



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

**TITULO DE ARQUITECTO**

**Composite de matriz de cemento y refuerzo de Abacá**

**TRABAJO DE TITULACIÓN.**

**Autor:** Jadán Luzuriaga, Ronald Efrén

**Director:** Balcázar Arciniega, Cristián André, Arq.

**LOJA – ECUADOR**

**2017**



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

*Septiembre, 2017*

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Arquitecto

Cristián André Balcázar Arciniega

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Composite de matriz de cemento y refuerzo de Abacá**, realizado por Jadán Luzuriaga Ronald Efrén, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, mayo del 2017

f).....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.

“Yo, Jadán Luzuriaga Ronald Efrén declaro ser autor del presente trabajo de titulación: **Composite de matriz de cemento y refuerzo de Abacá**, de la Titulación de Arquitectura, siendo el Arq. Cristián André Balcázar Arciniega, director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textual dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

.....  
Jadán Luzuriaga Ronald Efrén  
1104187123

## **DEDICATORIA.**

Tu valentía y esfuerzo son mis más grandes inspiraciones que tuve para afrontar el desarrollo académico que he culminado, nada más satisfactorio saber que mi felicidad es la tuya, por ser mi fiel consejera y mi educadora, todo lo realizado y aprendido es en función tuya, de corazón te lo dedico a ti mamá.

Así mismo, se lo dedico a mis familiares y amigos que contribuyeron de manera directa e indirectamente con su apoyo para culminar este ansiado trayecto académico.

## **AGRADECIMIENTO.**

Agradecimiento total con la labor desempeñada por parte del Arq. Cristián Balcázar director de este proyecto, quien me supo guiar de la manera más adecuada para desarrollar mi investigación, de igual manera a todos los docentes de la Escuela de Arquitectura que con sus conocimientos me fui formando académicamente.

También un agradecimiento especial al Ing. Ángel Tapia quien con su colaboración en laboratorio de suelos pude desempeñarme de la mejor manera.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
JUSTIFICACIÓN.....	6
OBJETIVOS.....	7
HIPÓTESIS.....	8
METODOLOGÍA.....	9

### CAPITULO I

INVESTIGACIÓN GENERAL.....	10
1.1.    Sustentabilidad y sostenibilidad.....	11
1.2.    Composite.....	11
1.2.1.    Definición.....	12
1.2.2.    Composición.....	13
1.2.3.    Tipos.....	13
1.3.    Fibras.....	14
1.3.1.    Clasificación de fibras.....	15
1.4.    Fibras naturales.....	16
1.4.1.    Clasificación de fibras naturales.....	17
1.4.2.    Ventajas del uso de fibras naturales.....	17
1.5.    Fibras naturales vegetales.....	18
1.5.1.    Composición.....	18
1.5.2.    Clasificación de fibras naturales vegetales.....	19
1.5.3.    Ventajas de las fibras naturales vegetales.....	19
1.6.    Fibra vegetal: Abacá.....	20
1.6.1.    Antecedentes.....	20
1.6.2.    Propiedades.....	22
1.6.3.    Componentes.....	22
1.6.4.    Cultivo.....	23
1.6.5.    Cosecha.....	24
1.6.6.    Extracción de la fibra.....	25

1.7.	Reseña de investigaciones: Fibras naturales en matrices cementicias. ....	27
1.7.1.	Fibras de Lechuguilla como refuerzo. ....	27
1.7.2.	Fibras de Bagazo de Caña como refuerzo. ....	28
1.7.3.	Fibras de rastrojos de trigo en fibrocemento. ....	29
1.7.4.	Fibras de bambú como refuerzo. ....	29
1.7.5.	Fibras de henequén como refuerzo. ....	29

## CAPITULO II

PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	31
2.1. Materiales y métodos.....	32
2.1.1. Fibra natural “Abacá” .....	32
2.1.2. Matriz.....	34
2.1.3. Árido .....	37
2.2. Fabricación de probetas.....	38
2.2.1. Preparación y clasificación de morteros.....	38
2.2.2. Especímenes a desarrollar. ....	39
2.2.3. Influencia de fibra en el compuesto.....	40
2.2.4. Relación Agua/Cemento. ....	40
2.2.5. Aditivo en la mezcla. ....	41
2.2.6. Densidad de mortero. ....	43
2.2.7. Tipo de balanza. ....	43
2.2.8. Mezclado de los morteros.....	44
2.2.9. Condiciones del curado. ....	44
2.2.10. Almacenamiento de materiales.....	44
2.2.11. Dosificación de morteros.....	45

## CAPITULO III

RESULTADOS.....	48
3.1. Trabajabilidad con la fibra.....	49
3.1.1. Seccionamiento de la fibra. ....	49
3.1.2. Impermeabilización de la fibra. ....	49
3.2. Aditivo.....	52
3.2.1. Aditivo Sikament - N 100.....	52
3.3. Máquina de ensayo.....	53
3.4. Mezclado, vaciado y curado.....	54
3.5. Pruebas mecánicas en el laboratorio. ....	55
3.5.1. Especímenes puestos a pruebas de resistencia a compresión. ....	55

3.5.2. Especímenes puestos a pruebas de resistencia a flexión. ....	111
3.6. Pruebas físicas en el laboratorio. ....	166
3.6.1. Ensayos de densidad, contenido de humedad y absorción. ....	166
CONCLUSIONES .....	169
RECOMENDACIONES .....	170
BIBLIOGRAFÍA.....	171

## RESUMEN

La investigación y desarrollo de nuevos materiales compuestos a partir de fibras naturales tienen como principal objetivo conseguir materiales biodegradables, evitando el continuo daño ecológico realizado a nuestro ecosistema, así como el reemplazo de fibras sintéticas, permitiendo un ahorro económico y energético al momento de fabricarlas.

El composite conformado a partir de cemento puzolánico y fibra de abacá, tiene como objetivo principal verificar y comparar valores de propiedades mecánicas y físicas en sus diferentes dosificaciones en cuanto a morteros se refiere con influencia de fibra al 1% del total de la mezcla seccionada a 20 mm de longitud aproximadamente, además su aplicabilidad en la construcción viene dada por la presencia y aumento de grietas que suelen presentarse y la falta de adherencia a superficies de diferentes tipos al momento de usar morteros convencionales sin ningún tipo de fibra.

También se presenta el estudio sobre la impregnación de parafina sólida disuelta como elemento impermeabilizante de la fibra frente a los agentes alcalinos presentes dentro de la matriz y los efectos que se producen.

**Palabras claves:** Composite, fibra de abacá, parafina sólida y mortero.

## ABSTRACT

The research and development of new materials of natural fibers have as main objective to obtain biodegradable materials, avoiding the ecological damage done to our ecosystem, as well as the replacement of synthetic fibers, allowing economic and energy saving at the time of making them.

The composite made from pozzolanic cement and abaca fiber, has the main objective to verify and compare values of mechanical and physical properties in their different dosages in terms of mortars refers with fiber influence to 1% of the total of the mixture sectioned to 20 Mm in length, in addition its applicability in the construction is given by the presence and increase of cracks that usually present and the lack of adhesion to surfaces of different types when using conventional mortars without any type of fiber.

Also presented is the study on impregnation of dissolved solid paraffin as a waterproofing element of the fiber against the alkaline agents present within the matrix and the effects that occur.

**Keywords:** Composite, abaca fiber, solid paraffin and mortar.

## INTRODUCCIÓN

La investigación, innovación y desarrollo de materiales cementicios reforzados con fibras naturales para la construcción es un tema muy relevante que se ha explorado ampliamente debido al ahorro de energía en su producción, el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales, la rentabilidad de los mismos y la presencia abundante de estas fibras en diferentes países, esto además de ser materias primas naturales, renovables y biodegradables que ayudan a la conservación y preservación del medio ambiente, desarrollando materiales sostenibles que pueden competir con las fibras sintéticas que son de uso común.

