



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

TEMA:

**INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO, TAMAÑO Y DOSIFICACIÓN
DE LAS FIBRAS DE ABACÁ EN EL MORTERO**

AUTOR:

MARJORIE MARIANA FREIRE PEÑAFIEL

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

TUTOR:

ING. STEFANY ALCÍVAR BASTIDAS, MSc.

Guayaquil, Ecuador

22 de marzo 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 **Freire Peñafiel, Marjorie Mariana**, 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 22 días del mes de marzo del año 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Freire Peñafiel, Marjorie Mariana**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Influencia del tratamiento, tamaño y dosificación de las fibras de abacá en el mortero** 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 22 días del mes de marzo del año 2019

LA AUTORA

f. _____
Freire Peñafiel Marjorie Mariana



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Freire Peñafiel, Marjorie Mariana**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Influencia del tratamiento, tamaño y dosificación de las fibras de abacá en el mortero**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 22 días del mes de marzo del año 2019

LA AUTORA:

f. _____
Freire Peñafiel Marjorie Mariana



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Freire_Marjorie_Final.pdf (D48880503)
Submitted: 3/9/2019 6:26:00 PM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 2 %

Sources included in the report:

TESIS_MASACO_JORGE.pdf (D38563237)
1424531813_2015-02-09 Tesis (1).docx (D13317455)
Tesis Uso residuos cerámicos - Carla Chicaiza.pdf (D29440240)
1447894753_23.pdf (D16271938)
<http://www.furukawaplantaciones.com/nuestras-plantaciones/>

Instances where selected sources appear:

7

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, por su apoyo incondicional y por darme el mejor ejemplo de todos, por enseñarme que con responsabilidad y perseverancia se puede lograr lo que uno se proponga. A mi familia, que siempre ha estado a mi lado y han puesto su confianza en mí, que me han acompañado día a día a lo largo de este camino.

A Victor Fuentes, por haberme acompañado a lo largo de este camino, por haber superado juntos cada uno de los retos que se nos presentaron.

Agradezco de manera muy especial a mi tutora Ing. Stefany Alcívar, por haber trabajado a mi lado en cada una de las etapas de este trabajo, por confiar en mí, por ser una guía y haberme compartido sus conocimientos y al mismo tiempo descubrir juntas cosas nuevas.

Al equipo del Centro de Innovación Holcim, quienes me facilitaron sus instalaciones, equipos y materiales, quienes siempre estuvieron dispuestos a ayudarme y me brindaron sus consejos y tiempo. Con quienes compartí gran parte del desarrollo de este trabajo y me hicieron sentir parte de su equipo.

Al Ing. Daniel de la Pared que junto con el personal de Cronstruladesa que sin dudar me ayudaron en la realización de ciertos ensayos.

Al personal del laboratorio CEINVES de la Universidad Católica quienes también colaboraron con el desarrollo de este trabajo.

Marjorie Freire

DEDICATORIA

A mis padres que son el pilar fundamental de mi familia, quienes nos mantienen unidos, quienes con trabajo constante han buscado siempre darnos lo mejor a mis hermanos y a mí. Que me han permitido elegir mi propio camino, crear mis propios ideales y aspiraciones, pero siempre en busca de un futuro mejor.

A mis hermanos, que siempre han estado dispuestos a ayudarme y darme consejos basados en sus propias experiencias. Quienes me han permitido ser tía de unos hermosos niños por los cuales quiero ser mejor y así poder darles mi mejor ejemplo.

A mi abuelita, que me ha criado desde muy pequeña y sigue a mi lado brindándome su más sincero amor. A ella por ser mi segunda mamá, por ser quien me ayudó con mis primeras tareas, a estudiar para mis primeras lecciones, que lo único que siempre hizo fue consentirme y engréirme. Quien con un abrazo y un beso en la frente puede hacer que todo esté bien.

Marjorie Freire



**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. Gilberto Martínez Rehpani, MSc.
DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Walter Mera Ortíz, PhD.
OPONENTE

ÍNDICE

CAPÍTULO I

1	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	ANTECEDENTES.....	3
1.2	OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4	HIPÓTESIS.....	5
1.5	JUSTIFICACIÓN.....	5

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO.....	7
2.1	MORTERO.....	7
2.1.1	<i>Función</i>	7
2.1.2	<i>Propiedades</i>	8
2.2	ARENA.....	11
2.3	CEMENTO.....	12
2.4	FIBRAS VEGETALES.....	13
2.5	ABACÁ.....	13
2.5.1	<i>Fibra de abacá</i>	14
2.6	TRATAMIENTOS.....	15

CAPÍTULO III

3	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	18
3.1	PRIMERA ETAPA.....	18
3.2	SEGUNDA ETAPA.....	19
3.2.1	<i>Fase 1</i>	20
3.2.2	<i>Fase 2</i>	20

CAPÍTULO IV

4	ELABORACIÓN DE PROBETAS.....	22
4.1	PREPARACIÓN DE LA FIBRA DE ABACÁ.....	22

4.1.1	<i>Corte de fibra</i>	22
4.1.2	<i>Tratamientos de la fibra de abacá</i>	22
4.2	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	27
4.2.1	<i>Materiales</i>	27
4.2.2	<i>Amasado</i>	29
CAPÍTULO V		
5	ENSAYOS Y RESULTADOS.....	32
5.1	NOMENCLATURA	32
5.2	FASE 1: TRATAMIENTOS	33
5.2.1	<i>Ensayos previos a la elaboración de las probetas</i>	33
5.2.2	<i>Ensayos posteriores a la elaboración de las probetas</i>	47
5.3	FASE 2: TAMAÑO Y DOSIFICACIÓN.....	58
5.3.1	<i>Ensayos previos a la elaboración de las probetas</i>	58
5.3.2	<i>Ensayos posteriores a la elaboración de las probetas</i>	61
5.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	67
CAPÍTULO VI		
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
6.1	CONCLUSIONES	71
6.2	RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS		74
ANEXOS.....		78

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA.	11
TABLA 2. GRANULOMETRÍA SEGÚN ASTM C144 – 04.	12
TABLA 3. REQUISITOS FÍSICOS DEL CEMENTO PARA MORTERO.....	13
TABLA 4. TRATAMIENTOS POSIBLES PARA LA FIBRA DE ABACÁ.....	16
TABLA 5. CONTENIDO DE CEMENTO EN UNA AMASADA DE MORTERO MEZCLADA EN LABORATORIO.	28
TABLA 6. ESPECIFICACIÓN POR DOSIFICACIÓN. REQUISITOS.....	29
TABLA 7. PROCEDIMIENTO DE AMASADO PARA LA ELABORACIÓN DE PROBETAS. ...	30
TABLA 8. NOMENCLATURA - TRATAMIENTO.....	32
TABLA 9. NOMENCLATURA - TAMAÑO.....	32
TABLA 10. NOMENCLATURA - DOSIFICACIÓN.	32
TABLA 11. RESULTADOS % HUMEDAD.	36
TABLA 12. RESULTADOS % FLUJO, SF.	40
TABLA 13. RESULTADOS % FLUJO, HS – 2,5 – 0,2.....	40
TABLA 14. RESULTADOS % FLUJO, LS – 2,5 – 0,2.	40
TABLA 15. RESULTADOS % FLUJO, HR – 2,5 – 0,2.	40
TABLA 16. RESULTADOS % FLUJO. RESUMEN FASE 1.	41
TABLA 17. PROCEDIMIENTO DE AMASADO PARA ENSAYO DE VICAT.	42
TABLA 18. RESULTADOS TIEMPO DE FRAGUADO VICAT.	46
TABLA 19. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, SF.....	50
TABLA 20. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, HS – 2,5 – 0,2.	50
TABLA 21. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, LS – 2,5 – 0,2.	51
TABLA 22. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, HR – 2,5 – 0,2.	51
TABLA 23. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, RESUMEN FASE 1.	52
TABLA 24. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, SF.....	54
TABLA 25. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, HS – 2,5 – 0,2.	55
TABLA 26. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, LS – 2,5 – 0,2.....	56
TABLA 27. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, HR – 2,5 – 0,2.	57
TABLA 28. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, RESUMEN FASE 1.	57
TABLA 29. RESULTADOS % FLUJO, LS – 2,0 – 0,2.	58
TABLA 30. RESULTADOS % FLUJO, LS – 2,0 – 0,3.	58

TABLA 31. RESULTADOS % FLUJO, LS – 2,0 – 0,4.	58
TABLA 32. RESULTADOS % FLUJO, LS – 2,5 – 0,2.	59
TABLA 33. RESULTADOS % FLUJO, LS – 2,5 – 0,3.	59
TABLA 34. RESULTADOS % FLUJO, LS – 2,5 – 0,4.	59
TABLA 35. RESULTADOS % FLUJO. RESUMEN FASE 2.	59
TABLA 36. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, LS – 2,0 – 0,2.	61
TABLA 37. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, LS – 2,0 – 0,3.	61
TABLA 38. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, LS – 2,0 – 0,4.	61
TABLA 39. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, LS – 2,5 – 0,2.	62
TABLA 40. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, LS – 2,5 – 0,3.	62
TABLA 41. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, LS – 2,5 – 0,4.	62
TABLA 42. RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN, RESUMEN FASE 2.	63
TABLA 43. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, LS – 2,0 – 0,2.	63
TABLA 44. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, LS – 2,0 – 0,3.	64
TABLA 45. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, LS – 2,0 – 0,4.	64
TABLA 46. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, LS – 2,5 – 0,2.	65
TABLA 47. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, LS – 2,5 – 0,3.	65
TABLA 48. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, LS – 2,5 – 0,4.	66
TABLA 49. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, RESUMEN FASE 2.	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. DIAGRAMA DE TRABAJO A REALIZAR EN LA PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO.....	19
ILUSTRACIÓN 2. DIAGRAMA DE TRABAJO A REALIZAR EN LA PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO.....	19
ILUSTRACIÓN 3. PROCEDIMIENTO DEL TRATAMIENTO 1: HIDRÓXIDO DE SODIO.	24
ILUSTRACIÓN 4. PROCEDIMIENTO DEL TRATAMIENTO 2: LATEX NATURAL + HUMO DE SÍLICE.....	26
ILUSTRACIÓN 5. PROCEDIMIENTO DEL TRATAMIENTO 3: HORNIFICACIÓN.	27
ILUSTRACIÓN 6. RESULTADOS TGA, MUESTRA 1.....	33
ILUSTRACIÓN 7. RESULTADOS TGA, MUESTRA 2.....	34
ILUSTRACIÓN 8. RESULTADOS TGA, MUESTRA 3.....	34
ILUSTRACIÓN 9. RESULTADOS TGA, MUESTRA 4.....	35
ILUSTRACIÓN 10. RESULTADOS TGA, MUESTRA 5.....	35
ILUSTRACIÓN 11. BALANZA TÉRMICA OHAUS.....	36
ILUSTRACIÓN 12. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE FLUJO.	39
ILUSTRACIÓN 13. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO VICAT.	44
ILUSTRACIÓN 14. HOLCIM HEAT.....	46
ILUSTRACIÓN 15. RESULTADOS HOLCIM HEAT - FASE 1.....	47
ILUSTRACIÓN 16. DISPOSITIVO DE CARGA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN.	48
ILUSTRACIÓN 17. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN.	49
ILUSTRACIÓN 18. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE COMPRESÓN.....	53
ILUSTRACIÓN 19. RESULTADOS HOLCIM HEAT - FASE 2.....	60
ILUSTRACIÓN 20. CRONOGRAMA FASE 1.....	67
ILUSTRACIÓN 21. CRONOGRAMA FASE 2.....	68

RESUMEN

En este trabajo se investiga la influencia de la fibra de abacá en el mortero de enlucido con diferentes tratamientos, tamaños y dosificaciones. Se realizaron 3 tratamientos diferentes a la fibra de abacá antes de ser utilizada en el mortero con el fin de evitar la degradación de la fibra natural al interactuar con los componentes del cemento, disminuir la absorción de agua de la fibra y mejorar las propiedades mecánicas del mortero. A través de ensayos mecánicos de flexo-tracción y tiempo de fraguado se eligió el tratamiento más adecuado para las fibras de abacá. Posteriormente, las fibras fueron sometidas al tratamiento previamente elegido y se incorporaron en la mezcla del mortero con diferentes tamaños y dosificaciones. Realizando los mismos ensayos anteriormente mencionados se pudo comparar los resultados y determinar cuál es el tamaño más adecuado y su dosificación correspondiente. Los resultados indicaron que el tratamiento compuesto de látex natural y humo de sílice fue el más apropiado para la fibra abacá y que ésta debe ser utilizada con una longitud de 20 mm y en un porcentaje de 0,4 % con relación al peso total de arena y cemento que se utilice en la mezcla.

Palabras Claves: *mortero, abacá, látex, humo de sílice, fibra natural, tratamiento, tamaño, dosificación.*

ABSTRACT

This paper has the purpose of investigating the influence of the abaca fiber on mortar with different treatments, sizes and dosages. Three different treatments were made to the abaca fiber before being used in the mortar in order to avoid the degradation of the natural fiber when interacting with the cement components, decrease the water absorption of the fiber and improve the mechanical properties of the mortar. Doing flexion and setting time tests in order to choose the most appropriate treatment for abaca fibers. Subsequently, the chosen treatment was incorporated into the mortar using different sizes and dosages. By performing the same tests, the results could be compared and we could determine the most appropriate size and its corresponding dosage. The results indicated that the treatment of natural latex and silica fume was the most appropriate for the abaca fiber and it should be used with a length of 20 mm and a percentage of 0.4% in relation to the total weight of sand and cement that is used in the mixture.

Key words: *mortar, abaca, latex, silica fume, natural fiber, treatment, size, dosage.*

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se desarrollará una introducción al tema de investigación, la pertinencia de usar las fibras de abacá en la elaboración de morteros, la necesidad de aplicar un tratamiento y cumplir los objetivos propuestos en este trabajo de investigación.

1.1 Antecedentes

Las fibras naturales han sido usadas por los investigadores como una alternativa a las fibras de acero o sintéticas en materiales compuestos. El uso de las fibras naturales de plantas y desperdicios vegetales ha atraído la atención global debido a su asequibilidad, abundancia y la amigabilidad con el medio ambiente (Jiang, y otros, 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, estas fibras tienen un costo bajo y presentan la gran ventaja de ser renovables (Ferreira, Silva, Lima, & Toledo Filho, 2017).

La fibra de abacá se obtiene del pseudo tallo de la musa textiles. Se conoce comúnmente como cáñamo de Manila. En países tropicales como Filipinas, las plantas de abacá se encuentran en abundancia. La fibra de abacá es la primera fibra natural en cumplir con los requerimientos de calidad para compuestos usados en los exteriores de vehículos (Kumar Sinha, Narang, & Bhattacharya, 2017). 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). El abacá no debe confundirse con el cáñamo que es una planta perteneciente al grupo Cannabis sativa, mientras que el abacá es una especie de la familia Musáceas (plantas de banano) con frutos no comestibles y crece alrededor de 6.5m (Ritcher, Stromann, & Müssig, 2013). Algunos autores (Onuaguluchi & Banthia, 2016) han comparado ciertas características mecánicas de las fibras vegetales, entre ellas el abacá obteniendo resultados prometedores en términos de tracción (Cai, y otros, Influence of alkali treatment on internal microstructure and tensile properties

of abaca fibers, 2015). Esto, particularmente debería considerarse en países que se encuentran en el llamado cinturón de fuego, Ecuador uno de ellos, donde la liberación de energía es constante resultando en sismos, recordemos el sismo producido en Ecuador en el 2016 de magnitud 7.6 en la escala de Richter, dónde el número de víctimas sobrepasó las 600 personas, sin contar el número de familias que han tenido que ser albergadas hasta el momento; lo cual, nos lleva a analizar diferentes posibilidades, entre ellas ver el comportamiento de los aglomerados con la presencia de fibras vegetales, independientemente de cuál esta sea, y cómo mejora su resistencia a la flexo tracción (Onuaguluchi & Banthia, 2016).

De las fibras previamente mencionadas se han realizado estudios en los que se analiza desde la caracterización de las fibras vegetales hasta su posible orientación en matrices cementicias (Vijaya Ramnath, y otros, 2014), su dosificación y tamaños de fibras (Onuaguluchi & Banthia, 2016). Pero más allá de estos resultados, un factor que preocupa es el comportamiento de las fibras vegetales con el paso del tiempo en el aglomerado de base cementicia; es por esto que, varios autores entre ellos: (Zukowski, de Andrade Silva, & Toledo Filho, 2018) (Silva, y otros, 2017) han analizado diferentes tratamientos en fibras vegetales para contrarrestar la posible degradación de la fibra en el compuesto cementicio a lo largo del tiempo. Y otros estudios han simulado el paso del tiempo (Wei & Meyer, 2015) sometiendo las muestras a un proceso de envejecimiento acelerado, para analizar el comportamiento del aglomerado con fibra con el paso de tiempo.

1.2 Objetivo General

Determinar el tipo de tratamiento, tamaño y dosificación óptima en la fabricación de mortero según normas ASTM para mampostería y la influencia en la resistencia del mismo

1.3 Objetivos específicos

- Analizar los tipos de tratamiento disponibles en fibras vegetales y correlacionar dichos resultados, aplicándolos a la fibra de abacá
- Determinar el tamaño de fibra adecuado para mortero

- Determinar la dosificación de fibra óptima para la obtención del mejor mortero
- Diseñar un mortero base según lo indique las normas INEN
- Elaborar probetas de diseño preliminar para obtener tratamiento, dosificación y tamaño de fibra adecuado
- Medir parámetros de tiempo de fraguado y flexión en las probetas de mortero

1.4 Hipótesis

- La fibra de abacá tratada mejora el comportamiento mecánico del mortero
- El tamaño y la dosificación influyen en el comportamiento de dicho mortero

1.5 Justificación

Anteriormente se han realizado trabajos relacionados a este tipo de fibra (Alcivar, 2010) (Pino, 2015) sin embargo, los trabajos previos asumen una dosificación de mortero previamente establecida en la que la relación de cemento/arena corresponde a 2:3 lo cual no ocurre en un mortero real de mampostería (INEN). Adicional los tratamientos utilizados carecen de una investigación científica que justifiquen los resultados. La fibra de abacá carece de un proveedor certificado por lo que dentro de la gama de abacá no se sabe con qué calidad de fibra se ha trabajado.

Los tratamientos de la fibra tienen influencia en el comportamiento del mortero como ocurre en las diversas fibras vegetales entre ellas las de coco en la cual con un tratamiento desarrollado por (Silva, y otros, 2017) obtiene resultados favorables.

De la misma forma el tamaño influye en la calidad de ese mortero, investigaciones como las de (Ali, Liu, Sou, & Chouw, 2012) muestran dichas variaciones.

Por tal razón se hace indispensable tratar en lo posible definir el tratamiento, tamaño y dosificación que presenten mejores resultados en los morteros.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrollará la revisión bibliográfica de las fibras vegetales, pero específicamente de la fibra de abacá con el fin de obtener todas las características de la fibra, adicional a eso el diseño de un mortero en las condiciones de trabajo más reales usados en mampostería, la aplicación de tratamientos a las fibras vegetales de forma general y cómo estos han tenido una influencia positiva o negativa en los compuestos de matriz cementicia.

2.1 Mortero

El mortero es el material que se obtiene al mezclar cemento, arena y agua, las proporciones van a depender de las características que se quieran satisfacer, pueden agregarse aditivos o material de refuerzo como fibras sintéticas o naturales. Las propiedades de éste van a depender de las cualidades de los materiales que lo constituyen. El Instituto Ecuatoriano de Normalización define las funciones y propiedades del mortero basándose en la norma ASTM C1180 (Anexo 1).

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.

2.1.2 Propiedades

En primer lugar se debe considerar que el mortero tiene dos estados importantes: plástico y endurecido. Cada estado tiene sus propiedades importantes que cumplir para que sea considerado aceptable.

2.1.2.1 Mortero en estado plástico

Las propiedades del mortero en estado plástico se relacionan directamente al momento en el que éste es colocado y utilizado, es decir que tiene que ser apto para proporcionar cierto tipo de comodidad a quien lo está utilizando. Las propiedades que importan en éste estado son la trabajabilidad, flujo, retención de agua y tiempo de fraguado

2.1.2.1.1 Trabajabilidad

Ésta es la propiedad más importante en estado plástico ya que de eso depende que pueda armarse correctamente una pared. Para considerar una trabajabilidad correcta debe poder extenderse con facilidad sobre la unidad de mampostería, cubriendo todos los espacios. Al ser utilizado como mortero de pega, debe soportar el peso de una unidad de mampostería al ser colocada sobre éste, también debe mantenerse firme cuando se lo coloca de forma vertical.

Existen análisis cuantitativos medidos en laboratorio que permiten determinar la trabajabilidad de un mortero. Estos análisis son: plasticidad, consistencia, cohesión y adherencia. Estas propiedades deben ser medidas en laboratorio. Sin embargo, se considera que el obrero puede analizar la trabajabilidad del mortero al momento de empezar a utilizar el mismo.

La trabajabilidad va a depender de los materiales que se utilicen en el mismo y sus respectivas dosificaciones. En obra se puede regular la trabajabilidad con la cantidad de agua que se utilice. Otros de los factores que afectan la trabajabilidad son la retención de agua, evaporación y tiempo de fraguado.

2.1.2.1.2 Flujo

El flujo es un valor porcentual medido en laboratorio. En la construcción es necesario un flujo mayor ya que como se ha mencionado anteriormente, las unidades de mampostería absorben cierta cantidad de agua de mortero y el flujo es un valor proporcional a la cantidad de agua dentro de la mezcla, es decir, se puede considerar que a mayor cantidad de agua mayor flujo tiene el mortero. Por lo tanto, el flujo requerido normalmente en laboratorio es de 105% a 115% mientras que en obra se considera que utilizan flujos entre 130% y 150%.

2.1.2.1.3 Retención de agua

Tal y como se ha mencionado previamente, al momento en que se utiliza el mortero sobre una unidad de mampostería, ésta absorbe agua del mismo. Por lo tanto, el mortero debe tener la capacidad de retener agua y no permitir que la unidad de mampostería absorba toda el agua de su mezcla.

2.1.2.1.4 Fraguado

El tiempo de fraguado es un factor importante para una buena trabajabilidad del mortero. El mortero empieza a fraguar a medida que pierde agua, acción que es inevitable en el uso del mortero. Por lo tanto, el tiempo de fraguado debe ser adecuado para poder trabajar de manera correcta hasta culminar la correcta colocación de las unidades de mampostería.

2.1.2.2 Mortero en estado endurecido

Las propiedades del mortero en estado endurecido son diferentes, pero pueden verse afectadas por las propiedades del mortero en estado plástico.

Las propiedades que se consideran en estado endurecido son: adherencia, resistencia a compresión y durabilidad.

2.1.2.2.1 Adherencia

Existen muchas variables que afectan la adherencia, tales como: contenido de aire, cohesión del mortero, tiempo transcurrido entre la aplicación del mortero y la colocación de la unidad de mampostería, absorción de unidades de mampostería, capacidad de retención de agua del mortero, presión aplicada a la junta de mampostería durante la colocación, acabado, textura de la superficie de pega de la unidad de mampostería y condiciones de curado (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010). La adherencia es una de las propiedades más importantes del mortero en esta endurecido, sin embargo, es uno de los más impredecibles en obra.

Existen ensayos de laboratorio que permiten medir la adherencia del mortero con una unidad de mampostería; sin embargo, como se mencionó anteriormente, ésta puede ser muy variable al utilizar el mortero en obra.

2.1.2.2.2 Resistencia a la compresión

Al igual que en el hormigón, la resistencia a compresión del mortero se ve afectada primordialmente por la relación agua-cemento. Y también, es considerada una propiedad importante al momento de elegir entre diferentes mezclas de mortero.

Sin embargo, dicha resistencia en realidad no posee la misma importancia que cuando se habla de hormigón, dado que, se debe recordar que el mortero no es un material estructural por sí solo, trabaja en conjunto con las unidades de mampostería, por lo tanto, el elemento estructural son las paredes que estos forman y su resistencia a compresión no necesariamente está relacionada con la resistencia a compresión del mortero.

Por otra parte, se busca que el mortero posea menos resistencia a compresión que las unidades de mampostería para que éste falle primero y que sea más fácil arreglar las fallas.

2.1.2.2.3 Durabilidad

La durabilidad no suele presentarse como un problema importante del mortero. Existen métodos de análisis de laboratorio para poder calificar la durabilidad del mortero. Éste es sometido a ciclos de congelación y deshielo simulando el paso del tiempo para el mortero.

En este trabajo la durabilidad si puede presentarse como un problema a considerarse en el mortero dado que se incorporarán fibras naturales en la mezcla del mismo y dichas fibras están sometidas a degradación con el transcurso del tiempo, lo cual si puede ocasionar diferencias notables en el mortero y afectar la durabilidad.

2.2 Arena

La arena utilizada en este estudio es arena de río recolectada del Río Boliche. La arena cumple con la granulometría especificada en la norma ASTM C144 – 04 tal y como se describe a continuación.

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
4 (4,75 mm)	0	0%	0%	100%
8 (2,36 mm)	21,3	3%	3%	97%
16 (1,18 mm)	53,1	7%	9%	91%
30 (600 μ m)	125,6	16%	25%	75%
50 (300 μ m)	376,2	47%	72%	28%
100 (150 μ m)	194,9	24%	97%	3%
200 (75 μ m)	19,8	2%	99%	1%
FONDO	7,5	1%	100%	0%
TOTAL	798,4			

Tabla 1. Granulometría de la arena.

