, 2019)

### **4.2.3 Moldes**

Este requerimiento varía durante la fase II por tal razón se explicarán consideraciones relevantes. Como en la fase II se medirán las propiedades mecánicas es muy importante considerar evitar cualquier posible error que pueda afectar resultados.

#### **4.2.3.1 Flexo tracción y Densidad**

Con el fin de mejorar las muestras de ensayo se elaboraron los moldes con el material acero.

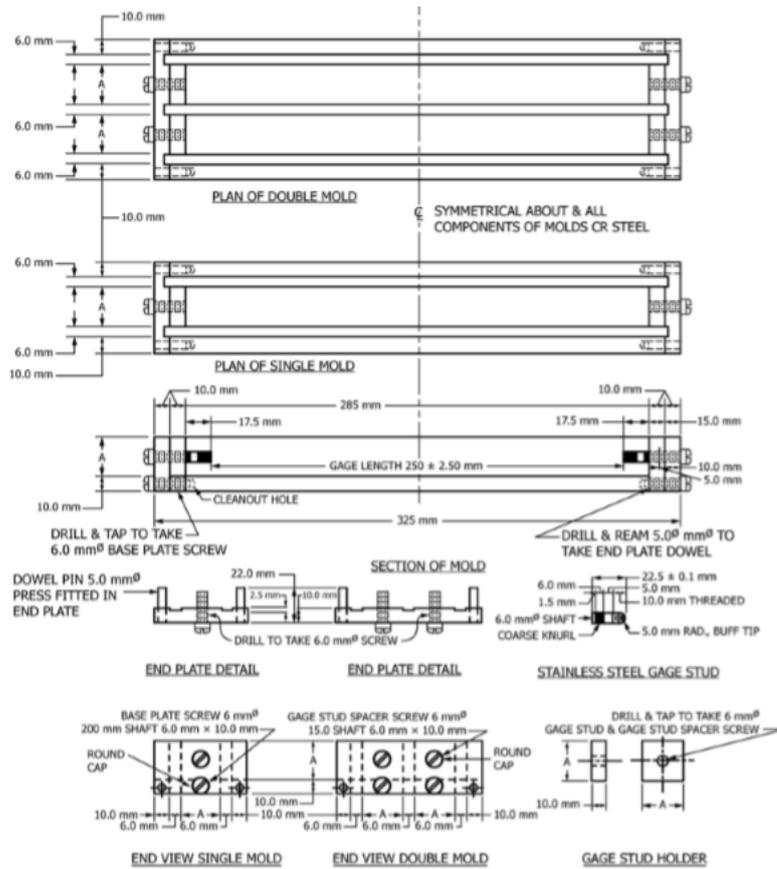


**Ilustración 5. Moldes para ensayo de flexotracción.**

Fuente: Autor

#### 4.2.3.2 Retracción

Las medidas y características de los moldes de acero se las puede encontrar en la siguiente norma C490/C490M – 17 del ensayo de retracción. (ASTM International, 2019).

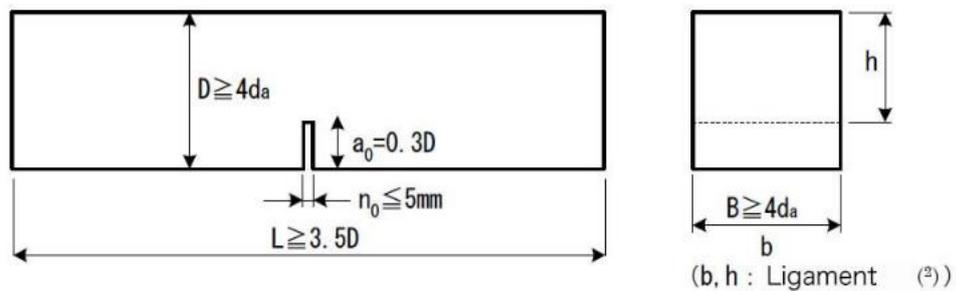


**Ilustración 6. Moldes para ensayo de retracción (Unidades SI).**

Fuente: (ASTM International, 2019)

#### 4.2.3.3 Fractura

La especificación de los moldes del ensayo de fractura se los puede encontrar en la norma JCI-S-001-2003 (Japan Concrete Institute Standard, 2003).



**Ilustración 7. Especificación sobre moldes de ensayo de fractura.**

Fuente: (Japan Concrete Institute Standard, 2003)



**Ilustración 8. Moldes para ensayo de fractura.**

Fuente: Autor

# **CAPÍTULO V**

## 5 ENSAYOS Y RESULTADOS

### 5.1 Nomenclatura

La nomenclatura de cada muestra se escribirá de la siguiente forma TRATAMIENTO – TAMAÑO – DOSIFICACIÓN - ENSAYOS.

<b>Tratamiento</b>	<b>Nomenclatura</b>
Hidróxido de sodio al 3%	HS

**Tabla 8. Nomenclatura - tratamiento.**

Fuente: Autor

<b>Tamaño</b>	<b>Nomenclatura</b>
2,0 cm	2,0
2,5 cm	2,5
3,0 cm	3,0

**Tabla 9. Nomenclatura - tamaño.**

Fuente: Autor

<b>Dosificación</b>	<b>Nomenclatura</b>
0,2% (4,3 g)	0,2
0,3% (6,5 g)	0,3
0,4% (8,6 g)	0,4

**Tabla 10. Nomenclatura - dosificación.**

Fuente: Autor

## 5.2 Fase 0: Caracterización de la fibra de abacá

### 5.2.1 Tracción

Se ha aplicado una metodología para conseguir el esfuerzo de tracción, tomando como referencia una investigación bibliográfica. Esta propone determinar el esfuerzo mediante un equipo de marca “Instron” a un conjunto de fibras de abacá.

Debido a la falta de disponibilidad del equipo señalado en la investigación, se modificaron ciertas condiciones tomando en cuenta el objeto de búsqueda, el esfuerzo a tracción. Se planeó realizar el ensayo con fibras de abacá de 50 cm de longitud debido a que se utilizará un sistema de poleas y placas, que con la ayuda de una pesa electrónica se permitirá conocer la fuerza en la que la fibra falla y llega a la rotura. El conjunto de fibras de abacá tienen un peso de 5 g, en los extremos de las fibras se colocarán dos placas de 15 cm las cuales se mantendrán unidas a la fibra gracias al uso de pernos y a una resina epoxica; esta evita que la falla se produzca en las mordazas (Cai et al., 2016). La distancia de evaluación a tracción de la fibra varía entre 18 a 21 cm; se concluye que el ensayo se está ejecutando de manera correcta debido a la correcta ubicación de la falla, debe de ubicarse en el centro.





**Ilustración 9. Sistema de poleas y placas de ensayo a tracción.**

Fuente: Autor

Se anexan resultados obtenidos en el ensayo a tracción:

- Fibra natural

MUESTRA	CARGA (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO (MPa)
1	200.0	0.401	48.9
2	214.8	0.371	56.8

**Tabla 11. Resultados de ensayo a tracción, fibra natural.**

Fuente: Autor



**Ilustración 10. Ensayo a tracción, fibra natural.**

Fuente: Autor

- Fibra con HS

MUESTRA	FUERZA (Kg)	AREA (cm2)	ESFUERZO (MPa)
1	472.5	0.361	128.3
2	425.0	0.319	130.6

**Tabla 12. Resultados de ensayo a tracción, fibra con HS.**

Fuente: Autor



**Ilustración 11. Ensayo a tracción, fibra con HS.**

Fuente: Autor

### **5.2.2 Ensayo de absorción de agua**

Con ayuda de una balanza térmica se midió la capacidad de absorción de agua de la fibra. Se analizaron muestras de fibra de abacá sin tratamiento y con tratamiento. Se sumergieron 10 g de cada una de las muestras de fibra en agua durante 24 horas. Se colocaron las muestras en la balanza térmica y se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra	% Humedad
Sin tratamiento	70,74
Hidróxido de sodio	74,71

**Tabla 13. Resultados % humedad.**

Fuente: Autor



**Ilustración 12. Balanza.**

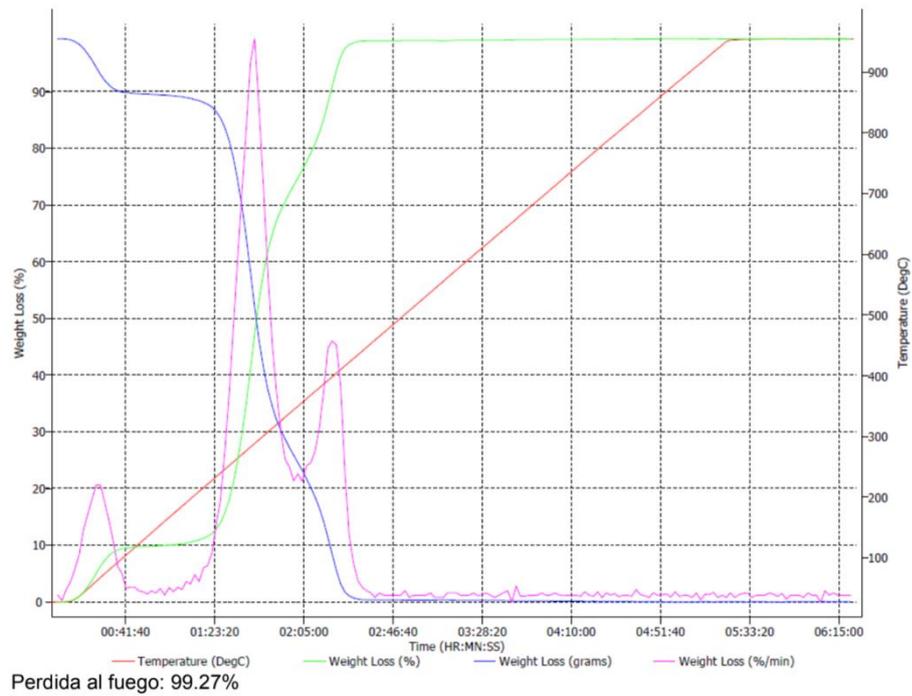
Fuente: Autor

### 5.2.3 TGA

El ensayo termogravimétrico se basa en someter a la fibra a un proceso de descomposición en función de dos variantes, la temperatura y el tiempo. A medida que el material es calentado en un horno, éste al mismo tiempo va midiendo el peso. Al final del ensayo se obtendrán los diferentes perfiles de descomposición que sufrirá la fibra de abacá durante todo el proceso de calentamiento. El ensayo se lo realizó gracias a la colaboración de la empresa Holcim Ecuador S.A.

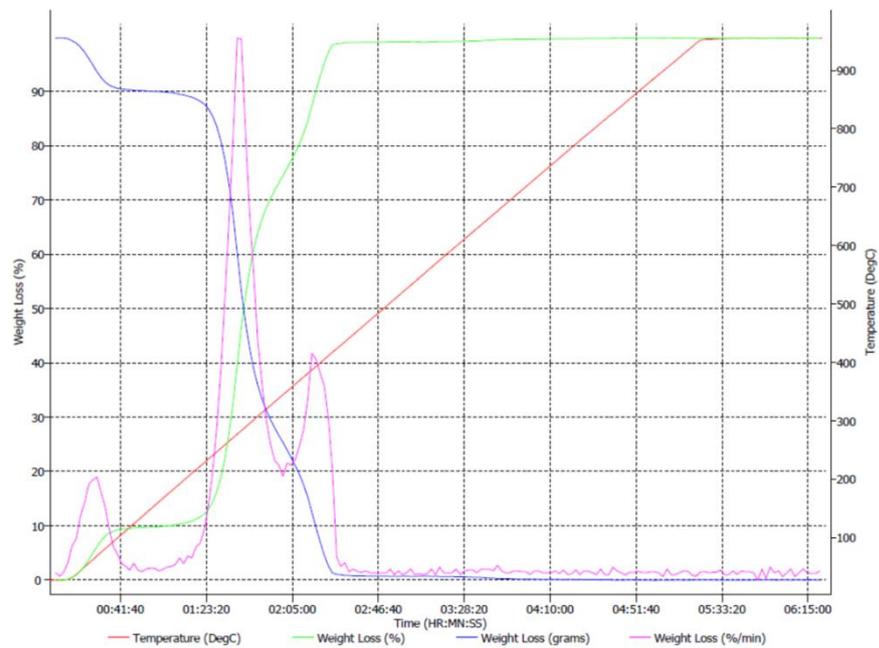
En total se sometieron 6 muestras al proceso termogravimétrico, 3 muestras de fibra tratadas con 3% de hidróxido de sodio (NaOH) y 3 muestras de fibra en estado natural.

### 5.2.3.1 Fibra en estado natural



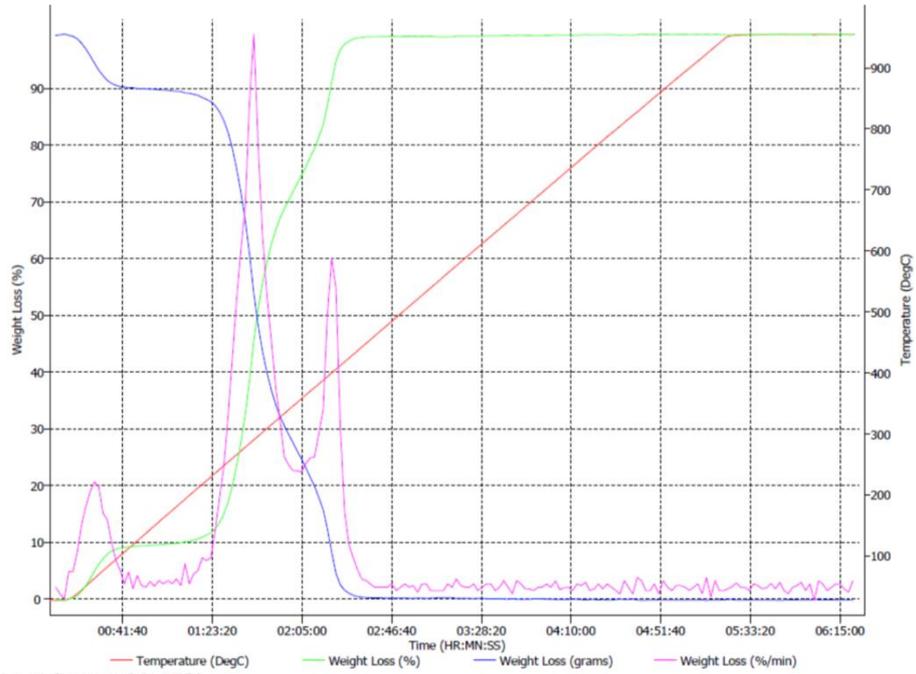
**Ilustración 13. Resultados TGA, muestra 1.**

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)



**Ilustración 14. Resultados TGA, muestra 2.**

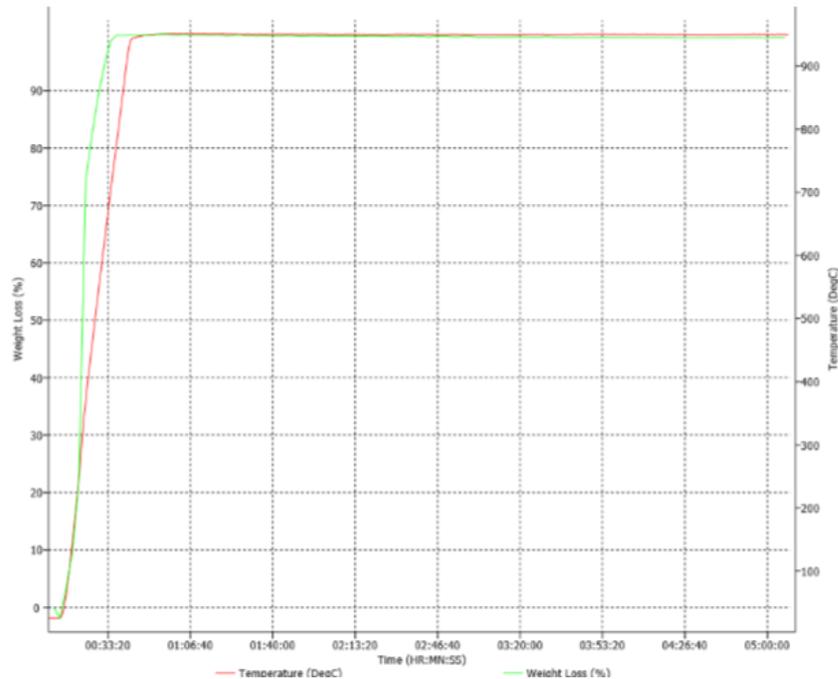
Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)