Se ha tomado mucho en cuenta la sustitución de las fibras sintéticas por las fibras naturales o fibras vegetales como refuerzo en el concreto, ya que la obtención de las mismas resulta económicas aportando rigidez e incluso mejorando las propiedades mecánicas de las sintéticas dentro del compuesto. Estas fibras suelen ser trabajadas sin ser procesadas pero para un mejor resultado se las procesa químicamente con el objetivo de mejorar sus propiedades frente a los agentes alcalinos del cemento, caso contrario la durabilidad de la fibra vendría a disminuir.

En especial, el abacá es una fibra vegetal con grandes características favorables entre ellas su resistencia a la compresión, longitud, estética y demás. La planta del abacá posee una apariencia similar al banano pero en cuestión de usos, propiedades es totalmente diferente, tiene su origen en el continente asiático específicamente en Filipinas. Su zona de cultivo en nuestro país se encuentra ubicada dentro de los límites entre Quinindé, Santo Domingo, Quevedo y La Maná, siendo el Ecuador el segundo país productor y exportador de esta fibra en el mundo, tras Filipinas.

Tabla I  
*Exportación anual del abacá*

<b>AÑO</b>	<b>TONELADAS (T)</b>
2012	16989
2014	13135
2015	14765

Fuente: Elaboración propia a partir de Revista LIDERES (2016).

Usualmente, al abacá se la emplea como materia prima para tipos de papeles especiales como el de moneda, de cigarrillo, indumentaria, tapicería, cuerdas entre otros. En lo que respecta al uso en el campo de la construcción, son pocas las investigaciones al respecto.

Las investigaciones que han experimentado con la fibra de abacá dentro de pastas cementicias y hormigones, han encontrado resultados satisfactorios frente a otras fibras como la de sisal o yute.

El enfoque principal en el desarrollo de esta investigación es el análisis de diseño de mezcla donde las relaciones agua/cemento + fibra, y las características físicas y mecánicas de las probetas elaboradas. Al igual que el análisis de la degradación de la

fibra frente a los agentes alcalinos del cemento, buscando un elemento neutralizante que proteja a la fibra brindándonos mejores resultados, especialmente la conservación por mayor tiempo de la misma dentro de la matriz.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hace mucho tiempo atrás en países desarrollados se ha venido trabajando con la fibra de amianto, el mismo que es perjudicial para la salud y demás fibras sintéticas y metálicas, que por su contaminación, grandes recursos económicos y energéticos al momento de producirlos se ha tratado de sustituirlas por las fibras naturales.

Nuestro país cuenta con una gran presencia de fibra vegetal, en su mayoría la fibra es empleada artesanalmente para tejidos decorativos, sombreros, sogas, cordelería, etc. Según López, Sarmiento, Fajardo, Valarezo y Zuluaga (2013) aseguran que el “Ecuador posee aproximadamente cerca de 25 000 especies, convirtiéndose en el país con mayor diversidad vegetal por unidad de área en América Latina”.

Teniendo en cuenta el gran potencial de fibra vegetal que se da en nuestro país, un claro ejemplo es la producción y exportación de la fibra de abacá siendo segundos en el mundo, pero esto se ve opacado ya que nuestro país no ha sido capaz de buscar técnica o tecnología alguna para darle una aplicación a fibras dentro de aspectos constructivos de manera industrial, aprovechando las ventajas en cuanto a biodegradación amigable con el ambiente se refiere y la economía en su producción que tranquilamente podría ser aplicado en la construcción de viviendas sostenibles de bajos recursos económicos pero de una buena calidad.

Ecuador es un país en proceso de desarrollarse tecnológicamente en investigación e innovación de nuevos materiales, estando regidos a la construcción convencional ocupando elementos de arcilla u hormigón.

La trabajabilidad del abacá o cualquier fibra natural dentro de la pasta cementicia presenta dos grandes problemas como: el porcentaje volumétrico de la fibra dentro de la matriz y la degradación al poco tiempo de la fibra si no se le realiza algún tratamiento químico que la proteja de los agentes alcalinos de la pasta.

Un problema que vendría a resolverse con el desarrollo de un mortero reforzado con abacá sería solventar problemas en el terminado de mamposterías tradicionales constituidas por ladrillos de arcilla o bloques de cemento teniendo como unión juntas de mortero, estas mamposterías suelen presentar daños por vibración dinámica, deformaciones, agrietamientos y demás problemas patológicos.

Los materiales compuestos surgen como una propuesta que combatan estos problemas, materiales compuestos que lleven dentro si mismos el elemento fibroso como refuerzo aumentando una adherencia homogénea a la superficie.

## JUSTIFICACIÓN

El uso de materiales alternativos se basa en criterios de uso sostenibles permitiendo reducir la extracción y el uso de recursos naturales sustancialmente, es decir, evitar la explotación continua de canteras, ríos, montañas dañando el ecosistema y áreas vírgenes de explotación, consumo de energía y la contribución de emisiones de gases de efecto invernadero en el proceso continuo de elaboración de productos utilizados en el campo de la construcción.

Al utilizar materiales ecológicos en los diferentes campos de la construcción como el espacio público, viviendas, elementos decorativos, pavimentos, etc, se impulsan iniciativas sustentables, que ayudará al desarrollo de nuevas tecnologías y la sostenibilidad.

La elaboración de materiales compuestos a partir de fibras naturales como insumos para la construcción nos permite ahorrar costos y energía en su producción, siendo productos de bajo presupuesto e incluso son duraderos y saludables que los materiales convencionales compuestos con fibras sintéticas.

Por otro lado, el uso de fibras naturales se justifica con el mejoramiento de propiedades mecánicas dentro de morteros y hormigones, disminución altamente de la tenacidad, al igual que su baja densidad y la reutilización que se le puede dar en comparación con las fibras sintéticas. Es así, que los morteros y hormigones reforzados con fibras naturales consisten en materiales alternativos a morteros y hormigones reforzados convencional, siendo una solución viable tanto técnica como económicamente.

De acuerdo a Reynaldo (2011, p. 2): "Las fibras de cemento o de hormigón sirven como supresor de la grieta que puede crear una etapa de propagación lenta de grietas y el fracaso gradual<sup>1</sup>".

La investigación sobre la fibra de abacá en aspectos constructivos como elemento principal de refuerzo en el composite a desarrollar surge como una propuesta de realizar nuevas investigaciones con fibras naturales, para luego conocer sus propiedades, ventajas y desventajas, que nos pueden brindar como soluciones constructivas. Además la gran producción de esta fibra en el agro-costero de nuestro país nos brinda la posibilidad de innovar sus usos dentro de la vida diaria de la sociedad solventando gastos económicos dentro de la construcción debido a que muchas personas con escasos recursos realizan sus viviendas de manera informal o empleando otros materiales sustentables como la madera, palma, bambú entre otros.

Además estos materiales por ser de origen natural tienden a descomponerse con el tiempo dependiendo de la humedad con la que este rodeada, para esto se investigará elementos que impermeabilicen a la misma evitando su deterioro en el medio.

Por ende, veo la gran posibilidad para trabajar manualmente el composite, para luego realizar las respectivas pruebas de resistencia en laboratorio y así llegar a respuestas concisas del material.

---

<sup>1</sup> Traducido del inglés.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Estudiar la influencia de adición de fibra natural vegetal de abacá con tratamiento y sin tratamiento en morteros y su comparación respecto a morteros sin la inclusión de fibra.

### **Específicos**

- Investigar y definir un marco teórico acorde a composites y la elaboración de nuevos materiales con relación a fibras naturales y morteros.
- Experimentar con diferentes dosificaciones, colocación de la fibra dentro de la matriz, hasta encontrar la dosificación correcta que otorguen las condiciones físicas y mecánicas adecuadas para su acabado.
- Realizar la caracterización mecánica y física del composite.
- Analizar los resultados obtenidos de cada ensayo dentro de la maquina triaxial para realizar las respectivas conclusiones del composite.

## **HIPÓTESIS**

A medida que se la protege a la fibra con sustancias químicas ante los efectos alcalinos de la pasta cementicia, sus propiedades mejoran dentro de la misma aumentando las propiedades mecánicas mejorando su resistencia a la flexotracción y mejorando sus propiedades físicas.