Fuente: Autor

TAMIZ	% PASANTE	MÍNIMO PERMITIDO	MÁXIMO 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 μ m)	75%	40%	75%	SI
50 (300 μ m)	28%	10%	35%	SI
100 (150 μ m)	3%	2%	15%	SI
200 (75 μ m)	1%	0%	5%	SI

Tabla 2. Granulometría según ASTM C144 – 04.

Fuente: Autor

2.3 Cemento

El cemento utilizado en este estudio es el cemento hidráulico tipo GU de Holcim Ecuador. Cemento Holcim Fuerte Tipo GU está diseñado para todo tipo de construcción en general, 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).

El cemento Tipo GU está conformado por clinker de cemento portland, sulfato de calcio y adiciones del proceso. Posee una resistencia a compresión de 31 MPa a los 28 días. Corresponde a un tipo M con especificaciones que se detallan en la Tabla 3.

REQUISITO	TIPOS DE CEMENTO PARA MORTERO		
	N	S	M
Finura, retenido sobre el tamiz de 45 μ 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 Fraguado inicial, minutos, no mayor a	120 1 000	90 1 000	90 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. 28 días, MPa.	3,5 6,2	9,0 14,5	12,4 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 % Máximo, en volumen	8 17	8 15	8 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)

2.4 Fibras vegetales

Debido a incentivos económicos y el incremento en el cuidado ambiental, las fibras naturales han atraído la atención de muchos investigadores. Las ventajas de usar fibras naturales en aplicaciones industriales se relacionan con el peso ligero, bajo costo, no toxicidad y que son biodegradables, sin mencionar su alta rigidez específica. Estas características hacen que los compuestos reforzados con fibras naturales sean adecuados para las industrias aéreas y automovilísticas (Liu, Zhang, Takagi, Yang, & Wang, 2014).

2.5 Abacá

Abacá o también llamado cáñamo de Manila, es un tipo de fibra fuerte que se produce principalmente en Filipinas y crece en lugares cálidos y lluviosos. Proveniente de la planta de hoja de la especie “Musa” la cual es similar a la planta de banana con la diferencia que el abacá no tiene frutos (no es comestible). Ecuador es el segundo país exportador de esta planta, con un

promedio de 9925 toneladas desde el 2005 hasta el 2015 (Banco Central del Ecuador, 2016).

2.5.1 Fibra de abacá

La fibra de abacá se la extrae del tallo de la planta después de dos años de haber sembrado la misma y su extracción se realiza cada 3 o 6 meses. La fibra contiene celulosa 56–64%, hemicelulosa 25–29%, lignina 11–14% y una pequeña porción de grasas, pectina, ceniza y cera (Ritcher, Stromann, & Müssig, 2013). Las fibras pueden medir de 1,5 a 4 m de longitud, el color varía desde blanco a amarillo. Se considera que la fibra cultivada en Ecuador es incluso mejor que la que se cultiva en Filipinas. La calidad de la fibra puede verse afectada en el proceso de producción de la misma.

Se ha reportado que la fibra de abacá tiene un alto esfuerzo de tracción, es resistente a la putrefacción y tiene un esfuerzo de flexión específico comparable a la fibra de vidrio. Adicionalmente se ha usado en forma de materia prima en sogas, bolsas y papel. En los últimos años, la aplicación de la fibra de abacá se ha extendido al sector automovilístico como la manufactura de Daimler Chrysler de las Mercedes Benz. También se ha reportado que la fibra de abacá es la primera fibra natural en cumplir requisitos de calidad exigentes para la composición externa de vehículos de calle con una buena resistencia al golpe producto de las piedras, exposición a los elementos y a la humedad. Por lo tanto, obtener una fibra de abacá de alta calidad es esencial para la aplicación industrial. Se sabe que la microestructura influye sus propiedades. Los investigadores frecuentemente mejoran las propiedades mecánicas mediante el cambio de la microestructura (Elanchezhian, y otros, 2018).

Las fibras de abacá en su estado natural es decir sin ningún tipo de tratamiento presentan el lumen hueco visible en el centro de la fibra (Cai, Takagi, Nakagaito, Li, & Waterhouse, Effect of alkali treatment on interfacial bonding in abaca fiber-reinforced composites, 2016). Los diámetros de las fibras oscilan entre las 250-300µm. La morfología de la superficie de las fibras de abacá consiste en fajos de pequeñas fibras cubiertas con

componentes de unión que básicamente son hemicelulosa, lignina y pectina. Ensayos de rayos x indican que la cristalinidad de la celulosa es un factor importante en las características de las fibras de la planta, aquellas con alta cristalinidad celulosa son las más demandadas ya que ésta se correlaciona con la resistencia y dureza de la fibra. El porcentaje de cristalinidad de la fibra de abacá es del 52%, con una resistencia a la tracción que oscila entre los 717 +/- 83 MPa, Módulo de Young de 18.6 +/- 1.9 GPa y una deformación en rotura entre 4.2 +/-2%.

2.6 Tratamientos

La facilidad que se presenta al usar fibras vegetales son las mencionadas anteriormente; sin embargo, es posible que exista algún tipo de degradación de la fibra al estar en contacto con matrices cementicias y su durabilidad.

Para contrarrestar la posible degradación de las fibras, los investigadores han diseñado dos estrategias para incrementar la durabilidad de la celulósica de la fibra en pastas cementicias. La primera estrategia es modificar la composición de la matriz cementicia de tal forma de reducir su alcalinidad y la segunda estrategia se centra en la celulósica de la fibra misma e involucra la modificación ya sea química o física para incrementar la estabilidad en las matrices cementicias (Boulos, Foruzanmehr, Tagnit-Hamou, & Robert, 2019).

La gama de fibras vegetales usadas son muchísimas cada una en función de las ventajas encontradas por los investigadores. Entre esas fibras, se encuentran el cáñamo, coco, yute, curaua, sisal entre otras, siendo estas las más comunes.

La Tabla 4 muestra un resumen de las diversas fibras con los tratamientos aplicados y el comportamiento del mortero reforzado con las fibras tratadas; es importante resaltar, que el tamaño y la composición de la matriz cementicia varía entre los investigadores, con el objetivo de encontrar la mejor dosificación, tamaño y tratamiento.

Fibra	Tipo de tratamiento	Beneficios
Hoja	Pulverización de emulsión de polímero acrílico puro	Mejoraron las propiedades mecánicas. Se obtuvieron los más altos valores de esfuerzo de compresión a los 28 días y los más altos valores de flexión y compresión a los 56 días. Se considera que es el mejor tratamiento para fibras de hojas (Jiang, y otros, 2018).
	Sumergir en agua	Mejoraron las propiedades mecánicas. Se obtuvieron los más altos valores de esfuerzo de flexión a los 28 días (Jiang, y otros, 2018).
	Hidróxido de sodio	Mejoran las propiedades mecánicas. Ofrece un óptimo aislamiento térmico (Jiang, y otros, 2018).
Coco	Solución adhesiva: látex natural, revestimiento: humo de sílice	Presento un esfuerzo a flexión 42,2% más alto que la fibra sin tratar y 73,4% más alto que sin fibra. También demostró el mejor módulo elástico, con un aumento de 80,5% a los 28 días (Silva, y otros, 2017).
Sisal	Tratamiento con humo de sílice	Método para promover la resistencia y la dureza, crea una zona de baja alcalinidad alrededor de la fibra lo que retrasa o previene la degradación de la fibra (Ardanuy, Claramunt, & Toledo Filho, 2015).
Cáñamo	Tratamiento alcalino	Aumenta la resistencia a flexión en un 94% y también ayuda a la adhesión entre la matriz y la fibra (Seda, Pagnoux, Smith, & Chotard, 2008).
Curaua	Agua caliente y solución alcalina	La primera etapa del tratamiento (ciclos de lavado) redujo el área de sección transversal de las fibras. La segunda etapa (tratamiento con solución alcalina) mejoró el enlace de la matriz de fibra que fue beneficioso para la reducción crítica del volumen de fibra necesaria para el endurecimiento por deformación (Zukowski, de Andrade Silva, & Toledo Filho, 2018).
Sisal, Yute, Curaua	Hornificación	La resistencia a la tracción de las fibras naturales aumentó. Con el tratamiento de hornificación fue posible alcanzar un mayor enlace matriz-fibra. (Ferreira, Silva, Lima, & Toledo Filho, 2017)

Tabla 4. Tratamientos posibles para la fibra de abacá.

Fuente: Autor

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 importante hacer énfasis en que este trabajo de investigación consiste en la fabricación de mortero de empaste (no de pega) reforzado con fibras de abacá y el análisis de su comportamiento cuando se aplica un tratamiento previo a la fibra.

Con el fin de cumplir con el objetivo general del trabajo, se propone la siguiente metodología de trabajo:

3.1 Primera etapa

Una primera parte que consta de una revisión bibliográfica de las fibras vegetales de forma general basada en estudios de fibras para poder caracterizar la fibra de abacá, de esta misma revisión bibliográfica se definirán los tratamientos que se aplicará en las fibras aplicando los mismos procesos de tratamiento, de igual forma los tamaños y las dosificaciones.

Es importante también acotar que este trabajo cuenta con la colaboración de Holcim Ecuador S.A., quienes han proporcionado información, material y laboratorio para el desarrollo del presente trabajo.

El mortero a utilizar se definirá en función a la Norma INEN 2 518:2010, que cuenta con el soporte de las encuestas realizadas por Holcim a obreros que indican la preferencia en la trabajabilidad del mortero.

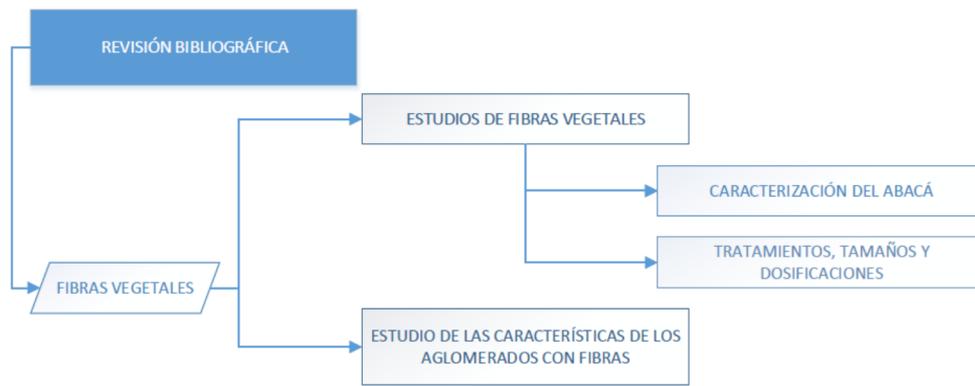


Ilustración 1. Diagrama de trabajo a realizar en la primera etapa del proyecto.

Fuente: Autor

3.2 Segunda etapa

Una segunda parte que cuenta con el trabajo experimental, como se indicó previamente este trabajo ha contado con la colaboración y apoyo de la empresa privada Holcim Ecuador S.A., en la cual a la fibra vegetal se la someterá a tratamientos basados en artículos de investigaciones previas, con el tratamiento que presente mejores resultados en función del tiempo de fraguado y del ensayo de flexión, se procederá a definir el tamaño y posteriormente la dosificación.

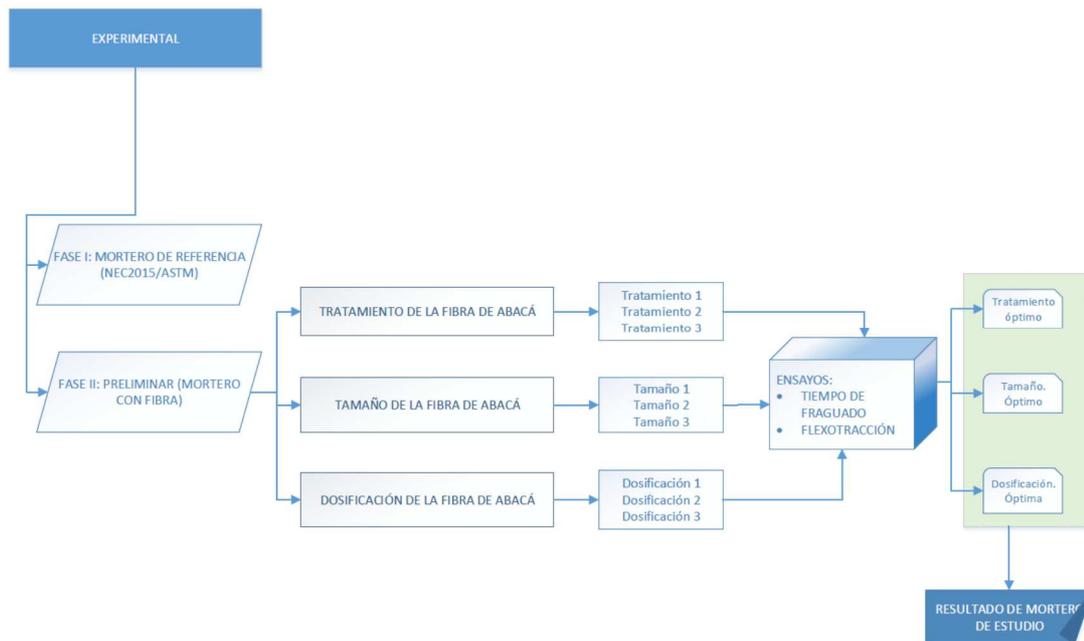


Ilustración 2. Diagrama de trabajo a realizar en la primera etapa del proyecto.

Fuente: Autor

Para los ensayos de flexotracción y compresión se proponen edades de 7, 14 y 28 días en cada una de las fases con el fin de que el mortero alcance el 100% de su resistencia y así comparar el comportamiento de los diferentes tratamientos, tamaños y dosificaciones.

Para los ensayos que se realizarán es necesario dividir el trabajo en dos dos fases con el fin de poder comparar los diferentes tratamientos, tamaños y dosificaciones.

3.2.1 Fase 1

En esta fase lo que se busca es comparar los diferentes tratamientos a los que se puede someter la fibra de abacá antes de ser utilizada en el mortero. Por lo tanto, se utilizará un mismo tamaño de fibra y una dosificación estándar para todas las muestras, la cuál será elegida a partir de la lectura de la bibliografía. Es decir, las muestras en esta fase se dividirán por los tratamientos realizados. Para terminar esta fase, luego de realizados los ensayos, se determinará cual es el tratamiento más adecuado para mejorar el comportamiento de la fibra de abacá al estar expuesta a una matriz cementicia.

3.2.2 Fase 2

En esta fase toda la fibra será sometida al mismo tratamiento, el que se eligió en la fase 1, pero esta vez se trabajará con diferentes tamaños de fibra y a su vez con cada uno de los tamaños se utilizarán varias dosificaciones. Por lo tanto, en esta fase las muestras se diferenciarán por los tamaños y dosificaciones utilizadas en cada una de ellas. De esta forma, culminada la fase 2 se conocerá cual es el tratamiento, tamaño y dosificación más adecuada para un mortero con fibra de abacá.

CAPÍTULO IV

4 ELABORACIÓN DE PROBETAS

En el presente capítulo se desarrollará el proceso para la elaboración de las muestras.

Como en este trabajo se desea comparar la influencia de la fibra de abacá en el comportamiento del mortero, por tal razón se elaboraron dos tipos de morteros:

- El mortero base que corresponde al mortero sin fibra
- El mortero con fibra vegetal, recordando que estas fibras serán sometidas a diferentes tratamientos con el objetivo de lograr definir el mejor tratamiento y posterior el mejor tamaño y lo propio con la dosis.

La elaboración de las probetas se lo realizó siguiendo 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 y la más clara que se obtiene del pseudotallo, está caracterizada por su particular color que varía entre un amarillo claro y un marrón claro brillante y se obtiene aproximadamente un 10% del peso total de fibra seca (Furukawa Plantaciones C.A. del Ecuador, 2017).

4.1.1 Corte de fibra

La fibra fue cortada a 2.0 cm, 2.5 cm y 3.0 cm, estas medidas han sido basadas en investigaciones previas donde recomiendan que el tamaño de las fibras de hoja estén en un rango de 2 – 3 cm (Silva, y otros, 2017).

4.1.2 Tratamientos de la fibra de abacá

Como se ha venido indicando a lo largo de esta investigación, la fibra de abacá será sometida a diferentes procesos de tratamiento, lo cual se ha basado en investigaciones previas tales como (Silva, y otros, 2017).

4.1.2.1 Tratamiento 1: Hidróxido de sodio (HS)

El tratamiento de hidróxido de sodio es un método químico que se lo utilizó para mejorar las propiedades mecánicas y disminuir la absorción de agua de las fibras de hoja (Jiang, y otros, 2018).

La fibra de abacá cortada a 2.5 cm. fue preparada en una solución de agua e hidróxido de sodio a un 3% (porcentaje de la masa). Es decir, se mezclaron 970 gramos de agua y 30 gramos de hidróxido de sodio.

Se sumergió la fibra por 4 horas en la solución de hidróxido de sodio. Las fibras impregnadas fueron lavadas con agua de 5 – 7 veces hasta que el agua se torne transparente. Posterior a eso el proceso de secado a $85 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 horas en un horno eléctrico. Las fibras se enfriaron en temperatura de laboratorio y se colocaron en bolsas con cierre hermético para usos posteriores (Jiang, y otros, 2018).





Ilustración 3. Procedimiento del tratamiento 1: hidróxido de sodio.

Fuente: Autor

4.1.2.2 Tratamiento 2: Látex natural + Humo de sílice (LS)

Este tratamiento se basa en la utilización de material adhesivo y un material puzolánico. Con este tratamiento se espera que el material puzolánico proteja la superficie de la fibra contra el ataque alcalino (Silva, y otros, 2017)

Una solución adherente, para lo cual se utilizó látex natural en polvo (ELOTEX) mezclado con agua en una concentración del 53%, es decir, se mezcló 470 gramos de agua con 530 gramos de látex natural en polvo.

Se utilizó humo de sílice con el nombre comercial de SikaFume. SikaFume, es una adición en polvo fino, color gris, con base en microsilica, que permite aumentar las resistencias mecánicas y químicas de hormigones y morteros endurecidos. Su doble efecto puzolánico y granular, mejora las características de la matriz del hormigón o mortero, disminuyendo la porosidad y creando mediante su reacción con la cal libre, una estructura densa y resistente al ataque de aguas y ambientes agresivos (Sika Ecuatoriana S.A., 2014).

El procedimiento consiste en secar la fibra cortada a 2.5 cm durante 2 horas en el horno a una temperatura de 100 °C. Posteriormente se sumerge la

fibra en la solución de látex natural durante aproximadamente 1 minuto e inmediatamente las fibras son cubiertas por el humo de sílice el cual se adhiere con ayuda de la solución adherente (Silva, y otros, 2017). Finalmente, se guarda la fibra en bolsas con cierre hermético para su posterior uso.





Ilustración 4. Procedimiento del tratamiento 2: látex natural + humo de sílice.

Fuente: Autor

4.1.2.3 Tratamiento 3: Hornificación (HR)

Este tratamiento ha sido utilizado previamente por otros investigadores en fibras naturales utilizadas como material de refuerzo en materiales compuestos con base cementicia. La fibra de abacá cortada a 2.5 cm fueron colocadas en un contenedor con agua a $T=22^{\circ}\text{C}$ durante 3 horas. El proceso de secado se llevó a cabo en un horno a temperatura de 80°C . El horno fue programado de tal forma que alcance los 80°C a razón de $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ y que mantuviera esta temperatura por 16 horas. Después de las 16 horas de secado, el horno fue enfriado a temperatura de 22°C de tal forma de prevenir un posible choque térmico en las fibras. Se vuelven a colocar las fibras en agua y de esta forma se repite el ciclo 3 veces (Ferreira, Silva, Lima, & Toledo Filho, 2017).



Ilustración 5. Procedimiento del tratamiento 3: hornificación.

Fuente: Autor

4.2 Preparación de las probetas

4.2.1 Materiales

Los materiales utilizados para la elaboración de las probetas son: arena, cemento, agua y fibra de abacá. Las características de los materiales fueron mencionadas en el capítulo 2 y las cantidades utilizadas son las siguientes:

- Arena: 1620 gramos
- Cemento: 540 gramos
- Agua potable: la cantidad varía según la muestra que se realice y esta será determinada con ayuda del ensayo de flujo.
- Fibra de abacá: como se mencionó en el capítulo 3, la elaboración de las probetas tiene 2 fases en las cuáles varían las características de la fibra a utilizar.
 - o Fase 1:
 - Tratamiento: tratamiento 1, tratamiento 2, tratamiento 3
 - Tamaño: 2.5 cm
 - Dosificación: 0,2% (4,3 g) (porcentaje del peso del cemento y arena)

- Fase 2:
 - Tratamiento: determinado en la fase 1
 - Tamaño: 2.0 cm, 2.5 cm
 - Dosificación: 0,2% (4,3 g), 0,3% (6,5 g), 0,4% (8,6 g)

La cantidad de cemento se estableció basándose en la norma NTE INEN 2615:2012 en la cual en función del tipo de cemento ya existe una masa de cemento establecida. El cemento portland GU usado corresponde a un cemento tipo M. Para lo cual la misma norma indica que 540 g de cemento son necesarios para los ensayos.

Tipo de cemento para mortero	Masa del cemento, g
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 establecer la cantidad de arena se consideraron varios puntos. La norma UNE-EN 196-1 recomienda utilizar una parte de cemento y 3 partes de arena medidas en masa, sin embargo, hay que considerar que dichas cantidades están establecidas para utilizar arena normalizada CEN. Otro punto a considerar fue que los maestros en obras son quienes realmente proporcionarían la relación de cemento y arena que utilizan comúnmente en obra, es decir que se consideró la trabajabilidad real, para lo cual se consultó a maestros y también a la empresa colaboradora en este trabajo Holcim Ecuador S.A. la cual propocionó información adquirida de entrevistas realizadas en obra, estas consultas coincidieron en una relación de 1 parte de cemento y 2 a 3 partes de arena. También se consideró la tabla de dosificaciones de la norma NTE INEN 2518:2010 detallada a continuación.

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)

Por lo tanto, la dosificación elegida cumple con una relación 3:1 de arena-cemento medido en masa.

Todas las cantidades antes mencionadas son necesarias para la elaboración de una amasada de mortero con la cual se pueden realizar 3 probetas.

4.2.2 Amasado

Se mezcla cada lote de mortero utilizando la amasadora. Los tiempos de las diferentes etapas de amasado deben mantenerse dentro de los ± 2 s.

	Parcial	Cronómetro
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: Autor

CAPÍTULO V

5 ENSAYOS Y RESULTADOS

5.1 Nomenclatura

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

Tratamiento	Nomenclatura
Hidróxido de sodio	HS
Látex natural + humo de sílice	LS
Hornificación	HR

Tabla 8. Nomenclatura - tratamiento.

Fuente: Autor

Tamaño	Nomenclatura
2,0 cm	2,0
2,5 cm	2,5

Tabla 9. Nomenclatura - tamaño.

Fuente: Autor

Dosificación	Nomenclatura
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 1: Tratamientos

5.2.1 Ensayos previos a la elaboración de las probetas

5.2.1.1 Ensayo de TGA

Se realizó el ensayo termogravimétrico a la fibra de abacá gracias a la colaboración de la empresa Holcim Ecuador S.A. Mediante esta técnica se somete al material en este caso a la fibra a un proceso de descomposición en función de la temperatura y del tiempo. El material es calentado en un horno y al mismo tiempo se va midiendo el peso a medida que es calentado. Al final del ensayo se obtendrán los diferentes perfiles de descomposición que sufrirá el material durante todo el proceso de calentamiento. A través de esta técnica se podrá obtener mucha información a partir de la descomposición de un producto.

Los resultados de este ensayo se encuentran a continuación, consiste de cinco muestras analizadas (fibras sin ningún tipo de tratamiento en su estado natural) sometidas al proceso termogravimétrico.

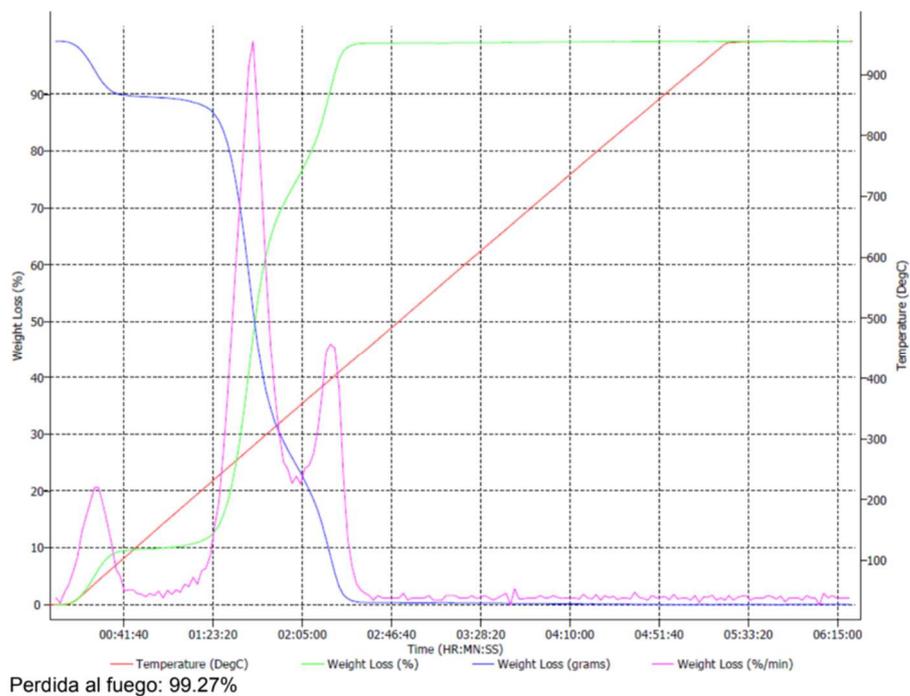
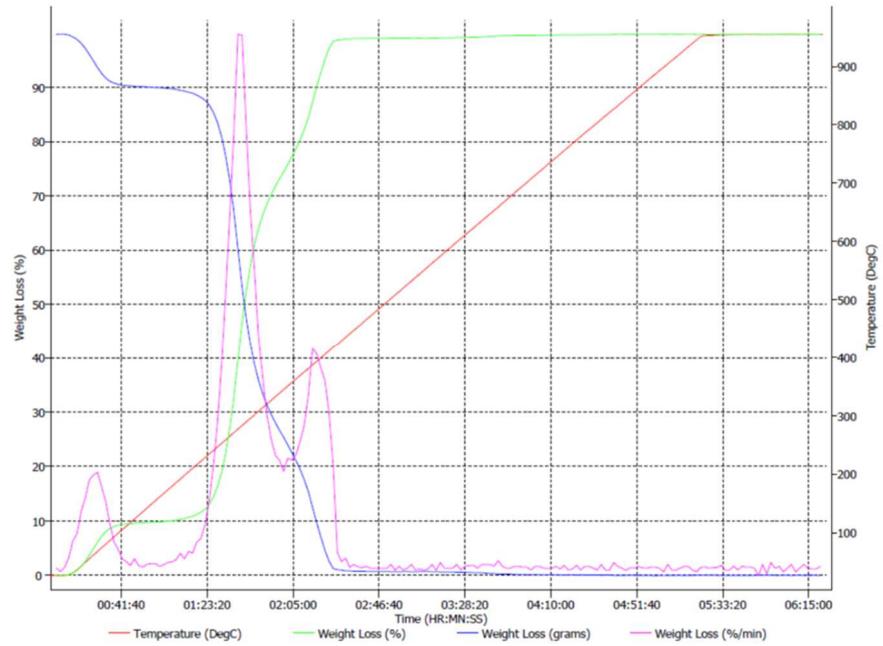


Ilustración 6. Resultados TGA, muestra 1.