**Ilustración 15. Resultados TGA, muestra 3.**

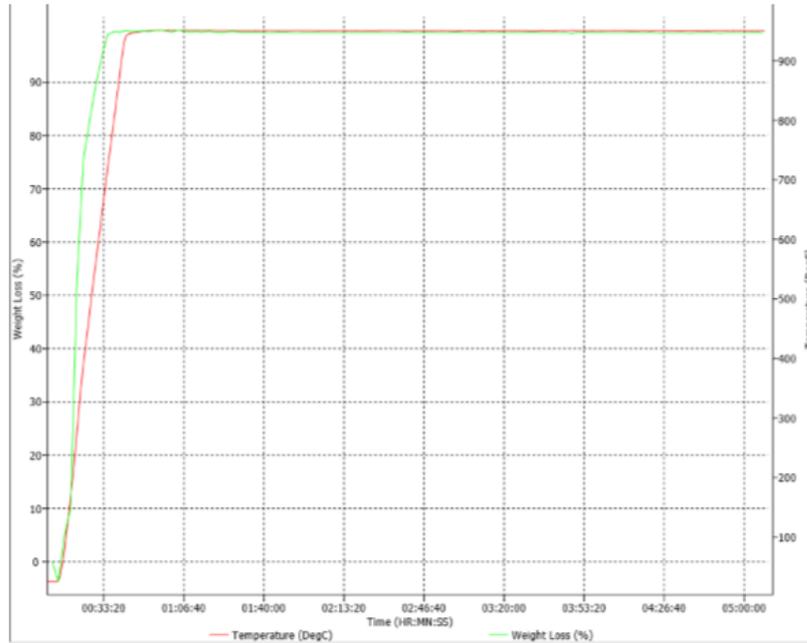
Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)

### 5.2.3.2 Fibra tratada con 3% de Hidróxido de Sodio (NaOH)



**Ilustración 16. Resultados TGA, muestra 4.**

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)

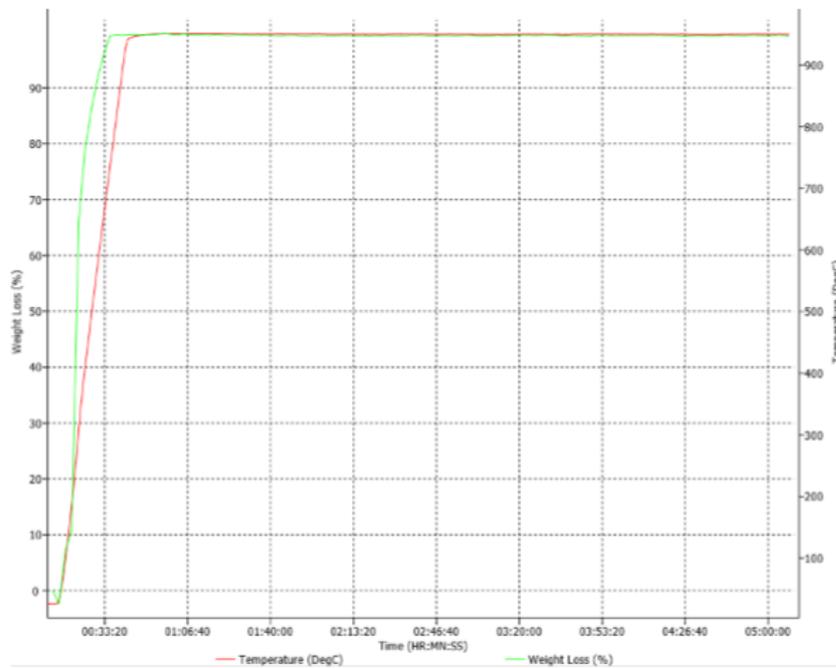


Perdida por Calcinación 950°C: 99.27%

Ceniza: 0.73%

**Ilustración 17. Resultados TGA, muestra 5.**

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)



Perdida por Calcinación 950°C: 99.26%

Ceniza: 0.74%

**Ilustración 18. Resultados TGA, muestra 6.**

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)

### **5.3 Fase I: Determinación del tamaño y dosificación**

#### **5.3.1 Ensayos previos a la elaboración de las probetas**

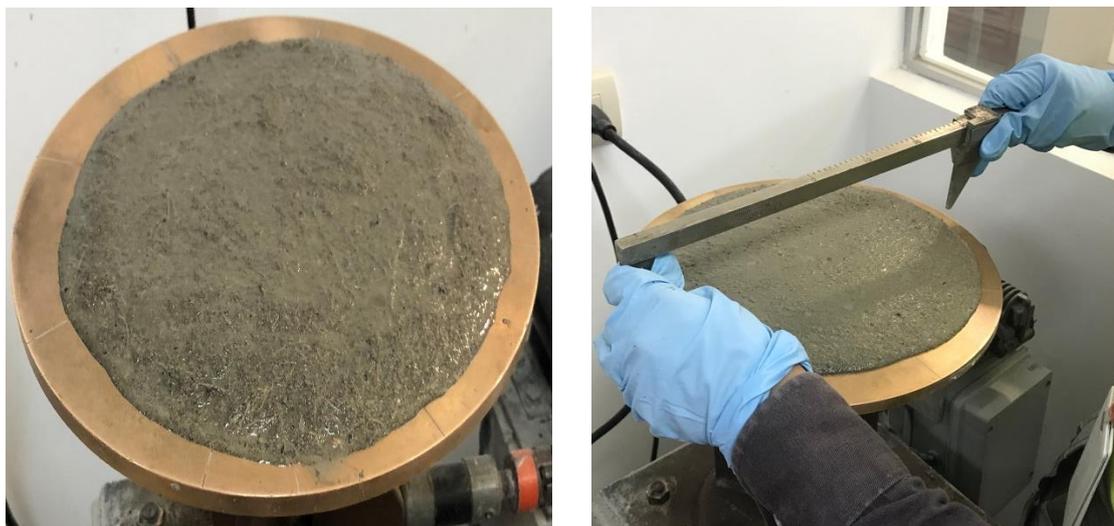
##### 5.3.1.1 Flujo

Basado en la norma española UNE-EN 1015-3 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2000), se realizó el ensayo de flujo o mesa de caídas. Por otro lado, se tiene que cumplir con lo que indica el Instituto Ecuatoriano de Normalización en la norma NTE INEN 2 518:2010 para trabajos de laboratorio, cumplir con  $110\% \pm 5\%$  de flujo en cada muestra.

Se inicia el procedimiento pesando los materiales que se utilizaran; con la ayuda de una batidora eléctrica se mezclan los materiales siguiendo el procedimiento de amasado de elaboración de probetas (4.3.2). Se necesita limpiar la placa de la mesa de flujo y el molde troncocónico, esto se lo debe de realizar con un paño húmedo. Se continúa colocando el molde en el centro de la placa de la mesa de flujo, considerando que la parte más abierta del molde es la que queda en contacto con la placa. Se aplican dos capas de mortero acompañada de 10 golpes cada capa, para ayudar a compactar, con la ayuda de una regla se procede a enrasar para que se haga más fácil la eliminación de exceso. Luego de 15 segundos se quita el molde y enciende la mesa de flujo para que se ejecuten 15 golpes en total; este equipo aproximadamente realiza 1 golpe por segundo, entonces es muy fácil tener la contabilidad.

Por último, se toman 4 medidas en direcciones diferentes con la ayuda de un calibre. El resultado del porcentaje de flujo se lo obtiene sumando estos 4 valores.





**Ilustración 19. Paso a paso de ensayo de flujo.**

Fuente: Autor

En este tema de investigación se tienen 3 tamaños y 3 porcentajes de dosificación, los cuales se convierten en las variantes principales debido a que de esto depende la cantidad de agua que se requiera para que la mezcla del mortero cumpla con los requisitos mencionados. Por otro lado, es necesario recordar que las fibras han sido tratadas con el 3% de solución de hidróxido de sodio.

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas realizadas:

- Sin fibra (SF)

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	362,5	31	31	31	33	126

**Tabla 14. Resultados % flujo, SF.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,0 cm - dosificación 0,2%

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	385	4,3	26	27	26	26	105

**Tabla 15. Resultados % flujo. 2,0 – 0,2.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,0 cm - dosificación 0,3%

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	400	6,5	27	30	28	29	114

**Tabla 16. Resultados % flujo. 2,0 – 0,3.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,0 cm - dosificación 0,4%

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	410	8.6	28	28	29	30	115

**Tabla 17. Resultados % flujo. 2,0 – 0,4.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,5 cm - dosificación 0,2%

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	395	4.3	28	28	29	30	115

**Tabla 18. Resultados % flujo. 2,5 – 0,2.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,5 cm - dosificación 0,3%

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	396	6,5	28	30	29	27	114

**Tabla 19. Resultados % flujo. 2,5 – 0,3.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,5 cm - dosificación 0,4%

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	398	8.6	25	27	26	27	105

**Tabla 20. Resultados % flujo. 2,5 – 0,4.**

Fuente: Autor

- Tamaño 3,0 cm - dosificación 0,2%

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	390	4.3	27	28	29	27	111

**Tabla 21. Resultados % flujo. 3,0 – 0,2.**

Fuente: Autor

- Tamaño 3,0 cm - dosificación 0,3%

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	396	6,5	29	28	28	29	114

**Tabla 22. Resultados % flujo. 3,0 – 0,3.**

Fuente: Autor

- Tamaño 3,0 cm - dosificación 0,4%

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	413	8.6	27	27	29	26	109

**Tabla 23. Resultados % flujo. 3,0 – 0,4.**

Fuente: Autor

### 5.3.1.2 Ensayo de tiempo de fraguado

#### 5.3.1.2.1 VICAT

Este ensayo fue realizado en base a la norma INEN 157, con el fin de comparar como afecta el tiempo de fraguado cuando las fibras han sido tratadas con un 3% de hidróxido de sodio. Este tiempo de fraguado se lo determina visualizando el valor especificado alcanzado entre la penetración de la aguja y la pasta de cemento de consistencia normal, la cual tiene una resistencia especificada a la penetración de una sonda normalizada. El laboratorio donde se realizó el ensayo presenta una temperatura de 18-24°C con una humedad relativa del 50%. El agua para la elaboración de la pasta sin fibra ha sido agua potable mientras que la pasta correspondiente al tratamiento alcalino se la obtiene de haber sumergido las fibras de abacá tratadas (NaOH) por 8 horas en agua.

El aparato utilizado en este ensayo debe cumplir con las siguientes características de la norma que se hace referencia. (Asociación Española de Normalización, 2017).

Los tiempos para el amasado son los siguientes:

	<b>Parcial</b>	<b>Cronómetro</b>
1. Verter el agua y cemento en el recipiente		
2. Verter el cemento y dejar que absorba el agua	30 seg	
2. Velocidad lenta	30 seg	1 min
3. Retirar la pasta adherida a las paredes laterales	15 seg	1 min 15 seg
4. Velocidad rápida	1 min	2 min 15 seg

**Tabla 24. Procedimiento de amasado para ensayo de Vicat.**

Fuente: (Freire, 2019)

Para el llenado del molde se toma la pasta con las manos formando una bola y se la arroja de una mano a otra con una distancia de 15 cm aproximadamente, 6 veces. Se la ingresa en el molde engrasado y se enrasa el exceso de pasta. Una vez listo este paso se procede a la determinación de la consistencia normal, se coloca el molde debajo de la sonda previamente ajustado la puesta en cero. Se suelta la sonda sobre la pasta y se espera 30 segundos. Se obtiene consistencia normal cuando la sonda penetra  $10 \pm 1$  mm, en el caso de no obtener esas distancia se repite el ensayo cambiando la cantidad de agua. Por último, para poder determinar el tiempo de fraguado se coloca el molde debajo de la aguja, se suelta la aguja, se esperan 30 seg y se toma nota del tiempo y de la distancia medida. Se repite las mediciones con un intervalo de tiempo conveniente. (Freire, 2019)

El fraguado inicia cuando la aguja marca 25 mm y el fraguado final será cuando la aguja no deje marcas en la pasta.



**Ilustración 20. Procedimiento del ensayo de Vicat.**

Fuente: Autor

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Agua potable (AP)

<b>Cemento (g)</b>	650
<b>Agua (g)</b>	168
	<b>Minutos</b>
Fraguado inicial	136
Fraguado final	535

- Agua – Tratamiento: Hidróxido de sodio (HS)

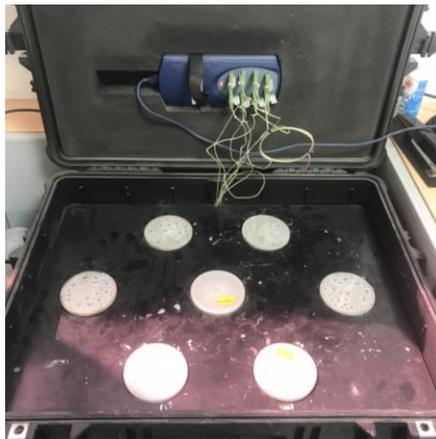
<b>Cemento (g)</b>	650
<b>Agua (g)</b>	170

	<b>Minutos</b>
Fraguado inicial	148
Fraguado final	497

### 5.3.1.2.2 *Holcim Heat*

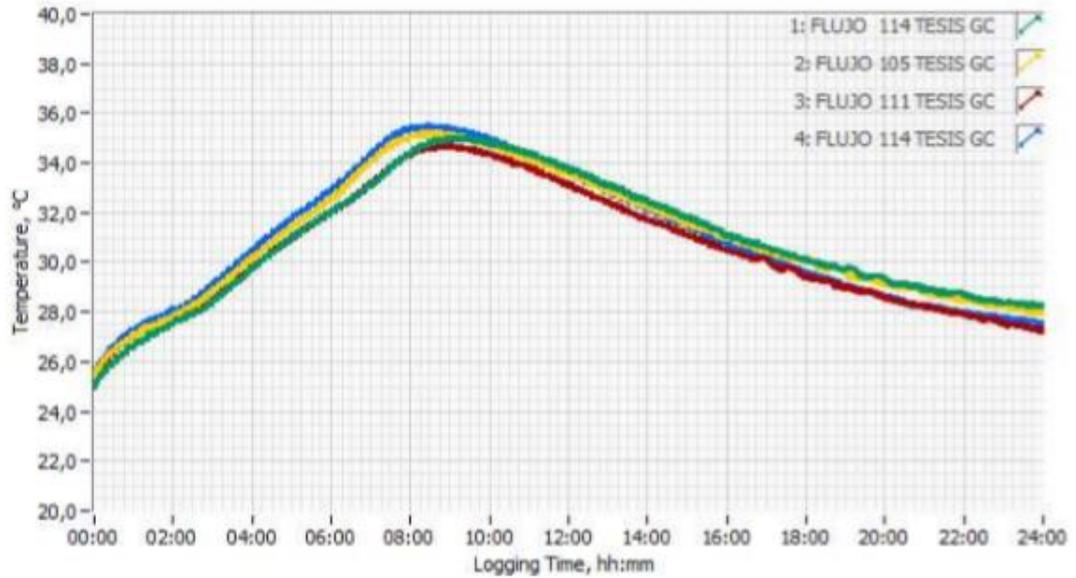
Es un equipo de monitoreo que ayuda a registrar el desarrollo de temperatura de una mezcla de pasta o mortero. Una muestra se coloca en un molde que se conecta a un sensor, se ingresan los datos de la mezcla a un software (ThermoCal) y empieza a correr la lectura. Un dato importante que se necesita indicar en el software es la relación agua cemento.

Una muestra corresponde a un molde de 1300 g, el procedimiento de amasada se describe en la elaboración de las probetas y se usa las cantidades señaladas en los resultados del ensayo de flujo.



**Ilustración 21. Equipo Holcim Heat.**

Fuente: Autor



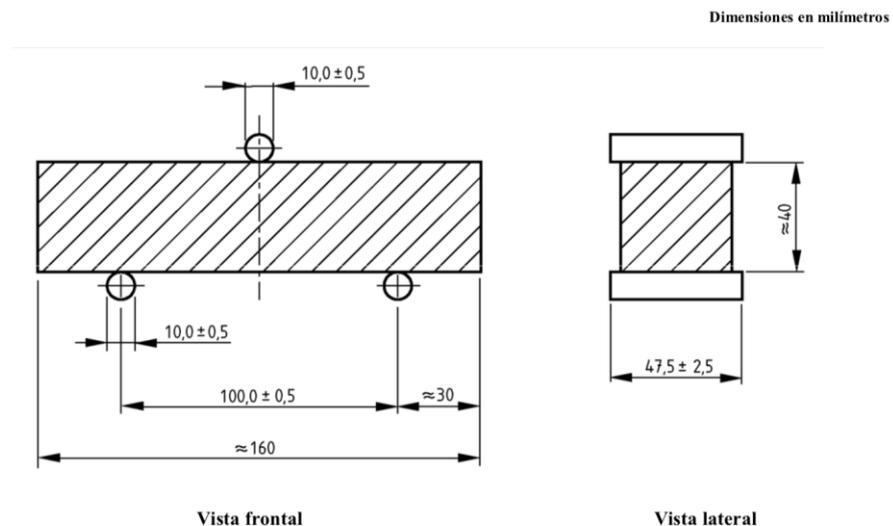
**Ilustración 22. Resultados Holcim Heat - Fase I.**

Fuente: Autor

### 5.3.2 Ensayos posteriores a la elaboración de las probetas

#### 5.3.2.1 Flexotracción

Para el ensayo de flexión se necesita de una máquina que cuente con un sistema de 2 rodillos en una misma dirección con una separación de 10 cm y un rodillo de carga equidistante entre los otros dos.