## METODOLOGÍA

Se utilizarán las dosificaciones especificadas en la norma NTE INEN 488 (2009) con proporción de 1:2.75 y la ISO/R 679-1968 con proporción entre sus elementos de 1:3 para todas las probetas, agregando 1% de fibra del total de la mezcla, cortadas a 20 mm de longitud y colocadas de manera dispersa dentro de la mezcla, para que la fibra no pierda sus propiedades.

A la fibra se le realizará varios tratamientos químicos, analizando cada uno de ellos con el fin de mejorar su adherencia dentro de la matriz, así como la protección a la humedad y agentes alcalinos del cemento:

- Inmersión total dentro de parafina líquida.
- Inmersión total dentro de parafina sólida disuelta.

Se empleará un superfluidificante dentro de la pasta cementicia y el abacá mejorando la consistencia de la mezcla.

Se utilizará Cemento Puzolánico o Portland y arena seca de canto rodado.

El mortero se lo va a curar mediante inmersión total en agua durante 24 horas después de desencofrar y ensayado a los 7, 14 y 28 días respectivamente.

**CAPÍTULO I**  
**INVESTIGACIÓN GENERAL**

## **1.1. Sustentabilidad y sostenibilidad**

A medida que el desarrollo industrial y tecnológico crece en nuestro mundo se desarrollan problemas ambientales cada vez más grandes responsables de provocar problemas económicos y de salud en los diversos países involucrados en el mismo. La sostenibilidad en tiempos actuales considerada unos de los temas más relevantes debido al deterioro de nuestro medio ambiente y la necesidad de conservarlo, siendo pilar fundamental para investigaciones y desarrollo de tecnologías ambientalmente amigables.

En diversos países industrializados se desarrollan tecnologías donde renovar e innovar materiales, se ha convertido en una parte fundamental para su desarrollo que a más de cumplir su función, sean amigables con el medio ambiente, surgiendo políticas sostenibles para estos materiales.

La sostenibilidad en el uso de fibras naturales en los últimos años ha tenido un gran desarrollo evidenciándose esto en un sinnúmero de investigaciones realizadas con el objetivo de frenar nuestras actividades contaminantes dentro del campo de la construcción

Ponce et la (2014) afirma:

En la última década la producción de polímeros biodegradables se ha incrementado significativamente. La producción actual de este tipo de polímeros se encuentra en alrededor de 214.400 toneladas por año mundiales, con un crecimiento anual en la producción del 18% aproximadamente. (p.1)

La investigación se fundamenta en la necesidad de sustituir polímeros no biodegradables, en materiales biodegradables, es decir, materiales que son amigables con el medio ambiente que luego de realizarles las respectivas pruebas de laboratorio presenten buenas condiciones mecánicas y físicas para su uso en la construcción.

A más que el empleo de materiales biodegradables naturales deben de ejercer durabilidad durante su tiempo de vida siendo motivo para que pueda formar parte de métodos constructivos donde su empleo sea prescindible y cumpliendo con sus respectivas demandas en cuanto a normativas y resistencias.

El uso de materiales alternativos se basa en criterios de uso sostenibles permitiendo reducir la extracción y el uso de recursos naturales sustancialmente, es decir, evitar la explotación continua de canteras, ríos, montañas dañando el ecosistema y áreas vírgenes de explotación, consumo de energía y la contribución de emisiones de gases de efecto invernadero en el proceso continuo de elaboración de productos utilizados en el campo de la construcción.

El enfoque principal en el desarrollo de esta investigación es la reducción de la contaminación ambiental aprovechando la presencia de fibras naturales en nuestro medio, permitiendo ahorrar recursos, tiempo, costos además de fomentar la producción agrícola de nuestro país.

## **1.2. Composite**

### 1.2.1. Definición

Composite o material compuesto se define al elemento constituido por dos o más elementos diferentes cuyas propiedades se diferencian entre sí, siendo elementos identificables dentro de la masa total del composite sin sufrir alteraciones químicas entre ellos. Dentro del composite la “fase matriz” ocupa el mayor volumen luego le sigue la “fase refuerzo” compuesto generalmente a base de fibras.

Existen algunas investigaciones y definiciones acerca los composites, según Olivares et la (2003, p. 46):

Esencialmente, lo que se entiende por «composite» o material compuesto es una composición artificial, de fases diferentes y diferenciadas, aunque solidarias, cuyo mayor volumen lo ocupa su "fase matriz", componente de no muy alta densidad, de naturaleza polímera y sintética, en la mayoría de las preparaciones, que engloba una segunda fase, "fase de refuerzo", compuesta generalmente a base de fibras (también pueden ser partículas o láminas), con resistencias a la tracción, muy superiores a la que posee la matriz. Las partículas, fibras o láminas, englobadas dentro de la matriz, actúan como armaduras o refuerzos de la misma, pudiendo llegar a absorber la práctica totalidad de las cargas que se aplican al compuesto. (Olivares et la., 2003, pp. 46).

Tabla 1  
*Materiales Compuestos*

	MATERIAL	MATRIZ	FIBRAS / REFUERZO	
EN LA NATURALEZA	Madera	Resinas naturales	Fibra de celulosa	
EN EL CUERPO HUMANO	Huesos	Cemento cálcico	Fibra de colágeno	
	Adobe	Barro	Paja	
	Antigüedad Yeso armado	Yeso	Crines de caballo	
	Hormigón armado	Hormigón	Armadura de acero	
INVENCIÓN HUMANA PARA LA CONSTRUCCIÓN	Amianto cemento	Mortero de cemento	Amianto	
	Modernas	Morteros y hormigones fibrosos	Mortero	Acero, vidrio, poliméricas, carbono, vegetales.
		Yeso armado	Yeso	Vidrio, poliméricas, vegetales
	Composites	Resina	Vidrio, poliméricas, carbono, aramida	

Morteros poliméricos	Resina	Áridos
-------------------------	--------	--------

Nota. Elementos que intervienen en Materiales Compuestos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Olivares, Galán y Roa (2003).

### 1.2.2. Composición.

Todo composite se encuentra formulado por dos elementos: matriz y refuerzo.

#### 1.2.2.1. Matriz.

Es la fase continua caracterizada por ocupar el mayor porcentaje dentro del composite, presentándose como el componente menos resistente, flexible y dura.

##### 1.2.2.1.1. Propiedades:

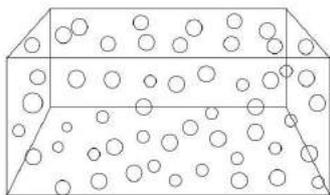
- Soporta fibras manteniéndolas en una posición correcta.
- Transfiere la carga a las fibras más fuertes.
- Evita la propagación de grietas en la fibra a lo largo del compuesto.

#### 1.2.2.2. Refuerzo

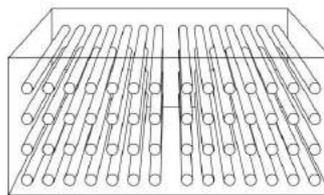
Es la fase discontinua quedando embebido dentro de la matriz caracterizándose por ser el compuesto reforzante, el de mayor resistencia y a su vez la de mayor fragilidad.

### 1.2.3. Tipos.

De acuerdo a la forma del refuerzo se clasifican:



*Compuesto Particulado.*



*Compuesto Fibroso.*



*Compuesto Laminado.*

Ilustración 1

*Tipos de Materiales Compuestos.*

Fuente: Elaboración propia a partir de Olivares, Galán y Roa (2003).

#### 1.2.3.1.1. Materiales compuestos reforzados con partículas o Composites particulados:

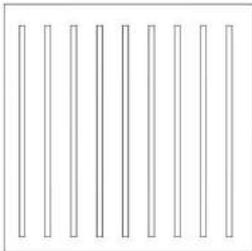
Están conformados por partículas como elementos reforzantes.