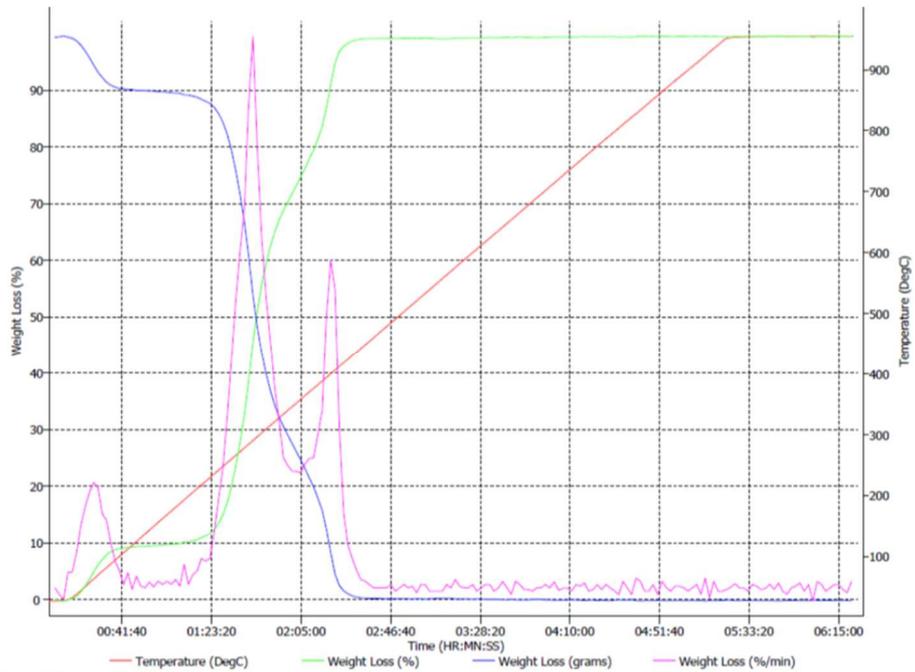
Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2018)



Perdida al fuego: 99.77%

Ilustración 7. Resultados TGA, muestra 2.

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



Perdida al fuego: 99.45%

Ilustración 8. Resultados TGA, muestra 3.

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

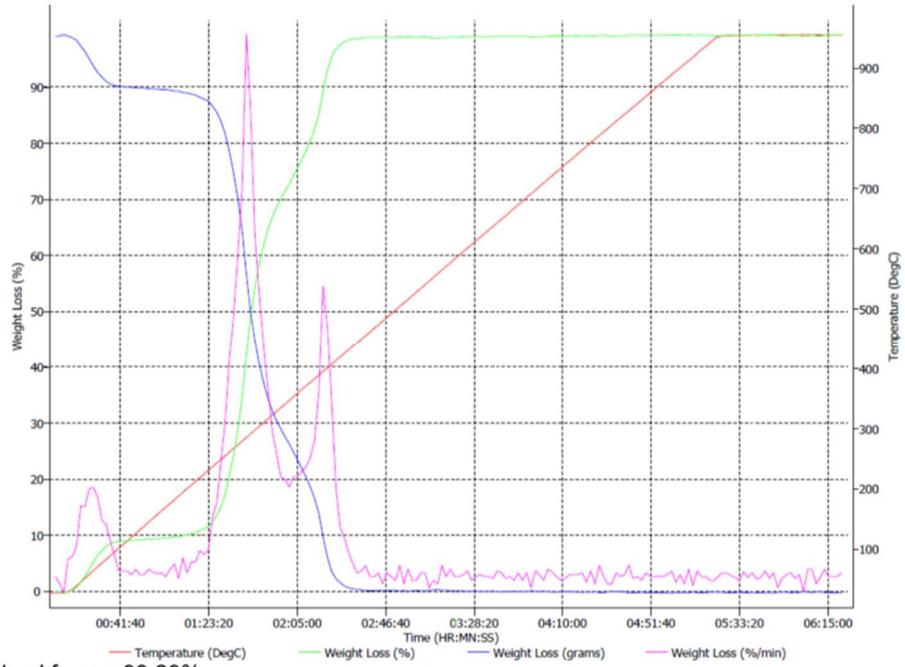


Ilustración 9. Resultados TGA, muestra 4.

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

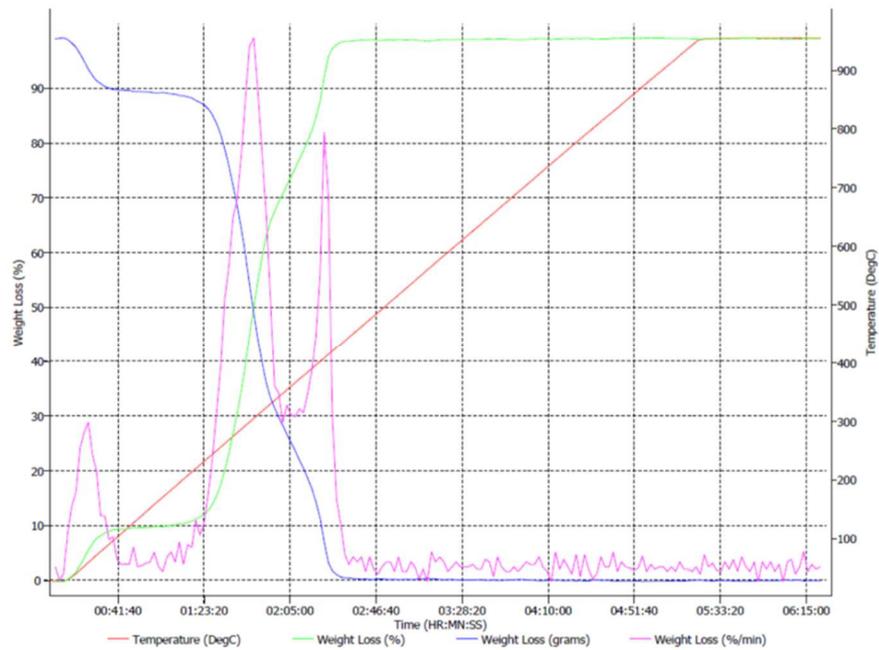


Ilustración 10. Resultados TGA, muestra 5.

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

5.2.1.2 Absorción de agua

Con ayuda de una balanza térmica se midió la capacidad de absorción de agua de la fibra. El calentamiento halógeno precisamente controlado seca las muestras uniformemente y produce resultados repetibles con una legibilidad del 0,01 %. 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 medio litro de agua durante 8 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
Látex natural + humo de sílice	52,59
Hornificación	73,20

Tabla 11. Resultados % humedad.

Fuente: Autor



Ilustración 11. Balanza térmica OHAUS.

Fuente: Autor

5.2.1.3 Flujo

Como se mencionó en el capítulo 4 para determinar la cantidad de agua necesaria para cada una de las muestras fue necesario realizar un ensayo para determinar el flujo, es decir, el ensayo de la mesa de caídas.

El flujo que se busca obtener para cada una de las muestras será de $110\% \pm 5\%$. Ya que según indica el Instituto Ecuatoriano de Normalización en la norma NTE INEN 2 518:2010, este flujo es el más adecuado para trabajos en laboratorio, ya que como se mencionó previamente (2.1.2.1.2) el flujo requerido en obra es mayor ya que se espera que las unidades de mampostería absorban agua del mortero por lo cual será necesario utilizar más agua en la mezcla.

El ensayo de flujo se lo realizó según la norma española UNE-EN 1015-3 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2000), la cual indica lo siguiente:

Los materiales necesarios para realizar el ensayo son los siguientes:

- Una mesa de sacudidas:
 - un bastidor
 - una placa rígida y un disco
 - un eje horizontal y una leva de elevación
 - un eje de elevación
- Un molde troncocónico, de acero inoxidable o de latón, de $60 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de altura, con un diámetro interior de $100 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ en la base y de $70 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ en la parte superior. La superficie interior y los bordes del molde están pulidos. Los planos que contienen los bordes, superior e inferior, son perpendiculares al eje del molde. El espesor mínimo de la pared del molde es de $2,0 \text{ mm}$.
- Un pisón de sección circular, que consiste en una barra rígida, no absorbente, de aproximadamente 40 mm de diámetro y 200 mm de longitud. La superficie de apisonado debe ser plana y perpendicular al eje del pisón. La masa del pisón es de $0,250 \text{ kg} \pm 0,015 \text{ kg}$.

- Un calibre capaz de medir diámetros de hasta 300 mm con una exactitud de 1 mm.
- Una paleta.
- Una regla para enrasar (regla metálica).

Las cantidades de arena, cemento y fibra son las mismas que se utilizan en la elaboración de probetas (4.3.1) para la fase 1.

El proceso se basa en pesar todos los materiales por separado. Luego se procede a mezclar los materiales en una batidora eléctrica apropiada para dicho trabajo con el mismo procedimiento de amasado de la elaboración de las probetas (4.3.2). Con la ayuda de un paño humedecido se limpia la placa de la mesa de sacudidas y el molde troncocónico. Se coloca el molde en el centro de la placa con el lado más ancho hacia abajo. Se coloca el mortero en dos capas, cada capa se debe compactar por lo menos con diez golpes del pisón. Se elimina el exceso con la regla para enrasar. Después de 15 segundos se quita lentamente el molde y se enciende la mesa de sacudidas. Se realizan 15 golpes con una frecuencia de aproximadamente 1 golpe por segundo.

Finalmente se procede a tomar 4 medidas en direcciones diferentes con el calibre. Para obtener el resultado del porcentaje de flujo se suman estos 4 valores.





Ilustración 12. Procedimiento del ensayo de flujo.

Fuente: Autor

Las diferentes pruebas realizadas arrojaron los siguientes resultados:

- Sin fibra (SF)

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	362,5	31	31	31	33	126
540	1620	358,5	31	30	32	31	124
540	1620	345	28	29	28	27	112

Tabla 12. Resultados % flujo, SF.

Fuente: Autor

- Tratamiento 1: Hidróxido de sodio (HS – 2,5 – 0,2)

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	355	4,3	19	19	20	19	77
540	1620	370	4,3	24	25	25	25	99
540	1620	380	4,3	28	28	28	29	113

Tabla 13. Resultados % flujo, HS – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

- Tratamiento 2: Látex natural + humo de sílice (LS – 2,5 – 0,2)

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	345	4,3	26	25	23	23	97
540	1620	355	4,3	29	29	27	29	114

Tabla 14. Resultados % flujo, LS – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

- Tratamiento 3: Hornificación (HR – 2,5 – 0,2)

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	345	4,3	20	21	21	20	82
540	1620	360	4,3	25	24	25	24	98
540	1620	362	4,3	27	26	27	28	108

Tabla 15. Resultados % flujo, HR – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

Por lo tanto, el resumen de los resultados es el que se muestra a continuación.

MATERIALES	MUESTRA			
	SF	HS - 2,5 - 0,2	LS - 2,5 - 0,2	HR - 2,5 - 0,2
Cemento (g)	540	540	540	540
Arena (g)	1620	1620	1620	1620
Agua (g)	345	380	355	362
Fibra (g)	-	4,3	4,3	4,3

Tabla 16. Resultados % flujo. Resumen fase 1.

Fuente: Autor

5.2.1.4 Ensayo de tiempo de fraguado

5.2.1.4.1 VICAT

Este ensayo se realizó en la fase 1 para comparar como afectan los diferentes tratamientos en el tiempo de fraguado.

La pasta de cemento de consistencia normal tiene una resistencia especificada a la penetración de una sonda normalizada. El agua requerida para la preparación de dicha pasta ha sido de agua potable para el mortero sin fibra, y el agua que resulta de haber sumergido las fibras de abacá sometidas a los diferentes tratamientos por 8 horas en agua. El tiempo de fraguado se determina observando la penetración de una aguja en una pasta de cemento de consistencia normal, hasta que alcanza un valor especificado. Este ensayo fue realizado en base a la norma INEN 157.

El laboratorio donde se preparó la muestra y se realizó el ensayo tiene una temperatura de 18-24°C con una humedad relativa del 50%.

El aparato utilizado en este ensayo debe cumplir con las siguientes características. Debe tener una sonda que debe ser de un metal no corrosible y tener la forma de un cilindro recto, con una longitud efectiva de al menos 45 mm y un diámetro de $10,00 \pm 0,05$ mm, por otra parte debe

tener una aguja que debe ser de acero y tener la forma de un cilindro recto con una longitud efectiva de, al menos, 45 mm y un diámetro de $1,13 \pm 0,05$ mm. Su movimiento debe ser exactamente vertical y sin rozamiento apreciable, y sus ejes deben coincidir con el de la aguja. Se ajusta el aparato de Vicat provisto de la aguja, montada antes del ensayo, bajando la aguja hasta que esté en contacto con la placa base que vaya a utilizarse dentro del contenedor y ajustando la puesta a cero en la escala. Se levanta la aguja hasta la posición de espera (Asociación Española de Normalización, 2017).

Para el amasado de la pasta se pesaron 650 g de cemento y una cantidad de agua por ejemplo 160 g. Para verificar que la cantidad de agua sea la correcta se realiza una prueba rápida de determinación de la consistencia, la cuál será explicada posteriormente. Los tiempos para el amasado son los siguientes:

	Parcial	Cronómetro
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 17. Procedimiento de amasado para ensayo de Vicat.

Fuente: Autor

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 por la parte más ancha del mismo. Se enrasa el exceso de pasta en el extremo más

angosto mediante la pasada de un utensilio con borde recto. Una vez listo este paso se procede a la determinación de la consistencia normal.

Para 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 ± 1 mm, en el caso de no obtener esas distancia se repite el ensayo cambiando la cantidad de agua.

Para la determinación del tiempo de fraguado se coloca el molde debajo de la aguja, se suelta la aguja, se esperan 30 segundos y se toma nota del tiempo y de la distancia medida. Se repite las mediciones con un intervalo de tiempo conveniente.

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



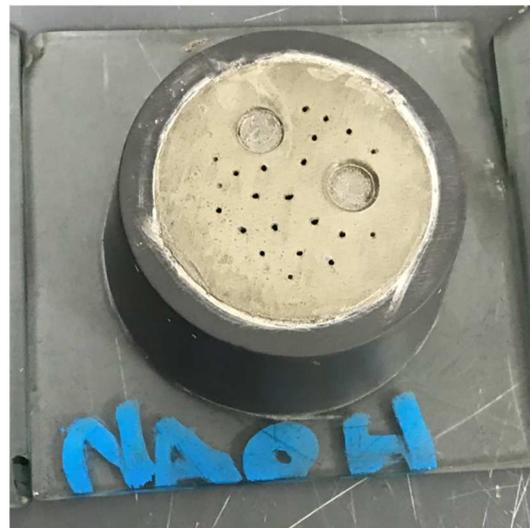


Ilustración 13. Procedimiento del ensayo de tiempo de fraguado Vicat.

Fuente: Autor

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Agua potable (AP)

Cemento (g)	650
Agua (g)	168
	Minutos
Fraguado inicial	136
Fraguado final	535

- Agua – Tratamiento 1: Hidróxido de sodio (HS)

Cemento (g)	650
Agua (g)	170
	Minutos
Fraguado inicial	148
Fraguado final	497

- Agua – Tratamiento 2: Látex natural + humo de sílice (LS)

Cemento (g)	650
Agua (g)	172
	Minutos
Fraguado inicial	137
Fraguado final	479

- Agua – Tratamiento 3: Hornificación (HR)

Cemento (g)	650
Agua (g)	172
	Minutos
Fraguado inicial	156
Fraguado final	461

El resumen de los resultados es el siguiente:

	AP	HS	LS	HR
Fraguado inicial (min)	136	148	137	156
Fraguado final (min)	535	497	479	461

Tabla 18. Resultados tiempo de fraguado Vicat.

Fuente: Autor

5.2.1.4.2 *Holcim Heat*

Holcim Heat es un equipo de monitoreo semi adiabático del calor de hidratación durante la fase de hidratación del cemento que ayuda a registrar el desarrollo de temperatura de una mezcla de pasta o mortero. Se coloca una muestra de mortero en uno de los moldes que se conecta a un sensor, se llenan los datos en el software ThermoCal y se activa la lectura de la celda correspondiente.

La muestra es amasada de la misma forma que se describe en la elaboración de las probetas y con las cantidades señaladas en los resultados del ensayo de flujo. Se llena el molde con 1300 g de muestra.

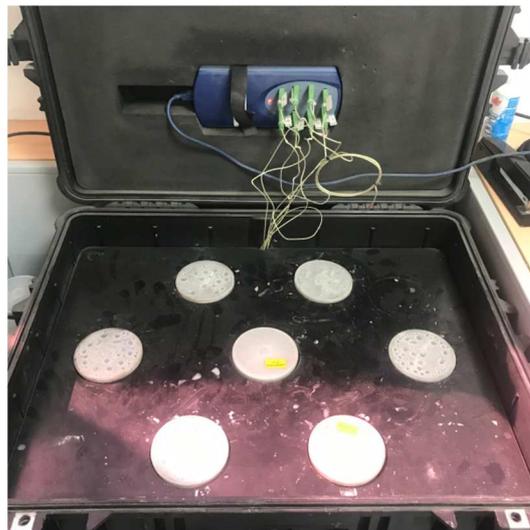


Ilustración 14. Holcim Heat.

Fuente: Autor

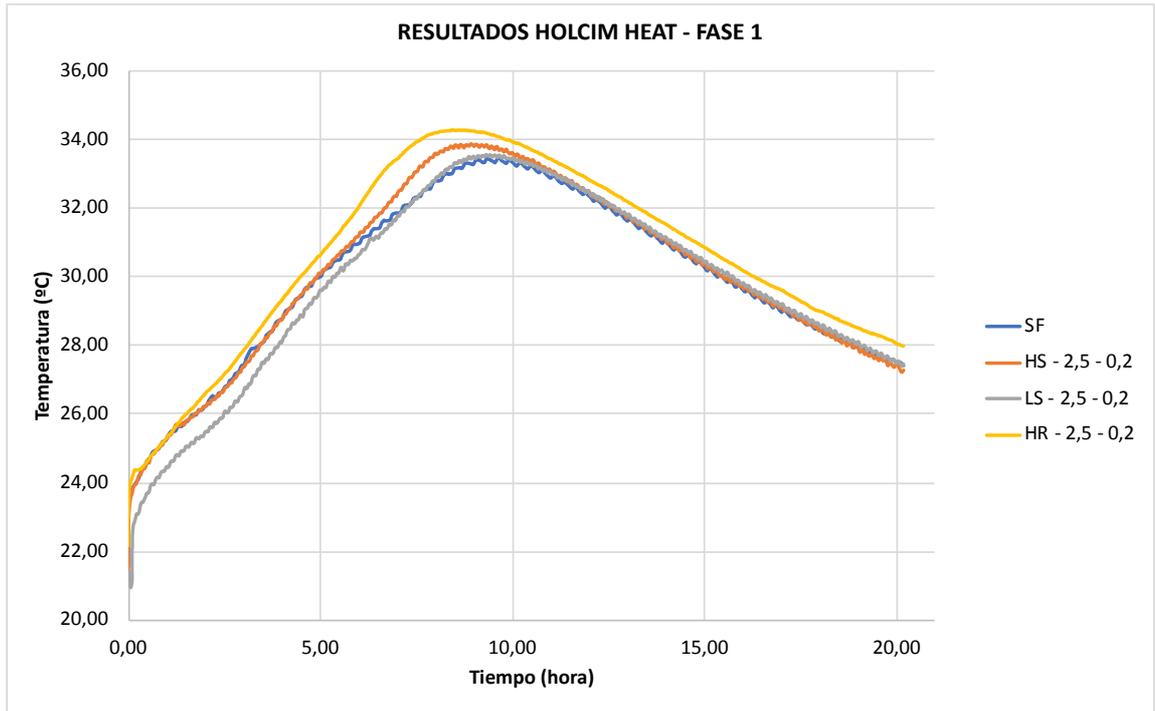


Ilustración 15. Resultados Holcim Heat - Fase 1.

Fuente: Autor

5.2.2 Ensayos posteriores a la elaboración de las probetas

5.2.2.1 Flexo tracción

Para el ensayo de flexotracción se hace uso de las probetas cuya elaboración fue mencionada en el capítulo 4. Para este ensayo es necesario una máquina que cuente con 2 rodillos de apoyo distanciados a 10 cm y un rodillo de carga equidistante de los otros dos.

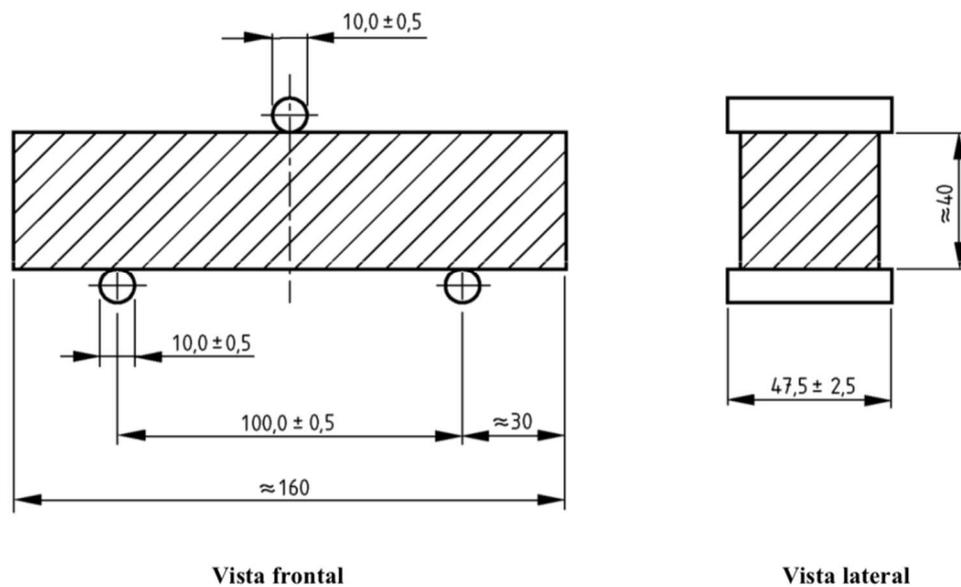


Ilustración 16. Dispositivo de carga para la determinación de la resistencia a flexión.

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

Para el ensayo se debe colocar la probeta con una cara lateral sobre los rodillos de apoyo. Se empieza a aplicar la carga a una velocidad de 50 ± 10 N/s hasta la rotura.

La fórmula para calcular la resistencia a flexión es la siguiente:

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

Ecuación 1. Resistencia a flexión

Dónde:

- 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)

Para calcular el resultado, se ensayaron 3 probetas de cada una de las muestras y el resultado final será el promedio de los 3 resultados individuales, redondeado a 0,1 MPa.



Ilustración 17. Procedimiento del ensayo de flexión.

Fuente: Autor

- Sin fibra (SF)

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	1,00	2,3	2,3
	1,00	2,3	
	1,00	2,3	
14	2,50	5,9	5,9
	2,50	5,9	
	2,50	5,9	
28	3,63	8,5	8,5
	3,62	8,5	
	3,65	8,6	

Tabla 19. Resultados de resistencia a flexión, SF.