**Ilustración 23. Dispositivo para la determinación de la resistencia a flexión.**

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2005)

Para el ensayo la sección de la probeta debe de ser 160 mm x 40 mm x 40 mm. Se coloca la cara lateral sobre los rodillos de apoyo y se empieza aplicar una carga con velocidad de  $50 \pm 10$  N/s hasta la rotura.

Para calcular la resistencia a flexión se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3}$$

#### Ecuación 1. Resistencia a flexión

Donde:

$R_f$  resistencia a flexión (MPa)

$b$  lado de la sección cuadrada del prisma (mm)

$F_f$  carga aplicada en la mitad del prisma en la rotura (N)

$l$  distancia entre soportes. (mm)

Se ensayan 3 probetas para obtener un resultado final y se considera el redondeado a 0,1 Mpa. El resultado valido o final es el promedio de los resultados de cada muestra de manera individual.





**Ilustración 24. Procedimiento del ensayo de flexión.**

Fuente: Autor

A continuación, se muestran tablas con resultados obtenidos. Es importante mencionar que se están evaluando 3 tamaños y 3 dosificaciones; y que las fibras han sido tratadas con 3% de hidróxido de sodio.

- Tamaño 2,0 – dosificación 0,2%

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	1.78	4.2	4.2
	1.78	4.2	
	1.78	4.2	
14	2.14	5.0	5.0
	2.16	5.1	
	2.14	5.0	
21	2.70	6.3	6.3
	2.70	6.3	
	2.70	6.3	
28	3.26	7.6	7.7
	3.25	7.6	
	3.35	7.9	

**Tabla 25. Resultados de resistencia a flexión. HS 2,0 – 0,2.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,0 – dosificación 0,3%

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	1.87	4.4	4.4
	1.87	4.4	
	1.95	4.6	
14	2.25	5.3	5.5
	2.48	5.8	
	2.35	5.5	
21	3.10	7.3	7.3
	3.12	7.3	
	3.10	7.3	
28	3.15	7.4	7.4
	3.16	7.4	
	3.15	7.4	

**Tabla 26. Resultados de resistencia a flexión. HS 2,0 – 0,3.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,0 – dosificación 0,4

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	2.00	4.7	4.7
	2.06	4.8	
	2.00	4.7	
14	2.50	5.9	5.9
	2.50	5.9	
	2.50	5.9	
21	2.62	6.1	6.6
	2.60	6.1	
	3.21	7.5	
28	3.16	7.4	7.1
	2.92	6.8	
	3.00	7.0	

**Tabla 27. Resultados de resistencia a flexión. HS 2,0 – 0,4.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,5 – dosificación 0,2

<b>EDAD (DIAS)</b>	<b>CARGA (kN)</b>	<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	<b>PROMEDIO (MPa)</b>
7	2.13	5.0	5.3
	2.13	5.0	
	2.37	5.6	
14	2.77	6.5	6.7
	2.88	6.8	
	2.96	6.9	
21	2.94	6.9	6.9
	2.94	6.9	
	2.94	6.9	
28	3.10	7.3	7.3
	3.10	7.3	
	3.15	7.4	

**Tabla 28. Resultados de resistencia a flexión. HS 2,5 – 0,2.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,5 – dosificación 0,3

<b>EDAD (DIAS)</b>	<b>CARGA (kN)</b>	<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	<b>PROMEDIO (MPa)</b>
7	2.35	5.5	5.50
	2.37	5.6	
	2.30	5.4	
14	2.41	5.6	5.7
	2.50	5.9	
	2.41	5.6	
21	2.94	6.9	6.8
	2.87	6.7	
	2.88	6.8	
28	3.20	7.5	7.5
	3.20	7.5	
	3.16	7.4	

**Tabla 29. Resultados de resistencia a flexión. HS 2,5 – 0,3.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,5 – dosificación 0,4

<b>EDAD (DIAS)</b>	<b>CARGA (kN)</b>	<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	<b>PROMEDIO (MPa)</b>
7	2.44	5.7	5.7
	2.44	5.7	
	2.44	5.7	
14	2.60	6.1	6.1
	2.58	6.0	
	2.58	6.0	
21	2.90	6.8	6.8
	2.92	6.8	
	2.93	6.9	
28	3.40	8.0	8.0
	3.35	7.9	
	3.45	8.1	

**Tabla 30. Resultados de resistencia a flexión. HS 2,5 – 0,4.**

Fuente: Autor

- Tamaño 3,0 – dosificación 0,2

<b>EDAD (DIAS)</b>	<b>CARGA (kN)</b>	<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	<b>PROMEDIO (MPa)</b>
7	1.96	4.6	4.9
	2.05	4.8	
	2.32	5.4	
15	2.74	6.4	5.8
	2.24	5.3	
	2.47	5.8	
21	3.0	7.1	7.1
	3.0	7.0	
	3.0	7.0	
28	3.50	8.2	8.2
	3.50	8.2	
	3.45	8.1	

**Tabla 31. Resultados de resistencia a flexión. HS 3,0 – 0,2.**

Fuente: Autor

- Tamaño 3,0 – dosificación 0,3

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	2.08	4.9	5.0
	2.17	5.1	
	2.08	4.9	
15	2.30	5.4	6.2
	2.80	6.6	
	2.80	6.6	
21	2.80	6.6	6.5
	2.70	6.3	
	2.80	6.6	
28	3.10	7.3	7.3
	3.12	7.3	
	3.15	7.4	

**Tabla 32. Resultados de resistencia a flexión. HS 3,0 – 0,3.**

Fuente: Autor

- Tamaño 3,0 – dosificación 0,4

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	1.86	4.4	4.6
	1.92	4.5	
	2.11	4.9	
15	2.29	5.4	5.4
	2.36	5.5	
	2.22	5.2	
21	2.48	5.8	5.8
	2.49	5.8	
	2.49	5.8	
28	2.85	6.7	6.7
	2.90	6.8	
	2.85	6.7	

**Tabla 33. Resultados de resistencia a flexión. HS 3,0 – 0,4.**

Fuente: Autor

Para el ensayo de compresión se utilizarán los semiprismas que salieron como resultado del ensayo a flexión. El ensayo consta en que la maquina aplique una carga con una velocidad de  $2400 \pm 200$  N/s a los semiprismas hasta que lleguen a la rotura, es necesario que la maquina tenga unas placas auxiliares de sección 50 – 50 mm.

La resistencia a compresión se calcula a partir de la siguiente formula:

$$R_c = \frac{F_c}{A}$$

#### Ecuación 2. Resistencia a compresión

Donde:

$R_c$  resistencia a compresión (MPa)

$F_c$  la carga máxima de rotura (N)

$A$  área de las placas auxiliares ( $mm^2$ )

Para obtener el resultado final, se promedia individualmente el resultado de 6 semiprisma. Es importante considerar que si algún resultado individual es mayor del 10% del promedio automáticamente se descartará. El resultado final se redondea a 0,1 MPa



**Ilustración 25. Procedimiento del ensayo de compresión.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,0 – dosificación 0,2

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	24.0	2500	9.6	9.6
	24.0	2500	9.6	
	20.0	2500	8.0	
	20.0	2500	8.0	
	25.0	2500	10.0	
	23.0	2500	9.2	
14	26.0	2500	10.4	10.7
	28.0	2500	11.2	
	26.0	2500	10.4	
	23.0	2500	9.2	
	27.5	2500	11.0	
	26.5	2500	10.6	
21	21.9	2500	8.8	10.8
	24.0	2500	9.6	
	27.0	2500	10.8	
	31.5	2500	12.6	
	32.0	2500	12.8	
	32.4	2500	13.0	
28	29.6	2500	11.8	12.8
	33.7	2500	13.5	
	30.7	2500	12.3	
	35.8	2500	14.3	
	32.7	2500	13.1	
	32.8	2500	13.1	

**Tabla 34. Resultados de resistencia a compresión. HS – 2,0 – 0,2.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,0 – dosificación 0,3

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	20.0	2500	8.0	7.8
	19.0	2500	7.6	
	17.0	2500	6.8	
	19.5	2500	7.8	
	18.0	2500	7.2	
	21.0	2500	8.4	
14	24.0	2500	9.6	9.6
	25.2	2500	10.1	
	23.5	2500	9.4	
	23.0	2500	9.2	
	24.5	2500	9.8	
	23.9	2500	9.6	
21	27.46	2500	11.0	10.0
	29.6	2500	11.8	
	20.1	2500	8.0	
	22.8	2500	9.1	
	25.0	2500	10.0	
	31.6	2500	12.6	
28	22.1	2500	8.8	10.8
	25.3	2500	10.1	
	28.0	2500	11.2	
	26.0	2500	10.4	
	29.3	2500	11.7	
	28.6	2500	11.4	

**Tabla 35. Resultados de resistencia a compresión. HS – 2,0 – 0,3.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,0 – dosificación 0,4

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	18.4	2500	7.4	9.8
	20.7	2500	8.3	
	23.7	2500	9.5	
	25.4	2500	10.2	
	25.1	2500	10.0	
	24.0	2500	9.6	
14	23.6	2500	9.4	9.1
	25.2	2500	10.1	
	17.5	2500	7.0	
	21.6	2500	8.6	
	19.4	2500	7.8	
	23.2	2500	9.3	
21	24.3	2500	9.7	12.0
	25.8	2500	10.3	
	31.7	2500	12.7	
	31.4	2500	12.6	
	29.9	2500	12.0	
	28.9	2500	11.6	
28	27.1	2500	10.8	12.0
	25.5	2500	10.2	
	30.6	2500	12.2	
	29.1	2500	11.6	
	32.1	2500	12.8	
	31.7	2500	12.7	

**Tabla 36. Resultados de resistencia a compresión. HS – 2,0 – 0,4.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,5 – dosificación 0,2

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	25.0	2500	10.0	9.3
	21.0	2500	8.4	
	23.0	2500	9.2	
	21.9	2500	8.8	
	24.2	2500	9.7	
	24.8	2500	9.9	
15	31.2	2500	12.5	10.6
	28.6	2500	11.4	
	26.2	2500	10.5	
	27.4	2500	11.0	
	23.6	2500	9.4	
	24.1	2500	9.6	
21	31.6	2500	12.6	12.7
	34.3	2500	13.7	
	29.0	2500	11.6	
	29.7	2500	11.9	
	32.8	2500	13.1	
	33.7	2500	13.5	
28	33.4	2500	13.4	12.7
	34.7	2500	13.9	
	29.7	2500	11.9	
	30.9	2500	12.4	
	31.9	2500	12.8	
	29.9	2500	12.0	

**Tabla 37. Resultados de resistencia a compresión. HS – 2,5 – 0,2.**

Fuente: Autor

- Tamaño 2,5 – dosificación 0,3

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	24.30	2500	9.7	8.7
	21.70	2500	8.7	
	23.30	2500	9.3	
	21.40	2500	8.6	
	17.50	2500	7.0	
	20.40	2500	8.2	
14	25.3	2500	10.1	10.0
	24.1	2500	9.6	
	27.6	2500	11.0	
	25.0	2500	10.0	
	20.7	2500	8.3	
	22.8	2250	10.1	
21	27.4	2500	11.0	10.7
	25.4	2500	10.2	
	29.1	2500	11.6	
	22.0	2500	8.8	
	25.1	2500	10.0	
	24.3	2250	10.8	
28	28.3	2500	11.3	10.8
	28.7	2500	11.5	
	27.2	2500	10.9	
	26.0	2500	10.4	
	25.3	2500	10.1	
	29.0	2250	12.9	

**Tabla 38. Resultados de resistencia a compresión. HS – 2,5 – 0,3.**

**Fuente: Autor**

- Tamaño 2,5 – dosificación 0,4

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	18.7	2500	7.5	9.1
	21.0	2500	8.4	
	24.1	2500	9.6	
	23.6	2500	9.4	
	21.9	2500	8.8	
	17.9	2500	7.2	
14	24.5	2500	9.8	9.6
	25.1	2500	10.0	
	23.3	2500	9.3	
	24.7	2500	9.9	
	23.5	2500	9.4	
	22.3	2500	8.9	
21	25.0	2500	10.0	11.0
	27.5	2500	11.0	
	28.8	2500	11.5	
	28.7	2500	11.5	
	26.7	2500	10.7	
	27.7	2500	11.1	
28	29.9	2500	12.0	12.4
	29.5	2500	11.8	
	31.0	2500	12.4	
	30.9	2500	12.4	
	32.4	2500	13.0	
	32.0	2500	12.8	

**Tabla 39. Resultados de resistencia a compresión. HS – 2,5 – 0,4.**

**Fuente: Autor**

- Tamaño 3,0 – dosificación 0,2

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	22.4	2500	9.0	9.2
	21.8	2500	8.7	
	24.5	2500	9.8	
	20.8	2500	8.3	
	24.6	2500	9.8	
	23.6	2500	9.4	
14	23.8	2500	9.5	9.5
	23.9	2500	9.6	
	23.8	2500	9.5	
	23.8	2500	9.5	
	23.6	2500	9.4	
	23.5	2500	9.4	
21	26.5	2500	10.6	10.0
	24.7	2500	9.9	
	24.0	2500	9.6	
	23.8	2500	9.5	
	26.0	2500	10.4	
	25.0	2500	10.0	
28	32.9	2500	13.2	13.4
	27.2	2500	10.9	
	34.5	2500	13.8	
	31.7	2500	12.7	
	34.1	2500	13.6	
	34.1	2500	13.6	

**Tabla 40. Resultados de resistencia a compresión. HS – 3,0 – 0,2.**

**Fuente: Autor**

- Tamaño 3,0 – dosificación 0,3

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	17.6	2500	7.0	7.1
	18.3	2500	7.3	
	17.0	2500	6.8	
	15.6	2500	6.2	
	22.3	2500	8.9	
	21.9	2500	8.8	
14	20.7	2500	8.3	8.8
	23.3	2500	9.3	
	22.5	2500	9.0	
	21.9	2500	8.8	
	20.6	2500	8.2	
	23.3	2500	9.3	
21	22.6	2500	9.0	9.0
	21.5	2500	8.6	
	22.0	2500	8.8	
	23.1	2500	9.2	
	22.9	2500	9.2	
	23.0	2500	9.2	
28	24.3	2500	9.7	10.0
	27.7	2500	11.1	
	22.7	2500	9.1	
	26.0	2500	10.4	
	23.0	2500	9.2	
	26.3	2500	10.5	

**Tabla 41. Resultados de resistencia a compresión. HS – 3,0 – 0,3.**

**Fuente: Autor**

- Tamaño 3,0 – dosificación 0,4

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	17.7	2500	7.1	8.3
	20.3	2500	8.1	
	22.6	2500	9.0	
	20.6	2500	8.2	
	21.1	2500	8.4	
	21.8	2500	8.7	
14	27.4	2500	11.0	9.4
	27.4	2500	11.0	
	24.1	2500	9.6	
	22.5	2500	9.0	
	24.7	2500	9.9	
	22.6	2500	9.0	
21	28.9	2500	11.6	9.7
	29.7	2500	11.9	
	23.8	2500	9.5	
	23.3	2500	9.3	
	24.2	2500	9.7	
	25.2	2500	10.1	
28	30.0	2500	12.0	11.9
	28.0	2500	11.2	
	29.4	2500	11.8	
	29.8	2500	11.9	
	32.0	2500	12.8	
	30.0	2500	12.0	

**Tabla 42. Resultados de resistencia a compresión. HS – 3,0 – 0,4.**

**Fuente: Autor**

#### **5.4 Fase II: Propiedades mecánicas del mortero reforzado**

Como se dio a conocer en el capítulo 3, una vez obtenido los resultados de la fase I se debía proceder con la evaluación del mortero mediante los ensayos de densidad, flexotracción, retracción y fractura

### 5.4.1 Densidad

Se ha tomado como referencia la norma española UNE-EN 1015-10:2000, la cual calcula la densidad aparente en seco para un mortero endurecido. Las muestras se realizaron en base a los resultados obtenidos en la fase I, es decir que se utilizó el tamaño y la dosificación óptima determinada para fibra de abacá. La elaboración de probetas fue igual a como se detalla en el capítulo 4 y para el resultado final que es el promedio de las tres muestras se debe redondear aproximadamente a 10 kg/ m<sup>3</sup>. Adicional como requerimiento primordial se necesita una balanza para encontrar exactitud en resultados.