El material compuesto reforzado por partículas grandes como la arena y piedra por lo general y más común es el hormigón. Presentándose en las partículas nombradas una gran variedad en su geometría pero deberán tener un tamaño promedio similar todas ellas.

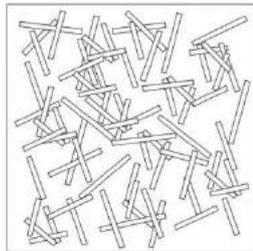
El reforzamiento es más propicio cuando las partículas son más pequeñas y la distribución homogénea dentro de la matriz, evitando la incorporación de aire dentro de la misma y por ende su resistencia aumenta.

### 1.2.3.2. Composites fibrosos:

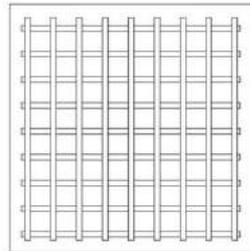
Está conformado mediante el uso de fibras sean sintéticas o naturales como elemento reforzante, pueden estar colocadas en diferentes direcciones, las mismas constan de diversas formas, compuestos y dimensiones, esto ya justificado al momento de ser utilizadas.



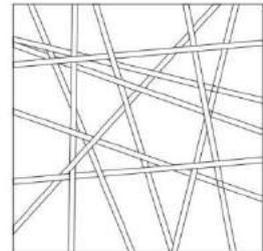
*De forma unidireccional (fibras largas).*



*De manera aleatoria (fibra corta).*



*Disposición ortogonal (malla).*



*Capas alternadas.*

Ilustración 2

*Tipos de Composites Fibrosos.*

Fuente: Elaboración propia a partir de Olivares et al (2003).

### 1.2.3.3. Composites laminados:

Compuesto por elementos laminados con espesores variados.

## 1.3. Fibras

Son filamentos con estructuras delgadas y largas, suelen doblarse fácilmente, incrustadas dentro de una matriz su propósito es la creación de diferentes polímeros ya que dependiendo de su longitud, cantidad, colocación dispersa o continua mejoran variablemente las propiedades de los materiales a realizarse como: textiles, materiales de construcción, entre otros.

En la actualidad la aplicación de fibras en morteros y hormigones tienden a dar un mayor refuerzo con el objetivo de buscar materiales alternativos para la construcción que eviten la extracción y contaminación de ríos y canteras al momento de utilizar materiales

convencionales, además por razones de resistencia a cargas mayores aumentando su vida útil puesto en servicio.

Según el *American Concrete Institute*, ACI (544.1R-96, p. 2):

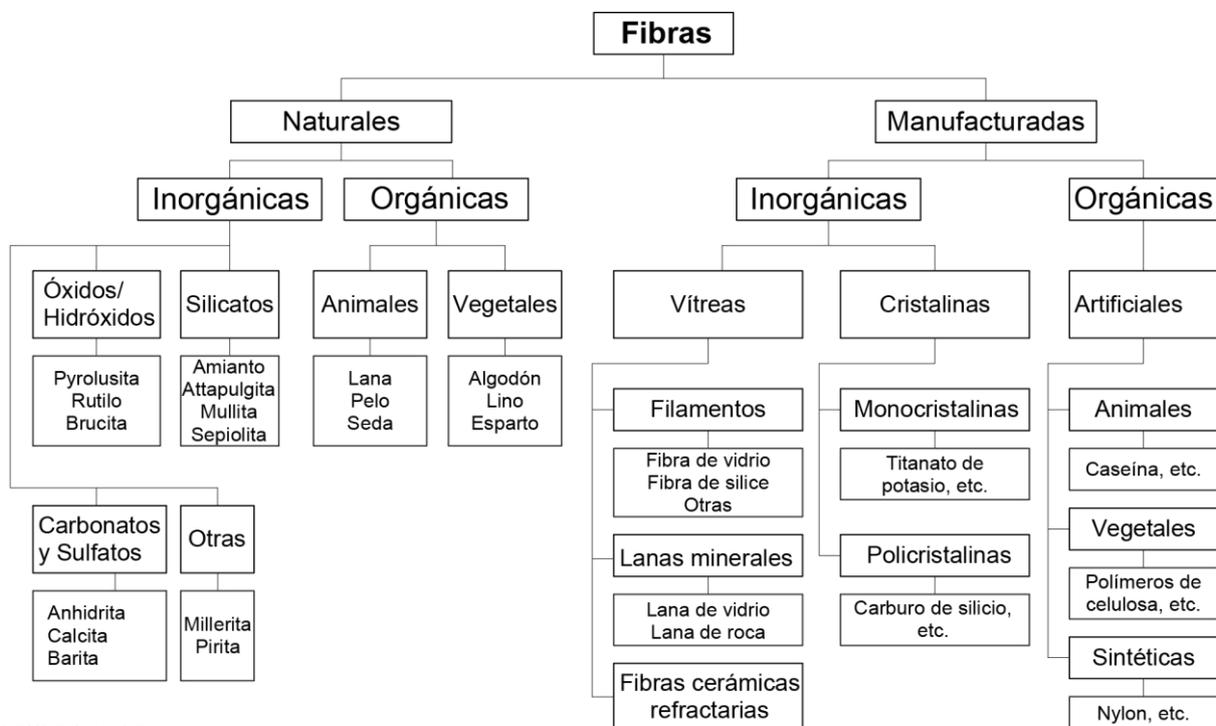
En los tiempos modernos, una amplia gama de materiales de ingeniería (incluyendo cerámica, plásticos, cemento y productos de yeso) incorporan fibras para mejorar las propiedades del composite. Las propiedades mejoradas incluyen resistencia a la tracción, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, resistencia a las grietas, control, durabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al impacto y la abrasión, la contracción, expansión, características térmicas y resistencia al fuego agrietarse<sup>2</sup>.

Son diferentes las fibras empleadas dentro de matrices cementicias, debido a sus grandes propiedades que presentan dentro de la misma. Como:

- Incremento de la resistencia a la tracción.
- Mejoran la ductilidad del material, siendo su ruptura menos brusca.
- Disminución y propagación de las fisuras.

### 1.3.1. Clasificación de fibras.

Diferentes investigaciones han clasificado las fibras dependiendo de su origen, así como de su utilización dentro de la construcción.



<sup>2</sup> Traducido del inglés.

### Ilustración 3

#### *Clasificación de las fibras según su origen.*

Fuente: Elaboración propia a partir de Costa, y Ramón (2012).

El ACI (544. 1R-96, 2002) clasifica a las fibras de acuerdo a la aplicación que tienen dentro de la construcción.



### Ilustración 4

#### *Clasificación de las fibras según el ACI.*

Fuente: Elaboración propia.

Según Cadima, Rosas, y Aguirre (2005): “Las fibras de metal y sintéticas son más utilizadas, por ser más compatibles con el hormigón, que las fibras naturales” (p. 61).

#### **1.4. Fibras naturales**

Estas fibras suministradas por la naturaleza y sus aplicaciones en aspectos constructivos se remontan hace muchos años atrás, cuando el hombre empleaba el yute, paja, pelo de animales entre otros, para la conformación de materiales para sus viviendas como bloques de tierra, arcilla, cal y demás productos para la construcción rudimentaria, aumentando significativamente las propiedades y características mecánicas de estos elementos en esa entonces.

Las fibras naturales han sido expuestas a diferentes investigaciones durante varios años, debido a las grandes cantidades con las que se encuentran en diversos países así como la poca energía empleada y conocimientos técnicos para producirlos y procesarlos industrialmente.

Los productos de fibrocementos producidos para la construcción son empleados hoy en día en grandes cantidades y muchas innovaciones del mismo parten fundamentalmente de la sostenibilidad de los materiales para la construcción, así también con el objetivo de reemplazar en parte a las fibras de amianto que también conforman gran parte de paneles de fibrocemento empleados en la construcción, estas fibras son perjudiciales representando un riesgo importante para la salud humana.