Fuente: Autor

- Hidróxido de sodio (HS – 2,5 – 0,2)

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	1,0	2,3	2,3
	1,0	2,3	
	1,0	2,3	
14	2,0	4,7	5,5
	2,5	5,9	
	2,5	5,9	
28	2,9	6,8	7,4
	2,9	6,9	
	3,6	8,5	

Tabla 20. Resultados de resistencia a flexión, HS – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

- Látex natural + humo de sílice (LS – 2,5 – 0,2)

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	2,0	4,7	4,7
	2,0	4,7	
	2,0	4,7	
14	2,5	5,9	6,2
	2,8	6,6	
	2,6	6,1	
28	2,9	6,8	6,5
	2,8	6,6	
	2,7	6,3	

Tabla 21. Resultados de resistencia a flexión, LS – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

- Hornificación (HR – 2,5 – 0,2)

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	1,8	4,2	4,3
	1,9	4,5	
	1,8	4,2	
14	1,8	4,2	4,4
	1,8	4,2	
	2,0	4,7	
28	2,9	6,8	6,9
	3,0	7,1	
	2,9	6,7	

Tabla 22. Resultados de resistencia a flexión, HR – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

El resumen de los resultados es el siguiente:

TRATAMIENTO	EDAD		
	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
SF	2,3	5,9	8,5
HS	2,3	5,5	7,4
LS	4,7	6,2	6,5
HR	4,3	4,4	6,9

Tabla 23. Resultados de resistencia a flexión, resumen fase 1.

Fuente: Autor

5.2.2.2 Compresión

Para el ensayo a compresión se utilizarán los semiprismas que se obtienen luego de realizado el ensayo de flexión. Se ensaya cada uno de los semiprismas en una máquina que posea placas auxiliares cuyos lados midan 40 – 50 mm. Se cargan las caras laterales del semiprisma y se lo ubica de tal forma que la base del prisma no sobresalga mas de 10 mm de las placas auxiliares.

Se empieza a cargar a una velocidad de 2400 ± 200 N/s hasta la rotura.

Para calcular la resistencia a compresión se utiliza la siguiente fórmula:

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

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 calcular el resultado final, se calcula el promedio de los 6 resultados individuales. Si alguno de ellos difiere más del 10% del promedio se descartará ese resultado. Se redondea el resultado final a 0,1 MPa.

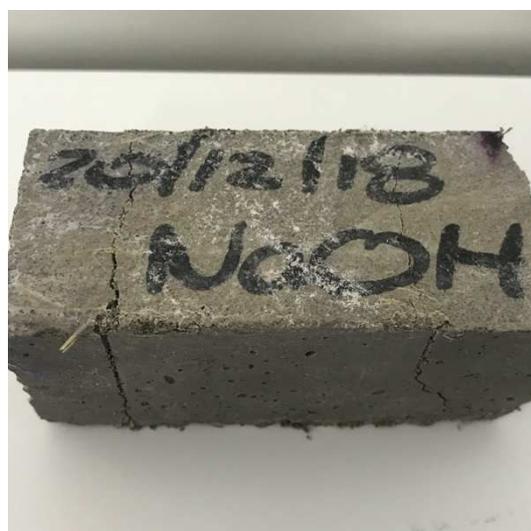
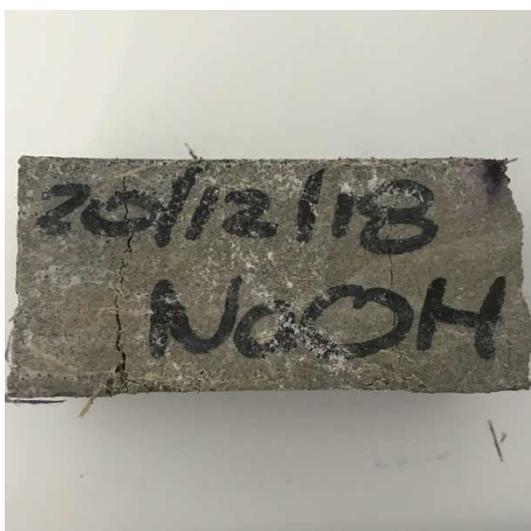


Ilustración 18. Procedimiento del ensayo de compresión.

Fuente: Autor

- Sin fibra (SF)

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	28,0	2000	14,0	14,5
	29,0	2000	14,5	
	28,0	2000	14,0	
	28,0	2000	14,0	
	29,5	2000	14,8	
	31,0	2000	15,5	
14	36,0	2000	18,0	17,8
	37,0	2000	18,5	
	35,5	2000	17,8	
	33,0	2000	16,5	
	38,5	2000	19,3	
	34,0	2000	17,0	
28	29,6	1600	18,5	19,3
	30,2	1600	18,9	
	31,4	1600	19,6	
	30,2	1600	18,9	
	31,8	1600	19,9	
	32,3	1600	20,2	

Tabla 24. Resultados de resistencia a compresión, SF.

Fuente: Autor

- Hidróxido de sodio (HS – 2,5 – 0,2)

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	25,0	2000	12,5	12,5
	25,0	2000	12,5	
	23,0	2000	11,5	
	25,0	2000	12,5	
	26,0	2000	13,0	
	26,5	2000	13,3	
14	26,0	2000	13,0	14,2
	26,5	2000	13,3	
	28,5	2000	14,3	
	29,0	2000	14,5	
	30,2	2000	15,1	
	29,8	2000	14,9	
28	27,6	1600	17,3	16,7
	25,5	1600	15,9	
	24,1	1600	15,1	
	25,2	1600	15,8	
	29,0	1600	18,1	
	28,7	1600	17,9	

Tabla 25. Resultados de resistencia a compresión, HS – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

- Látex natural + humo de sílice (LS – 2,5 – 0,2)

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	24,5	2000	12,3	12,5
	25,5	2000	12,8	
	24,0	2000	12,0	
	25,3	2000	12,7	
	26,0	2000	13,0	
	24,8	2000	12,4	
14	33,0	2000	16,5	17,2
	34,0	2000	17,0	
	33,0	2000	16,5	
	37,0	2000	18,5	
	35,0	2000	17,5	
	34,0	2000	17,0	
28	23,1	1600	14,4	15,9
	24,2	1600	15,1	
	27,9	1600	17,4	
	26,6	1600	16,6	
	26,1	1600	16,3	
	24,8	1600	15,5	

Tabla 26. Resultados de resistencia a compresión, LS – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

- Hornificación (HR – 2,5 – 0,2)

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	23,0	2000	11,5	12,3
	25,5	2000	12,8	
	23,8	2000	11,9	
	25,5	2000	12,8	
	25,2	2000	12,6	
	25,0	2000	12,5	
14	36,2	2000	18,1	17,1
	34,0	2000	17,0	
	32,6	2000	16,3	
	33,0	2000	16,5	
	35,0	2000	17,5	
	34,0	2000	17,0	
28	33,4	1600	20,9	19,7
	29,6	1600	18,5	
	28,7	1600	17,9	
	30,1	1600	18,8	
	32,9	1600	20,6	
	34,6	1600	21,6	

Tabla 27. Resultados de resistencia a compresión, HR – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

Resumen de resultados:

TRATAMIENTO	EDAD		
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
SF	14,5	17,8	19,3
HS	12,5	14,2	16,7
LS	12,5	17,2	15,9
HR	12,3	17,1	19,7

Tabla 28. Resultados de resistencia a compresión, resumen fase 1.

Fuente: Autor

5.3 Fase 2: Tamaño y dosificación

En esta fase se realizaron solo los ensayos necesarios para comparar el comportamiento del mortero con fibras de abacá cuando varía el tamaño y la dosificación. Los procesos de los ensayos son exactamente iguales a los mencionados en la fase 1, por lo tanto, en esta sección sólo se mostrarán los resultados de la fase 2.

5.3.1 Ensayos previos a la elaboración de las probetas

5.3.1.1 Flujo

- LS – 2,0 – 0,2

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	355	4,3	25	23	27	26	101
540	1620	360	4,3	28	29	26	25	108

Tabla 29. Resultados % flujo, LS – 2,0 – 0,2.

Fuente: Autor

- LS – 2,0 – 0,3

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	360	6,5	25	27	28	26	106

Tabla 30. Resultados % flujo, LS – 2,0 – 0,3.

Fuente: Autor

- LS – 2,0 – 0,4

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	360	8,6	24	25	26	25	100
540	1620	365	8,6	27	27	28	27	109

Tabla 31. Resultados % flujo, LS – 2,0 – 0,4.

Fuente: Autor

- LS – 2,5 – 0,2

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	345	4,3	26	25	23	23	97
540	1620	355	4,3	29	29	27	29	114

Tabla 32. Resultados % flujo, LS – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

- LS – 2,5 – 0,3

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	355	6,5	25	27	28	25	105

Tabla 33. Resultados % flujo, LS – 2,5 – 0,3.

Fuente: Autor

- LS – 2,5 – 0,4

Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)	D1	D2	D3	D4	% FLUJO
540	1620	355	8,6	24	26	25	23	98
540	1620	365	8,6	26	25	26	27	104
540	1620	370	8,6	29	30	29	30	118
540	1620	367	8,6	27	26	28	28	109

Tabla 34. Resultados % flujo, LS – 2,5 – 0,4.

Fuente: Autor

El resumen de los resultados es como se muestra a continuación:

MATERIALES	MUESTRA					
	LS - 2,0 - 0,2	LS - 2,0 - 0,3	LS - 2,0 - 0,4	LS - 2,5 - 0,2	LS - 2,5 - 0,3	LS - 2,5 - 0,4
Cemento (g)	540	540	540	540	540	540
Arena (g)	1620	1620	1620	1620	1620	1620
Agua (g)	360	360	365	355	355	367
Fibra (g)	4,3	6,5	8,6	4,3	6,5	8,6

Tabla 35. Resultados % flujo. Resumen fase 2.

Fuente: Autor

5.3.1.2 Ensayo de tiempo de fraguado

5.3.1.2.1 Holcim Heat

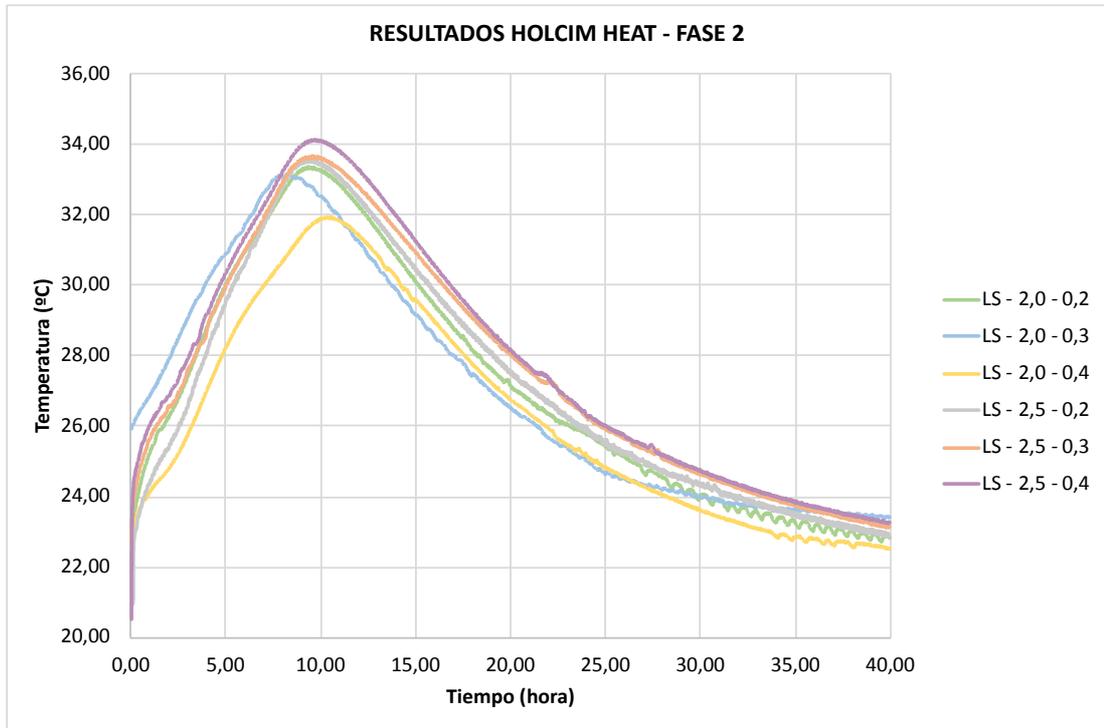


Ilustración 19. Resultados Holcim Heat - Fase 2.

Fuente: Autor

5.3.2 Ensayos posteriores a la elaboración de las probetas

5.3.2.1 Flexo tracción

- LS – 2,0 – 0,2

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	2,3	5,4	5,1
	2,0	4,8	
14	2,3	5,5	5,5
	2,3	5,4	
28	3,4	7,9	7,5
	3,0	7,1	

Tabla 36. Resultados de resistencia a flexión, LS – 2,0 – 0,2.

Fuente: Autor

- LS – 2,0 – 0,3

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	2,1	4,9	5,3
	2,5	5,7	
14	2,5	5,8	5,8
	2,5	5,8	
28	2,8	6,6	6,7
	2,9	6,8	

Tabla 37. Resultados de resistencia a flexión, LS – 2,0 – 0,3.

Fuente: Autor

- LS – 2,0 – 0,4

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	2,2	5,2	5,5
	2,5	5,8	
14	2,7	6,3	6,4
	2,7	6,4	
28	3,4	7,9	8,1
	3,5	8,3	

Tabla 38. Resultados de resistencia a flexión, LS – 2,0 – 0,4.

Fuente: Autor

- LS – 2,5 – 0,2

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	2,0	4,7	4,7
	2,0	4,7	
14	2,8	6,6	6,3
	2,6	6,1	
28	2,9	6,8	6,5
	2,7	6,3	

Tabla 39. Resultados de resistencia a flexión, LS – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

- LS – 2,5 – 0,3

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	2,0	4,6	5,2
	2,5	5,8	
14	2,4	5,6	6,0
	2,7	6,4	
28	2,9	6,8	7,5
	3,5	8,2	

Tabla 40. Resultados de resistencia a flexión, LS – 2,5 – 0,3.

Fuente: Autor

- LS – 2,5 – 0,4

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	1,9	4,4	4,6
	2,0	4,7	
14	2,3	5,4	5,5
	2,4	5,7	
28	2,9	6,8	6,8
	2,9	6,9	

Tabla 41. Resultados de resistencia a flexión, LS – 2,5 – 0,4.

Fuente: Autor

Resumen de resultados:

TRATAMIENTO	TAMAÑO (cm)	DOSIFICACIÓN	EDAD		
			7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
LS	2,0	0,2%	5,1	5,5	7,5
		0,3%	5,3	5,8	6,7
		0,4%	5,5	6,4	8,1
	2,5	0,2%	4,7	6,3	6,5
		0,3%	5,2	6,0	7,5
		0,4%	4,6	5,5	6,8

Tabla 42. Resultados de resistencia a flexión, resumen fase 2.

Fuente: Autor

5.3.2.2 Compresión

- LS – 2,0 – 0,2

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	21,3	1600	13,3	12,4
	19,1	1600	11,9	
	20,4	1600	12,8	
	18,8	1600	11,8	
14	23,4	1600	14,6	15,0
	24,3	1600	15,2	
	23,9	1600	14,9	
	24,1	1600	15,1	
28	25,3	1600	15,8	16,0
	25,1	1600	15,7	
	25,7	1600	16,1	
	26,3	1600	16,4	

Tabla 43. Resultados de resistencia a compresión, LS – 2,0 – 0,2.

Fuente: Autor

- LS – 2,0 – 0,3

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	21,3	1600	13,3	14,0
	21,2	1600	13,3	
	24,3	1600	15,2	
	23,0	1600	14,4	
14	24,3	1600	15,2	15,7
	25,6	1600	16,0	
	24,3	1600	15,2	
	26,4	1600	16,5	
28	27,9	1600	17,4	18,2
	28,2	1600	17,6	
	30,6	1600	19,1	
	30,0	1600	18,8	

Tabla 44. Resultados de resistencia a compresión, LS – 2,0 – 0,3.

Fuente: Autor

- LS – 2,0 – 0,4

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	20,2	1600,0	12,6	13,4
	23,5	1600,0	14,7	
	21,4	1600,0	13,4	
	20,4	1600,0	12,8	
14	28,5	1600,0	17,8	17,5
	27,0	1600,0	16,9	
	28,7	1600,0	17,9	
	28,0	1600,0	17,5	
28	29,8	1600,0	18,6	18,7
	29,5	1600,0	18,4	
	29,6	1600,0	18,5	
	30,7	1600,0	19,2	

Tabla 45. Resultados de resistencia a compresión, LS – 2,0 – 0,4.

Fuente: Autor

- LS – 2,5 – 0,2

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	24,5	2000,0	12,3	12,4
	25,4	2000,0	12,7	
	24,0	2000,0	12,0	
	25,2	2000,0	12,6	
14	34,0	2000,0	17,0	17,4
	33,0	2000,0	16,5	
	37,0	2000,0	18,5	
	35,0	2000,0	17,5	
28	23,1	1600,0	14,4	15,9
	24,2	1600,0	15,1	
	27,9	1600,0	17,4	
	26,6	1600,0	16,6	

Tabla 46. Resultados de resistencia a compresión, LS – 2,5 – 0,2.

Fuente: Autor

- LS – 2,5 – 0,3

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	22,4	1600,0	14,0	13,5
	21,6	1600,0	13,5	
	20,0	1600,0	12,5	
	22,4	1600,0	14,0	
14	24,1	1600,0	15,1	15,7
	25,6	1600,0	16,0	
	25,2	1600,0	15,8	
	25,8	1600,0	16,1	
28	30,2	1600,0	18,9	17,2
	27,2	1600,0	17,0	
	27,1	1600,0	16,9	
	25,3	1600,0	15,8	

Tabla 47. Resultados de resistencia a compresión, LS – 2,5 – 0,3.

Fuente: Autor

- LS – 2,5 – 0,4

EDAD (DÍAS)	CARGA (kN)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
7	19,1	1600,0	11,9	11,6
	17,2	1600,0	10,8	
	19,4	1600,0	12,1	
	18,5	1600,0	11,6	
14	21,2	1600,0	13,3	13,8
	22,7	1600,0	14,2	
	23,0	1600,0	14,4	
	21,7	1600,0	13,6	
28	23,6	1600,0	14,8	15,5
	24,0	1600,0	15,0	
	24,1	1600,0	15,1	
	27,2	1600,0	17,0	

Tabla 48. Resultados de resistencia a compresión, LS – 2,5 – 0,4.

Fuente: Autor

Resumen de resultados:

TRATAMIENTO	TAMAÑO (cm)	DOSIFICACIÓN	EDAD		
			7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
LS	2,0	0,2%	12,4	15,0	16,0
		0,3%	14,0	15,7	18,2
		0,4%	13,4	17,5	18,7
	2,5	0,2%	12,4	17,4	15,9
		0,3%	13,5	15,7	17,2
		0,4%	11,6	13,8	15,5

Tabla 49. Resultados de resistencia a compresión, resumen fase 2.

Fuente: Autor

5.4 Análisis de resultados

67

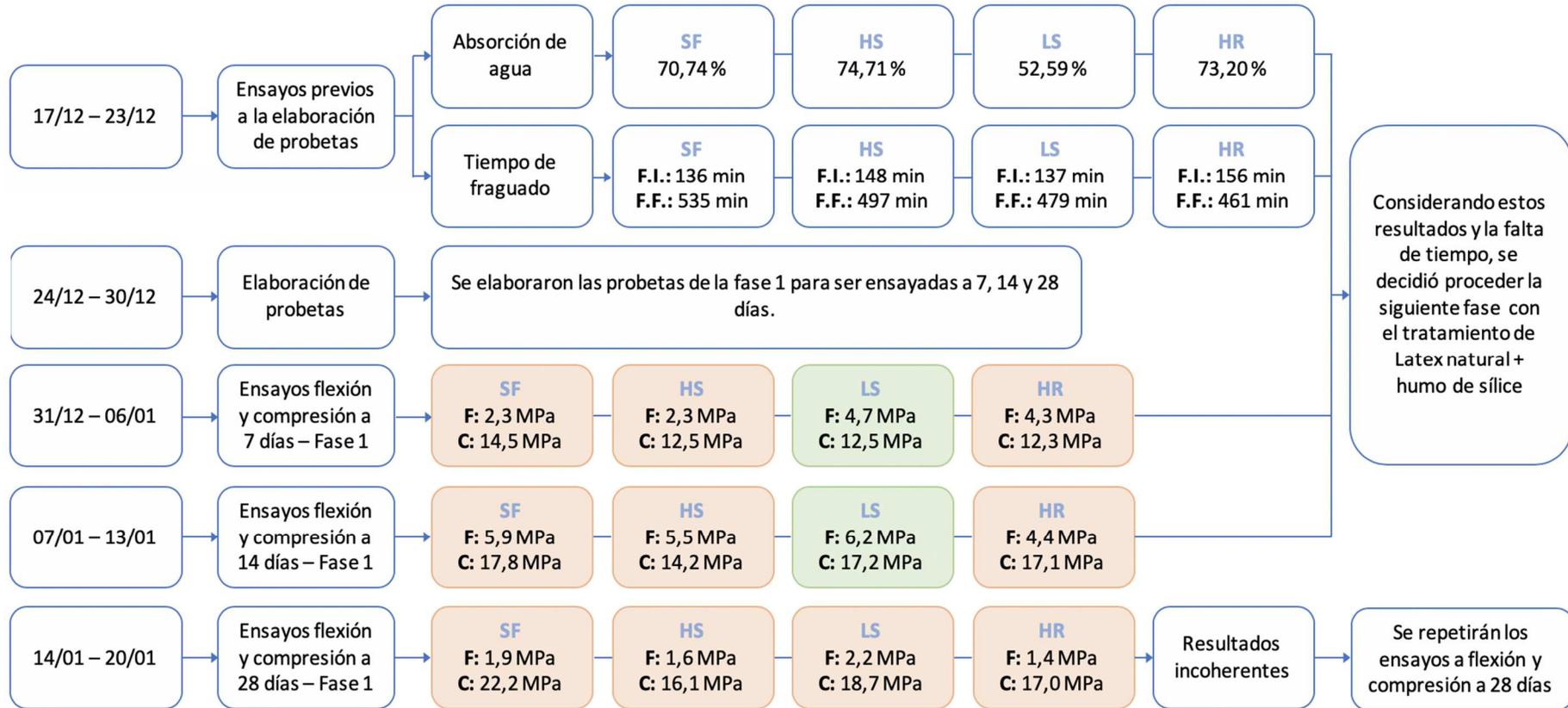


Ilustración 20. Cronograma fase 1.

Fuente: Autor

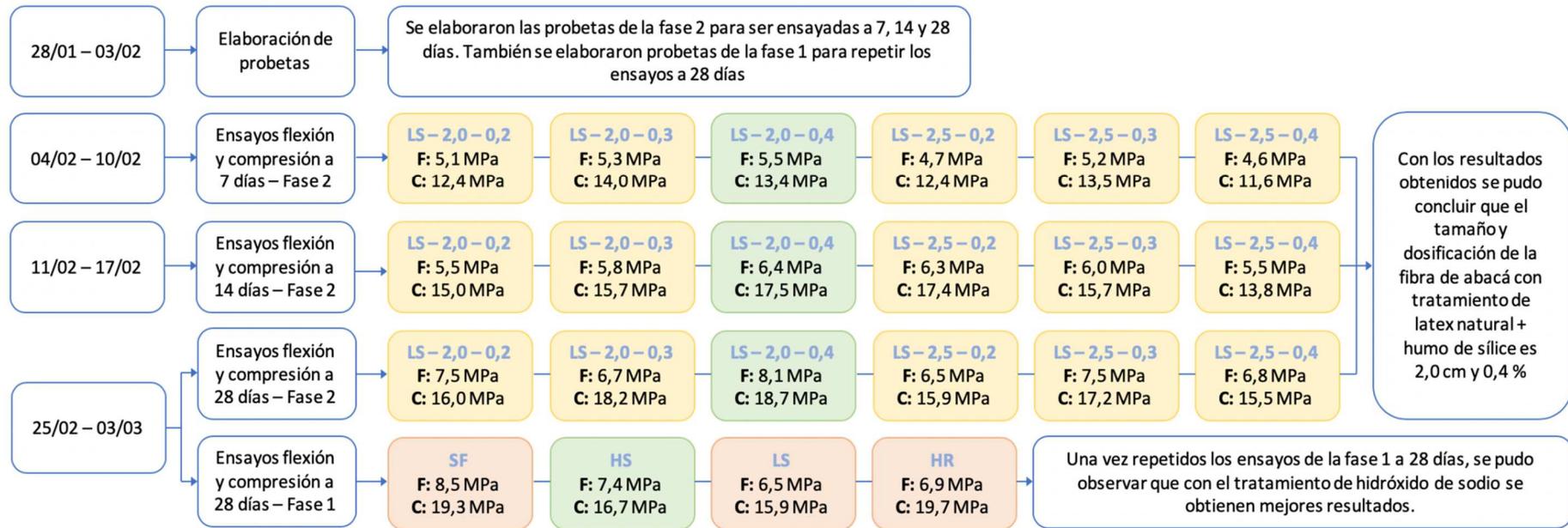


Ilustración 21. Cronograma fase 2.

Fuente: Autor

Tal y como se muestra en el cronograma, en la fase 1 se consideraron los resultados de los ensayos de absorción de agua, tiempo de fraguado y flexión y compresión a 7 y 14 días para elegir el tratamiento más adecuado para proseguir con la fase 2.

Los resultados de los ensayos a flexión y compresión a 28 días se consideraron incoherentes debido que no es normal que las resistencias sean más bajas a los 28 días, y también porque luego de realizados los ensayos se pudo comprobar que hubo una falla en la prensa que se estaba utilizando para dichos ensayos.

Sin embargo, dado que existe un cronograma limitado para la entrega del presente trabajo no era posible esperar a repetir los ensayos a 28 días para luego continuar con la fase 2. Por lo tanto, como se menciona en el cronograma, se eligió el tratamiento de latex natural + humo de sílice como el tratamiento con mejores resultados en los ensayos antes mencionados.

Posteriormente se continuó con la fase 2 de este trabajo, es decir se utilizaron diferentes tamaños y dosis de la fibra de abacá con el tratamiento previamente seleccionado.