Para este ensayo se necesitan tener tres masas de las probetas determinadas, las cuales son:

- Masa del mortero endurecido secado en el horno en Kg. ( $M_{s, sec}$ )
- Masa saturada del mortero endurecido en Kg. ( $M_{s, sat}$ )
- Masa aparente del mortero endurecido sumergido en agua en Kg. ( $M_{s, i}$ )

Mediante las siguientes ecuaciones se calcula la densidad aparente en seco.

$$V_s = \frac{M_{s, sat} - M_{s, i}}{\rho_{agua}}$$

**Ecuación 3. Volumen de la probeta**

$$D_{aparente\ en\ seco} = \frac{M_{s, sec}}{V_s}$$

**Ecuación 4. Densidad aparente en seco**



**Ilustración 26. Procedimiento del ensayo de densidad.**

Fuente: Autor

- Con fibra.

MUESTRA	Ms, sec (g)	Ms, sat (g)	Ms, i (g)	Vs (m3)	Densidad aparente en seco (Kg/m3)	Promedio
1	506.9	562.7	329.5	233.278	2172.734	2225.9
2	517.3	567.3	336.2	231.005	2239.345	
3	511.4	558.1	332.4	225.723	2265.520	

**Tabla 43. Resultado de ensayo de densidad.**

Fuente: Autor

#### **5.4.2 Flexotracción**

El ensayo se realiza de igual manera como se lo explica en la fase I, con diferencia que se utilizan moldes de 40x40x160 mm de acero y que se utiliza la composición del mortero óptimo.



**Ilustración 27. Ensayo a Flexión, probeta han llegado a falla.**

Fuente: Autor



**Ilustración 28. Ensayo a Compresión, semiprisma ha llegado a falla.**

Fuente: Autor

- Fibra de 3 cm tratada con 3% NaOH, al 0,2%.

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	1.95	4.57	4.6
	1.92	4.50	
	2.00	4.69	
14	2.50	5.86	5.8
	2.41	5.65	
	2.45	5.74	
28	3.48	8.16	8.2
	3.55	8.32	
	3.50	8.20	

**Tabla 44. Resultado de resistencia de Flexión.**

Fuente: Autor

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	29.8	2500	11.9	12.0
	31.0	2500	12.4	
	31.1	2500	12.4	
	31.2	2500	12.5	
	27.8	2500	11.1	
	31.2	2500	12.5	
14	33.0	2500	13.2	13.6
	33.7	2500	13.5	
	32.7	2500	13.1	
	34.9	2500	14.0	
	35.0	2500	14.0	
	35.7	2500	14.3	
28	37.0	2500	14.8	15.4
	40.2	2500	16.1	
	36.4	2500	14.6	
	36.1	2500	14.4	
	38.8	2500	15.5	
	39.9	2500	16.0	

**Tabla 45. Resultado de resistencia de compresión.**

Fuente: Autor

- Sin fibra.

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	2.4	5.7	5.7
14	2.5	5.9	5.9
28	2.86	6.7	6.7

**Tabla 46. Resultado de resistencia de Flexión.**

Fuente: Autor

EDAD (DIAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	23.2	2500	9.3	8.6
	21.9	2500	8.8	
	20.0	2500	8.0	
	21.6	2500	8.6	
	21.9	2500	8.8	
	20.8	2500	8.3	
14	21.4	2500	8.6	9.2
	22.4	2500	9.0	
	24.1	2500	9.6	
	22.5	2500	9.0	
	24.7	2500	9.9	
	22.6	2500	9.0	
28	25.5	2500	10.2	10.3
	25.2	2500	10.1	
	30.9	2500	12.4	
	30.5	2500	12.2	
	25.8	2500	10.3	
	26.0	2500	10.4	

**Tabla 47. Resultado de resistencia de Compresión.**

Fuente: Autor

### 5.4.3 Retracción

El propósito del ensayo es controlar el cambio de longitud que puede ocasionar la fibra tratada, al momento que es incluida en una mezcla de mortero. Para poder iniciar el procedimiento se dejó en agua aproximadamente por 24 horas las fibras que se utilizarían para la elaboración de las probetas. Por otro lado, la dosificación de los materiales se sigue manteniendo de acuerdo a los resultados obtenidos en la fase I. Para este ensayo se van a elaborar 8 probetas en total, en las cuales 4 son sin incluir la fibra y los 4 restantes incluyendo la fibra tratada. De las 4 probetas, 2 se pondrán en curado por 7 días y 2 se pondrán al ambiente. El ensayo se basa en tomar medidas de las probetas conforme la edad de los morteros va aumentando con la ayuda de un aparato que mide los cambios de longitud. El ensayo se lo ha realizado en base la norma ASTM C157/C157M – 17.



**Ilustración 29. Lectura de probetas para determinación de retracción.**

Fuente: Autor

Por último, se mostrarán los resultados obtenidos en el ensayo de retracción, se tomaron lecturas los siguientes días: 1,4,7,14,28. Recordar que para cada caso 2 muestras se pusieron al ambiente y 2 muestras se curaron por 7 días en agua con cal. Adicional es necesario tener una lectura de referencia la cual

se la toma con la barra que viene incluida al aparato de lectura. Mediante la siguiente ecuación se calcula el cambio de longitud o retracción:

$$\text{Deformación}\% = \left( \frac{Lx - Li}{G} \right) * 100$$

**Ecuación 5. Porcentaje de deformación del ensayo de retracción.**

En donde:

*Lx*: Lectura de comparación de la muestra menos lectura del patrón en x edad.

*Li*: Lectura de comparación inicial de la muestra menos lectura del patrón al mismo tiempo

*G*: Longitud nominal de calibre, 250 mm.

A continuación, se anexan lecturas y resultados obtenidos:

- Sin fibra; sin curado

Muestra #	Lecturas relativas (mm.)				
	Lo	L			
	1 días	4 días	8 días	15 días	29 días
1	3.438	3.422	3.344	3.990	3.914
2	3.426	3.406	3.324	3.990	3.880
3					
PATRÓN	5.858	5.864	5.868	6.532	6.448

**Tabla 48. Lectura de muestras sin fibra sin curado.**

Fuente: Autor

Especímen	Deformación (%)				
	Lo	L1	L2	L3	L4
	1 días	4 días	8 días	15 días	29 días
1	0.00	-0.01	-0.04	-0.05	-0.05
2	0.00	-0.01	-0.04	-0.04	-0.05
Promedio	0.000	-0.010	-0.043	-0.046	-0.050

**Tabla 49. Resultados de retracción, muestras sin fibra con curado de 7 días.**

Fuente: Autor

- Sin fibra; curado de 7 días

Muestra #	Lecturas relativas (mm.)				
	Lo	L			
	1 días	4 días	8 días	15 días	29 días
1	6.250	6.272	6.272	6.798	6.690
2	7.918	7.928	7.928	8.472	8.342
PATRÓN	5.858	5.864	5.868	6.532	6.448

**Tabla 50. Lectura de muestras sin fibra con curado de 7 días.**

Fuente: Autor

Especímen	Deformación (%)				
	Lo	L1	L2	L3	L4
	1 días	4 días	8 días	15 días	29 días
1	0.00	0.01	0.00	-0.05	-0.06
2	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.07
Promedio	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.06

**Tabla 51. Resultados de retracción, muestras sin fibra con curado de 7 días.**

Fuente: Autor

- Con fibra; sin curado

Muestra #	Lecturas relativas (mm.)			
	Lo	L		
	1 días	8 días	15 días	29 días
1	3.210	3.600	3.732	3.664
2	4.858	5.280	5.416	5.180
PATRÓN	5.868	7.232	7.212	7.200

**Tabla 52. Lectura de muestras con fibra sin curado.**

Fuente: Autor

Especímen	Deformación (%)			
	Lo	L1	L2	L3
	1 días	8 días	15 días	29 días
1	0.00	-0.39	-0.33	-0.35
2	0.00	-0.38	-0.31	-0.40
<b>Promedio</b>	0.00	-0.38	-0.32	-0.38

**Tabla 53. Resultados de retracción, muestras con fibra sin curado.**

Fuente: Autor

- Con fibra; curado de 7 días

Muestra #	Lecturas relativas (mm.)			
	Lo	L		
	1 días	8 días	15 días	29 días
1	3.958	4.512	4.612	4.268
2	6.130	6.670	6.756	6.402
<b>PATRÓN</b>	5.868	7.232	7.212	7.200

**Tabla 54. Lectura de muestras con fibra con curado de 7 días.**

Fuente: Autor

Especímen	Deformación (%)			
	Lo	L1	L2	L3
	1 días	8 días	15 días	29 días
1	0.00	-0.32	-0.28	-0.41
2	0.00	-0.33	-0.29	-0.42
<b>Promedio</b>	0.00	-0.33	-0.28	-0.42

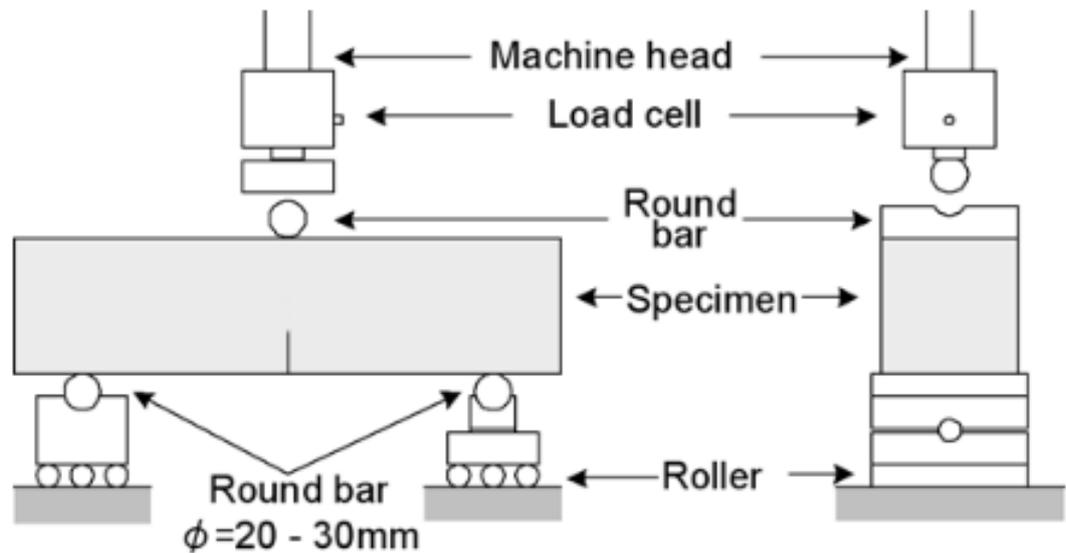
**Tabla 55. Resultados de retracción, muestras con fibra con curado de 7 días.**

Fuente: Autor

#### **5.4.4 Fractura**

Se ha determinado realizar el ensayo de fractura para medir la energía de fractura basándose en el comité japonés JCI-S-001-2003; cabe indicar, que no existe una norma para determinar dicha propiedad cuando se habla de

aglomerados cementicios con fibra vegetal. Esta guía se basa en aplicar una carga a velocidad constante en la muestra que presenta una ranura inicial central con medidas que se describen en el capítulo 4, posterior a eso se utiliza un dispositivo conocido como el CMOD, Crack Mouth Opening Displacement, el cual mide esa apertura (fisura) a medida que se aplica la carga.



**Ilustración 30. Especificación sobre sistema de carga de ensayo de fractura.**

Fuente: (Japan Concrete Institute Standard, 2003)

La energía de fractura se calcula bajo el conjunto de las siguientes ecuaciones:

$$G_f = \frac{0.75 W_0 + W_1}{A_{lig}}$$

**Ecuación 6. Energía de fractura ( $\text{N/mm}^2$ ).**

En donde:

$W_0$ : Área por debajo de la curva CMOD ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ ).

$W_1$ : El trabajo hecho por el peso muerto de la muestra y la carga jig ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ ).

$A_{lig}$ : Área del ligamento roto ( $\text{mm}^2$ ).

$$W1 = 0.75 \left( \frac{S}{L} m_1 + 2m_2 \right) g * CMOD_c$$

#### Ecuación 7. Energía de fractura

En donde:

$S$ : Separación entre los apoyos ( $mm$ ).

$L$ : Longitud total de la muestra ( $mm$ ).

$m_1$ : Masa de la muestra ( $Kg$ ).

$m_2$ : Masa de componente que no está adherido a la maquina ( $Kg$ ).

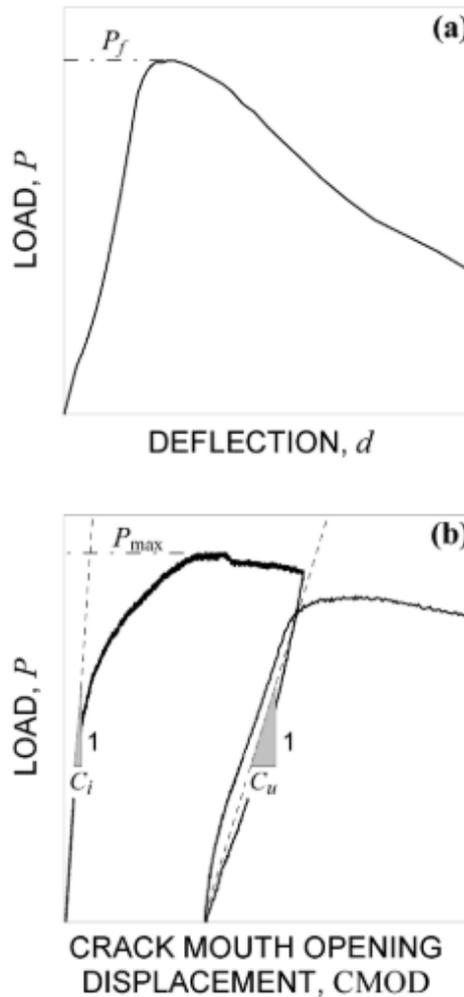
$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ ).

$CMOD_c$ : Desplazamiento de la abertura de la grieta al momento de la rotura; dispositivo ( $mm$ ).



**Ilustración 31. Sistema de ensayo de fractura.**

Fuente: (Benaimeche et al., 2018)



**Ilustración 32. Graficas de deflexión y abertura de grieta.**

Fuente: (Benaimeche et al., 2018)

## 5.5 Análisis de resultados

El análisis de resultados se lo determinará por fases, con el fin de seguir un orden y poder tener una idea más clara sobre los resultados obtenidos.

### 5.5.1 Fase 0

- Tracción

Es evidente observar el porcentaje de diferencia entre la fibra natural y cuando se le aplica el tratamiento de hidróxido de sodio. Se ha obtenido una diferencia del 59%, es decir que la fibra con hidróxido de sodio es 59 veces más fuerte que cuando se encuentra en su estado natural. Este comportamiento fue nombrado en algunas investigaciones con fibra de origen de Filipinas, pero

mantenían una variante la cual es el porcentaje de aplicación de hidróxido de sodio. En conclusión, se llegó al mismo resultado de obtener una mayor resistencia a tracción.