Todas las fibras que corresponden a ser naturales tienen dos grandes ventajas respecto a las fibras manufacturadas, es decir, las fibras sintéticas y metálicas, como son su baja densidad y su biodegradación. Estas fibras al ser una fuente renovable continua y el bajo costo para adquirirlas las vuelven propicias para diversas investigaciones dentro del campo constructivo.

Así lo afirma Juárez (2002, p. 4):

A finales de los años sesenta, se llevó a cabo una evaluación sistemática de las propiedades de ingeniería de las fibras naturales, y de los compuestos hechos de estas

fibras con el cemento. Aunque los resultados fueron alentadores ya que se encontró que mejoraban la resistencia a flexión y al impacto del concreto, también se reportaron algunas deficiencias respecto a su capacidad de refuerzo a largo tiempo. Estas deficiencias al parecer son resultado del deterioro que sufre la fibra debido a la reacción con la pasta alcalina de cemento y al aumento del volumen de las fibras en presencia de la humedad.

#### 1.4.1. Clasificación de fibras naturales.

Se clasifican en tres aspectos de acuerdo a su origen: vegetales, animales y minerales.

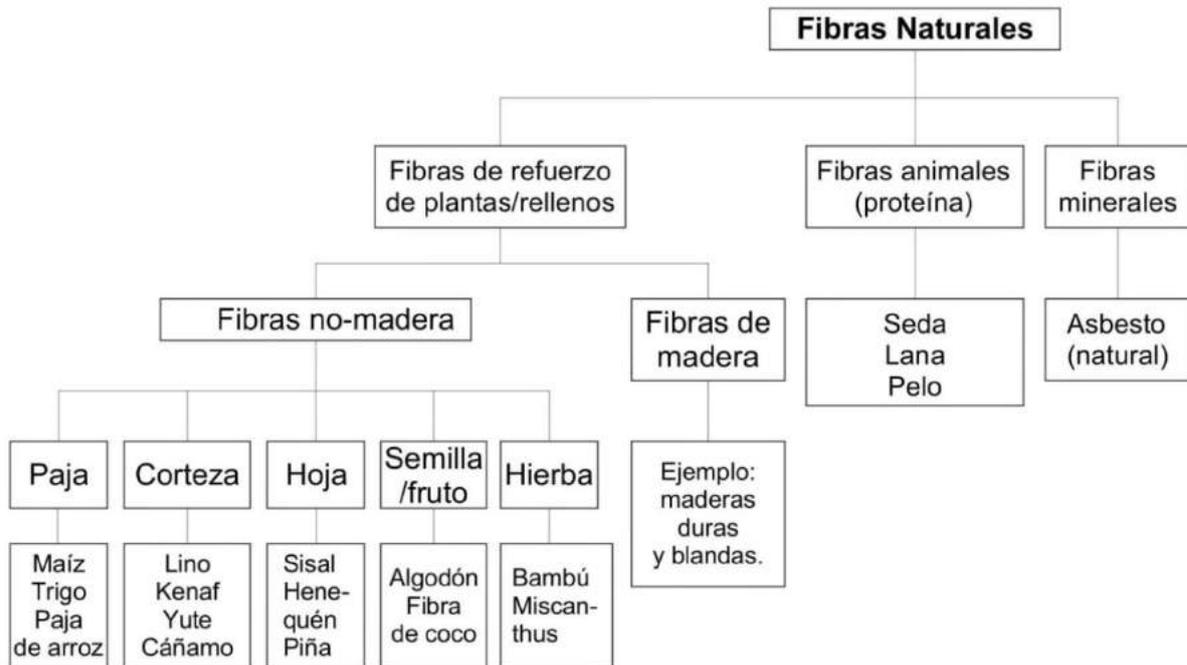


Ilustración 5

*Clasificación de las fibras naturales que se pueden utilizar como refuerzo en materiales y polímeros a base de cemento<sup>3</sup>.*

Fuente: Elaboración propia a partir de Fallis A. (2013).

#### 1.4.2. Ventajas del uso de fibras naturales.

El uso de fibras naturales como refuerzos en materiales compuestos o composites se justifica por:

- De acuerdo a su gran disponibilidad ya que se encuentran en cualquier parte del planeta sea en cualquier planta, como en cualquier animal.
- Son fibras de buena calidad. En el futuro se estudia sustituir las fibras naturales por las sintéticas.
- Se reciclan de manera natural (materiales biodegradables y renovables).

<sup>3</sup> Ilustración traducida del inglés

- No emite CO2 al momento de su degradación.
- Se puede desarrollar tecnologías y materiales con menos impacto ambiental. Fomentando recursos locales en países menos industrializados.

### **1.5. Fibras naturales vegetales**

Son fibras o elementos fibrosos que se encuentran y extraen de plantas. Las mismas que son utilizadas en la industria textil, automotriz y con mucho auge dentro de la construcción.

Hoy en día el uso de fibras naturales vegetales tiene gran importancia en la sostenibilidad que representan en algunos casos sustituyendo fibras sintéticas permitiendo el ahorro de energía. Así lo confirma Maiti (1995):

Después de las plantas alimenticias, los productores de fibra son las que más importancia económica y social revisten para los países desarrollados y subdesarrollados. Gran parte de estas plantas se han usado desde tiempos muy remotos en la fabricación de vestido y cordeles de arcos de diversas formas; las fibras se han obtenido a partir de raíces, tallos, hojas, frutos y semillas.

Actualmente, las fibras vegetales tienen gran demanda en el mundo, e incluso compiten con la lana, seda y fibras sintéticas por su calidad, resistencia, durabilidad, coloración y lustre. (p. 13).

De acuerdo a Maiti (1995) “las fibras se encuentran en las raíces, tallos, hojas, frutos y semillas y se extraen mediante diferentes procesos, como enriado<sup>4</sup> y descorticación<sup>5</sup>, dependiendo del estado de madurez de la planta” (p. 14).

El uso de fibras vegetales dentro de diversas actividades industriales como la elaboración de materiales compuestos poliméricos dentro de la industria automotriz. Siendo materia prima de bajo costo, buena resistencia mecánica y fácil obtención, presentando ventajas económicas y ambientales. Destacándose fibras como el yute, lino y kenaf que se encuentran en el tronco de la planta, previamente deben de ser extraídas, al igual que las de coco y algodón que provienen de semillas y frutos, así como las fibras que provienen de hojas como el henequén, sisal y el abacá.

#### **1.5.1. Composición**

Según Macía (2006):

Las fibras vegetales propiamente dichas se componen de células largas y delgadas de esclerenquima. Estas células tienen la característica de desarrollar una segunda pared vegetal, dentro de la primera, cuando la célula ha completado su crecimiento, con lo que finalmente se conforman paredes celulares mucho más gruesas que en otro tipo de células. Su función es la de dar soporte, dureza y rigidez a los tejidos vegetales. La composición de la pared celular de las fibras vegetales es principalmente de celulosa y

---

<sup>4</sup> Se conoce como enriado el proceso de fermentación microbiana de los tallos de lino y cáñamo que permite la extracción y separación de los haces fibrosos corticales de la porción leñosa del tallo.

<sup>5</sup> Extirpación de la envoltura fibrosa que recubre un órgano.

en segundo término de lignina, pero también se pueden encontrar taninos, gomas, pectinas y otros polisacáridos. (p. 372).

Debido a su composición prominente de celulosa y lignina, estas fibras también son llamadas como fibras lignocelulósicas. Conformadas por células largas y delgadas, con el fin de desarrollar una segunda pared vegetal dentro de la primera

### 1.5.2. Clasificación de fibras naturales vegetales.

De acuerdo a la localización de la fibra en la planta se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 2  
*Clasificación de las fibras vegetales*

TIPO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
Fibras blandas	La fibra se encuentra en el floema de los tallos; se presenta en las dicotiledóneas.	Lino Yute Cáñamo
Fibras duras	La fibra se encuentra en el floema de las hojas en forma de haces que se superponen unos con otros, lo que los hace más fuertes por su mayor lignificación; se presentan en las monocotiledóneas.	Maguey Cabuya Abacá
Fibras de superficie	Corresponde a los pelos de la epidermis de la semilla.	Algodón

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de Macía (2006).