También se elaboraron probetas con las muestras de la fase 1 con el fin de repetir los ensayos a flexión y compresión a 28 días y de esta forma poder presentar un informe completo de los resultados.

Una vez realizados los ensayos de la fase 2, se pudo observar que el tamaño más adecuado es 2,0 cm con una dosificación de 0,4% (porcentaje del peso del cemento y arena).

Y al repetir los ensayos de flexión y compresión de las muestras de la fase 1 se encontró que el tratamiento que presenta mejores resultados en el tratamiento de hidróxido de sodio.

CAPÍTULO VI

6 Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

El propósito de este trabajo es demostrar la influencia del tratamiento, tamaño y dosificación de la fibra de abacá en el mortero. Para poder cumplir con este propósito se dividió el trabajo en dos fases.

En la primera fase se analizó la influencia del tratamiento más adecuado de la fibra de abacá. Con los ensayos de tiempo de fraguado se pudo observar que al adicionar fibra de abacá con diferentes tratamientos en la mezcla del mortero esto no influye drásticamente en el tiempo inicial y tiempo final de fraguado. Lo mismo se pudo observar en los resultados de Holcim Heat, ya que las curvas son muy similares unas con otras.

Los ensayos con los cuales se pudo demostrar una diferencia cuantitativa de la influencia de los diferentes tratamientos fueron los ensayos a flexión y compresión. En este trabajo se mencionó previamente que se dará prioridad el ensayo de flexión, sin embargo, se puede considerar como dato adicional los resultados de los ensayos a compresión.

Dicho esto, con los resultados de los ensayos a flexión a 7 y 14 días se pudo notar una mejora en la resistencia a flexión con la fibra de abacá con látex natural + humo de sílice. A 7 días presentó una resistencia 104% mayor que la resistencia del mortero sin fibra. A 14 días 5% mayor que el mortero sin fibra.

Con el ensayo de absorción de agua el tratamiento de látex natural + humo de sílice presentó 18,15% menos de absorción que la fibra de abacá sin tratamiento, mientras que el resto de tratamiento presentó mayor absorción. Siendo esto un dato importante ya que como se mencionó anteriormente uno de los problemas fundamentales del uso de fibras naturales en matrices cementicias es la degradación que presenta la misma y la absorción de agua ayuda a la degradación. Con estos resultados se determinó que dicho tratamiento era el más adecuado para mejorar el comportamiento del mortero con fibra de abacá.

Sin embargo, como se dijo anteriormente, dado que se presentó una falla con la prensa que se estaba utilizando, cuando se repitieron los ensayos de flexión de esta fase resultó que la muestra del mortero sin fibra fue aquella que tuvo mayor resistencia a flexión, y entre las muestras que tenían fibra de abacá con tratamiento, fue la muestra de fibra de abacá con tratamiento de hidróxido de sodio la que obtuvo mejores resultados, a pesar de que su resistencia a flexión es 13% menor que la muestra de mortero sin fibra.

Pero algo que se pudo notar mientras se realizaban dicho ensayos fue el comportamiento del mortero al ser sometido a una carga, tanto a flexión como a compresión. Es decir, las muestras de mortero que no tenían fibra al momento de fallar se desmoronaban y perdían totalmente su forma. Mientras que las muestras de los mortero con fibra de abacá al momento de fallar, las fibras mantenían unidas sus partes sin permitir que la muestra se quiebre en pedazos. Por lo tanto, a pesar de obtener menores resistencias a flexión con las muestras con fibra de abacá, se recomienda el uso de la fibra ya que ayuda a un mejor comportamiento del mortero al momento de fallar, lo cual es importante al estar ubicados en un país donde los sismos resultan ser constantes.

Con respecto a la fase 2, dado a que se la realizó con el tratamiento de látex natural + humo de sílice, tampoco se notaron diferencias notables en el tiempo de fraguado medido en HolcimHeat. Por lo tanto, al igual que en la fase 1, son los resultados de la resistencia a flexión los que ayudaron a decidir cual es el tratamiento y dosificación más adecuada.

Fue la muestra LS – 2,0 – 0,4 la que presentó mayores resultados a 7, 14 y 28 días. Por lo tanto, para el uso de fibra de abacá con tratamiento de látex natural + humo de sílice se recomienda utilizar un tamaño de fibra de 2,0 cm y una dosificación de 0,4% (porcentaje del peso del cemento y arena).

6.2 Recomendaciones

Se recomienda una segunda etapa de este trabajo donde se pueda evaluar la influencia de los diferentes tamaños y dosificaciones de la fibra de abacá con el tratamiento de hidróxido de sodio, ya que este fue el que presentó

mayores resultados de resistencia de flexión a 28 días, dado que como se mencionó previamente, en este trabajo no pudo ser evaluado por falta de tiempo.

El personal de Holcim Ecuador S.A., compañía que facilitó las instalaciones de sus laboratorios para la realización de los diferentes ensayos, recomienda realizar ensayos de retención de agua y de adherencia, ya que en dicho laboratorio se cuenta con el equipo necesario para esto y como se menciona en el capítulo 2, estas son propiedades importantes del mortero.

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 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*.
- 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*.
- 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.
- 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



Designation: C1180 – 18

Standard Terminology of Mortar and Grout for Unit Masonry¹

This standard is issued under the fixed designation C1180; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope*

1.1 This terminology covers terms, definitions of terms, descriptions of terms, nomenclature, and explanations of abbreviations, acronyms, and symbols specifically associated with standards under the jurisdiction of ASTM Committee C12 on Mortars and Grouts for Unit Masonry.

1.2 The definitions and descriptions of terms in this terminology pertain to Test Methods C780, C1019, C1148, C1324, and C1403; Specifications C144, C270, C404, C476, C887, C1142, and C1384; Practice C946; and Guide C1586.

1.3 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- C144 Specification for Aggregate for Masonry Mortar
- C270 Specification for Mortar for Unit Masonry
- C404 Specification for Aggregates for Masonry Grout
- C476 Specification for Grout for Masonry
- C780 Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry
- C887 Specification for Packaged, Dry, Combined Materials for Surface Bonding Mortar
- C946 Practice for Construction of Dry-Stacked, Surface-Bonded Walls
- C1019 Test Method for Sampling and Testing Grout
- C1142 Specification for Extended Life Mortar for Unit Masonry

¹ This terminology is under the jurisdiction of ASTM Committee C12 on Mortars and Grouts for Unit Masonry and is the direct responsibility of Subcommittee C12.08 on Terminology.

Current edition approved Dec. 1, 2018. Published December 2018. Originally approved in 1991. Last previous edition approved in 2010 as C1180 – 10. DOI: 10.1520/C1180-18.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- C1148 Test Method for Measuring the Drying Shrinkage of Masonry Mortar
- C1232 Terminology for Masonry
- C1324 Test Method for Examination and Analysis of Hardened Masonry Mortar
- C1384 Specification for Admixtures for Masonry Mortars
- C1403 Test Method for Rate of Water Absorption of Masonry Mortars
- C1586 Guide for Quality Assurance of Mortars

3. Terminology

3.1 The definitions in this terminology are specific to mortar and grout. For terminology specific to (1) clay masonry units; (2) concrete masonry units; (3) autoclaved aerated concrete masonry units; (4) roofing tile units; and (5) masonry, see Terminology C1232.

3.2 Terms and Their Definitions:

admixture, *n*—substance other than the Specification C270 prescribed materials of water, aggregate, and cementitious materials that is added to a masonry mortar as an ingredient to improve one or more chemical or physical properties of the conventional masonry mortar.

aggregates, *n*—a granular mineral material such as natural sand, manufactured sand, gravel, crushed stone, and air cooled blast furnace slag.

cementitious material, *n*—Committee C12 standards for mortar and grout consider the following as cementitious materials: Hydraulic cements, pozzolans, hydrated lime, lime putty, and ground granulated blast furnace slag.

DISCUSSION—Hydraulic cements (such as portland cement, blended cement, masonry cement, and mortar cement) react with water to harden and will do so under water. Pozzolans (such as coal fly ash, raw, or calcined natural pozzolans) react with lime in the presence of moisture. Hydrated lime and lime putty react with carbon dioxide from the air. Ground granulated blast furnace slag, blended cements, and some pozzolans may exhibit both hydraulic and pozzolanic properties.

compressive strength, *n*—the maximum compressive load which a specimen will support divided by the cross-sectional area of the specimen.

durability, *n*—the ability of a material to resist weathering action, chemical attack, abrasion, and other conditions of service.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

flow, *n*—a laboratory measured mortar property that indicates the percent increase in diameter of the base of the truncated cone of mortar when it is placed on a flow table, and mechanically raised and dropped specified times under specified conditions.

gradation, *n*—the particle size distribution of aggregate as determined by separation with standard screens.

DISCUSSION—Gradation of aggregate is expressed in terms of the individual percentages passing standard screens. Sieve analysis and screen analysis are synonyms when referring to gradation of aggregate.

grout, *n*—a mixture of cementitious materials, aggregates, water, with or without admixtures, initially produced to pouring consistency without segregation.

DISCUSSION—Requirements for grout are contained in Specification C476.

mortar, *n*—a mixture consisting of cementitious materials, fine aggregate, water, with or without admixtures, that is used to construct unit masonry assemblies.

mortar bond or grout bond, *n*—adhesion between mortar or grout and masonry units, reinforcement, or connectors.

repoint, *v*—to remove defective mortar and place properly prehydrated plastic mortar into mortar joints.

shrinkage, *n*—a decrease in volume due to chemical reaction or drying.

tuck point, *v*—(1) (*historical*) to point masonry with a flush mortar joint that approximates the color of the masonry units and then add a mortar strip of contrasting color such that a narrow mortar joint width is simulated. (2) regional term for repoint.

water retention, *n*—the measured physical property of a plastic mortar indicating its ability, under suction, to retain its mixing water.

water retentivity, *n*—a characteristic of plastic mortar describing its ability to retain its mixing water.

workability, *n*—the ability of mortar to be easily placed and spread.

3.3 Definitions of Terms Specific to Indicated Standards:

admixed mortar, *n*—masonry mortar that deviates from those combinations of materials recognized by Specification C270 in that it also contains an admixture. **C1384**

bond enhancer, *n*—admixture incorporated into a masonry mortar to increase the bond strength between the mortar and the masonry unit. **C1384**

mortar, extended life, *n*—a product consisting of cementitious materials, aggregate, water, and set-control admixtures

which are measured and mixed at a central location using weight-or-volume-control equipment. This mortar as delivered to a construction site shall be usable for a period in excess of 2½ h. **C1142**

mortar, surface bonding, *n*—a product designed to secure masonry units to each other by means of an exterior coating consisting of cementitious materials, glass fiber reinforcement with or without inorganic fillers, or organic modifiers in a prepackaged form requiring only the addition of water prior to application. **C887**

reference mortar, *n*—mortar of the same composition as an admixed mortar except that the reference mortar does not include the admixture and may contain a different amount of water to obtain an equivalent flow or penetration as the admixed mortar. **C1384**

sample, batch mixer, *n*—mortar obtained during or immediately after the discharge of the mortar from the batch mixer. **C780**

sample, disturbed, *n*—any plastic mortar test sample which is taken at some time after mixing and bulk sampling, that is further remixed or molded immediately prior to test, or both. **C780**

sample, mortar board, *n*—plastic mortar obtained from the mortar board after some established time period from the end of mixing, and before retempering.

DISCUSSION—Retempered mortarboard samples are those obtained from the mortarboard after retempering. Since mortar on a mason's mortarboard is disturbed by the activity of the mason, samples from a mason's mortarboard shall be so identified to differentiate them from samples taken from a mortarboard used exclusively for test purposes. **C780**

sample, undisturbed, *n*—any plastic mortar test sample molded immediately after mixing and sampling. **C780**

DISCUSSION—This sample is allowed to set on a vibration-free surface until tested.

set accelerator, *n*—admixture incorporated into a masonry mortar to shorten the time of setting of a mortar. **C1384**

set retarder, *n*—admixture incorporated into a masonry mortar to lengthen the time of setting of a mortar. **C1384**

water repellent, *n*—admixture incorporated into a masonry mortar to decrease the rate of water absorption of the hardened mortar. **C1384**

workability enhancer, *n*—admixture incorporated into a masonry mortar to increase the ease of being worked and used. A workability enhancer will increase the board life and maintain the water retention of a mortar. **C1384**



C1180 – 18

SUMMARY OF CHANGES

Committee C12 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (C1180 – 10) that may impact the use of this standard. (December 1, 2018)

(1) Changed the definitions of *gradation* and *grout*.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>

norma española

UNE-EN 196-1

Noviembre 2005

TÍTULO

Métodos de ensayo de cementos

Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas

Methods of testing cement. Part 1: Determination of strength.

Méthodes d'essais des ciments. Partie 1: Détermination des résistances mécaniques.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 196-1 de febrero de 2005.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 196-1 de abril de 1996.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 80 *Cementos y Cales* cuya Secretaría desempeña OFICEMEN.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 46284:2005

© AENOR 2005
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

35 Páginas

Grupo 22

Este documento forma parte de la biblioteca de UNIVERSIDAD DE GRANADA-BIBLIOTECA

Versión en español

Métodos de ensayo de cementos
Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas

Methods of testing cement. Part 1:
Determination of strength.

Méthodes d'essais des ciments. Partie 1:
Détermination des résistances mécaniques.

Prüfverfahren für Zement. Teil 1:
Bestimmung der Festigkeit.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2004-12-29. 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 el Centro de Gestión 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 al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquellas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, 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
CENTRO DE GESTIÓN: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

© 2005 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO	6
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	8
2 NORMAS PARA CONSULTA	8
3 FUNDAMENTO	8
4 LABORATORIO Y EQUIPO	9
4.1 Laboratorio.....	9
4.2 Requisito generales del equipo	9
4.3 Tamices de ensayo.....	9
4.4 Amasadora.....	10
4.5 Moldes.....	11
4.6 Compactadora.....	15
4.7 Máquina de ensayo para resistencia a flexión	16
4.8 Máquina de ensayo para la resistencia a compresión	17
4.9 Dispositivo para la máquina de ensayo de resistencia a compresión	18
4.10 Balanza.....	19
4.11 Temporizador.....	19
5 COMPONENTES DEL MORTERO	20
5.1 Arena.....	20
5.2 Cemento	20
5.3 Agua	21
6 PREPARACIÓN DEL MORTERO	21
6.1 Composición del mortero	21
6.2 Amasado del mortero.....	21
7 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO	21
7.1 Tamaño de las probetas	21
7.2 Enmoldado de las probetas	21
8 ACONDICIONAMIENTO DE LAS PROBETAS	22
8.1 Manipulación y conservación antes de desmoldar	22
8.2 Desmoldeado de las probetas	22
8.3 Curado de las probetas en agua	22
8.4 Edad de las probetas para los ensayos de resistencia mecánicas	23
9 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	23
9.1 Resistencia a flexión	23
9.2 Resistencia a compresión	24
10 RESULTADOS	24
10.1 Resistencia a flexión	24
10.2 Resistencia a compresión	24

11	ENSAYOS DE VALIDACIÓN DE LA ARENA NORMALIZADA CEN Y DEL EQUIPO ALTERNATIVO DE COMPACTACIÓN	26
11.1	Generalidades	26
11.2	Ensayos de validación de la arena normalizada CEN	26
11.3	Ensayos de validación del equipo alternativo de compactación	29
ANEXO A (Normativo)	EQUIPO ALTERNATIVO DE VIBRACIÓN, COMPACTACIÓN Y PROCEDIMIENTOS VALIDADOS COMO EQUIVALENTES AL EQUIPO DE COMPACTACIÓN DE REFERENCIA Y SU PROCEDIMIENTO	31

PRÓLOGO

Esta Norma Europea EN 196-1:2005 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 51 *Cemento y cales de construcción*, cuya Secretaría desempeña IBN/BIN.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de agosto de 2005, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de agosto de 2005.

Esta norma anula y sustituye a la Norma EN 196-1:1994.

La Norma Europea EN 196 sobre métodos de ensayo de cementos consta de las siguientes partes:

EN 196-1 – *Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.*

EN 196-2 – *Métodos de ensayo de cementos. Parte 2: Análisis químico de cementos.*

EN 196-3 – *Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.*

EN 196-5 – *Métodos de ensayo de cementos. Parte 5: Ensayo de puzolanidad para cementos puzolánicos.*

EN 196-6 – *Métodos de ensayo de cementos. Parte 6: Determinación de la finura.*

EN 196-7 – *Métodos de ensayo de cementos. Parte 7: Métodos de toma y preparación de muestras de cemento.*

EN 196-8 – *Métodos de ensayo de cementos. Parte 8: Determinación del calor de hidratación. Método por disolución.*

EN 196-9 – *Métodos de ensayo de cementos. Parte 9: Determinación del calor de hidratación. Método semiadiabático.*

NOTA – Previamente existía la Norma Experimental ENV 196-21 – *Métodos de ensayo de cementos. Parte 21: Determinación del contenido de cloruros, dióxido de carbono y álcalis del cemento*, que se ha revisado e incorporado en la Norma EN 196-2.

Se ha preparado otro documento, la Norma Experimental ENV 196-4 – *Métodos de ensayo de cementos. Parte 4: Determinación cuantitativa de los componentes*, que será publicada como Informe Técnico CEN.

Esta nueva edición de la Norma EN 196-1 incorpora las siguientes modificaciones técnicas basadas en los comentarios recibidos en la Secretaría.

- a) El procedimiento de ensayo se ha revisado en lo que se refiere a la dureza y la textura superficial de los moldes (véase el apartado 4.5) y las placas de la máquina de ensayo para la resistencia a compresión (véase el apartado 4.8); la idoneidad del aceite para el moldeo (véase el apartado 4.5); la frecuencia de operación de la compactadora (véase el apartado 4.6); la inclusión y precisión de la balanza (véase el apartado 4.10); se permite el agua desionizada (véase el apartado 5.3); se han revisado los procedimientos para el amasado del mortero (véase el apartado 6.2), la preparación de las probetas (véase el capítulo 7) y el acondicionamiento de las mismas (véase el capítulo 8), todo ello, para reflejar la práctica habitual en la actualidad.

- b) Los resultados de ensayo (véase el capítulo 10) se indican ahora en megapascales, reemplazando a los newtons por milímetro cuadrado. (Un megapascal es equivalente a un newton por milímetro cuadrado).
- c) El requisito para la máquina de ensayo para la resistencia a flexión (véase el apartado 4.7) es ahora opcional.
- d) Se han revisado las estimaciones de la precisión de los ensayos de resistencia a compresión (véase el apartado 10.2.3) para incluir, tanto los datos de repetibilidad a corto y largo plazo como los de reproducibilidad para laboratorios "normales" y una indicación de datos de precisión para laboratorios "expertos".
- e) El procedimiento para los ensayos de validación de la arena normalizada CEN (véase el apartado 11.2) incluye ensayos de certificación, criterios de validación, ensayos de verificación y ensayos anuales de confirmación.
- f) Se ha revisado el procedimiento para los ensayos de validación de equipos de compactación alternativos (véase el apartado 11.3) y se ha introducido un anexo normativo (véase el anexo A) que detalla dos equipos de vibración compactación alternativos que han sido validados.

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

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma europea describe el método para la determinación de las resistencias mecánicas a compresión y, opcionalmente, a flexión del mortero de cemento. Este método se aplica a los cementos comunes y a los otros tipos de cementos y materiales cuyas normas hagan referencia a este método. Puede no ser aplicable a otros tipos de cementos que tengan, por ejemplo, unos tiempos iniciales de fraguado muy cortos.

El método se emplea para comprobar que la resistencia a compresión del cemento es conforme con su especificación y para el ensayo de validación de la arena de referencia CEN, EN 196-1, o para el equipo alternativo de compactación.

Esta norma describe el equipo y procedimiento de referencia y permite la utilización de procedimientos y equipos alternativos de compactación, siempre y cuando hayan sido validados de acuerdo a lo indicado en esta norma. En caso de litigio, solo se aplicará el procedimiento y equipo de referencia.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

EN 197-1 – *Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.*

EN 196-7 – *Métodos de ensayo de cementos. Parte 7: Métodos de toma y preparación de muestras de cemento.*

EN ISO 1302 – *Especificación geométrica de productos (GPS). Indicación de la calidad superficial en la documentación técnica de productos.* (ISO 1302:2002)

EN ISO 7500-1 – *Materiales metálicos. Verificación de máquinas para ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza.* (ISO 7500-1:2004)

ISO 565 – *Tamices para ensayo. Telas metálicas, placas metálicas perforadas y planchas electroformadas. Tamaños nominales de las aberturas.*

ISO 1101 – *Especificaciones geométricas de productos (GPS). Tolerancias geométricas. Tolerancias de la forma, la orientación, la localización y el abatimiento.*

ISO 3310-1 – *Tamices de ensayo. Requisitos técnicos y ensayos. Parte 1: Tamices de ensayo en tela metálica.*

ISO 4200 – *Tubos de aceros lisos, soldados y sin soldadura. Tablas generales de dimensiones y masas por unidad de longitud.*

3 FUNDAMENTO

El método comprende la determinación de las resistencias a compresión, y opcionalmente a flexión, de probetas prismáticas de dimensiones 40 mm x 40 mm x 160 mm.

Las probetas se fabrican con un mortero plástico, compuesto de una parte en masa de cemento, tres partes en masa de arena normalizada CEN, y media parte de agua (relación agua/cemento de 0,50). Se pueden utilizar arenas normalizadas CEN de diferentes orígenes y países, con la condición de que, al ser utilizadas, los resultados de las resistencias mecánicas no difieran de forma significativa de los obtenidos utilizando la arena de referencia CEN (véase el capítulo 11).

En el procedimiento de referencia, el mortero se prepara por amasado mecánico y se compacta en un molde utilizando una compactadora. Pueden emplearse otros equipos y procedimientos de compactación alternativos, con la condición de que, al ser utilizados, los resultados de las resistencias mecánicas no difieran de forma significativa de los obtenidos utilizando la compactadora y el procedimiento de referencia (véase el capítulo 11 y el anexo A).

Las probetas se conservan en el molde en una atmósfera húmeda durante 24 h, y, después del desmoldeado, las probetas se sumergen en agua hasta el momento de los ensayos de resistencia.

A la edad requerida, las probetas se retiran de su medio de conservación húmedo, se rompen a flexión, determinando la resistencia a flexión cuando se requiera, o se rompen mediante otros métodos adecuados que no sometan a las mitades del prisma a esfuerzos dañinos, y cada mitad se somete al ensayo de resistencia a compresión.

4 LABORATORIO Y EQUIPO

4.1 Laboratorio

El laboratorio donde se efectúe la preparación de las probetas debe mantenerse a una temperatura de (20 ± 2) °C, y con una humedad relativa no menor del 50%.

La cámara húmeda o el gran armario para la conservación de las probetas en el molde, debe mantenerse a una temperatura de $(20,0 \pm 1,0)$ °C y una humedad relativa no menor del 90%.

Los recipientes de conservación para el curado de las probetas en agua, y las gradillas sobre las que se colocan, deben ser de un material que no reaccione con el cemento. La temperatura del agua debe mantenerse a $(20,0 \pm 1,0)$ °C.

La temperatura y la humedad relativa del aire en el laboratorio y la temperatura del agua en los recipientes de conservación deben anotarse al menos una vez al día durante las horas de trabajo. La temperatura y la humedad relativa de la cámara húmeda o del armario, se deben registrar al menos cada 4 h.

El cemento, la arena normalizada CEN (véase el apartado 5.1.3), el agua y los aparatos empleados en la fabricación de las probetas deben estar a la temperatura de (20 ± 2) °C.

Cuando se den rangos de temperatura, la temperatura objetivo a la que se establecerán los controles, debe ser la del valor medio del rango.

4.2 Requisitos generales del equipo

Las tolerancias indicadas en las figuras 1 a 5 son importantes para la correcta utilización del equipo en el procedimiento de ensayo. Cuando las medidas de control indiquen que las tolerancias no se cumplen, el equipo debe rechazarse, ajustarse o repararse. Los registros de las medidas de control deben archivar.

Los controles de recepción de un equipo nuevo deben incluir la masa, el volumen y las dimensiones para compararlos con los indicados en la norma, prestando particular atención a aquellas dimensiones críticas para las que se establece una tolerancia.

En aquellos casos en los que el material del equipo puede influir en los resultados, se debe utilizar el material especificado.

Las dimensiones aproximadas que se muestran en las figuras se proporcionan como guía para los fabricantes de equipos u operarios. Las dimensiones que incluyen tolerancias, son obligatorias.

4.3 Tamices de ensayo

Las telas de los tamices deben cumplir las prescripciones de la Norma ISO 3310-1, y deben ser de las medidas que figuran en la tabla 1 según la Norma ISO 565 (serie R 20).

Tabla 1
Luz de los tamices de ensayo

Medidas en malla cuadrada (mm)					
2,00	1,60	1,00	0,50	0,16	0,08

4.4 Amasadora

La amasadora debe constar esencialmente de:

- Un recipiente de acero inoxidable de una capacidad aproximada de 5 l, con la forma típica y dimensiones de la figura 1 y equipado de manera que pueda ser fijado firmemente al bastidor de la amasadora durante el amasado y que la altura del recipiente con relación a la pala y, por consiguiente, la separación entre la pala y recipiente, pueda ajustarse y mantenerse con precisión.
- Una pala de acero inoxidable, de forma típica, medidas y tolerancias como las indicadas en la figura 1, accionada por un motor eléctrico de velocidades controladas, con movimientos de rotación sobre su propio eje, y con un movimiento planetario alrededor del eje del recipiente. Los dos sentidos de rotación deben ser opuestos, y la relación entre las dos velocidades no debe ser un número entero.