MUESTRA	ESFUERZO (MPa)
FN	52.9
HS	129.5

**Tabla 56. Comparación de resultados, esfuerzo a tracción.**

Fuente: Autor

- Absorción de agua

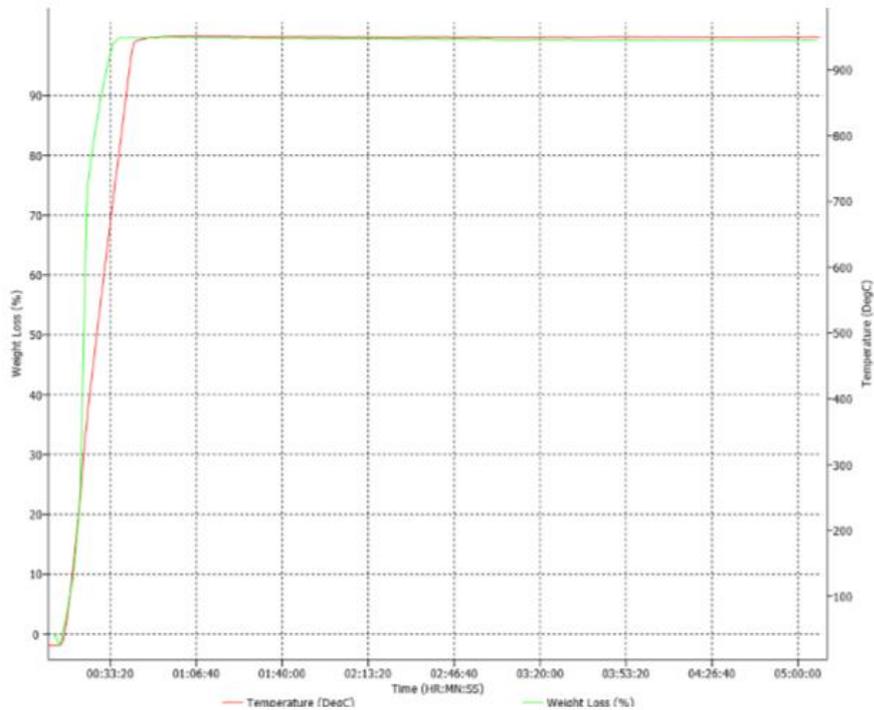
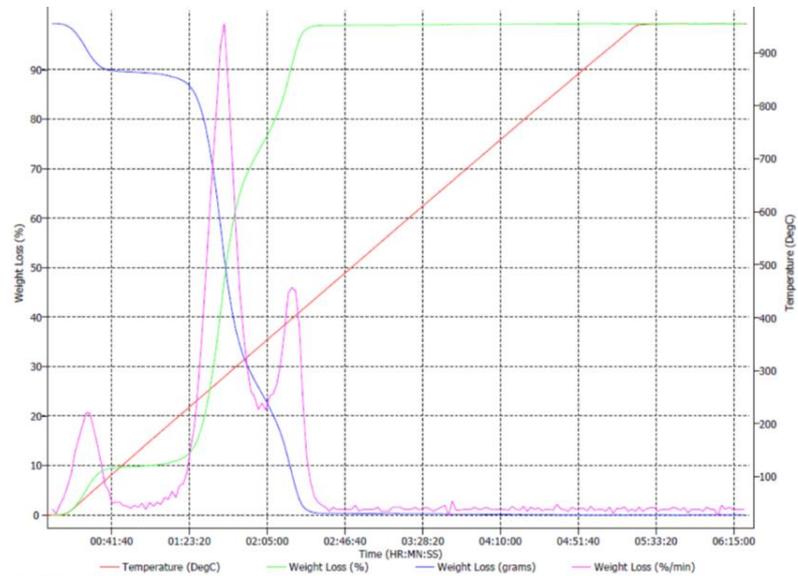
Es importante recalcar que el ensayo de absorción de agua para la fibra natural no está definido en una norma. A partir de los resultados obtenidos se concluye que a pesar de que el tratamiento no elimine la capacidad de absorción de la fibra, este si la reduce de manera considerable.

- TGA

Es importante aclarar que el ensayo de TGA se lo realiza con la ayuda de un equipo de la empresa Holcim Ecuador S.A., el cual está programado en subir la temperatura en función del tiempo. En este análisis se comparan dos curvas, la de temperatura y la pérdida de peso en porcentaje. Es claro observar las diferencias entre ambas gráficas debido a que tienen un diferente comportamiento y sobre todo diferentes tiempos de calcinación.

Lo primero que se hablará es sobre la curva de temperatura porque en el caso de la fibra natural esta va subiendo de manera gradual mientras que el otro caso de fibra con hidróxido de sodio sufre una subida abrupta de temperatura. Se tiene el tiempo de calcinación de ambos casos, en la fibra natural se observa que es alrededor de 2:30 horas mientras que en la fibra natural es de 33 minutos. Estos comportamientos se dan debido a la composición estructural de la fibra, en el caso de la fibra natural se sabe claramente que tiene componentes como lignita, pectina, celulosa, hemicelulosa, ect. Esto se refleja en la gráfica de fibra natural con la curva de pérdida de peso (%/min),

los picos indican el punto de descomposición de los componentes mencionados. Al observar el caso de fibra con hidróxido de sodio es claro que la curva de pérdida de peso (%/min) ha desaparecido, esto podría arrojar una hipótesis la cual indicaría que los componentes que normalmente tiene la fibra natural han desaparecido, es decir que el tratamiento alcalino se encarga de eliminar las sustancias que no son puras.



**Ilustración 33. Comparación de resultados de pruebas TGA.**

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)

### 5.5.2 Fase I

- Flujo

A continuación, se presentará una tabla con el resumen de los resultados, el flujo permitió determinar la cantidad de agua necesaria para realizar la mezcla de cada muestra; éstas se evaluarán por tiempo de fraguado y flexotracción

MATERIALES	MUESTRA								
	2,0 - 0,2	2,0 - 0,3	2,0 - 0,4	2,5 - 0,2	2,5 - 0,3	2,5 - 0,4	3,0 - 0,2	3,0 - 0,3	3,0 - 0,4
Cemento (g)	540	540	540	540	540	540	540	540	540
Arena (g)	1620	1620	1620	1620	1620	1620	1620	1620	1620
Agua (g)	385	400	410	395	396	398	390	396	413
Fibra (g)	4.3	6.5	8.6	4.3	6.5	8.6	4.3	6.5	8.6
Flujo (cm)	105	114	115	115	114	105	111	114	109

**Tabla 57. Resultados % flujo. Resumen.**

Fuente: Autor

- Vicat

El resumen de los resultados del vicat es el siguiente:

	AP	HS
Fraguado inicial (min)	136	148
Fraguado final (min)	535	497

**Tabla 58. Resultados tiempo de fraguado Vicat.**

Fuente: Autor

- Flexotracción

La tabla con resumen de los resultados a flexión de la fase I es el siguiente:

TRATAMIENTO	TAMAÑO (cm)	DOSIFICACIÓN	EDAD			
			7 DIAS	15 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
HS	2.0	0.2%	4.2	5.0	6.3	7.7
		0.3%	4.4	5.5	7.3	7.4
		0.4%	4.7	5.9	6.6	7.1
	2.5	0.2%	5.3	6.7	6.9	7.3
		0.3%	5.5	5.7	6.8	7.5
		0.4%	5.7	6.1	6.8	8.0
	3.0	0.2%	4.9	5.8	7.1	8.2
		0.3%	5.0	6.2	6.5	7.3
		0.4%	4.6	5.4	5.8	6.7

**Tabla 59. Resultados fase 1, resistencia a flexión.**

Fuente: Autor

La tabla con resumen de los resultados a compresión de la fase I es el siguiente:

TRATAMIENTO	TAMAÑO (cm)	DOSIFICACIÓN	EDAD			
			7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
HS	2.0	0.2%	9.6	10.7	10.8	12.8
		0.3%	7.8	9.6	10.0	10.8
		0.4%	9.8	9.1	12.0	12.0
	2.5	0.2%	9.3	10.6	12.7	12.7
		0.3%	8.7	10.0	10.7	10.9
		0.4%	9.1	9.6	12.0	12.4
	3.0	0.2%	9.2	9.5	10.0	13.4
		0.3%	7.1	8.8	9.0	10.0
		0.4%	8.3	9.4	9.7	11.9

**Tabla 60. Resultados fase I. Resistencia a compresión.**

Fuente: Autor

Con los resultados de flexotracción de las probetas se encontró el tamaño y la dosificación óptima, el mismo que corresponde a las fibras de abacá con 3% NaOH de 3 cm y una dosificación de 0.2% (4.3 g).

### **5.5.3 Fase II**

En la fase II se trata de encontrar las propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibras de abacá y de hacer una comparación con el mortero tradicional es decir sin fibra.

- Densidad

A pesa que no tenga mucha diferencia de densidad aparente en seco entre las dos muestras, es importante recalcar que este dato nos indica cual es el peso por unidad de volumen.

MUESTRA	PROMEDIO (Kg/m <sup>3</sup> )
SF	2226
F-3% HS	2000

**Tabla 61. Comparación de resultados de densidad.**

Fuente: Autor

- Flexotracción

Se muestra una tabla con un resumen de resultados del ensayo de flexotracción en donde se compara la resistencia entre la fibra natural y la fibra con tratamiento de hidróxido de sodio. Se observa que mejores resultados se obtuvieron cuando se incluyó la fibra tratada; tanto en el esfuerzo a flexión y compresión el cual tiene mayor relevancia debido a que la investigación corresponde a encontrar un mortero de revestimiento.

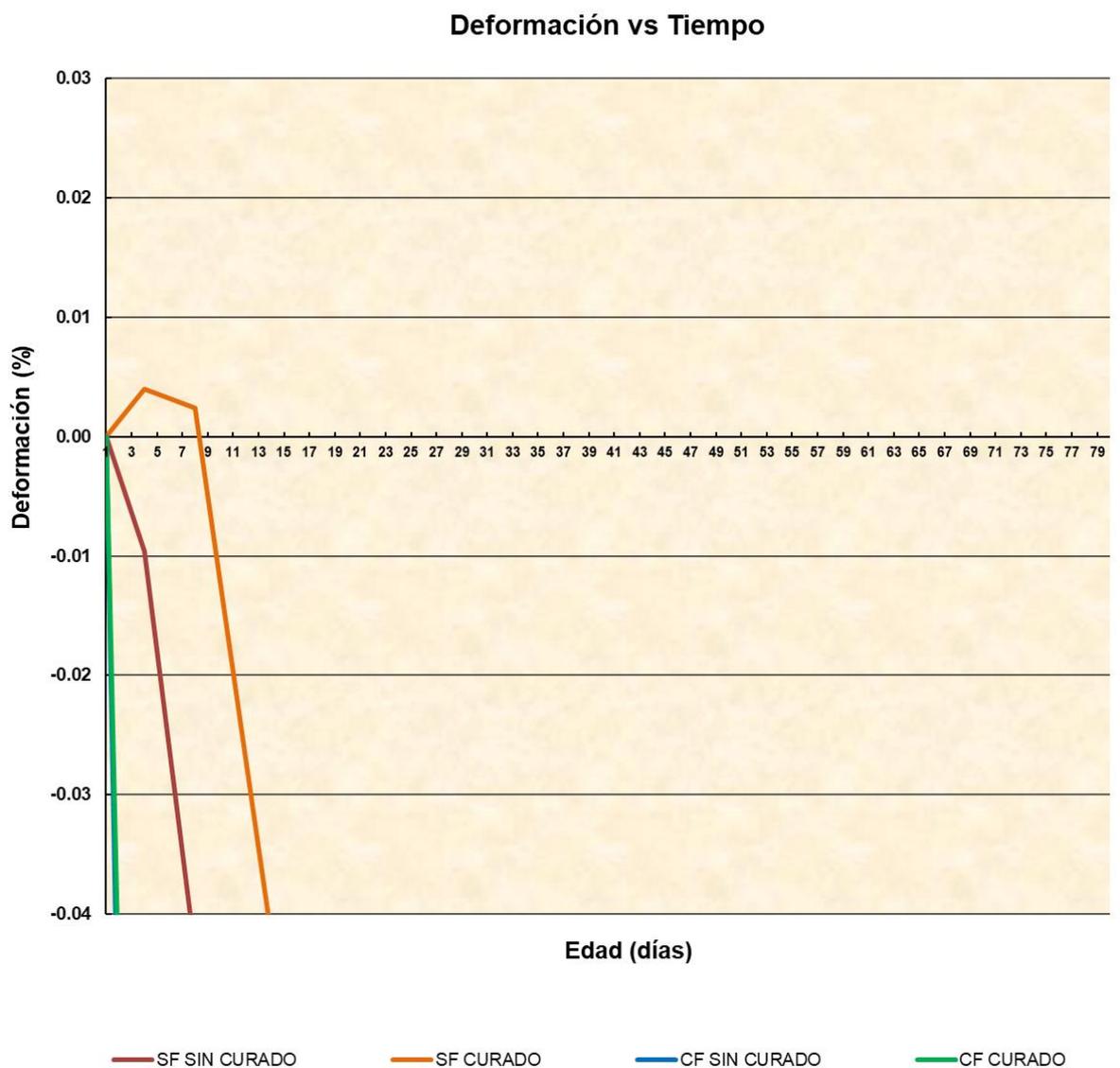
ENSAYO	MUESTRA	RESISTENCIA (MPa)
FLEXIÓN	SF	6.70
	F-3% HS	8.20
COMPRESIÓN	SF	10.30
	F-3% HS	15.40

**Tabla 62. Comparación de resultados de flexotracción.**

Fuente: Autor

- Retracción

Gracias a la retracción se puede obtener la disminución del volumen de las probetas durante el proceso de fraguado, la cual se produce por la pérdida de agua. A continuación, se muestra una gráfica en donde se colocan los 4 casos que se definieron para el ensayo y es muy claro observar que un mortero tradicional es decir sin fibra sufre mayor pérdida de agua; esto trae como consecuencia una pérdida de volumen mayor, las cuales generan tensiones internas de tracción y causan las conocidas fisuras de retracción.



**Ilustración 34. Comparación de retracción entre muestras.**

Fuente: Autor

- Fractura

Las especificaciones del comité japonés JCI-S-001-2003 y varias referencias bibliográficas incluían al dispositivo CMOD, es un instrumento con un grado sensibilidad alto el cual permite graficar la abertura que sufre el mortero cuando se le aplica la carga. Dicha condición se tuvo que modificar por la falta de disponibilidad del dispositivo de tal manera que se determinaron dos formas para poder tener la cantidad suficiente de punto para graficar la deflexión y la distancia de abertura de la grieta; para ambos casos se tomó un rango determinado de cargas y se iban tomando los puntos de deflexión, pero en el otro caso de la distancia de abertura se iban tomando lecturas de manera manual con la ayuda de fisurómetros.



**Ilustración 35. Fisurómetro.**

Fuente: Autor



**Ilustración 36. Probeta ha llegado a la fractura.**

Fuente: Autor

Al final se obtuvieron los siguientes resultados:

- Muestra #1

P (KN)	P (N)	D (mm)	$\Delta$ (mm)	Dfinal	Crack mouth		
					1	2	3
0	0	0.012	0.012	0	0.06	0.02	0.1
0.02	20	0.2	0.188	0.012	0.08	0.06	0.1
0.04	40	0.29	0.09	0.2	0.11	0.08	0.1
0.06	60	0.31	0.02	0.29	0.27	0.2	0.1
0.08	80	0.35	0.04	0.31	0.3	0.25	0.1
0.1	100	0.38	0.03	0.35	0.35	0.25	0.1
0.12	120	0.42	0.04	0.38	0.4	0.3	0.1
0.14	140	0.45	0.03	0.42	0.5	0.35	0.1
0.16	160	0.5	0.05	0.45	0.55	0.4	0.15
0.18	180	0.53	0.03	0.5	0.6	0.45	0.2
0.2	200	0.56	0.03	0.53	0.6	0.45	0.2
0.22	220	0.6	0.04	0.56	0.6	0.5	0.25
0.24	240	0.63	0.03	0.6	0.65	0.55	0.25
0.26	260	0.66	0.03	0.63	0.65	0.55	0.3
0.28	280	0.69	0.03	0.66	0.7	0.6	0.3
0.3	300	0.73	0.04	0.69	0.7	0.6	0.35
0.32	320	0.75	0.02	0.73	0.7	0.6	0.35
0.34	340	0.78	0.03	0.75	-	-	-
0.36	360	0.81	0.03	0.78	0.75	0.6	0.35
0.38	380	0.84	0.03	0.81	-	-	-
0.4	400	0.87	0.03	0.84	0.8	0.7	0.35
0.42	420	0.89	0.02	0.87	-	-	-
0.44	440	0.93	0.04	0.89	0.8	0.7	0.35
-	-	-	-	0.93	0.85	0.7	0.4