### 1.5.3. Ventajas de las fibras naturales vegetales.

Muchas de las fibras vegetales han formado parte como materia prima en el desarrollo de la industria, debido a que presentan excelentes propiedades.

De acuerdo a Tapia, Paredes, Simbaña, & Bermúdez (2006, p. 114):

- Son ambientalmente amigables tanto en el proceso, producción y como desecho al final del ciclo.
- Son renovables y se necesitan menor cantidad de energía de entrada por unidad de producción.
- Propiedades similares a aquellos materiales con refuerzo de fibra de vidrio.
- Mejor elasticidad.
- Son menos abrasivos durante el proceso de fabricación.
- Absorben bien las vibraciones y por lo tanto el sonido.

- 2 a 3 veces más barato que trabajar con fibra de vidrio.
- Si se requiere un compuesto 100% biodegradable se pueden mezclar con bio-polímeros como almidón, lignina, hemicelulosa, caucho.
- Cuando se queman los compuestos con fibras naturales hay menor producción de CO2 y otros gases tóxicos.

Así mismo, las fibras vegetales presentan sus desventajas, según Tapia et al. (2006):

- La calidad de las fibras es dependiente de las condiciones naturales.
- Se requieren grandes áreas de cultivo si se empieza una producción a escala.
- La baja densidad se vuelve una desventaja durante el proceso.
- La capacidad hidrofílica de las fibras naturales podría afectar las propiedades, dependiendo de la aplicación.
- El enlace entre los polímeros y las fibras naturales es débil.

## 1.6. Fibra vegetal: Abacá.

### 1.6.1. Antecedentes.

El abacá llamado también cáñamo de Manila perteneciente a la familia Musáceas de las monocotiledóneas o plantas de fibra dura. De acuerdo a Sánchez (1990). “Esta familia comprende numerosas especies, todas nativas de los trópicos húmedos. El nombre científico del abacá es *Musa textiles Ne*” (p. 57).

Tabla 3  
*Taxonomía*

Nombre científico	Musa Textilis Ne
División	Magnoliófitos (angiospermas, fanerógamas)
Clase	Liliatas (liliopsidas), (monocotiledóneas)
Orden	
Familia	Musáceas
Genero	Musa

Fuente: Elaboración propia a partir de Cerón (2006).

En cuanto a la planta, posee una gran similitud morfológica con la planta del banano pero en cuestión de usos, propiedades es totalmente diferente, tiene su origen en el continente asiático específicamente en Filipinas siendo este el principal productor y exportador a nivel mundial de esta fibra, aunque con el tiempo la producción del abacá se ha transportado a países de zonas trópicas y húmedas, como el Ecuador.

Sus respectivas diferencias en cuanto a la similitud con el banano se presenta a continuación en la tabla 4.

Tabla 4  
*Diferencias Morfológicas con el banano.*

Planta	Alcanzan una altura entre los 6 - 7 m.
Seudotallo	Es más delgado que el del banano.
Hojas	Son más pequeñas, angostas.
Inflorescencia	Espiga corta, inclinada. Los lóbulos exteriores del cáliz en forma de ganchos.
Fruto	Pequeño, entre 5 a 10 cm de longitud, no son comestibles.

Fuente: Elaboración propia a partir de Sánchez (1991).

La densidad de la fibra de abacá según Bledzki A. Jaszkwicz A. (2010) es de 1.5 g/cm<sup>3</sup> y su diámetro de 150 – 260 µm, según Bledzki A., Al-mamun A., Faruk O. (2007).

De acuerdo con Pontón y Guerrero (2010, pp. 47-48), el abacá es originario de Filipinas, donde ha sido cultivado desde el siglo XVI. Fue introducido en América Central y Sudamérica, de manera principal en Ecuador. Sin embargo, Filipinas aún es el mayor productor mundial de abacá, con aproximadamente el 80% de la producción, mientras que Ecuador ocupa el segundo puesto, con el 17%.

La zona ecuatoriana de cultivo de abacá está ubicada dentro de un polígono, cuyos vértices más notables son: Quinindé, Santo Domingo de los Tsáchilas, Quevedo y La Maná. (Maldonado, 2000).



Ilustración 6-7. Plantaciones de Abacá en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.  
 Fuente: Autor, 2016.

Existen en Filipinas más de 100 variedades de abacá, de las cuales unas 20 son de importancia comercial. Las variedades se diferencian entre sí por el color y la forma de las flores, por el tamaño y forma del seudotallo, por el rendimiento y calidad de la fibra, y por su resistencia a las enfermedades y adaptación a las condiciones ecológicas. (Sánchez, 1990, p. 57).

Nuestro país presenta un clima favorable para el cultivo y producción de abacá ya que para su mejor crecimiento y producción es el clima cálido-húmedo, es por eso que la

provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas se concentran las mayores plantaciones de esta fibra y empresas encargadas de su exportación, siendo nuestro país a nivel mundial el segundo mayor productor y exportador de esta fibra, especialmente el mercado está dirigido a Europa, Estados Unidos y Japón como principales consumidores. Siendo las variedades que más se cultivan el Tangongun y el Bungulanon llamados comúnmente “tango” y “negro” respectivamente.

Tabla 5  
*Exportación anual del abacá*

<b>AÑO</b>	<b>TONELADAS (T)</b>
2012	16989
2014	13135
2015	14765

Fuente: Elaboración propia a partir de Revista LIDERES (2016).

Cabe recalcar que la mayor producción de la fibra de abacá en nuestro país se debe a factores climáticos así se demuestra en el Tabla 1.5 que en el 2012, el invierno favoreció a la producción del abacá aprovechando las fuertes lluvias registradas.

### **1.6.2. Propiedades**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2016), su gran resistencia a la compresión ha demostrado y llamado su atención para el uso en diferentes ámbitos como la elaboración de sogas especialmente para embarcaciones, redes de pescar, cordeles, etc., debido a su resistencia favorable frente al daño del agua salada, así como para la fabricación de bolsas también ha incursionado en la fabricación de indumentaria textil y tapicería. Pero el principal uso que se le da a esta fibra es en el desarrollo de papeles especiales como la conformación de billetes, envolturas de cigarrillos, fundas de té y café entre otros. En la industria automotriz se ha visto involucrada siendo empleada en componentes externos e internos como relleno de asientos y cobertura de los mismos aprovechando su gran resistencia a la tensión como sustituyente de la fibra de vidrio lo cual beneficiaría a disminuir el peso de las diferentes partes del automóvil siendo amigable con el medio ambiente y a la vez reciclable.

### **1.6.3. Componentes**

Aunque en Ecuador la siembra fue tardía ya que no es una especie endémica del propio país justamente a partir de mediados del siglo XX, su producción de fibra natural “abacá” ha superado en cuanto a calidad a la fibra nativa de Filipinas, para lo cual la fibra muy resistente y durable siendo muy apreciada en mercados internacionales para sus diferentes usos en la industria moderna. Está compuesta por celulosa, agua y pectina entre otros.

Tabla 6  
*Composición química.*

<b>COMPUESTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
------------------	-----------------------

Celulosa.	62.27 %
Pectina.	11.85 %
Agua.	11.85 %
Cenizas, grasas y ceras.	1.63 %

Fuente: Elaboración propia a partir de Ojeda (2012).

#### **1.6.4. Cultivo.**

Las plantaciones de abacá requieren terrenos con buen drenaje, profundos con grandes precipitaciones y nutrientes orgánicos naturales, de preferencia que estos terrenos se encuentren nivelados facilitando el manejo del cultivo, a esto se le añade un clima cálido-húmedo, propio de lugares tropicales como Santo Domingo, La Concordia, en cuanto se refiere a su producción en nuestro país, donde la industrialización, comercialización y exportación de la fibra ha sido regular.