Palas y recipientes deben formar un juego que siempre debe utilizarse conjuntamente.

La holgura entre pala y recipiente de la figura 1 debe comprobarse regularmente. La holgura de (3 ± 1) mm se refiere a la situación cuando la pala, en el recipiente vacío, se coloca tan próxima como sea posible a la pared. Cuando la medida directa es difícil, son útiles los medidores sencillos de tolerancias ("galgas de precisión").

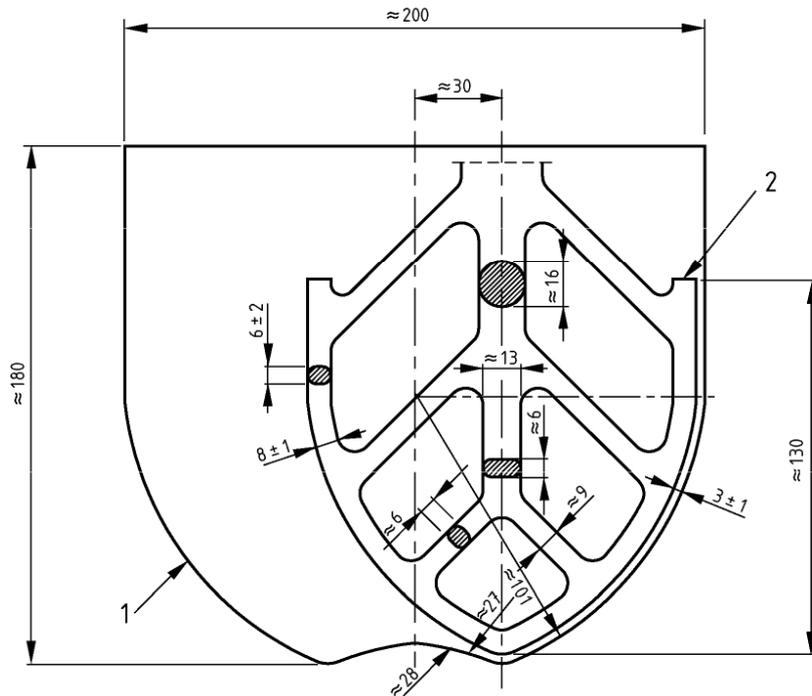
NOTA – Las dimensiones indicadas en la figura 1 como aproximadas son de referencia para los fabricantes.

La amasadora debe trabajar a las velocidades dadas en la tabla 2 cuando se amase el mortero.

Tabla 2
Velocidades de la pala mezcladora

	Rotación min^{-1}	Movimiento planetario min^{-1}
Velocidad lenta	140 ± 5	62 ± 5
Velocidad rápida	285 ± 10	125 ± 10

Dimensiones en milímetros



Leyenda

- 1 Recipiente
- 2 Pala

Fig. 1 – Recipiente y pala tipo

4.5 Moldes

El molde debe disponer de tres compartimentos horizontales, de forma que se puedan preparar simultáneamente tres probetas prismáticas de 40 mm x 40 mm de sección transversal y 160 mm de longitud.

En la figura 2 se da un ejemplo típico de molde.

El molde debe ser de acero, con un espesor de pared aproximado de 10 mm. La dureza superficial Vickers de todas las caras interiores debe ser, al menos, HV 200.

NOTA 1 – Se recomienda una dureza Vickers mínima de HV 400.

El molde debe estar construido de manera que se facilite el desmoldeado de las probetas sin dañarlas. Cada molde debe ir provisto de su correspondiente placa base, de acero mecanizado o hierro fundido. El conjunto del molde, ensamblado, debe mantenerse rígidamente unido y fijado a la base. El ensamblado debe ser tal que no permita que se produzcan distorsiones o falta de estanquidad. La placa base debe asegurar un contacto adecuado con la mesa de la compactadora y ser lo suficientemente rígida para evitar las vibraciones secundarias.

NOTA 2 – Los moldes y compactadoras de diferentes fabricantes pueden tener dimensiones externas y masas sin relación, por lo tanto su compatibilidad debe asegurarse por el comprador.

Las piezas del molde deben estar provistas de marcas de identificación para facilitar su montaje y asegurar el cumplimiento de las tolerancias especificadas. No deben intercambiarse piezas similares de distintos moldes.

El molde montado debe cumplir con las siguientes especificaciones:

a) Las dimensiones internas y las tolerancias de cada compartimiento del molde deben ser las siguientes:

longitud: (160 ± 1) mm;

anchura: $(40,0 \pm 0,2)$ mm;

profundidad: $(40,1 \pm 0,1)$ mm.

b) La tolerancia de planeidad (véase la Norma ISO 1101) sobre la totalidad de cada cara interna no debe ser superior a 0,03 mm.

c) La tolerancia de perpendicularidad (véase la Norma ISO 1101) de cada cara interna con relación a la superficie del fondo del molde y a la cara interna adyacente, como planos de referencia, no debe ser mayor que 0,2 mm.

d) La textura superficial (véase la Norma EN ISO 1302) de cada una de las caras internas no debe tener una rugosidad mayor que N8.

Los moldes deben reemplazarse cuando se exceda cualquiera de las tolerancias especificadas. La masa del molde debe estar de acuerdo con lo que se especifica en el apartado 4.6 para la masa combinada.

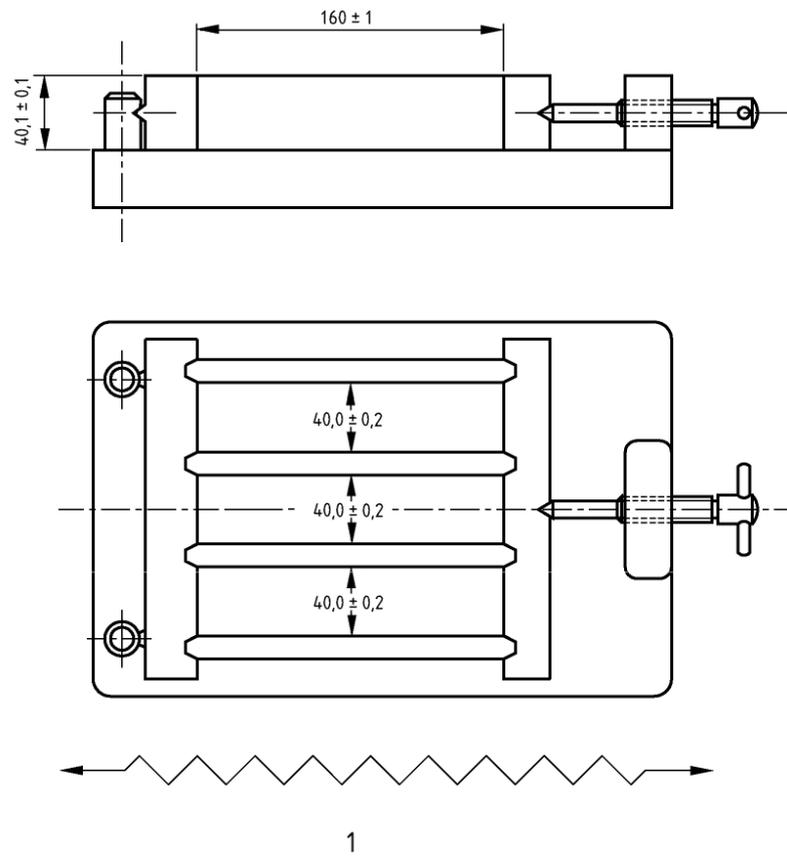
Al montar un molde limpio, listo para el uso, se debe utilizar un producto de sellado adecuado para impregnar las juntas exteriores. Se debe aplicar una capa fina de aceite de desmoldeado a las caras internas del molde.

NOTA 3 – Se ha encontrado que algunos aceites pueden afectar al fraguado del cemento; los aceites con base mineral son adecuados.

Para facilitar el llenado del molde, se debe utilizar una tolva metálica, bien ajustada, de paredes verticales de 20 mm a 40 mm de altura. Mediante la vista en planta, las paredes de la tolva no deben sobrepasar las interiores del molde en más de 1 mm. Las paredes exteriores de la tolva deben estar provistas de medios de fijación para asegurar una posición correcta sobre el molde.

Para extender y enrasar el mortero, se deben facilitar dos espátulas y una regla metálica del tipo representado en la figura 3.

Dimensiones en milímetros

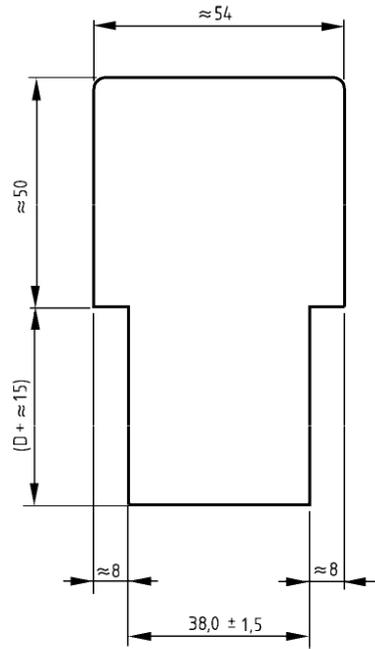


Leyenda

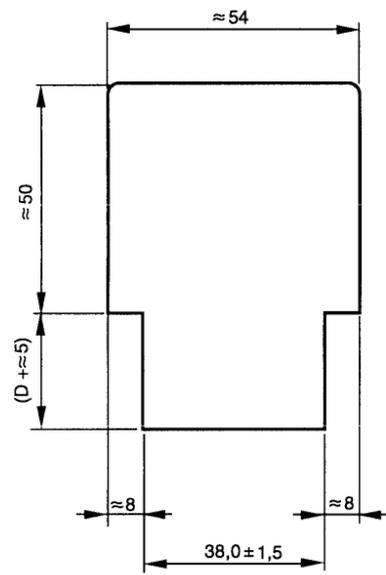
- 1 Indicación de la dirección de enrasado con movimiento de sierra

Fig. 2 – Ejemplo de molde típico

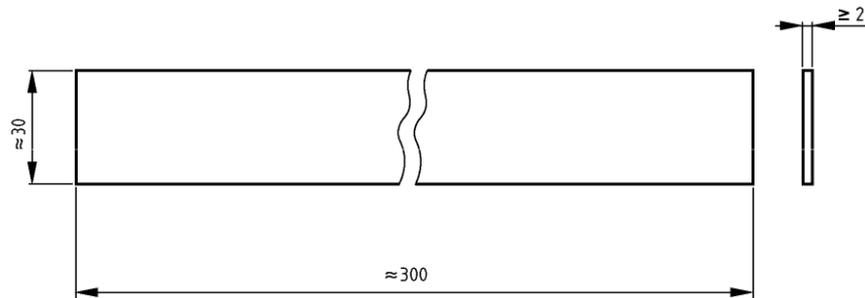
Dimensiones en milímetros



(a). Espátula grande



(b). Espátula pequeña



(c). Regla para enrasar

Leyenda

D Altura de tolva

Fig. 3 – Ejemplo de espátula y de regla metálica plana típicas

4.6 Compactadora

La compactadora debe cumplir las siguientes condiciones (un diseño típico de compactadora se representa en la figura 4).

El equipo se compone esencialmente de una mesa rectangular unida rigidamente por dos brazos ligeros a un eje de rotación, que dista 800 mm del centro de la mesa. La mesa debe estar provista, en el centro de su cara inferior, de un martinete de superficie redondeada. Debajo del martinete debe existir un pequeño yunque, cuya cara superior sea plana. En posición de reposo, la perpendicular común que pasa por el punto de contacto del martinete y el yunque, debe ser vertical. Cuando el martinete reposa sobre el yunque, la cara superior de la mesa debe estar en posición horizontal, de forma que el nivel de cualquiera de las cuatro esquinas no se desvíe del nivel medio en más de 1,0 mm. La mesa debe tener la cara superior mecanizada y las medidas deben ser iguales o mayores que las de la placa base del molde. Debe facilitarse un sistema de fijación que proporcione al molde una sujeción firme a la mesa.

La masa total compuesta por la mesa, incluidos los brazos, el molde vacío, la tolva y el sistema de fijación, debe ser de $(20,0 \pm 0,5)$ kg.

Los brazos que unen la mesa al eje de rotación deben ser rígidos y contruidos de tubo redondo, de un diámetro exterior comprendido entre 17 mm y 22 mm y elegidos entre los que figuran en la Norma ISO 4200. La masa total de los dos brazos, incluyendo cualquier rigidizador intermedio, debe ser de $(2,25 \pm 0,25)$ kg. Los rodamientos del eje deben ser de bolas o rodillos y deben estar protegidos del polvo y de la arena. El desplazamiento horizontal del centro de la mesa, debido a la holgura del eje, no debe exceder de 1,0 mm.

El martinete y el yunque deben ser de acero templado de una dureza Vickers mínima de HV 500. La curvatura de la cara del martinete debe ser, aproximadamente, de $0,01 \text{ mm}^{-1}$.

Durante el funcionamiento, la mesa es levantada por una leva que le permite una caída libre desde una altura de $(15,0 \pm 0,3)$ mm, entre el martinete y el yunque.

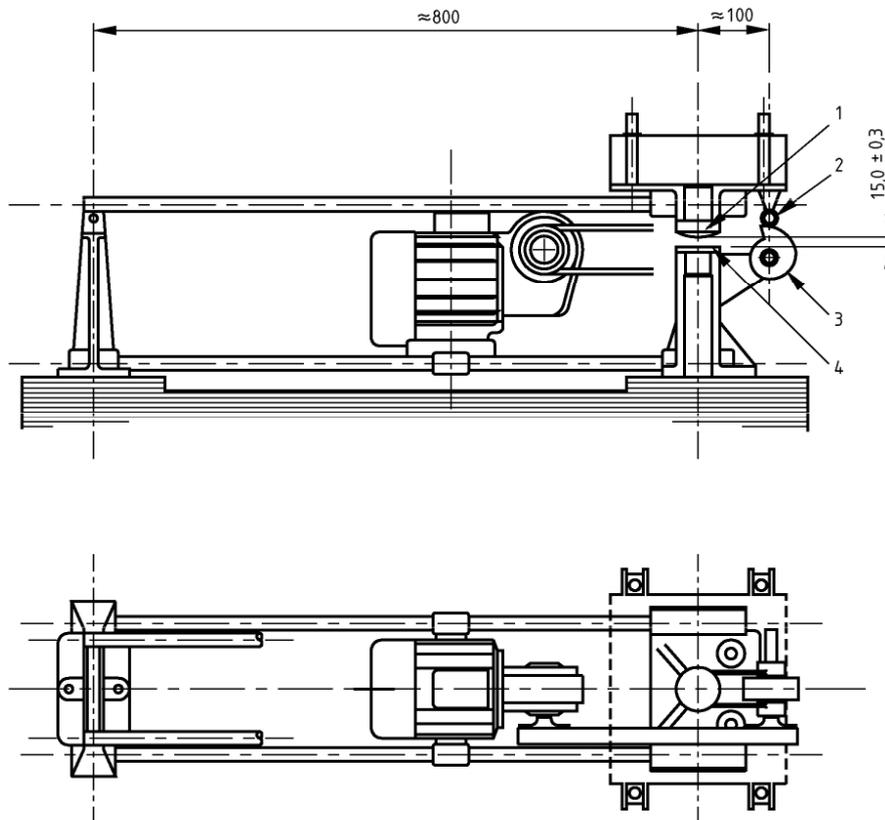
La leva debe ser de acero templado, de una dureza Vickers mínima de HV 400, y su eje debe montarse sobre rodamiento de bolas, de construcción tal que la caída libre sea siempre de $(15,0 \pm 0,3)$ mm. El rodillo de la leva debe estar construido de manera que asegure un desgaste mínimo de la leva. La leva se debe accionar por un motor eléctrico de unos 250 W con un motor reductor a velocidad uniforme de una revolución por minuto. Se dispondrá de un mecanismo de control y un contador para asegurar una compactación exacta de 60 golpes en (60 ± 3) s.

El molde debe colocarse sobre la mesa con la longitud mayor de los compartimientos paralela a la dirección de los brazos, y por tanto, perpendicular al eje de rotación de la leva. Se deben prever marcas adecuadas para facilitar la colocación del molde, de tal manera que el centro del compartimento central esté en la vertical del punto de impacto.

La compactadora debe montarse firmemente sobre un bloque de hormigón de unos 600 kg de masa y un volumen aproximado de $0,25 \text{ m}^3$, y de unas dimensiones que proporcionen una altura adecuada para el molde. La totalidad de la base del bloque debe descansar sobre una lámina elástica, por ejemplo, de caucho natural, que proporcione un adecuado aislamiento que evite las vibraciones externas que puedan afectar a la compactación.

La base de la compactadora debe fijarse al nivel del bloque de hormigón por pernos de anclaje, intercalando entre la compactadora y el hormigón, una capa delgada de mortero que asegure un contacto total sin vibraciones.

Dimensiones en milímetros



Leyenda

- 1 Martinete
- 2 Rodillo de la leva
- 3 Leva
- 4 Tope yunque

Fig. 4 – Ejemplo de compactadora típica

4.7 Máquina de ensayo para resistencia a flexión

NOTA – Este equipo es opcional. Si solamente se va a ensayar la resistencia a compresión, las probetas pueden romperse por otros medios adecuados que no las sometan a presiones no deseadas.

La resistencia a flexión puede medirse con una máquina de ensayo para resistencia a flexión o mediante un dispositivo apropiado en la máquina de ensayo a compresión. En cualquier caso, los equipos deben cumplir los siguientes requisitos:

La máquina de ensayo para la determinación de la resistencia a flexión debe ser capaz de aplicar cargas de hasta 10 kN, con una precisión de $\pm 1,0\%$ de la carga registrada en las 4/5 partes superiores del rango utilizado, y con una velocidad de carga de (50 ± 10) N/s.

La máquina debe estar provista de un dispositivo de flexión que incorpore dos rodillos de apoyo de acero de $(10,0 \pm 0,5)$ mm de diámetro, distantes uno del otro $(100,0 \pm 0,5)$ mm, y un tercer rodillo de carga de acero del mismo diámetro que los anteriores y equidistante de los otros dos. La longitud de estos rodillos debe estar comprendida entre 45 mm y 50 mm. El dispositivo de carga se muestra en la figura 5.

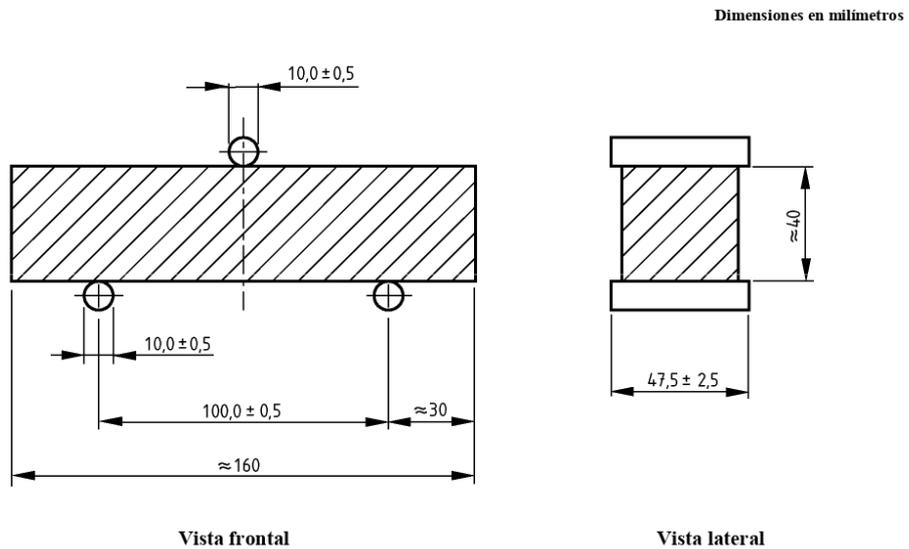


Fig. 5 – Dispositivo de carga para la determinación de la resistencia a flexión

Los tres planos verticales que pasan por los ejes de los tres rodillos, deben ser paralelos y permanecer paralelos durante el ensayo, equidistantes y perpendiculares a la dirección de la probeta. Uno de los rodillos de apoyo y el de carga, deben poder oscilar ligeramente para permitir una distribución uniforme de la carga sobre el ancho de la probeta, sin someterla a esfuerzos de torsión.

4.8 Máquina de ensayo para la resistencia a compresión

La máquina de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión debe tener una capacidad adecuada al ensayo (véase la nota 1): debe tener una precisión de $\pm 1,0\%$ de la carga registrada en las 4/5 partes superiores del rango utilizado, verificado de acuerdo con la Norma EN ISO 7500-1. Debe proporcionar una velocidad de aumento de carga de $(2\ 400 \pm 200)$ N/s. Debe estar provista de un dispositivo indicador, construido de forma que el valor indicado en el momento de la rotura de la probeta permanezca indicado después que la máquina se descargue. Esto se consigue mediante un indicador máximo en el manómetro o con una memoria en un dispositivo digital. Las máquinas de ensayo en las que la carga se regula manualmente deben estar provistas de un dispositivo de medida que controle la velocidad de carga.

El eje vertical del pistón debe coincidir con el eje vertical de la máquina y, durante la puesta en carga, la dirección del movimiento del pistón debe ser paralela al eje vertical de la máquina. Además, la resultante de las fuerzas debe pasar por el centro de la probeta. La superficie del plato inferior de la máquina debe ser perpendicular al eje de la máquina y permanecer perpendicular durante la puesta en carga.

El centro de la rótula esférica del plano superior debe estar en el punto de intersección del eje vertical de la máquina con el plano de la superficie inferior del plato superior, con una tolerancia de ± 1 mm. El plato superior debe estar libre para alinearse en el momento del contacto con la probeta, pero durante la puesta en carga, la posición relativa de los platos superior e inferior debe permanecer inalterable.

Los platos de la máquina de ensayo deben ser de carburo de tungsteno, o de acero templado de una dureza Vickers de al menos HV 600. Estos platos deben ser como mínimo de 10 mm de espesor, de $(40,0 \pm 0,1)$ mm de anchura y $(40,0 \pm 0,1)$ mm de longitud. La tolerancia de planeidad de la totalidad de la superficie de contacto de los platos con la probeta, no debe ser mayor que 0,01 mm según la Norma ISO 1101. La textura superficial, conforme a la Norma ISO 1302, no debe ser inferior a N3 ni mayor de N6 cuando sea suministrada.

Alternativamente, pueden utilizarse dos placas auxiliares de carburo de tungsteno, o de acero endurecido con una dureza Vickers de al menos HV 600 y de 10 mm de espesor como mínimo, y que cumplan los requisitos exigidos a los platos. Se deberían tomar precauciones para centrar las placas auxiliares con relación al eje del sistema de carga con una precisión de $\pm 0,5$ mm. Se deberían tomar precauciones para alinear las placas auxiliares con una tolerancia no mayor de $\pm 0,5$ mm desde el centro de una a la otra.

Cuando la máquina de compresión no disponga de rótula esférica, o cuando ésta esté bloqueada, o cuando el diámetro de la rótula sea mayor que 120 mm, se debe utilizar un dispositivo conforme al apartado 4.9.

NOTA 1 – La máquina de ensayos puede estar provista de dos o más escalas de carga. El valor más alto de la escala inferior debería ser aproximadamente 1/5 del valor más alto de la escala inmediatamente superior.

NOTA 2 – La máquina de ensayo debería estar provista de un dispositivo automático para el ajuste de la velocidad de carga y un dispositivo para el registro de los resultados.

NOTA 3 – La rótula esférica de la máquina puede lubricarse para facilitar el ajuste al contacto con la probeta, pero solamente hasta tal punto que, bajo carga, durante el ensayo, el plato no se mueva. No es aconsejable el uso de lubricantes de acción efectiva bajo altas presiones.

NOTA 4 – Los términos “vertical”, “inferior” y “superior” se refieren a las máquinas de ensayo convencionales que están alineadas normalmente con el eje vertical. Sin embargo, también se aceptan máquinas de ensayo cuyo eje no sea vertical.

4.9 Dispositivo para la máquina de ensayo de resistencia a compresión

Cuando, según el apartado 4.8, sea necesaria la utilización de un dispositivo de compresión (véase la figura 6), éste se debe colocar entre los platos de la máquina, de forma que transmita la carga de la máquina a las superficies de compresión de la probeta de mortero.

En este dispositivo se debe emplear una placa inferior, que puede ir incorporada al plato inferior de la máquina. El plato superior recibe la carga del plato superior de la máquina por medio de una rótula esférica. Esta rótula forma parte de un conjunto que debe poder deslizarse verticalmente sin rozamiento apreciable en el dispositivo que guía su movimiento. El dispositivo de compresión se debe mantener perfectamente limpio y la rótula esférica debe tener libertad de movimiento de tal forma que el plato se adapte inicialmente por sí mismo a la forma de la probeta, y posteriormente permanezca fijo durante el ensayo. Todas las prescripciones establecidas en el apartado 4.8 se aplican igualmente cuando se utiliza un dispositivo de compresión.

NOTA 1 – La rótula esférica del dispositivo de compresión puede ser lubricada, pero solamente hasta el punto que, bajo carga, durante el ensayo, el plato no se mueva. No es apropiado el uso de lubricantes de acción efectiva bajo altas presiones.