**Tabla 63. Tabla Carga vs deflexión - Carga vs abertura de grieta**

Fuente: Autor

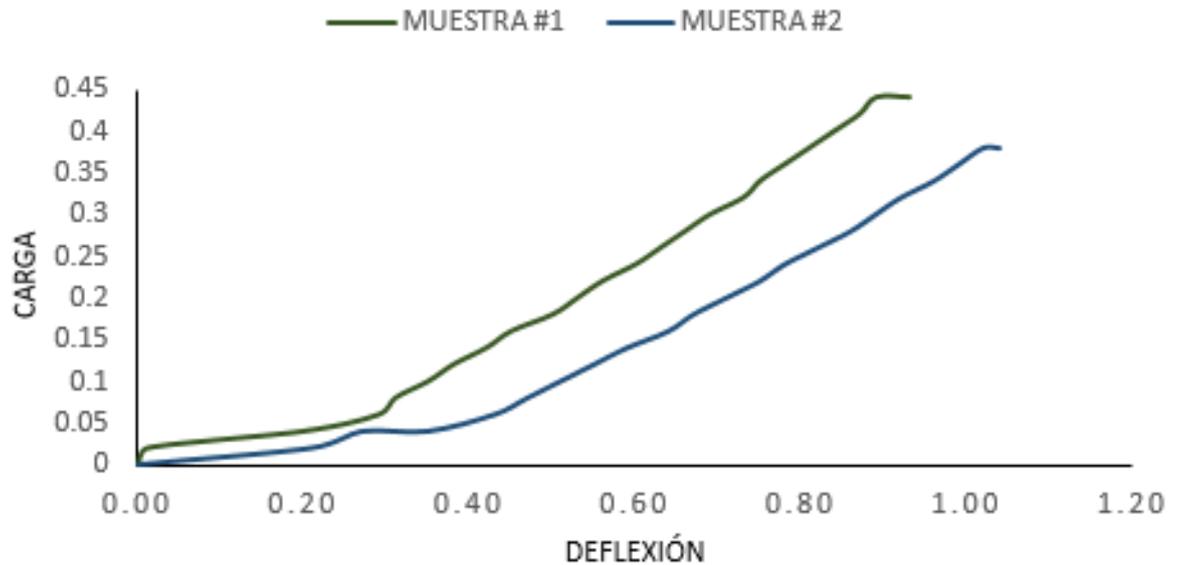
- Muestra #2

P (KN)	P (N)	D (mm)	$\Delta$ (mm)	Dfinal	Crack mouth		
					1	2	3
0	0	0.21	0.21	0	0.2	0.15	0.1
0.02	20	0.27	0.06	0.21	0.22	0.15	0.1
0.04	40	0.43	0.16	0.27	0.25	0.2	0.1
-	-	-	-	0.35	0.3	0.25	0.1
0.06	60	0.47	0.04	0.43	0.37	0.25	0.15
0.08	80	0.51	0.04	0.47	0.45	0.3	0.2
0.1	100	0.55	0.04	0.51	0.55	0.4	0.25
0.12	120	0.59	0.04	0.55	0.6	0.4	0.25
0.14	140	0.64	0.05	0.59	0.62	0.42	0.27
0.16	160	0.67	0.03	0.64	0.65	0.45	0.27
0.18	180	0.71	0.04	0.67	0.65	0.45	0.3
0.2	200	0.75	0.04	0.71	0.7	0.55	0.33
0.22	220	0.78	0.03	0.75	0.75	0.55	0.35
0.24	240	0.82	0.04	0.78	0.78	0.55	0.35
0.26	260	0.86	0.04	0.82	0.8	0.6	0.35
0.28	280	0.89	0.03	0.86	0.82	0.7	0.4
0.3	300	0.92	0.03	0.89	0.85	0.75	0.4
0.32	320	0.96	0.04	0.92	0.9	0.75	0.42
0.34	340	0.99	0.03	0.96	0.95	0.85	0.42
0.36	360	1.02	0.03	0.99	0.95	0.85	0.45
0.38	380	1.04	0.02	1.02	1	0.9	0.45
-	-	-	-	1.04	1	0.9	0.5

**Tabla 64. Tabla Carga vs deflexión - Carga vs abertura de grieta**

Fuente: Autor

## CARGA VS DEFLEXIÓN



**Ilustración 37. Comparación Carga vs Deflexión.**

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos no se puede calcular la energía de fractura puesto que los puntos tomados con el fisurómetro corresponden a la apertura de la fisura ocasionada con la  $P_{m\acute{a}x}$ ; sin embargo, este ensayo es sumamente sensible por lo que se requiere del dispositivo antes mencionado para con la carga residual agrietar en mayor dimensión la muestra y así poder obtener los diferentes tamaños.

Si se considera la ecuación que permite calcular fractura, es importante determinar el área bajo la curva entre la deflexión y los tamaños de fisura; sin embargo, dichos valores a pesar de haberlos tomado, pues no corresponden a un resultado real. Por tal motivo, y después de varios ensayos y métodos de prueba error se decidió presentar los resultados reales a la fecha, sin la presentación de la energía de fractura.

Por otro lado, la gráfica de carga, deformación presenta un comportamiento inusual, esto se debería a algunos factores que son necesarios analizarlos:

- Podría ser consecuencia de la adición de la fibra, aunque después de haber analizado resultados en muestras a flexotracción podríamos

descartar esta hipótesis ya que los resultados han sido como se esperaban

- El hecho que este ensayo se lo realizó aplicando una carga de forma manual con velocidad no constante pues efectivamente tendría una influencia grande sobre todo en las deformaciones pequeñas donde es sensible el ensayo, a medida que se deforma más es decir que se aplica mayor carga, el comportamiento que presenta el material es como se esperaba desde un inicio.

# **CAPÍTULO VI**

## **6 Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

El propósito del trabajo es analizar las propiedades mecánicas del mortero óptimo reforzado con fibras de abacá las cuales han sido sometidas a un tratamiento de hidróxido de sodio. Por otro lado, también se ha propuesto caracterizar la fibra tratada por medio de tres ensayos. Toda la investigación se la desarrolló cumpliendo con una metodología de trabajo la cual está dividida por fases.

La fase 0 comprendió el desarrollo, análisis y la interpretación de los resultados que se obtuvieron al momento de caracterizar la fibra. Lo que nos ayuda a concluir que la fibra con la aplicación del 3% de hidróxido de sodio ha desarrollado un conjunto de beneficios los cuales se han demostrado mediante los resultados de los ensayos de tracción, absorción de agua y TGA. Se ha descubierto que al aplicarle un 3% de hidróxido de sodio fue suficiente para conseguir que la fibra natural sufra una significativa modificación estructural la cual ayudo a que tenga un comportamiento muy parecido al de una fibra sintética al momento de comparar los resultados de tracción y absorción de agua. Aunque no se logró conseguir que la fibra deje de absorber agua si se consiguió que reduzca su porcentaje de absorción.

En la fase I se buscó el tamaño y la dosificación óptima, es decir la que presente mejores resultados con los criterios de evaluación. Se probaron 3 tamaños y 3 dosificaciones de fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio, éstas muestras fueron evaluadas por tiempo de fraguado y flexotracción. En el análisis de resultados se comprendió que mayor relevancia tenía la flexotracción antes que el tiempo de fraguado. Al finalizar la fase se concluyó, que los mejores resultados a flexotracción y sin mayor diferencia en el tiempo de fraguado, los obtuvo el tamaño de 3.0 cm y la dosificación de 0.2% de fibra de abacá.

Para iniciar la fase II era clave concluir con la fase I debido a que las características mecánicas se las iba a evaluar con el mortero óptimo reforzado con fibra tratada. Gracias a los resultados de la fase I se pudo iniciar y

continuar con la investigación propuesta. En esta fase se propuso que, mediante los ensayos de densidad, flexotracción, retracción y fractura se determinen las características mecánicas y se las compare con la de un mortero tradicional. De los ensayos mencionados, la fractura no se logró conseguir de acuerdo al método planteado debido a las modificaciones que se tuvieron que realizar para continuar con el ensayo; se necesita de un aparato con una extrema sensibilidad para cumplir con lo que el comité japonés JCI-S-001-2003 propone. Por otro lado, se tiene la densidad, flexotracción y retracción en donde se ha tenido resultados relevantes al momento de compararlos con un mortero tradicional. A pesar que el ensayo de flexotracción ya se lo había realizado, esta vez se aplicó una pequeña variación en el material de los moldes para tener más exactitud en los resultados, pero éstos se mantuvieron. En la retracción fue notoria la diferencia de resultados entre el mortero con fibra y sin fibra debido a que las deformaciones eran considerables en el mortero tradicional.

Gracias a los resultados que se han obtenido en la investigación en general se puede concluir que la fibra de abacá en estado natural es un material con buenas características, al adicionarle un tratamiento a base de hidróxido de sodio con un porcentaje de 3% estas características han ido mejorando considerablemente y todo ha sido demostrado mediante la metodología propuesta. Si el material es considerado con excelentes propiedades al adicionarlo a un compuesto cementicio este desarrollará propiedades mecánicas extraordinarias, que un mortero tradicional no las posee. Este es el caso para las fibras de abacá con un tratamiento de 3% de hidróxido de sodio.

## **6.2 Recomendaciones**

A partir de los resultados obtenidos en la fase 0 se recomienda que se realice un ensayo que permita observar la composición estructural interna de la fibra de abacá tanto para el caso en el que se encuentra en estado natural y en el que se le ha aplicado un 3% de hidróxido de sodio.

Debido a la falta de disponibilidad de equipos no se pudo realizar el ensayo de fractura con las condiciones correctas, por tal motivo se recomienda la búsqueda de un laboratorio el cual cuente con el equipo de alta sensibilidad el cual permita obtener el registro de datos necesarios para calcular la energía de fractura.

Por último, se recomienda para una futura investigación sobre las propiedades mecánicas de un mortero reforzado con fibras de abacá, se realicen ensayos de durabilidad debido a que es una propiedad de alta importancia el cual permite obtener el dato sobre la vida útil de este material natural.

## REFERENCIAS

- Alcivar, S. (2010). Durabilidad de paredes de mampostería enlucida con mortero reforzado con fibras vegetales. Guayaquil, Ecuador.
- Ali, M., Liu, A., Sou, H., & Chouw, N. (2012). Mechanical and dynamic properties of coconut fiber reinforced concrete. *Construcción and Building Materials*, 814-825.
- Ardanuy, M., Claramunt, J., & Toledo Filho, R. (2015). Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. *Construction and Building Materials*, 115-128.
- Asociación Española de Normalización. (2017). Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen. *UNE-EN 196-3*.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2005). Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas. *UNE-EN 196-1*.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2000). Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas). *UNE-EN 1015-3*.
- Banco Central del Ecuador. (2016). *Comercio exterior*.
- Boulos, L., Foruzanmehr, M. R., Tagnit-Hamou, A., & Robert, M. (2019). The effect of a zirconium dioxide sol-gel treatment on the durability of flax reinforcements in cementitious composites. *Cement and Concrete Research*, 105-115.
- Cai, M., Takagi, H., Nakagaito, A. N., Katoh, M., Ueki, T., Waterhouse, G. I., & Li, Y. (2015). Influence of alkali treatment on internal microstructure and tensile properties of abaca fibers. *Industrial Crops and Products*, 27-35.

- Cai, M., Takagi, H., Nakagaito, A. N., Li, Y., & Waterhouse, G. I. (2016). Effect of alkali treatment on interfacial bonding in abaca fiber-reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 589-597.
- Elanchezhian, C., Ramnath, B. V., Ramakrishnan, G., Rajendrakumar, M., Naveenkumar, V., & Saravanakumar, M. K. (2018). Review on mechanical properties of natural fiber composites. *Materials Today: Proceedings*, 1785-1790.
- Ferreira, S. R., Silva, F. d., Lima, P. R., & Toledo Filho, R. D. (2017). Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems. *Construction and Building Materials*, 551-561.
- Freire, M. (22 de Marzo de 2019). *Influencia del tratamiento, tamaño y dosificación de las fibras de abacá en el mortero*. Obtenido de Repositorio Digital UCSG: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12603>
- Furukawa Plantaciones C.A. del Ecuador. (2017). Obtenido de <http://www.furukawaplantaciones.com/nuestras-plantaciones/>
- Holcim Ecuador S.A. (2015). Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general.
- Holcim Ecuador S.A. (2018). Reporte de Análisis TGA.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). Morteros para unidades de mampostería. Requisitos. *NTE INEN 2518:2010*. Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). Cemento para mortero. Requisitos. *NTE INEN 2615:2012*. Ecuador.
- Jiang, D., An, P., Cui, S., Xu, F., Tuo, T., Zhang, J., & Jiang, H. (2018). Effect of leaf fiber modification methods on mechanical and heat-insulating

- properties of leaf fiber cement-based composite materials. *Journal of Building Engineering*, 573-583.
- Kumar Sinha, A., Narang, H. K., & Bhattacharya, S. (2017). Effect of Alkali Treatment on Surface Morphology of Abaca Fiber. *Materials Today: Proceedings*, 8993-8996.
- Liu, K., Zhang, X., Takagi, H., Yang, Z., & Wang, D. (2014). Effect of chemical treatments on transverse thermal conductivity of unidirectional abaca fiber/epoxy composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 227-236.
- Onuaguluchi, O., & Banthia, N. (2016). Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review. *Cement and Concrete Composites*, 96-108.
- Pino, G. (2015). Estudio comparativo del comportamiento de las paredes de mampostería con mortero reforzado con fibras naturales y artificiales. Ecuador.
- Ritcher, S., Stromann, K., & Müssig, J. (2013). Abacá (*Musa textilis*) grades and their properties - A study of reproducible fibre characterization and a critical evaluation of existing grading systems. *Industrial Crops and Products*, 601-612.
- Seda, D., Pagnoux, C., Smith, A., & Chotard, T. (2008). Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre/matrix interaction. *Journal of the European Ceramic Society*, 183-192.
- Sika Ecuatoriana S.A. (04 de 2014). Hoja técnica de producto - SikaFume. Ecuador.
- Silva, E. J., Marques, M. L., Velasco, F. G., Fornari Junior, C., Luzardo, F. M., & Tashima, M. M. (2017). A new treatment for coconut fibers to improve the properties of cement-based composites - Combined effect of natural latex/pozzolanic materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 44-51.

- Vijaya Ramnath, B., Manickavasagam, V. M., Elanchezhian, C., Vinodh Krishna, C., Karthik, S., & Saravanan, K. (2014). Determination of mechanical properties of intra-layer abaca-jute-glass fiber reinforced composite. *Materials and Design*, 643-652.
- Wei, J., & Meyer, C. (2015). Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. *Cement and Concrete Research*, 1-16.
- Zukowski, B., de Andrade Silva, F., & Toledo Filho, R. D. (2018). Design of strain hardening cement-based composites with alkali treated natural curauá fiber. *Cement and Concrete Composites*, 150-159.

# **ANEXOS**

# norma española

UNE-EN 1015-11

Marzo 2000

## TÍTULO

**Métodos de ensayo de los morteros para albañilería**

**Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido**

*Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.*

*Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie. Partie 11: Détermination de la résistance à la flexion et à la compression du mortier durci.*

## CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 1015-11 de agosto 1999.

## OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma Experimental UNE 83821 EX de agosto 1992.

## ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 83 *Hormigón* cuya Secretaría desempeña ANEFHOP.

Editado e impreso por AENOR  
Depósito legal: M 12967-2000

© AENOR 2000  
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00  
Fax 91 310 40 32

14 Páginas

**Grupo 11**

Este documento ha sido adquirido por UNIVERSIDAD DE GRANADA BIBLIOTECA UNIVERSITARIA a través de la suscripción a AENORonline.  
Para más en red interna se requiere de autorización previa de AENOR.

ICS 91.100.10

Versión en español

**Métodos de ensayo de los morteros para albañilería**  
**Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión**  
**y a compresión del mortero endurecido**

*Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.*

*Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie. Partie 11: Détermination de la résistance à la flexion et à la compression du mortier durci.*

*Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk. Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel.*

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 1999-07-08. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquellas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CEN  
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

© 1999 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

## ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES.....	5
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	6
2 NORMAS PARA CONSULTA.....	6
3 FUNDAMENTO.....	6
4 DEFINICIÓN Y SÍMBOLOS.....	6
5 APARATOS.....	7
6 TOMA DE MUESTRAS.....	7
7 PREPARACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LAS PROBETAS.....	8
8 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	9
9 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	10
10 INFORME DEL ENSAYO.....	11
ANEXO A (Normativo) DESCRIPCIÓN DE LOS MOLDES METÁLICOS PARA PREPARAR LAS PROBETAS.....	14

#### ANTECEDENTES

Esta norma europea ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 125 "Albañilería", cuya Secretaría desempeña BSI.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de febrero de 2000, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de diciembre de 2001.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma europea describe un método de ensayo para determinar las resistencias a flexión y a compresión de probetas enmoldadas de mortero.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación.

prEN 998-1 – *Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido a base de conglomerantes minerales.*

prEN 998-2 – *Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería.*

EN 1015-2 – *Métodos de ensayo de los morteros para albañilería Parte 2: Toma de la muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo.*

EN 1015-3 – *Métodos de ensayo de los morteros para albañilería Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).*

ISO 468 – *Rugosidad superficial. Parámetro, sus valores y las reglas generales para la determinación de las especificaciones.*

EN ISO 6507-1 – *Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 1: Método de ensayo.*

## 3 FUNDAMENTO

La resistencia a flexión de un mortero se determina aplicando una carga en tres puntos de los prismas enmoldados de mortero endurecido, hasta su rotura. La resistencia a compresión del mortero se determina en cada una de las dos mitades (semiprismas) resultantes del ensayo de la resistencia a flexión. Cuando la resistencia a flexión no se requiera, las probetas utilizadas para el ensayo de resistencia a compresión se pueden obtener a partir de los prismas de tal modo que el procedimiento utilizado no conduzca a un deterioro de dichas probetas.