La temperatura del lugar del sembrío debe de constar entre los 27° a 29°C y con una precipitación promedio anual mínimo de 2500 mm, la planta crece con total normalidad ya que requiere abundante líquido vital para desarrollarse de la mejor manera obteniendo buenos resultados, pero en periodos cortos de lluvia o irrigación la planta viene a decaer produciéndose pérdidas en los cultivos, lo mismo sucede cuando se establece cultivos a una altitud mayor a los 1000 msnm.

La propagación vegetativa más efectiva se la realiza mediante hijuelos o rizomas, en las plantaciones donde son propagadas mediante semillas, el periodo de crecimiento es más lento, demorando uno o dos años más para madurar que la propagación por hijuelos. La propagación por hijuelos consiste en el desarrollo de 4 a 5 de nuevas generaciones, hasta más, de semillas que originalmente se sembró. Estos hijuelos son ramificaciones que se desarrollan con el tiempo a partir del tallo principal, propagándose su cultivo.

La siembra se establece a una proporción de 3 metros a cada dirección cada hijuelo en forma de cuadros, pero también se pueden utilizar cualquier otro sistema convencional de cultivo. Para la plantación de cada hijuelo se realiza una cama de 50 cm por lado, a una profundidad que oscile entre los 40 a 50 cm.



Ilustración 8. Propagación por hijuelo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 9. Flor y fruto del abacá.  
Fuente: Autor, 2016.

### 1.6.5. Cosecha.

Según Sánchez (1995):

Generalmente, la primera cosecha se realiza después de los 18 o 24 meses de la plantación. La cosecha de tallos demasiado jóvenes o muy viejos resulta la fibra en calidad pobre. La mejor época para cortar los tallos es cuando aparecen las primeras flores en la inflorescencia. (p. 61).

Entonces, el momento propicio en caso de no tomar en cuenta el tiempo de cultivo de la planta, es la inflorescencia teniendo mucho cuidado ya que no es recomendable cortar antes ni después de este proceso ya que se podría dañar la producción y calidad de la fibra, además se puede perder la producción de hijuelos en un futuro y consigo la pérdida de la propagación de la planta.

El rendimiento de la fibra en sus primeras colectas es bajo pero va aumentando su calidad conforme a la edad de la planta.

Para Maiti (1995) “La óptima producción se alcanza cuando la plantación tiene de 7 a 10 años, dependiendo del manejo y las condiciones ambientales. El rendimiento disminuye cuando la plantación tiene de 10 a 15 años” (p. 104).



Ilustración 10. Corte de las hojas de abacá alrededor del tallo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 11. Corte del tallo de abacá y su colocación sobre el terreno.  
Fuente: Autor, 2016.

#### **1.6.6. Extracción de la fibra.**

El productor o persona encargada del corte del tallo procede inicialmente cortando las hojas de la planta mediante un elemento corto punzante que puede ser la hoz o un machete anclado a un tronco de bambú llamándolo “sunke”, con la finalidad de facilitar el posterior corte del tallo sin afectar a las plantas circundantes. Según Sánchez (1995) “Los tallos deben cortarse cerca del suelo en un plano inclinado, para evitar la acumulación de agua en la superficie del corte” (p. 62).

Para su procesamiento la fibra debe de ser extraída del tallo separando las primeras capas que lo cubren, cortando luego el tallo en largas hiladas o tiras entre 5 a 8 cm de ancho, las mismas que deben de ser transportadas hacia una máquina desfibradora que consiste en eliminar el material no fibroso removiendo en su totalidad la pulpa.

“El porcentaje de fibra es del 2 al 3% del peso verde de los tallos, de acuerdo a la variedad” (Sánchez, 1995, p. 62).



Ilustración 12. Herramienta utilizada para el corte llamado “Sunke”.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 13. Corte del tallo en hiladas.  
Fuente: Autor, 2016.

Finalmente las fibras extraídas son puestas a secar al aire libre, clasificándolas según el grado de calidad definido por el color de las mismas siendo las fibras de las capas externas del tallo de color marrón negro de baja calidad, las fibras de color marrón claro las de mediana calidad llegando a un color habano muy claro y muy brillante las fibras de alta calidad producidas en las capas interiores del tallo.



Ilustración 14. Máquina desfibadora.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 15. Desfibramiento de la fibra.  
Fuente: Autor, 2016.

Las calidades del abacá se encuentran clasificados en 5 grados y de acuerdo a esto su valor por kilo.

Tabla 7

*Precio de acuerdo a la calidad de la fibra directamente con el productor*

CALIDAD	PRECIO (kg)
1	\$ 2.00
2	\$ 1.95
3	\$ 1.90
4	\$ 1.85
5	\$ 1.80

Fuente: Elaboración propia a partir de entrevistas a productores de abacá (2016).

## **1.7. Reseña de investigaciones: Fibras naturales en matrices cementicias.**

### **1.7.1. Fibras de Lechuguilla como refuerzo.**

Juárez y Rodríguez (2004), realizaron en México la caracterización de las fibras de lechuguilla para ser empleada como refuerzo en concreto.

Los especímenes de concreto reforzado con fibras naturales (CRFN), fueron fabricados con agregados finos con porcentajes parciales de 2.5, 7.5, 22.5, 25, 22.5, 14 y 6 % retenidos en mallas # 4, 8, 16, 30, 50, 100. Empleando dos relaciones Agua/Cemento (A/C), la primera relación de  $A/C=0.65$  con un consumo de cemento de  $381 \text{ kg/m}^3$  para estudiar el comportamiento con matrices permeables, mientras que la segunda relación de  $A/C=0.35$  con un consumo de cemento de  $707 \text{ kg/m}^3$  para estudiar el comportamiento con matrices densas.

Estos especímenes fueron reforzados con fibras sin tratamiento y con fibras tratadas al 1% de su volumen total de la mezcla ( $13.8 \text{ kg/m}^3$ ), con una longitud de la fibra entre 20 a 30 mm.

Se fabricaron especímenes por triplicado de  $75 \times 75 \times 280 \text{ mm}$  para la resistencia a flexión o módulo de ruptura de acuerdo a la norma ASTM C 78-94. La primera serie de 15 se ensayaron a los 14 días, la segunda serie se mantuvo en el cuarto de curado por 10 meses, para ser sometida a 10 ciclos de humedecimiento y secado antes de ensayarse.

El diámetro de la fibra fue medido con un vernier digital de 0.01 mm de precisión en ambos lados. También se concluyó que las fibras sin tratamiento al saturarse absorben agua casi el 100 % de su peso seco, es decir, que la fibra absorberá agua durante el mezclado, originando inestabilidad y pérdida de adherencia con la matriz de concreto. Esta absorción se debe a la porosidad de la fibra analizada mediante un porosímetro de intrusión de mercurio.

También obtuvieron la densidad absoluta de la fibra con un promedio de  $1.38 \text{ g/cm}^3$ . La tendencia de los resultados es un esfuerzo último a tensión de 400 MPa y una deformación unitaria de 0.1000 mm/mm aproximadamente.

Concluyeron que la parafina es la mejor sustancia para proteger a la fibra contra el medio alcalino del cemento, su proporción empleada fue: parafina + resina (4:1), manteniendo una adecuada resistencia a flexión.

El porcentaje de la fibra fue dada de acuerdo a la relación total de la mezcla: 0.5, 1, 1.5 y 2%, con longitudes de fibra de acuerdo a cada volumen 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 y 300 mm.

La fibra con longitud de 300 mm aumento la resistencia a flexión, siendo la combinación con un volumen de fibra de 0.5%.

### **1.7.2. Fibras de Bagazo de Caña como refuerzo.**

El estudio hecho por Osorio, Varón y Herrera (2007), analiza la resistencia final del concreto y su comportamiento en el tiempo reforzado con la fibra de bagazo de caña de azúcar.

Las probetas fueron fabricadas de acuerdo a la relación 1:2:3 (cemento, arena y grava), adicionando las fibras retenidas en los tamices N° 4 y N°6, cuyo porcentaje de fibra en relación con el peso del agregado grueso fue de 0.5, 2.5 y 5%. Estas relaciones fueron establecidas debido a los mejores resultados en fibras realizados por Juárez et al (2004).