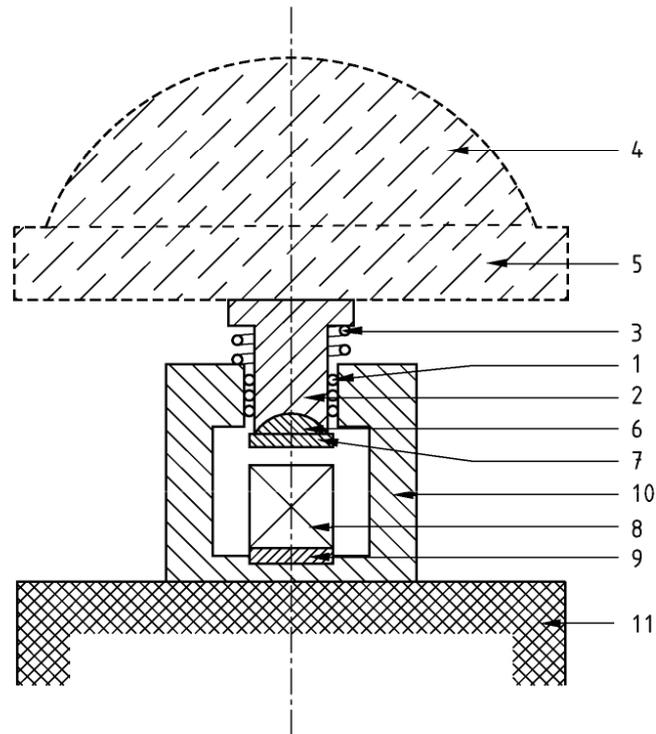
NOTA 2 – Es conveniente que el conjunto vuelva automáticamente a su posición inicial después de la rotura de la probeta.

4.10 Balanza

Balanza, capaz de pesar con una precisión de ± 1 g.

4.11 Temporizador

Temporizador, capaz de medir con una precisión de ± 1 s.



Leyenda

- 1 Rodamiento de bolas
- 2 Conjunto deslizante
- 3 Muelle de recuperación
- 4 Rótula esférica de la máquina
- 5 Plato superior de la máquina
- 6 Rótula esférica del dispositivo
- 7 Plato superior del dispositivo
- 8 Probeta
- 9 Plato inferior del dispositivo
- 10 Dispositivo
- 11 Plato inferior de la máquina

Fig. 6 – Ejemplo de dispositivo típico para ensayos de resistencia a compresión

5 COMPONENTES DEL MORTERO

5.1 Arena

5.1.1 Generalidades. Para determinar la resistencia del cemento de acuerdo con esta norma, se deben utilizar arenas normalizadas CEN, que son producidas en varios países. La “arena normalizada CEN EN 196-1” debe cumplir con los requisitos establecidos en el apartado 5.1.3. Los productores de la arena normalizada CEN deben aplicar los ensayos de verificación que deben inspeccionarse por el organismo de certificación.

A la vista de las dificultades para caracterizar la arena normalizada CEN, debe validarse frente a la arena de referencia CEN descrita en el apartado 5.1.2 por medio de ensayos de certificación y verificación, según se describe en el capítulo 11.

5.1.2 Arena de referencia CEN. La arena de referencia CEN, de la que se mantiene un stock limitado como material de referencia, es una arena natural, silicea, de granos redondados, y cuyo contenido en sílice es al menos del 98%.

Su distribución granulométrica está comprendida entre los límites definidos en la tabla 3.

Tabla 3
Distribución granulométrica de la arena de referencia CEN

Dimensiones malla cuadrada (mm)	2,00	1,60	1,00	0,50	0,16	0,08
Residuo acumulado sobre tamices (%)	0	7 ± 5	33 ± 5	67 ± 5	87 ± 5	99 ± 1

NOTA – Puede obtenerse información sobre esta arena de referencia en Normensand GmbH, D-59269 Beckum, Alemania.

5.1.3 Arena normalizada CEN. La arena normalizada CEN debe cumplir con la distribución granulométrica especificada en el apartado 5.1.2, determinada mediante análisis por tamizado de una muestra de arena representativa del total de masa, no inferior a 1 345 g. El tamizado debe continuar hasta que la totalidad de la muestra que pasa por cada tamiz sea inferior a 0,5 g/min.

El contenido de humedad debe ser inferior a 0,2%, determinado como la pérdida de masa de una muestra representativa de arena después de secarse entre 105 °C y 110 °C hasta masa constante, y expresada como porcentaje en masa sobre muestra seca.

Durante la producción, estas determinaciones se deben realizar, como mínimo, una vez al día. Estos requisitos son insuficientes para asegurar que la arena normalizada CEN proporciona un comportamiento equivalente al de la arena de referencia. Esta equivalencia debe iniciarse y mantenerse con los ensayos de validación descritos en el capítulo 11.

La arena normalizada CEN debe estar preenvasada en bolsas con un contenido de (1 350 ± 5) g; la naturaleza del material utilizado para las bolsas no debe afectar a los resultados de los ensayos de resistencia y el contenido de cada bolsa debe cumplir con la distribución granulométrica especificada en el apartado 5.1.2.

NOTA – La arena normalizada CEN debería almacenarse cuidadosamente para evitar daños o contaminación, particularmente de humedad, anteriormente a su empleo.

5.2 Cemento

El cemento a ensayar debe exponerse al aire ambiental el menor tiempo posible. Si van a transcurrir más de 24 h entre la toma de muestras y los ensayos, el cemento debe conservarse en recipientes completamente llenos y herméticos, fabricados con material que no reaccione con el cemento.

La muestra de laboratorio debe homogeneizarse por medio de algún equipo o por otros medios descritos en la Norma EN 196-7, antes de tomar submuestras para los ensayos.

5.3 Agua

Para los ensayos de validación se debe utilizar agua destilada, o desionizada. Para otros ensayos se puede utilizar agua potable. En caso de litigio se debe emplear agua destilada o desionizada.

6 PREPARACIÓN DEL MORTERO

6.1 Composición del mortero

La composición en masa debe ser una parte de cemento (véase el apartado 5.2), tres partes de arena normalizada CEN (véase el apartado 5.1) y media parte de agua (véase el apartado 5.3) (relación agua/cemento 0,50).

Cada amasada para tres probetas debe estar compuesta de (450 ± 2) g de cemento, $(1\ 350 \pm 5)$ g de arena y (225 ± 1) g de agua.

6.2 Amasado del mortero

Se pesa el cemento y el agua con una balanza (véase el apartado 4.10). Cuando el agua se añade en volumen, éste debe prepararse con una precisión de ± 1 ml. Se mezcla cada lote de mortero mecánicamente, utilizando la amasadora (véase el apartado 4.4). Los tiempos de las diferentes etapas de amasado se refieren a los tiempos de marcha/pauro de la amasadora y deben mantenerse dentro de los ± 2 s.

El procedimiento de amasado debe ser el siguiente:

- a) Se vierte el agua y el cemento dentro del recipiente, teniendo cuidado para evitar pérdidas de agua o de cemento;
- b) Inmediatamente después de entrar en contacto el agua y el cemento, se pone en marcha la amasadora a velocidad lenta (véase la tabla 2), iniciándose los tiempos de amasado. Adicionalmente se registra el tiempo, al minuto más cercano, como "tiempo cero". Después de 30 s de amasado, se añade regularmente la arena durante los 30 s siguientes. Se pone la amasadora a la velocidad rápida (véase la tabla 2) y se continua el amasado durante otros 30 s.

NOTA 1 – "Tiempo cero" es la referencia a partir de la cual se calculan los tiempos de desmoldeado de las probetas (véase el apartado 8.2) y para la determinación de la resistencia (véase el apartado 8.4).

- c) Se para la amasadora durante 90 s. En los primeros 30 s, se retira por medio de una espátula de goma o de plástico todo el mortero adherido a las paredes laterales y al fondo del recipiente y se coloca en el centro de la amasadora;
- d) Se continua el amasado a velocidad rápida durante 60 s.

NOTA 2 – Normalmente estas operaciones de amasado se llevan a cabo de forma automática. También puede emplearse un control manual para estas operaciones.

7 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

7.1 Tamaño de las probetas

Las probetas deben ser prismáticas de 40 mm x 40 mm x 160 mm.

7.2 Enmoldado de las probetas

Se enmoldan las probetas inmediatamente después de la preparación del mortero. Con el molde y la tolva firmemente unidos a la mesa de la compactadora, se introduce directamente de la cubeta de la amasadora, en una o varias veces, con una cuchara adecuada, la primera de las dos capas de mortero (cada una aproximadamente de 300 g) en cada compartimento del molde.

Se extiende la capa uniformemente, utilizando la espátula grande (véase la figura 3), mantenida verticalmente y con sus ensanchamientos en contacto con el borde superior de la tolva, pasándola a lo largo de cada compartimento del molde, hacia delante y hacia atrás. A continuación se compacta la primera capa de mortero con 60 golpes con la compactadora (véase el apartado 4.6). Se introduce la segunda capa de mortero, asegurándose de que hay excedente de mortero, se iguala con la espátula pequeña (véase la figura 3), y se compacta la capa con otros 60 golpes.

Se retira con precaución el molde de la mesa de sacudidas y se separa la tolva. Inmediatamente, se quita el exceso de mortero con la regla plana (véase la figura 3), manteniéndola casi vertical pero inclinada en la dirección del movimiento, con lentos movimientos transversales de sierra, una vez en cada dirección. Se repite este procedimiento con la regla plana mantenida a un ángulo más agudo para alisar la superficie.

NOTA – El número de pasadas y el ángulo de la regla dependerán de la consistencia del mortero; morteros más rígidos requerirán más pasadas y ángulos más agudos; se requiere un número menor de pasadas para el alisado que para la eliminación del exceso de mortero (véase figura 2).

Se quita el mortero que quede en el perímetro del molde como consecuencia del enrasado.

Se etiquetan o marcan los moldes para identificar las probetas.

8 ACONDICIONAMIENTO DE LAS PROBETAS

8.1 Manipulación y conservación antes de desmoldear

Se coloca sobre el molde una lámina de vidrio de aproximadamente 210 mm x 185 mm x 6 mm de espesor. Se puede utilizar una chapa de acero o de otro material impermeable que no reaccione con el cemento.

NOTA – Por razones de seguridad, asegurarse que las placas de vidrio utilizadas tienen los bordes redondeados.

Sin pérdida de tiempo, se coloca cada molde cubierto sobre una superficie horizontal, en la cámara o armario húmedo (véase el apartado 4.1). El aire húmedo debe tener acceso a todos los lados del molde. Los moldes no se deben apilar uno sobre otro. Cada molde se debe sacar de la cámara húmeda a la hora prevista para el desmoldeo.

8.2 Desmoldeo de las probetas

Se lleva a cabo el desmoldeo sin dañar las probetas. Para el desmoldeo se pueden utilizar martillos de plástico o de goma, o bien otros utensilios especiales. Para los ensayos a 24 h, el desmoldeo se realizará, como máximo, 20 min antes de que las probetas vayan a ser ensayadas. Para los ensayos a edades superiores a 24 h, el desmoldeo se realizará entre 20 h y 24 h después del enmoldado.

NOTA 1 – El desmoldeo se puede retrasar 24 h si el mortero no ha adquirido a las 24 h la resistencia suficiente para ser manejado sin riesgo de daño. En el informe del ensayo se debería mencionar este retraso en el desmoldeo.

Las probetas desmoldeadas, elegidas para ensayar a 24 h (o a 48 h cuando el retraso en el desmoldeo haya sido necesario) se mantienen cubiertas con un paño húmedo hasta el momento del ensayo. Las probetas seleccionadas para curado en agua, deben marcarse adecuadamente para su identificación posterior, por ejemplo, con lápiz o tinta resistente al agua.

NOTA 2 – Se recomienda pesar las probetas de cada molde como control del contenido de aire del mortero y de las operaciones de mezclado y compactación.

8.3 Curado de las probetas en agua

Se sumergen rápidamente las probetas marcadas, de manera adecuada, colocadas horizontal o verticalmente, en agua a $(20,0 \pm 1,0) ^\circ\text{C}$ en los depósitos adecuados. Si el almacenamiento es horizontal, se deben mantener verticales las caras que en el molde eran verticales.

Se colocan las probetas sobre emparrillados (véase el apartado 4.1), y se mantienen separadas unas de otras, de forma que el agua tenga libre acceso a las seis caras de las probetas. En ningún momento durante la conservación, la separación entre probetas y la lámina de agua sobre la cara superior de las mismas, debe ser menor que 5 mm.

En cada depósito solamente se deben almacenar probetas fabricadas con cementos de similar composición química, a menos que se haya demostrado que la composición del cemento a ensayar no influye en el desarrollo de la resistencia de otros cementos en ensayo; cementos conocidos con un contenido superior al 0,1% en cloruros, deben almacenarse de forma separada.

Se utilizará agua potable para el llenado de los depósitos y para las posibles adiciones para mantener un nivel de agua razonablemente constante. Durante la conservación de las probetas no se permite cambiar más del 50% del agua.

La instalación debe asegurar una temperatura uniforme de conservación; si se utiliza un sistema de circulación dentro del depósito de almacenamiento, la velocidad del flujo debe ser tan baja como sea posible para no causar turbulencias visibles.

Las probetas que deben ensayarse a una edad determinada (distinta de 24 h, o 48 h en caso de retraso en el desmoldeado), deberán sacarse del agua como máximo 15 min antes de la realización del ensayo. Se quita cualquier sedimento que se haya depositado en las caras del ensayo. Se cubren las probetas con un trapo húmedo hasta el momento del ensayo.

8.4 Edad de las probetas para los ensayos de resistencias mecánicas

Se calcula la edad de las probetas desde el “tiempo cero” (véase el apartado 6.2). Se realizarán ensayos de resistencia a diferentes edades dentro de los siguientes límites:

24 h ± 15 min;

48 h ± 30 min;

72 h ± 45 min;

7 d ± 2 h;

≥ 28 d ± 8 h.

9 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

9.1 Resistencia a flexión

Se utiliza el método de carga de los tres puntos con uno de los equipos descritos en el apartado 4.7.

Se coloca el prisma en la máquina de ensayo (véase el apartado 4.7), con una cara lateral sobre los rodillos soporte y con su eje longitudinal normal a los soportes. Se aplica la carga verticalmente mediante los rodillos de carga sobre la cara lateral opuesta del prisma y se incrementa uniformemente, a una velocidad de (50 ± 10) N/s hasta rotura.

Se mantienen las mitades del prisma cubiertas con un paño húmedo hasta el ensayo de compresión.

Se calcula la resistencia a flexión, R_f , en megapascales, mediante la siguiente fórmula:

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

donde

R_f es la resistencia a flexión (en megapascales);

b es el lado de la sección cuadrada del prisma (en milímetros);

F_f es la carga aplicada en la mitad del prisma en la rotura (en newtons);

l es la distancia entre soportes (en milímetros).

9.2 Resistencia a compresión

Se ensayan los semiprismas rotos con ayuda del equipo especificado en el apartado 9.1 o bien utilizando medios adecuados que no sometan los semiprismas a ningún daño.

Se ensaya cada semiprisma cargando sus caras laterales con ayuda del equipo especificado en los apartados 4.8 y 4.9.

Se centra cada semiprisma lateralmente con relación a los platos de la máquina a $\pm 0,5$ mm, y longitudinalmente de forma que la base del prisma no sobresalga de los platos o placas auxiliares más de unos 10 mm.

Se aumenta la carga uniformemente a una velocidad de $(2\ 400 \pm 200)$ N/s durante todo el tiempo de aplicación de la carga hasta la rotura.

Cuando el incremento de carga se regula a mano, se debería tener cuidado al ajustar la disminución de la velocidad de carga cerca de la carga de rotura, ya que puede afectar significativamente al resultado.

Se calcula la resistencia a compresión R_c (en megapascales) mediante la fórmula siguiente:

$$R_c = \frac{F_c}{1\ 600} \quad (2)$$

donde

R_c es la resistencia a compresión (en megapascales);

F_c es la carga máxima de rotura (en newtons);

$1\ 600 = 40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$, es la superficie de los platos o placas auxiliares (en milímetros cuadrados).

10 RESULTADOS

10.1 Resistencia a flexión

10.1.1 Cálculo y expresión de los resultados del ensayo. Se calcula el resultado del ensayo de resistencia a flexión como la media aritmética de los tres resultados individuales, expresados, cada uno de ellos, redondeados al 0,1 MPa más cercano, y obtenidos de la determinación realizada sobre un conjunto de tres probetas.

Se expresa la media aritmética redondeada al 0,1 MPa más cercano.

10.1.2 Informe de resultados. Se registran todos los resultados individuales. Se informa de la media calculada.

10.2 Resistencia a compresión

10.2.1 Cálculo y expresión de los resultados del ensayo. Se calcula el resultado del ensayo de resistencia a compresión como la media aritmética de los seis resultados individuales, expresados, cada uno, redondeados al 0,1 MPa más cercano, obtenidos de las seis determinaciones realizadas sobre un conjunto de tres probetas.

Si uno de los resultados de las seis determinaciones varía en más de $\pm 10\%$ respecto a la media, se descarta este resultado y se calcula la media aritmética de los cinco resultados restantes. Si uno de los resultados de los cinco resultados restantes varía en más de $\pm 10\%$ respecto a su media, se descarta la totalidad de los resultados y se repite la determinación.

Se expresa la media aritmética redondeada al 0,1 MPa más cercano.

10.2.2 Informe de resultados. Se registran todos los resultados individuales. Se informa de la media calculada y sobre cualquier resultado descartado según el apartado 10.2.1.

10.2.3 Estimación de la precisión del método de resistencia a compresión

10.2.3.1 Repetibilidad a corto plazo. La repetibilidad a corto plazo para el método de ensayo de resistencia a compresión proporciona el grado de aproximación entre resultados obtenidos sobre muestras de cemento nominalmente idénticas, utilizando la misma arena normalizada CEN, ensayadas en el mismo laboratorio, por el mismo operador y empleando el mismo equipamiento a intervalos cortos de tiempo.

En el caso de las resistencias a compresión a los 28 días, la repetibilidad a corto plazo para un “comportamiento normal” que se puede obtener en las condiciones anteriores, debería ser inferior al 2,0% cuando se exprese como coeficiente de variación.

NOTA – La experiencia indica que se obtienen mejores resultados y que esto puede encontrarse de forma habitual en algunos laboratorios. Se corresponde al valor de 1% para la repetibilidad a corto plazo, cuando se expresa como coeficiente de variación.

La repetibilidad a corto plazo es una medida de la precisión del método de ensayo cuando se emplea para el ensayo de validación de la arena normalizada CEN y el equipo de compactación alternativo.

10.2.3.2 Repetibilidad a largo plazo. La repetibilidad a largo plazo para el método de ensayo de resistencia a compresión proporciona el grado de aproximación entre resultados obtenidos de ensayos frecuentes sobre diferentes muestras tomadas de la misma muestra de cemento homogeneizada, ensayada en el mismo laboratorio, en las siguientes condiciones: posibles operadores diferentes, equipos diferentes, misma arena normalizada CEN y en largos periodos de tiempo (hasta un año).

En el caso de la resistencia a compresión a los 28 días, la repetibilidad a largo plazo para un “comportamiento normal” que se puede obtener en las condiciones anteriores, debería ser inferior al 3,5% cuando se expresa como coeficiente de variación.

NOTA – La experiencia indica que se obtienen mejores resultados y que esto puede encontrarse de forma habitual en algunos laboratorios. Se corresponde al valor de 2,5% para la repetibilidad a largo plazo, cuando se expresa como coeficiente de variación.

La repetibilidad a largo plazo es una medida de la precisión del ensayo cuando se emplea para el ensayo de autocontrol del cemento o los ensayos mensuales de verificación de la arena normalizada CEN y para la evaluación del mantenimiento de la precisión del laboratorio en el tiempo.

10.2.3.3 Reproducibilidad. La reproducibilidad del método de ensayo de la resistencia a compresión, proporciona el grado de aproximación entre resultados obtenidos sobre muestras idénticas de cemento ensayadas por diferentes laboratorios en las condiciones siguientes: diferentes operadores, equipos diferentes, posiblemente arenas normalizadas CEN diferentes y posiblemente en momentos diferentes.

En el caso de la resistencia a compresión a 28 días, la reproducibilidad entre laboratorios para un “comportamiento normal” que se puede obtener en las condiciones anteriores, debería ser inferior al 4,0% cuando se expresa como coeficiente de variación.

NOTA – La experiencia indica que se obtienen mejores resultados y que esto puede encontrarse de forma habitual en algunos laboratorios. Se corresponde con el valor de 3% para la reproducibilidad, cuando se expresa como coeficiente de variación.

La reproducibilidad es una medida de la precisión del ensayo cuando se emplea para la evaluación de la conformidad del cemento o de la arena normalizada CEN.

11 ENSAYOS DE VALIDACIÓN DE LA ARENA NORMALIZADA CEN Y DEL EQUIPO ALTERNATIVO DE COMPACTACIÓN

11.1 Generalidades

Una arena normalizada CEN que cumpla con el apartado 5.1.3 o bien un equipo de compactación alternativo pueden emplearse, según el capítulo 3, siempre que se demuestre que proporcionan resultados de resistencia del cemento que no difieren significativamente de aquellos obtenidos empleando arena de referencia CEN (véase el apartado 5.1.2) o el equipo de compactación de referencia (véase el apartado 4.6) y el procedimiento respectivo.

Este capítulo describe las condiciones bajo las cuales las arenas normalizadas CEN y los equipos alternativos de compactación pueden validarse. La validación debe proporcionarla un organismo de certificación y debe basarse en los resultados de ensayos llevados a cabo por un laboratorio de ensayo designado por el organismo de certificación.

NOTA – Los laboratorios de ensayo nominados deberían participar en programas de ensayo competentes como para asegurar que los ensayos de validación se realizan en niveles de ensayo comparables.

Los métodos de ensayo que se describen y que deben aplicarse están basados en resultados de ensayos comparativos de resistencia a compresión a la edad de 28 días.

11.2 Ensayos de validación de la arena normalizada CEN

11.2.1 Principio. Los ensayos de validación de la arena normalizada CEN comprenden:

- a) ensayos de certificación llevados a cabo bajo la autoridad de un organismo de certificación;
- b) ensayos de verificación llevados a cabo por el productor de la arena.

Los ensayos de certificación de la arena normalizada CEN se describen en el apartado 11.2.2. Incluyen un ensayo de certificación inicial (véase el apartado 11.2.2.1) y un ensayo de confirmación anual (véase el apartado 11.2.2.2). Cuando se cumplan los requisitos del apartado 11.2.3.3, el organismo de certificación debe emitir un certificado de conformidad con esta norma después de los ensayos iniciales de certificación y un certificado de renovación después del ensayo de confirmación anual.

Los ensayos de verificación de la arena normalizada CEN se describen en el apartado 11.2.4. Basados en los ensayos de autocontrol realizados por el productor de la arena, y siempre que cumplan los requisitos del apartado 11.2.5.3, aseguran que una arena normalizada CEN certificada es conforme con esta norma.

Los resultados de los ensayos de autocontrol son inspeccionados por el organismo de certificación dentro del plan anual de ensayos de confirmación.

Una arena validada debe designarse como “arena normalizada CEN-EN 196-1”.

11.2.2 Ensayos de certificación de la arena normalizada CEN

11.2.2.1 Ensayos de certificación inicial. El productor de arena debe demostrar que la planta de producción es operativa antes de aplicarle el organismo de certificación los ensayos de certificación inicial de la arena.

Durante un período de producción de al menos tres meses, deben tomarse tres muestras de arena independientes en el punto de expedición bajo la autoridad del organismo de certificación. El número de bolsas a tomar de cada una de estas tres muestras debe calcularse para tener la cantidad suficiente de arena requerida por el método de ensayo de certificación según el apartado 11.2.3.1. Además, el tamaño de una de las tres muestras debe ser suficientemente grande como para tener la cantidad de arena requerida por el método del ensayo de verificación según el apartado 11.2.5.1 durante un período de al menos un año. Para este propósito, esta muestra debe dividirse bajo la autoridad del organismo de certificación y las submuestras a emplear para los ensayos de verificación debe guardarlas el productor de la arena.

Cada una de las tres muestras debe ensayarse frente a la arena de referencia CEN, aplicando el método descrito en el apartado 11.2.3, empleando un cemento diferente de los tres tipos de clases de resistencias normalizadas, seleccionados bajo la autoridad del organismo de certificación. Los ensayos deben llevarse a cabo en un laboratorio de ensayos designado (véase el apartado 11.1).

Cuando cada uno de los resultados obtenidos de las tres muestras, expresadas como se indica en el apartado 11.2.3.2, cumplan los requisitos del apartado 11.2.3.3, la arena debe ser validada y el organismo de certificación debe emitir un certificado de conformidad (véase el apartado 11.2.1).

11.2.2.2 Ensayo anual de confirmación. La renovación del certificado concedido a un productor de arena será el resultado de las acciones siguientes del organismo de certificación:

- a) inspección de los registros de ensayos de verificación llevados a cabo por el productor de la arena de acuerdo con el apartado 11.2.4 y, siempre que se cumplan los requisitos de los apartados 5.1.3 y 11.2.5.3;
- b) ensayo del laboratorio designado (véase el apartado 11.1) de una muestra tomada al azar frente a la arena de referencia CEN, aplicando el método descrito en el apartado 11.2.3, empleando un cemento CEM I 42,5N, 42,5R o 52,5N conforme a la Norma EN 197-1, seleccionado bajo supervisión del organismo de certificación.

La muestra de arena tomada al azar debe ser tomada en el punto de expedición bajo la supervisión del organismo de certificación. El número de sacos que se tomarán debe calcularse para tener la cantidad de arena suficiente requerida por el método de ensayo de certificación de acuerdo con el apartado 11.2.3.1 y por el método de ensayo de verificación según el apartado 11.2.5.1 durante un periodo de al menos un año. Para este propósito, la muestra debe dividirse bajo la supervisión del organismo de certificación, y la submuestra a utilizar en el ensayo de verificación debe guardarse por el productor de la arena.