## 4 DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

### 4.1 Definiciones

**cal aérea:** Cal que se compone, principalmente, de óxido o de hidróxido de calcio, el cual endurece lentamente en el aire por la acción del dióxido de carbono atmosférico. Generalmente no endurece bajo el agua, por que no tiene propiedades hidráulicas.

### 4.2 Símbolos

$F$  es la carga máxima aplicada a la probeta, en newtones (N);

$l$  es la distancia entre los ejes de los rodillos de apoyo, en milímetros (mm);

$b$  es el ancho de la probeta, en milímetros (mm);

$d$  es el grosor de la probeta, en milímetros (mm).

## 5 APARATOS

5.1 **Moldes metálicos** compuestos de un cuadro abierto de paredes móviles que forman tres compartimentos cuando están montados (véase la figura 1 para un modelo típico y el anexo A para una descripción detallada).

5.2 **Pisón** compuesto de una barra rígida de material no absorbente, de sección cuadrada de 12 mm ± 1 mm de lado. La cara de apisonar es plana y perpendicular al eje del pisón. La masa del pisón es de 50 g ± 1 g.

5.3 **Recintos para conservación**, capaces de mantener una temperatura de 20 °C ± 2 °C y una humedad relativa del 95% ± 5% o del 65% ± 5%.

5.4 **Dispositivo de ajuste**, que permita mantener los elementos del molde montados y perpendiculares.

5.5 **Casa de algodón blanco**: cuatro compresas de, aproximadamente, 150 mm × 175 mm cada una.

5.6 **Papel de filtro absorbente**, que tenga una masa específica de 200 g/m<sup>2</sup> ± 20 g/m<sup>2</sup> y un coeficiente de absorción de agua de 160 g/m<sup>2</sup> ± 20 g/m<sup>2</sup>: doce hojas de, aproximadamente, 150 mm × 175 mm cada una.

5.7 **Bolsas de polietileno**, capaces de contener los moldes de acero.

5.8 **Dos placas de vidrio** con una superficie suficiente para cubrir el molde de acero.

5.9 **Una regla para enrasar**

5.10 **Parrilla** provista de bandas de sección triangular que sirven de soporte (de tal modo que proporcione un punto de contacto) para conservación y curado de las probetas.

5.11 **Una paleta**

Los aparatos suplementarios que se describen en los apartados 8.1 y 9.1.

## 6 TOMA DE MUESTRAS

La muestra de mortero fresco utilizada para este ensayo debe tener un volumen mínimo de 1,5 l o, al menos, 1,5 veces la cantidad necesaria para el ensayo, se utilizará el valor mayor, y se debe obtener por reducción de la muestra total para los ensayos (véase la Norma Europea EN 1015-2) utilizando bien un cuarteador o por cuarteo, o bien por preparación en el laboratorio a partir de los componentes secos y de agua. El valor del escurrimiento del mortero de la muestra total para los ensayos se debe determinar de acuerdo con la Norma Europea EN 1015-3 y se debe registrar.

Antes de realizar los ensayos, las muestras para ensayo mezcladas en el laboratorio se deben llevar al valor de escurrimiento definido, como se especifica en la Norma Europea EN 1015-2.

Los ensayos de los morteros listos para su empleo (morteros húmedos, dosificados y premasados en fábrica que contienen un retardador de fraguado) y de los morteros húmedos premasados, a base de cal aérea/arena, cuando no se han mezclado con conglomerantes hidráulicos, se deben efectuar durante el periodo de trabajabilidad especificado para estos morteros.

La duración del amasado se debe medir a partir del momento en el que todos los componentes se han introducido en la amasadora.

Antes de los ensayos, la amasada se debe agitar suavemente a mano utilizando una paleta o una regla para enrasar, durante 5 s a 10 s con el fin de evitar cualquier falso fraguado, etc., pero sin realizar un amasado adicional.

Cualquier desviación con relación al procedimiento operatorio de amasado se debe anotar.

## 7 PREPARACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LAS PROBETAS

### 7.1 Generalidades

Las probetas deben ser prismas de 160 mm × 40 mm × 40 mm. Se deben preparar tres probetas. Para el ensayo de resistencia a compresión, los prismas se parten en dos mitades con el fin de obtener seis semi-prismas.

### 7.2 Preparación

**7.2.1 Generalidades.** Los morteros a base de conglomerantes hidráulicos (retardados o no retardados) y los morteros a base de cal aérea /cemento en los que la masa de cal aérea no es superior al 50% de la masa total de conglomerante, se prepararan de acuerdo con el apartado 7.2.2.

Los morteros a base de cal aérea y los morteros a base de cal aérea/cemento en los que la masa de cemento no es superior al 50% de la masa total de conglomerante, se prepararan de acuerdo con el apartado 7.2.3.

Las condiciones de preparación y de conservación se especifican en la tabla 1.

Salvo especificación contraria, se preparan tres probetas para efectuar los ensayos a la edad de 28 días, o más si se han incorporado al mortero retardadores de fraguado.

Los moldes se limpian y se lubrican las caras interiores de los moldes montados con una capa delgada de aceite mineral con el fin de evitar la adhesión del mortero.

**7.2.2 Morteros con conglomerantes hidráulicos y morteros a base de cal aérea/cemento en los que la masa de cal aérea no es superior al 50% de la masa total de conglomerante.** El molde se llena con mortero en dos capas aproximadamente iguales, cada capa se compacta con 25 golpes del pisón.

El exceso de mortero se elimina con la regla para enrasar de manera que se obtenga una superficie del mortero plana y nivelada con el borde superior del molde. A continuación, se conserva el molde como se describe en 7.3.

**7.2.3 Morteros a base de cal aérea y morteros a base de cal aérea/cemento en los que la masa de cemento no es superior al 50% de la masa total de conglomerante.** Los elementos del molde, se montan manteniendo los ángulos rectos, en una placa de vidrio sobre la que se han colocado dos capas de gasa de algodón blanco seco. El molde se llena con mortero en dos capas aproximadamente iguales, cada capa se compacta con 25 golpes de pisón.

El exceso de mortero se elimina con la regla para enrasar de manera que se obtenga una superficie del mortero plana y nivelada con el borde superior del molde.

Se colocan dos capas de gasa de algodón blanco seco sobre la superficie del mortero. Se colocan seis capas de papel de filtro absorbente encima de la gasa.

El papel de filtro absorbente se cubre con una placa de vidrio en la parte superior del molde y se invierte, manteniendo firmemente las placas de vidrio, superior e inferior, contra el molde.

La placa de vidrio de la parte superior del molde invertido se retira cuidadosamente, se colocan seis capas de papel de filtro absorbente sobre la gasa (descubierta) expuesta y se vuelve a poner la placa de vidrio.

El molde se vuelve a poner en su posición original (en posición recta), se coloca sobre una mesa fija y se aplica una carga de aproximadamente 5 kg.

Al cabo de 3 horas, la carga y la placa de vidrio se retiran. El papel de filtro absorbente y la gasa de la parte superior del molde se quitan y se vuelve a poner la placa de vidrio en su sitio. Se invierte el molde, manteniendo firmemente las placas de vidrio, superior e inferior, contra el molde. La placa de vidrio de la parte superior del molde invertido se retira y se quitan el papel de filtro absorbente y la gasa. A continuación, el molde se conserva como se describe en el apartado 7.3.

### 7.3 Condiciones de conservación y de curado

El molde se coloca en una cámara húmeda o en una bolsa de polietileno. Al término del periodo de tiempo especificado en la tabla 1, las probetas se retiran del molde, después se conservan en una parrilla con bandas de sección triangular en las condiciones descritas, así mismo, en la tabla 1.

**Tabla 1**  
Preparación y condiciones de conservación de las probetas

Tipo de mortero	Preparación	Duración de la conservación a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en días		
		Humedad relativa		
		$95\% \pm 5\%$ o en una bolsa de polietileno		$65\% \pm 5\%$
		En el molde	Una vez que se ha retirado el molde	Una vez que se ha retirado el molde
Morteros de cal aérea	7.2.3	5	2	21
Morteros de cal aérea/cemento en los que la masa de cemento no es superior al 50% de la masa total de conglomerante	7.2.3	5	2	21
Morteros de cemento y de cal aérea/cemento en los que la masa de cal aérea no es superior al 50% de la masa total de conglomerante	7.2.2	2	5	21
Morteros con otros conglomerantes hidráulicos	7.2.2	2	5	21
Morteros retardados	7.2.2	5	2	21

## 8 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN

### 8.1 Aparatos

Máquina para ensayo capaz de aplicar la carga a la velocidad especificada en el apartado 8.2. La máquina debe cumplir con las exigencias de la tabla 2. La máquina debe estar provista de dos rodillos de apoyo en acero, con una longitud comprendida entre 45 mm y 50 mm y un diámetro de  $10\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ , espaciados entre sí  $100,0\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ , y de un tercer rodillo de carga de la misma longitud y diámetro instalado centralmente entre los rodillos de apoyo (véase la figura 2). Los tres planos verticales que pasan por los ejes de los tres rodillos deben ser paralelos y permanecer paralelos durante el ensayo, además deben estar equidistantes y perpendiculares a la dirección del prisma (probeta) sometido a ensayo. Uno de los rodillos de apoyo y el rodillo de carga deben poder oscilar ligeramente para permitir una distribución uniforme de la carga sobre el total del ancho del prisma sin someterlo a un esfuerzo de torsión.

**Tabla 2**  
**Requisitos para las máquinas de ensayo**

Repetibilidad máxima admisible de las fuerzas en porcentaje de la fuerza nominal	Error medio máximo admisible de la fuerza en porcentaje de la fuerza nominal	Error máximo admisible de la fuerza cero en porcentaje de la fuerza máxima del recorrido
%	%	%
2,0	± 2,0	± 0,4

## 8.2 Procedimiento operatorio

**8.2.1 Preparación.** Salvo especificación contraria, la probeta se ensaya 28 días después de su confección, o más si se han incorporado retardadores de fraguado al mortero, e inmediatamente después de haberla retirado de su medio de conservación. Las superficies de contacto de los rodillos y las caras de la probeta se limpian con un paño limpio con el fin de eliminar las partículas o cualquier otro material no adherido. Una de las caras de la probeta (que ha estado en contacto con las paredes del molde durante el enmoldado) se coloca sobre los rodillos de apoyo.

**8.2.2 Aplicación de la carga.** La carga se aplica sin aceleraciones bruscas, a una velocidad uniforme comprendida entre 10 N/s y 50 N/s, de tal modo que la rotura se produzca entre 30 s y 90 s.

*NOTA* - Para los morteros que presenten una resistencia mecánica menor, puede ser necesario aplicar la carga a una velocidad próxima al valor mínimo del intervalo autorizado.

La carga máxima aplicada, en N se registra. Las mitades de la probeta partida se vuelven a poner en el recinto de conservación y se conservan allí, si es necesario, para determinar la resistencia a compresión.

## 8.3 Expresión y cálculo de los resultados

La resistencia a flexión,  $f$ , en  $\text{N/mm}^2$  se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$f = 1,5 \frac{Fl}{bd^2}$$

$b$  y  $d$  (véase el apartado 4.2) se pueden considerar como las dimensiones interiores del molde.

Se registra la resistencia a flexión de cada probeta, aproximadamente a 0,05  $\text{N/mm}^2$ . El valor medio se calcula con una aproximación de 0,1  $\text{N/mm}^2$ .

La edad de la probeta y la edad en el momento del desmoldeo se registran.

## 9 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

### 9.1 Aparatos

- Máquina de ensayo capaz de aplicar la carga a la velocidad especificada en el apartado 9.2.2. La máquina debe cumplir con las exigencias de la tabla 2. El plato superior de la máquina debe poder alinearse libremente desde que entre en contacto con la probeta, pero los platos no deben poder inclinarse uno frente al otro durante la aplicación de la carga.
- Dos platos de apoyo de carburo de tungsteno o de acero, con una dureza Vickers de la superficie de al menos 600 HV conforme con la Norma Europea EN ISO 6507-1. Los platos deben tener 40,0 mm de longitud  $\pm$  0,1 mm de ancho y 10 mm de espesor. La tolerancia dimensional del ancho se debe basar en el valor medio de cuatro medidas efectuadas en sitios simétricos. La tolerancia de la planitud sobre la totalidad de la superficie de contacto debe ser de 0,01 mm.

- c) Adaptador para el ensayo de compresión utilizado para facilitar la colocación de los platos de apoyo. El plato de apoyo del adaptador para el ensayo debe ser de acero templado y endurecido y sus caras deben presentar una tolerancia de planeidad de 0,01 mm. Se debe instalar un dispositivo que permita un centrado positivo de la placa inferior del adaptador para el ensayo. Los pilares de acero estirado pulido blanco, templado y endurecido, deben estar colocados simétricamente con relación al dispositivo de centrado de tal modo que el espacio libre en una dirección sea la anchura nominal del prisma más 0,3 mm y en la otra dirección sea la anchura nominal del prisma más 0,8 mm. La cara superior del plato de apoyo debe estar marcada con una flecha en la dirección de la mayor distancia entre los pilares con el fin de indicar la dirección del eje longitudinal de los platos de carga.

## 9.2 Procedimiento operatorio

**9.2.1 Preparación.** Salvo especificación contraria, la probeta se ensaya 28 días después de su confección, o más si se han incorporado retardadores de fraguado al mortero, e inmediatamente después de haberla retirado de su medio de conservación o después del ensayo de resistencia a flexión. Las partículas o cualquier otro material no adherido en las superficies de la probeta confeccionada se eliminan. La superficie de carga de la máquina de ensayo así como los platos de apoyo y el adaptador de ensayo se limpian, con un paño limpio y se instala la probeta en la máquina de ensayo de tal modo que la carga se aplique en una de sus caras (la que ha estado en contacto con las paredes del molde durante el enmoldado).

El prisma se coloca de tal modo que la extremidad enmoldada se sitúe a  $16 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  del borde más próximo de los platos o de las placas de carga. Cualquier probeta que no forme un cubo de material sólido entre los platos superior e inferior o las placas de carga se elimina. La probeta se alinea, cuidadosamente de tal modo que la carga se aplique en todo el ancho de las caras en contacto con los platos. Cuando se utilizan las placas de carga y el adaptador para el ensayo, se coloca una placa de carga sobre la superficie superior del adaptador, su eje longitudinal debe ser paralelo a la flecha indicadora, asegurándose que entra en contacto riguroso en toda la superficie. La probeta se instala en el adaptador para el ensayo, entre los pilares, con su eje longitudinal perpendicular a la flecha, y se coloca la otra placa de carga sobre la probeta, paralelamente a la placa de carga inferior. El adaptador para el ensayo de compresión se centra cuidadosamente sobre el plato inferior de la máquina de ensayo.

**9.2.2 Aplicación de la carga.** La carga se aplica sin aceleraciones y se aumenta progresivamente a un ritmo comprendido entre 50 N/s y 500 N/s de tal modo que la rotura se produzca entre 30 s y 90 s.

La carga máxima aplicada, en N, durante el ensayo se registra.

## 9.3 Expresión y cálculo de los resultados

La resistencia se calcula dividiendo la carga máxima soportada por la probeta por su sección transversal.

Se registra la resistencia de cada probeta, con una aproximación de 0,05 N/mm<sup>2</sup>. La media, se calcula con una aproximación de 0,1 N/mm<sup>2</sup>.

La edad de las probetas y la edad en el momento de desmoldearlas se anotan.

## 10 INFORME DEL ENSAYO

El informe del ensayo debe contener las siguientes informaciones:

- a) el número, el título y la fecha de la publicación de la presente norma europea;
- b) el lugar, la fecha y la duración de la toma de muestra total para ensayos<sup>1)</sup>.

NOTA – La muestra tomada del suministro a granel se debe utilizar para todos los ensayos de la Norma Europea EN 1015.

- c) el método utilizado para tomar la muestra total (si se conoce) y el nombre del organismo que ha efectuado esta toma;

1) Estas informaciones se encuentran en el certificado de toma de muestras (véase la Norma Europea EN 1015-2).