Cuando los resultados de los ensayos de verificación, a) cumplan los requisitos de los apartados 5.1.3 y 11.2.5.3, y los apartados de los ensayos de certificación, y b) cumplan los requisitos del apartado 11.2.3.3, la arena debe ser validada y el organismo de certificación debe emitir la renovación del certificado de conformidad (véase el apartado 11.2.1).

11.2.3 Método de los ensayos de certificación

11.2.3.1 Procedimiento. Se preparan 20 pares de lotes de mortero empleando una muestra del cemento seleccionado (véanse los apartados 11.2.2.1 y 11.2.2.2). Se emplea la arena a validar para uno de los lotes y la arena de referencia CEN para el otro. Se preparan los dos lotes de cada par en orden aleatorio, uno inmediatamente después del otro, según lo indicado en esta norma.

Se ensayan las probetas a resistencia a compresión a la edad de 28 días, y se registran todos los resultados individuales.

11.2.3.2 Cálculo y expresión de los resultados. Para cada par de resultados, se calculan y expresan los resultados de la resistencia a compresión de acuerdo con el apartado 10.2.1 y se registran según el apartado 10.2.2, como x para los resultados obtenidos con la arena a validar e y para el resultado obtenido con la arena de referencia CEN.

Se calcula el coeficiente de variación para cada uno de los dos conjuntos de resultados y se comprueba que cumplen con los requisitos de repetibilidad a corto plazo según el apartado 10.2.3.1.

Si los dos conjuntos de resultados no cumplen este requisito, se descartan todos los resultados y se repite la totalidad del procedimiento de ensayo.

Si uno de los juegos de resultados no cumple este requisito, se procede como sigue:

- a) Se calcula el valor medio de los 20 resultados, \bar{x} o \bar{y} .
- b) Se calcula la desviación típica de los 20 resultados, s .
- c) Se calcula la diferencia aritmética entre cada resultado y el valor medio, sin tener en cuenta el signo.

- d) Cuando una de estas diferencias sea mayor de $3s$, se descarta el resultado correspondiente y se calcula el valor medio de los 19 resultados restantes; cuando dos o más de estas diferencias sean mayores de $3s$, se descartan todos los resultados y se repite la totalidad del procedimiento de ensayo; cuando no existan diferencias superiores a $3s$, se mantienen los 20 resultados.

Se calcula el criterio de validación, D , utilizando la fórmula:

$$D = 100 \frac{(\bar{x} - \bar{y})}{\bar{y}} \quad (3)$$

donde

D es el criterio de validación, en porcentaje;

\bar{x} es el valor medio de los resultados obtenidos con la arena a validar, en megapascales;

\bar{y} es el valor medio de los resultados obtenidos con la arena de referencia CEN, en megapascales.

Se registra (D) redondeado a 0,1% más próximo, sin considerar el signo.

11.2.3.3 Requisitos. Para validar una arena según el procedimiento de ensayo de certificación inicial (véase el apartado 11.2.2.1), cada uno de los tres valores del criterio de validación, D , calculados y expresados según el apartado 11.2.3.2, debe ser inferior al 5,0%. Cuando uno o más de los valores de D calculados sea igual o superior al 5,0%, la arena no debe ser validada.

Para validar una arena normalizada CEN de acuerdo con el procedimiento de ensayo anual de confirmación (véase el apartado 11.2.2.2), el valor del criterio de validación, D , calculado y expresado según el apartado 11.2.3.2, debe ser inferior al 5,0%. Cuando el valor calculado de D sea igual o superior al 5,0%, la arena normalizada CEN no debe ser validada, se debe identificar la causa y se debe llevar a cabo el procedimiento de ensayo de certificación inicial (véase el apartado 11.2.2.1) para una posterior validación.

11.2.4 Ensayos de verificación de la arena normalizada CEN. Para demostrar que la arena normalizada CEN es conforme con esta norma, el productor de la arena debe llevar a cabo continuos ensayos de autocontrol, los cuales deben comprender:

- ensayo diario de la distribución granulométrica y contenido de humedad, según el apartado 5.1.3;
- ensayos mensuales según el apartado 11.2.5 de una muestra de la arena normalizada CEN producida, frente a una muestra de la misma arena normalizada CEN tomada bajo la inspección del organismo de certificación (véanse los apartados 11.2.2.1 y 11.2.2.2).

Para este propósito, las muestras deben tomarse por el productor de la arena en el punto de la expedición, una vez al día para los ensayos diarios y una vez al mes para los ensayos mensuales.

El productor de la arena debe comprobar que se cumplen las especificaciones de los apartados 5.1.3 y 11.2.5.3 y debe informar al organismo de certificación de cualquier no conformidad.

Se deben registrar todos los resultados, teniéndolos a disposición del organismo de certificación para inspección, y manteniéndolos durante, al menos, tres años.

11.2.5 Método de ensayo de verificación para la arena normalizada CEN

11.2.5.1 Procedimiento. Se preparan 10 pares de lotes de mortero utilizando una muestra de cemento seleccionada bajo la inspección del organismo de certificación para el ensayo por el laboratorio seleccionado (véase el punto b) del apartado 11.2.2.2). Se utiliza la muestra tomada una vez al mes por el productor (véase el apartado 11.2.4) para un lote y la muestra tomada una vez al año bajo la inspección del organismo de certificación (véanse los apartados 11.2.2.1 y 11.2.2.2) para el otro. Se preparan los dos lotes en cada par por orden aleatorio, uno después del otro, según esta norma.

Se ensayan las probetas a resistencia a compresión a los 28 días y se registran todos los resultados individuales.

11.2.5.2 Cálculo y expresión de los resultados. Para cada par de lotes, se calculan y expresan los resultados de resistencia a compresión según el apartado 10.2.1 y se indican según el apartado 10.2.2, como x para el resultado obtenido con la muestra tomada por el productor e y para el resultado obtenido con la muestra tomada bajo la inspección del organismo de certificación.

Se calcula el coeficiente de variación para cada uno de los dos conjuntos de resultados y se aplica el procedimiento del apartado 11.2.3.2 adaptado a los 10 pares de lotes.

NOTA – Cuando un conjunto de resultados falla en el cumplimiento de los requisitos de repetibilidad a corto plazo, el procedimiento establecido en el apartado 11.2.3.2 se llevará a cabo en lotes de 10 resultados, reduciéndolo a un mínimo de 9 resultados para los propósitos de la evaluación basada en el punto d) del apartado 11.2.3.2.

Se calcula y registra el criterio de validación, D , según lo descrito en el apartado 11.2.3.2.

11.2.5.3 Requisitos. En una serie de 12 ensayos mensuales consecutivos, el criterio de validación, D , calculado y expresado de acuerdo con el apartado 11.2.5.2, no debe exceder 2,5% más de dos veces. Si más de dos valores de D son superiores a 2,5%, el organismo de certificación debe ser informado, identificándose la causa y debiéndose llevar a cabo el procedimiento de ensayo de certificación inicial (véase el apartado 11.2.2.1) para una posterior validación.

11.3 Ensayos de validación del equipo alternativo de compactación

11.3.1 Requisitos generales. Cuando se requiera un ensayo de validación para un equipo alternativo de compactación, se debe suministrar la siguiente documentación al organismo de certificación.

- a) descripción detallada del procedimiento de compactación;
- b) descripción detallada del equipo de compactación (diseño y construcción);
- c) instrucciones del servicio, incluyendo comprobaciones para asegurar su correcto funcionamiento.

El organismo de certificación debe seleccionar tres lotes de equipos comercialmente disponibles para validarlos. Los tres lotes de equipos se deben ensayar frente al equipo de referencia conforme a los requisitos del apartado 4.6. Para ello, se deben colocar en un laboratorio de ensayo elegido por el organismo de certificación.

Bajo la supervisión del organismo de certificación, el laboratorio de ensayo debe comparar las características de los equipos a validar con la descripción enviada. Cuando se verifique la correspondencia de uno con otro, el laboratorio de ensayo elegido debe realizar tres ensayos comparativos según el procedimiento del apartado 11.3.2, empleando para cada equipo a validar un cemento diferente. Para ello, se deben seleccionar tres cementos de diferentes clases resistentes bajo la supervisión del organismo de certificación.

Cuando los resultados de cada uno de los tres ensayos comparativos cumplan con los requisitos del apartado 11.3.2.3, el organismo de certificación debe validar el equipo alternativo de compactación.

A continuación, la descripción técnica del equipo y la descripción del procedimiento de compactación deben considerarse como una alternativa validada a los apartados 4.6 y 7.2 respectivamente.

NOTA – La descripción técnica del equipo alternativo y la descripción del procedimiento alternativo de compactación que han sido validados se incluyen en el anexo A (normativo) de esta norma.

11.3.2 Método de ensayo del equipo alternativo de compactación

11.3.2.1 Procedimiento. Se preparan 20 lotes de mortero empleando uno de los cementos seleccionados (véase el apartado 11.3.1) y la arena de referencia CEN. Se preparan los dos lotes en cada par en orden aleatorio, uno inmediatamente después del otro, según lo descrito en esta norma.

Se compactan las probetas utilizando un conjunto completo del equipo alternativo para un lote y el equipo de compactación de referencia (véase el apartado 4.6) para el otro.

Después de la compactación, se procede según lo indicado en esta norma.

Se ensayan las probetas a compresión a los 28 días y se registran todos los resultados individuales.

11.3.2.2 Cálculo y expresión de los resultados. Para cada par de lotes, se calculan y expresan los resultados de resistencia a compresión según el apartado 10.2.1 y se indican según el apartado 10.2.2, como x para el resultado obtenido con el conjunto del equipo alternativo de compactación a validar e y para el resultado obtenido con el equipo de compactación de referencia.

Se calcula el coeficiente de variación para cada uno de los dos conjuntos de resultados y se comprueba que cumplen el requisito de repetibilidad a corto plazo expresado en el apartado 10.2.3.1.

Si los dos conjuntos de resultados no cumplen este requisito, se descartan todos los resultados y se repite el procedimiento completo de ensayo.

Si uno de los resultados no cumple con este requisito, se procede como sigue:

- Se calcula el valor medio de los 20 resultados, \bar{x} o \bar{y} .
- Se calcula la desviación típica de los 20 resultados, s .
- Se calcula la diferencia aritmética entre cada resultado y el valor medio, sin tener en cuenta el signo.

Cuando una de estas diferencias sea superior a $3s$, se descarta el resultado correspondiente y se calcula el valor medio de los 19 resultados restantes; cuando dos o más de estas diferencias sean superiores a $3s$, se descartan todos los resultados y se repite la totalidad del ensayo; cuando no exista diferencia superior a $3s$, se mantienen los 20 resultados.

Se calcula el criterio de validación (D) empleando la fórmula:

$$D = 100 \frac{(\bar{x} - \bar{y})}{\bar{y}} \quad (4)$$

donde

D es el criterio de validación, en porcentaje;

\bar{x} es el valor medio de los resultados obtenidos con el equipo alternativo de compactación a validar, en megapascales;

\bar{y} es el valor medio de los resultados obtenidos con la compactadora de referencia, en megapascales.

Se indica (D) aproximándolo al 0,1% más próximo, sin tener en cuenta el signo.

11.3.2.3 Requisitos. Los tres valores del criterio de validación, D , calculados y expresados según el apartado 11.3.2.2, correspondientes a cada uno de los tres cementos seleccionados y a cada uno de los tres conjuntos de equipos a validar, deben ser inferiores a 5,0%. Cuando uno o más de los valores calculados de D sea igual o superior a 5,0%, el equipo alternativo de compactación no debe validarse.

ANEXO A (Normativo)

**EQUIPO ALTERNATIVO DE VIBRACIÓN, COMPACTACIÓN Y PROCEDIMIENTOS
VALIDADOS COMO EQUIVALENTES AL EQUIPO DE COMPACTACIÓN
DE REFERENCIA Y SU PROCEDIMIENTO**

A.1 Generalidades

La compactadora de referencia se describe en el apartado 4.6. Sin embargo, el capítulo 1 permite emplear procedimientos y equipo alternativos " ... siempre y cuando hayan sido validados de acuerdo a lo indicado en esta norma".

Para la validación, se describe, en el capítulo 11, un procedimiento para validar alternativas al procedimiento de referencia. Se han llevado a cabo programas de ensayo de validación sobre mesas de vibración y procedimientos de compactación, identificadas como A y B en los capítulos A.2 y A.3. Son, por tanto, ejemplos de equipos alternativos de compactación validados.

De acuerdo con el apartado 11.3.1, cada descripción técnica (véanse los apartados A.2.1 y A.3.1) debe considerarse como una alternativa validada al equipo del apartado 4.6 y cada descripción del procedimiento de compactación (véanse los apartados A.2.2 y A.3.2) debe considerarse como una alternativa validada al apartado 7.2.

A.2 Mesa de vibración, A

A.2.1 Descripción técnica

La mesa de vibración A, que puede utilizarse como equipo alternativo de compactación, comprende:

- a) Método de operación: vibrador electromagnético con una vibración sinusoidal nominal.
 - b) Suministro eléctrico:
 - 1) voltaje : 230/240 V
 - 2) fase : monofásica
 - 3) corriente : máx. 6,3 A
 - 4) frecuencia : nominal 50 Hz
 - c) Masa vibrante (incluido molde vacío, tolva y anclajes pero excluyendo el vibrador): $(35,0 \pm 1,5)$ kg
 - d) Amplitud de operación vertical de pico a pico : $(0,75 \pm 0,05)$ mm,
medida en el centro que separa las paredes y las esquinas exteriores del molde vacío.
- NOTA 1 – La mesa vibrante está diseñada para producir solamente vibraciones verticales uniaxiales. La amplitud vertical de vibración está continuamente mostrada.
- NOTA 2 – La aceleración, medida en el centro equidistante de las paredes y esquinas exteriores del molde vacío, puede tener características alternativas para describir la operación de vibración de la mesa. El valor de $(26,0 \pm 3,0)$ m/s² corresponde al valor dado en el punto d) del apartado A.2.1.
- e) Frecuencia natural de la masa vibrante : $(53,00 \pm 0,25)$ Hz.

f) Placa vibrante: placa con un acabado terminado pulido como superficie de trabajo; dimensiones mínimas nominales de 400 mm x 300 mm compuesta de:

- 1) bien una chapa rígida sencilla de acero inoxidable, con soporte, o,
- 2) una doble chapa rígida de metal (espesor mínimo de 20 mm), la superior hecha de acero inoxidable con espesor mínimo de 2 mm, unida de forma permanente a la capa inferior por medio de una conexión trabada y de fricción.

NOTA 3 – Se recomienda que el centro de gravedad de la masa vibrante (incluidos los anclajes pero sin incluir el molde vacío y la tolva), esté marcado sobre la superficie de trabajo de la base vibrante en la intersección de dos ejes verticales ortogonales.

g) Puntos de fijación ajustables: tres puntos de fijación ajustables que permiten la sujeción del molde sobre la base vibrante de tal forma que su centro de gravedad coincida con el centro de gravedad de la mesa vibrante, marcada en la superficie de trabajo de la mesa de vibración.

h) Abrazadera para los moldes: accesorios de fijación adecuados para los moldes de 40 mm x 40 mm x 160 mm, incluyendo la tolva montada.

i) Masa de la mesa vibrante: superior a 100 kg.

NOTA 4 – En el caso de que la mesa vibrante se construya sobre muebles del laboratorio, es recomendable que el vibrador electromagnético esté permanentemente fijado a la masa de hormigón de, al menos 200 kg, sobre un material aislante de la vibración, para minimizar la transferencia de vibración a cualquier otro equipo.

j) Soportes antivibración: muelles de goma situados entre el plato de vibración y el marco, con:

- 1) dureza Shore : 45
- 2) rango del muelle : 145 MPa
- 3) dimensiones, diámetro : 50 mm
altura : 45 mm

k) Nivelación de la mesa de vibración: con la ayuda de tornillos ajustables (véase la figura A.1) situados en la superficie inferior, se coloca la mesa de vibración de tal forma que la superficie de trabajo del plato de vibración no se desvíe de la horizontal en más de 1 mm/m.

l) Temporizador automático: temporizador capaz de ponerse a 120 s y con precisión de ± 1 s en las lecturas de tiempo.

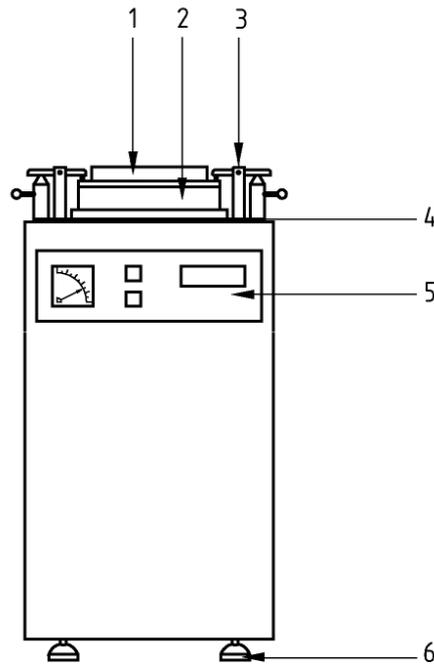
A.2.2 Procedimiento de compactación empleando la mesa de vibración, A

Se preparan las probetas inmediatamente después de la preparación del mortero.

Se monta el molde firmemente con la tolva en el centro de la mesa de vibración. Se pone el temporizador automático para que se detenga a los (120 ± 1) s.

Se pone en marcha el vibrador. Se rellenan los compartimentos del molde con dos capas de mortero en un máximo de 45 s, procediendo como sigue a continuación.

Se trabaja de un extremo al otro, introduciendo la primera capa de mortero, empleando un cazo adecuado, en los compartimentos del molde en 15 s, de tal forma que los compartimentos queden llenos aproximadamente a la mitad.



Leyenda

- 1 Tolva
- 2 Molde
- 3 Abrazadera
- 4 Mesa de vibración
- 5 Panel de control con indicación de la amplitud, configurador de la amplitud, temporizador e interruptor principal
- 6 Tornillos ajustables

Fig. A.1 – Esquema de una mesa típica de vibración, tipo A

Después de un intervalo de 15 s, se introduce la segunda capa de mortero en el molde en no más de 15 s, siempre trabajando de un extremo al otro, en la misma dirección que la primera capa introducida. Se emplea la totalidad del mortero.

Cuando el vibrador se haya parado después de los (120 ± 1) s, se levanta suavemente el molde de la mesa de vibración y se retira la tolva.

Se siguen los procedimientos de desmontaje, limpieza y etiquetado de los moldes descritos en el apartado 7.2.

A.3 Mesa de vibración, B

A.3.1 Descripción técnica

La mesa de vibración B, que puede utilizarse como equipo de compactación alternativo, comprende:

- a) Método de operación: vibrador electromagnético con una vibración sinusoidal nominal.
- b) Suministro eléctrico:
- 1) voltaje : 230/240 V
 - 2) fase : monofásica
 - 3) corriente : aproximadamente 6,3 A
 - 4) frecuencia : nominal de 50 Hz
- c) Masa vibrante (incluyendo molde vacío y tolva, pero excluyendo el vibrador): $(43,0 \pm 2,0)$ kg
- d) Aceleración de operación vertical: $(4,50 \pm 0,25)$ g rms, medida en la base del molde en el centro del compartimento del medio.
- NOTA – La aceleración máxima en cualquier dirección horizontal es 0,5 g rms.
- e) Frecuencia natural de la masa vibrante: $(55,50 \pm 0,25)$ Hz
- f) Placa vibrante: placa, con una superficie pulida como superficie de trabajo; de dimensiones nominales de 630 mm x 250 mm consistente en:
- 1) una placa rígida sencilla de acero suave de espesor (13 ± 2) mm.
 - 2) soportes de apoyo y placa guía.
- g) Abrazadera para los moldes: accesorios de fijación adecuados para moldes de 40 mm x 40 mm x 160 mm, incluyendo la tolva montada.
- h) Nivelación de la placa vibrante: la placa vibrante está permanentemente fijada al suelo y nivelada de forma que la superficie de trabajo de la placa no se desvía de la horizontal en más de 1 mm/m.
- i) Temporizador automático: temporizador capaz de ponerse a 120 s y con precisión de ± 1 s en las lecturas de tiempo.

A.3.2 Procedimiento de compactación empleando la mesa vibrante, B

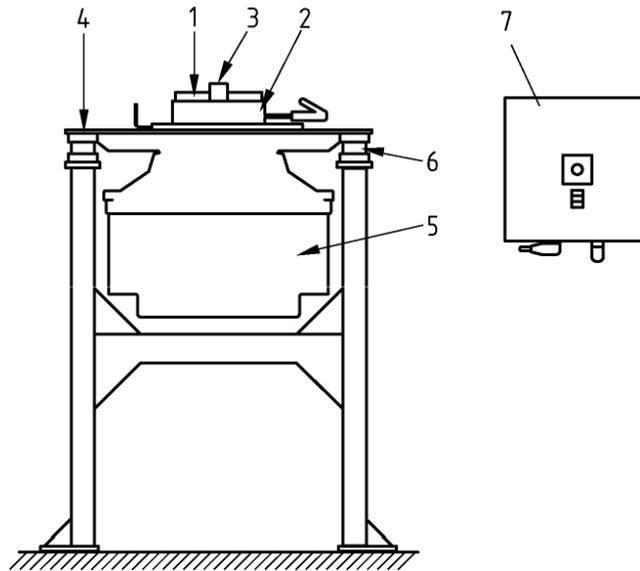
Se pone la mesa vibrante horizontal y se limpia. Se prepara y se ensambla el molde de acuerdo al apartado 4.5. Se asegura que la superficie inferior del apoyo de la base del molde está limpia. Se sujeta el molde, se pone la tolva firmemente sobre la mesa vibrante y se pone la aceleración de la mesa a $(4,50 \pm 0,25)$ g rms.

Se preparan las probetas inmediatamente después de la preparación del mortero. Cuando se utilice el temporizador automático, se coloca para que se apague después de (120 ± 1) s. Se enciende el vibrador. Se rellenan inmediatamente los compartimentos del molde con mortero, completando la operación en un máximo de 45 s, procediendo como sigue a continuación.

Se rellenan los compartimentos del molde, utilizando un cazo adecuado, en los 15 s siguientes, hasta aproximadamente la mitad de profundidad. Sin apagar el vibrador, y después de una pausa de 15 s, se añade la segunda capa en los siguientes 15 s, en la misma secuencia. El molde debería estar solo ligeramente sobrellenado. Después de un periodo total de (120 ± 1) s, se deja que el vibrador se apague automáticamente, o se apaga de forma manual.

Se levanta suavemente el molde de la mesa vibrante y se retira la tolva.

Se siguen los procedimientos de desmontaje, limpieza y etiquetado de los moldes descritos en el apartado 7.2.



Leyenda

- 1 Tolva
- 2 Molde
- 3 Abrazadera
- 4 Mesa de vibración
- 5 Vibrador electromagnético
- 6 Soportes antivibración
- 7 Panel de control

Fig. A.2 – Esquema de una mesa típica de vibración, tipo B



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Freire Peñafiel, Marjorie Mariana**, con C.C: # **0921876512** autor/a del trabajo de titulación: **Influencia del tratamiento, tamaño y dosificación de las fibras de abacá en el mortero** previo a la obtención del título de **Ingeniera 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, 22 de marzo de 2019

f. _____

Nombre: **Freire Peñafiel, Marjorie Mariana**

C.C: **0921876512**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Influencia del tratamiento, tamaño y dosificación de las fibras de abacá en el mortero		
AUTOR(ES)	Marjorie Mariana Freire Peñafiel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Stefany Alcívar Bastidas		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	22 de marzo de 2019	No. PÁGINAS:	132
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería sustentable, Construcción y materiales, Materiales naturales		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Mortero, abacá, látex, humo de sílice, fibra natural, tratamiento, tamaño, dosificación.		

RESUMEN/ABSTRACT

En este trabajo se investiga la influencia de la fibra de abacá en el mortero de enlucido con diferentes tratamientos, tamaños y dosificaciones. Se realizaron 3 tratamientos diferentes a la fibra de abacá antes de ser utilizada en el mortero con el fin de evitar la degradación de la fibra natural al interactuar con los componentes del cemento, disminuir la absorción de agua de la fibra y mejorar las propiedades mecánicas del mortero. A través de ensayos mecánicos de flexo-tracción y tiempo de fraguado se eligió el tratamiento más adecuado para las fibras de abacá. Posteriormente, las fibras fueron sometidas al tratamiento previamente elegido y se incorporaron en la mezcla del mortero con diferentes tamaños y dosificaciones. Realizando los mismos ensayos anteriormente mencionados se pudo comparar los resultados y determinar cuál es el tamaño más adecuado y su dosificación correspondiente. Los resultados indicaron que el tratamiento compuesto de látex natural y humo de sílice fue el más apropiado para la fibra abacá y que ésta debe ser utilizada con una longitud de 20 mm y en un porcentaje de 0,4 % con relación al peso total de arena y cemento que se utilice en la mezcla.

This paper has the purpose of investigating the influence of the abaca fiber on mortar with different treatments, sizes and dosages. Three different treatments were made to the abaca fiber before being used in the mortar in order to avoid the degradation of the natural fiber when interacting with the cement components, decrease the water absorption of the fiber and improve the mechanical properties of the mortar. Doing flexion and setting time tests in order to choose the most appropriate treatment for abaca fibers. Subsequently, the chosen treatment was incorporated into the mortar using different sizes and dosages. By performing the same tests, the results could be compared and we could determine the most appropriate size and its corresponding dosage. The results indicated that the treatment of natural latex and silica fume was the most appropriate for the abaca fiber and it should be used with a length of 20 mm and a percentage of 0.4% in relation to the total weight of sand and cement that is used in the mixture.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-997950719	E-mail: mayu_freire@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos	
	Teléfono: +593-4 -2206956	
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		