- d) el tipo, el origen y la designación del mortero con relación a la parte correspondiente del proyecto de Norma Europea prEN 998;
- e) la fecha de los ensayos;
- f) las condiciones de preparación (amasado, llenado) y conservación (curado);
- g) la fecha y la duración de la preparación de las muestras para ensayo (es decir, la fecha y la duración de los procedimientos de amasado, llenado, moldeo o desmoldeo, en caso necesario);
- h) el valor del escurrimiento del mortero sometido a ensayo, determinado según el procedimiento operatorio descrito en la Norma Europea EN 1015-3;
- i) la edad del mortero en el momento del ensayo;
- j) los resultados del ensayo (valores de la resistencia a flexión, si es necesario, y de la resistencia a compresión del mortero, declarados con una aproximación de 0,05 N/mm<sup>2</sup> y el valor medio correspondiente declarado con una aproximación de 0,1 N/mm<sup>2</sup>);
- k) cualquier observación eventual.

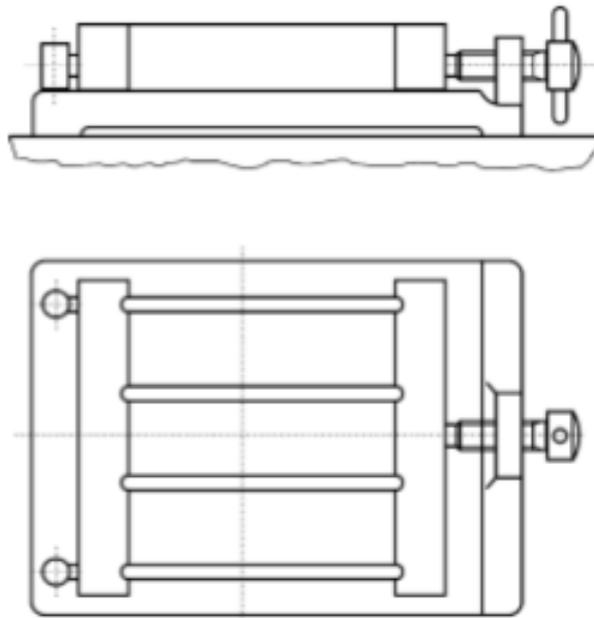
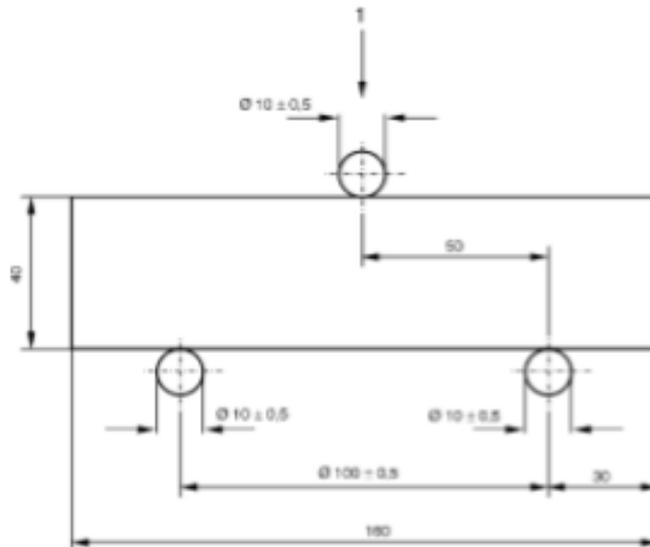


Fig. 1 – Molde para enmoldar las probetas

Medidas en milímetros



1 Carga

Fig. 2 – Ensayo de resistencia a flexión

## ANEXO A (Normativo)

## DESCRIPCIÓN DE LOS MOLDES METÁLICOS PARA PREPAR LAS PROBETAS

Las paredes de los compartimentos deben tener un espesor de, al menos, 8 mm y deben ser suficientemente rígidos para impedir cualquier deformación o deterioro de las probetas durante su desmoldeo.

El molde ensamblado está sólidamente fijo sobre una placa de apoyo rígida, por medio de un dispositivo de bloqueo, que permite obtener una junta estanca al agua cuando se ha engrasado (véase el apartado 7.2.2), o los elementos del molde pueden estar mantenidos montados en ángulos rectos por medio de un dispositivo de presión (ajuste), y aplicados sobre una placa de vidrio inmóvil formando así el fondo del molde (véase el apartado 7.2.3).

El diseño de un molde típico para probetas prismáticas se incluye en la figura 1.

Los moldes montados deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Dimensiones. La profundidad y la anchura interiores de cada compartimento son de 40 mm  $\pm$  0,1 mm; la longitud de cada compartimento es de 160 mm  $\pm$  0,4 mm.
- b) Planeidad. La superficie de cada cara interior está comprendida entre dos planos paralelos distantes entre sí 0,03 mm. Las juntas entre las diferentes secciones del molde y entre el fondo del molde y la cara superior de la placa de apoyo se deben situar entre dos planos paralelos distantes entre sí 0,06 mm.
- c) Escuadrado. La superficie de cada cara interior debe situarse entre dos planos paralelos, distantes entre sí 0,50 mm, que son perpendiculares con el fondo del molde y con las caras interiores adyacentes.
- d) Paralelismo. La cara superior del molde se sitúa entre dos planos paralelos distantes entre sí 1,0 mm y es paralela con el fondo del molde.
- e) Textura superficial. La textura superficial de cada cara interior no debe presentar una rugosidad superior a 3,2 mm  $R_{\text{a}}$ , medida conforme con la Norma Internacional ISO 468.

Marzo 2000

<b>TÍTULO</b>	<b>Métodos de ensayo de los morteros para albañilería</b>  <b>Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido</b>  <i>Methods of test for mortar for masonry. Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar.</i> <i>Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie. Partie 10: Détermination de la masse volumique apparente sèche du mortier durci.</i>
<b>CORRESPONDENCIA</b>	Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 1015-10 de agosto 1999.
<b>OBSERVACIONES</b>	Esta norma anula y sustituye a la Norma Experimental UNE 83820 EX de abril 1994.
<b>ANTECEDENTES</b>	Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP.

Editado e impreso por AENOR  
Depósito legal: M 12966-2000

© AENOR 2000  
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación  
C. Génova, 6 Telféfono 91 432 60 00  
28004 MADRID-España Fax 91 310 40 32

8 Páginas  
**Grupo 8**

Este documento ha sido adquirido por UNIVERSIDAD DE GRANADA. BIBLIOTECA UNIVERSITARIA a través de la suscripción a AENORplus.  
Para uso en red interna se requiere de autorización previa de AENOR.

Versión en español

**Métodos de ensayo de los morteros para albañilería**  
**Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido**

*Methods of test for mortar for masonry.*  
Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar.

*Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie. Partie 10: Détermination de la masse volumique apparente sèche du mortier durci.*

*Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk. Teil 10: Bestimmung der Trockenrohichte von Festmörtel.*

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 1999-07-08. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquellas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CEN  
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

© 1999 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

## ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES.....	5
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	6
2 NORMAS PARA CONSULTA.....	6
3 FUNDAMENTO.....	6
4 SÍMBOLOS.....	6
5 APARATOS.....	6
6 TOMA DE MUESTRAS, PREPARACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYO.....	7
7 PROCEDIMIENTO OPERATORIO.....	7
8 CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS.....	8
9 INFORME DEL ENSAYO.....	8

#### ANTECEDENTES

Esta norma europea ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 125 "Albañilería", cuya Secretaría desempeña BSI.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de febrero de 2000, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de diciembre de 2001.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma europea tiene por objeto describir un método de ensayo para determinar la densidad aparente en seco de los morteros endurecidos; se aplica a los morteros ligeros, así como a los morteros para uso corriente y a los morteros para juntas finas, utilizando probetas de forma regular.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación.

prEN 998-1 – *Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido a base de conglomerantes minerales.*

prEN 998-2 – *Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería.*

EN 1015-2 – *Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 2: Toma de la muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo.*

EN 1015-3 – *Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).*

EN 1015-11 – *Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.*

## 3 FUNDAMENTO

La densidad aparente en seco de una probeta dada de mortero endurecido se determina dividiendo su masa en estado seco en estufa por el volumen que ocupa cuando se sumerge en agua, en estado saturado.

## 4 SÍMBOLOS

$m_{1,sec}$  es la masa de la probeta del mortero endurecido secado en estufa, en kilogramos (kg);

$m_{1,sat}$  es la masa de la probeta saturada del mortero endurecido, en kilogramos (kg);

$m_{1,t}$  es la masa aparente de la probeta saturada del mortero endurecido sumergido en agua, en kilogramos (kg);

$\rho_w$  es la densidad del agua, en kilogramos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>);

$V_1$  es el volumen de la probeta de mortero endurecido, en metros cúbicos (m<sup>3</sup>);

## 5 APARATOS

5.1 Una **balanza**, con una exactitud igual al 0,1% con relación a la masa total de la probeta, provista de un estribo porta-probetas para pesar la probeta sumergida en agua.

5.2 Una **estufa ventilada** capaz de mantener una temperatura de 70 °C ± 5 °C o de 60 °C ± 5 °C.

5.3 **Moldes** como los descritos en la Norma Europea EN 1015-11.

## 6 TOMA DE MUESTRAS, PREPARACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYO

La muestra de mortero fresco utilizada para este ensayo debe tener un volumen al menos igual a 50 veces la granulometría máxima del árido y, en ningún caso, inferior a 50 ml o 1,5 veces la cantidad necesaria para el ensayo (utilizar el valor mayor). Se debe obtener bien por reducción de la muestra total para los ensayos (véase la Norma Europea EN 1015-2) utilizando un cuarteador o por cuarteo, o bien por preparación en el laboratorio a partir de los componentes secos y de agua. El valor del escurrimiento del mortero de la muestra total para los ensayos se debe determinar de acuerdo con la Norma Europea EN 1015-3 y se debe registrar.

Antes de realizar los ensayos, las muestras mezcladas en el laboratorio se deben llevar a un valor de escurrimiento definido, como se especifica en la Norma Europea EN 1015-2.

Los ensayos de los morteros listos para su empleo (morteros húmedos, dosificados y premasados en fábrica, que contienen un retardador de fraguado) y de los morteros húmedos premasados, a base de cal aérea/arena, cuando no se han mezclado con conglomerantes hidráulicos, se deben efectuar durante el periodo de trabajabilidad especificado para estos morteros.

La duración del amasado se debe medir a partir del momento en el que todos los componentes se han introducido en la amasadora.

Antes de los ensayos, la amasada se debe agitar suavemente a mano, utilizando una paleta o una regla para enrasar, durante 5 s a 10 s con el fin de evitar cualquier falso fraguado, etc., pero sin realizar un amasado adicional.

Cualquier desviación con relación al procedimiento operatorio de amasado se debe anotar.

Una muestra para ensayo debe comprender tres probetas preparadas en los moldes, cuya forma, preparación y conservación deben estar conformes con la Norma Europea EN 1015-11.

## 7 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

### 7.1 Secado a masa constante

La probeta se seca en la estufa, a una temperatura de  $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hasta que se alcance masa constante. Para las muestras que contengan componentes orgánicos, por ejemplo áridos de poliestireno expandido, se utiliza una temperatura de secado de  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se considera que la probeta ha alcanzado masa constante cuando dos pesadas sucesivas, efectuadas a intervalos de 2 horas de secado, no difieren en más de 0,2% de la masa de la probeta seca. Se anota la masa de la probeta,  $m_{e,mas}$ , en kg con una exactitud aproximada del 0,1%.

### 7.2 Determinación del volumen de la probeta por desplazamiento volumétrico

La probeta se sumerge en agua a  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta que no se observe aumento de la masa aparente. Se considera que esta fase se alcanza cuando dos pesadas sucesivas, efectuadas en un intervalo de 15 min durante la inmersión, no difieren en más de 0,2% en masa. La probeta húmeda se pesa después de haber eliminado el exceso de agua con un paño húmedo y se anota su masa,  $m_{e,hum}$ , en kg con una exactitud aproximada del 0,1%.

El volumen de la probeta se puede determinar por pesada hidrostática.

Se deja que el instrumento de pesado alcance el equilibrio, asegurándose que el estribo vacío está suspendido y que está completamente sumergido en el agua del recipiente. El estribo se sumerge hasta la misma profundidad en las que se efectúan las pesadas con o sin la probeta. La probeta húmeda se coloca en el estribo. Se eliminan las burbujas de aire atrapadas en las caras de la probeta. La probeta en esta posición (sumergida) cuando ha cesado la oscilación de la balanza hidrostática se pesa y se anota la masa de la probeta,  $m_{e,s}$ , en kg en esta posición sumergida.

El volumen de la probeta, en  $\text{m}^3$ , se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$V_e = \frac{m_{e,hum} - m_{e,s}}{\rho_w}$$

### 8 CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

La densidad aparente en seco de cada probeta de mortero se calcula dividiendo la masa de la probeta secada en estufa,  $m_{x,sec}$ , en kilogramos, por el volumen de la probeta del mortero endurecido,  $V_x$ , en metros cúbicos.

El valor medio se calcula a partir de los valores individuales obtenidos para cada probeta de mortero, todos los valores se redondean, aproximadamente, a  $10 \text{ kg/m}^3$ .

### 9 INFORME DEL ENSAYO

El informe del ensayo debe contener las siguientes informaciones:

- a) el número, el título y la fecha de la publicación de la presente norma europea;
  - b) el lugar, la fecha y la duración de la toma de muestra total para ensayos<sup>1)</sup>;
- NOTA – Esta muestra tomada del suministro a granel se debe utilizar para todos los ensayos de la Norma Europea EN 1015.
- c) el método utilizado para la toma de la muestra total para ensayo (si se conoce) y el nombre del organismo que ha efectuado esta toma;
  - d) el tipo, el origen y la designación del mortero con relación a la parte correspondiente del proyecto de Norma Europea prEN 998;
  - e) la fecha de los ensayos;
  - f) la fecha y la duración de la preparación de las muestras para ensayo (es decir, fecha y duración de los procedimientos de amasado, llenado, moldeo o desmoldeo, en caso necesario);
  - g) el valor del escurrimiento del mortero sometido a ensayo, determinado según la Norma Europea EN 1015-3;
  - h) los detalles relativos a las probetas, incluyendo el número, las dimensiones, la masa, etc., en caso necesario;
  - i) los resultados del ensayo (valores individuales y valor medio de la densidad aparente en seco, redondeada, aproximadamente, a  $10 \text{ kg/m}^3$ );
  - j) cualquier observación eventual.

1) Estas informaciones se encuentran en el certificado de toma de muestras (véase la Norma Europea EN 1015-2).



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Calle Balladares, Gabriela Esthefanía**, con C.C: # **0980082925** autor/a del trabajo de titulación: **Influencia del efecto alcalino en las propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibras de abacá** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 13 de septiembre de 2019

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Calle Balladares, Gabriela Esthefanía**

C.C: **0928354281**



## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Influencia del efecto alcalino en las propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibras de abacá		
<b>AUTOR(ES)</b>	Gabriela Esthefanía Calle Balladares		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Stefany Alcívar Bastidas		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniera Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	13 de septiembre de 2019	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	131
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Ingeniería sustentable, Construcción y materiales, Materiales naturales		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	mortero, abacá, NaOH, propiedades mecánicas, fibra natural, tamaño, dosificación		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>El presente trabajo tiene como finalidad analizar el comportamiento mecánico del mortero reforzado con fibras de abacá previamente tratadas con un 3% de solución de hidróxido de sodio (NaOH).</p> <p>Se ha determinado el tamaño y dosificación óptima, el mismo que corresponde a 3,0 cm y 0,2% de fibra de abacá con respecto al peso de los sólidos.</p> <p>Es importante mencionar que la fibra de abacá utilizada en este trabajo presenta resultados interesantes en comparación con otras fibras, se han desarrollado ensayos de TGA, tracción, Absorción de agua; considerando que no existen normas establecidas para fibras vegetales. Por otro lado, se analizó el comportamiento mecánico del mortero con resultados prometedores lo cual nos lleva a coincidir en que futuras investigaciones serían necesarias con el fin de analizar el comportamiento de fractura, el cual se trató de llevar a cabo, pero presentó ciertas dificultades. Adicional, se sugiere un análisis de durabilidad para investigaciones futuras.</p> <p>The present research has the purpose of analyzing the mechanical behavior of reinforced mortar with abaca fibers, previously treated with a 3% of NaOH solution.</p> <p>It has been determined the most accurate size and dosage, the same that corresponds to 3cm and 0,2% of the total solid's weight.</p> <p>It's important to mention that the abaca fiber used in this work shows interesting results in comparison to other natural fibers. TGA, traction, and water absorption has been performed to the fiber. On the other hand, the mechanical behavior of mortars reinforced with abaca fibers has given promising results which leads us to promote future researches with the main objective of analyzing fracture, the same that was performed in this investigation, but for some reasons it couldn't be achieved. In addition, durability analysis is suggested.</p>		



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTORES:</b>	Teléfono: +593-980082925	E-mail: gabrielacalleb@hotmail.com
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	Nombre: Clara Glas Cevallos	
	Teléfono: +593-4 -2206956	
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		