Para la elaboración de especímenes se utilizó cemento Portland tipo I, con adiciones de cloruro de calcio al 3% como acelerante del fraguado. Creando una mezcla patrón con relación de Agua/Cemento (A/C) de 0.55 para que el agua facilite el mezclado.

Por cada tamaño de la fibra se realizaron tres probetas (tamiz N°4 y N°6). Las longitudes de la fibra empleada van entre 15 y 25 mm de longitud, inmersas en hidróxido de calcio al 5% durante 24 horas a temperatura de laboratorio.

Se emplearon cilindros de diámetro de 15 cm y 30 cm, una vez llenos los moldes permanecieron en reposo durante 24 horas, luego los desmoldaron y puesto a curado en tanques de agua durante 14 días dando valores entre 8.6 y 16.88 MPa, en cuanto a la resistencia a compresión.

Los mayores valores de resistencia a compresión se presentaron con la adición de fibra del 0.5% tanto para ambos tamices, siendo el mayor valor de la resistencia en el tamiz N°6.

Los porcentajes entre 0.5 y 2.5%, permitieron reducciones en la densidad del material variando entre 141 y 336 kg/m<sup>3</sup>, en relación a probetas patrones con densidades de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

Concluyeron que a medida que se adiciona fibra en la matriz, se reduce significativamente la resistencia del material y densidad del mismo. También que el hidróxido de calcio al 5% durante 24 horas, permite una baja degradación de la fibra dentro de la matriz.

### **1.7.3. Fibras de rastrojos de trigo en fibrocemento.**

Estudio realizado por González, Astudillo, Bozo, y Silva, para la elaboración de especímenes se empleó el cemento *Polpaico especial*, clase Portland Puzolánico, fibras de rastrojos y agua. Utilizando probetas de acero inoxidable de 7.2 cm de largo y 3 cm de ancho.

Una vez llenas las probetas se dejaron en fraguado durante 7 días y una humedad relativa de 95%, con el objetivo de mantener una buena hidratación y buen fraguado del cemento. Luego se transportaron a una estufa durante 24 horas a 100 °C frenando el fraguado del cemento.

Se emplea fibras de 4 mm de longitud, con una relación Agua/Cemento (A/C) de 0.3, 0.34, 0.38 y 0.42. Presentando un promedio frente a la resistencia a la flexión de 65.4, 58.6, 50.3 y 47.8 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Los valores sobre la densidad es de 1.405, 1.40, 1.43 y 1.39 g/cm<sup>3</sup>.

Concluyendo que la resistencia a la flexión se obtuvo en probetas de solo cemento. La densidad disminuye linealmente y la absorción de agua aumenta en forma lineal, en relación de que vaya aumentando la proporción de fibra dentro del compuesto.

### **1.7.4. Fibras de bambú como refuerzo.**

Arbeláez Arce (1997), en su investigación analizó la dosificación 1:3, con relación entre Bambú/Cemento (B/C) hasta 0.3 que representa el 10% de la resistencia del compuesto sin reforzar, también se decide trabajar con la relación de B/C de 0.2 y con adiciones de bambú de 150 kg/m<sup>3</sup>.

Para las pruebas de resistencia a la compresión axial se realizaron dos series de prueba: S1 y S2. En la S2 la relación B/C es de 0.2. Basadas en las Normas ASTM C-1116-89; C-109-90. Las probetas en cubo de 5.08 x 5.08 x 5.08 cm. Con tiempo de curado de 7 y 28 días, reforzado con 15, 50, 100 kg de fibra, por cada metro cúbico de mortero. La relación del refuerzo como B/C fueron: S1= (0.1, 0.2, 0.3)- S2= (0.03, 0.1, 0.2). Equipo utilizado Richel Testing.

La prueba a la resistencia al impacto se realizó con losetas de 15.2 x 15.2 x 2.7 cm, con una relación B/C: 0.1, con contenido de humedad en la fibra del 100%.

En el encogimiento por secado al aire, con contenido de humedad en la fibra fue de 100% tomando datos a los 3, 10 y 17 días, presentado el compuesto un encogimiento superior no proporcional con el tiempo, a los 3 días es de 2.3% mayor, a los 10 días de 7.25% y a los 17 días del 10%.

Las pruebas de absorción volumétricas están basadas en la ASTM C-459-63, sumergiendo a la fibra por 24 horas los especímenes después de haber permanecido 90 días en curado. Existiendo una relación en porcentaje del 12.75%.

### **1.7.5. Fibras de henequén como refuerzo.**

El objetivo de la investigación de Macías y Díaz (1994), es emplear la fibra de henequén dentro de morteros y hormigones es el ahorro de materiales de construcción, disminución del tiempo de ejecución facilitando la labor a realizar, mejorando las propiedades mecánicas de los hormigones tratados.

En el caso de hormigones se empleó para un metro cúbico, áridos gruesos entre 920 – 1185 kg, áridos finos entre 725 – 985 kg, agua entre 170 – 225 litros y fibra entre el 1 a 2 kg, con longitudes de 19 y 38 mm. La fibra empleada esta esparcida dentro de morteros y hormigones con el fin de dotar de un refuerzo tridimensional, a diferencia de la malla metálica, la cual se sitúa en un solo punto.

Con estos parámetros se obtuvieron 450 muestras, con promedio de 32. 957 MPa existiendo una mejora del 9.65% en relación a hormigones tradicionales en cuanto a la resistencia a la compresión. En cuanto a la resistencia a la flexión se obtuvo un valor de 9.65 MPa mejorando así el 6.27% en relación al valor de un hormigón tradicional de 6.24 MPa.

Mientras que para morteros se empleó para un metro cúbico, áridos finos entre 922 – 1586 kg, cemento entre 140- 262 kg y agua entre 150 a 330 litros y fibra entre 1 a 1.5 kg, cortada entre 19 y 25 mm de longitud.

En todos los ensayos se mantuvieron muy en cuenta la calidad del cemento, tiempo de fraguados y tipo, además la procedencia de los áridos, tamaño y peso de la fibra.

Para la prueba de fisuración se fundieron losas de 30 x 30 x 3 cm para hormigones y 100 x 80 x 3 cm para morteros. Utilizando fibra de 19 mm dosificada en 1Kg/m<sup>3</sup>. Dando valores positivos evitando el proceso de formación y desarrollo de fisuras. Disminuyendo el desgaste en morteros que poseen fibra en un 25% lo cual es favorable para su vida útil.

La resistencia a la flexión en hormigones y morteros reforzados con fibra de henequén mejora la resistencia en más de un 6 y 32% y la resistencia a la compresión se mejora entre 9 y 46% respectivamente.

Las fibras de henequén pueden sustituir al acero que es empleado para controlar fisuras dentro de hormigones, pero no sustituyen el acero cuando es usado en refuerzo estructural.

## **CAPÍTULO II**

### **PROGRAMA EXPERIMENTAL**

La realización del trabajo experimental estuvieron divididas en varias etapas para una adecuada manejabilidad de los materiales como:

- Adquirir la fibra de abacá en estado seco.
- Disponibilidad del uso de herramientas y aparatos dentro del laboratorio de suelos del Departamento de Ingeniería Civil.
- Acopio de los distintos materiales y sustancias a emplearse.
- Corte y tratamiento de la fibra de abacá.
- Adquirir árido fino de calidad y su respectivo secado.
- Producción de composites de acuerdo a las diferentes dosificaciones propuestas.
- Por último la aplicación de los especímenes desarrollados a pruebas físicas y mecánicas dentro del laboratorio.

El empleo de fibra como refuerzo en morteros en la actualidad es muy común, específicamente hablando de fibras naturales donde países en vías de desarrollo las emplean como elemento en construcciones de bajo costo. Las fibras dentro del mortero funcionan para evitar la propagación de fisuras por retracción.

## **2.1. Materiales y métodos.**

### **2.1.1. Fibra natural “Abacá”**

Para la respectiva investigación se utilizó como elemento reforzante la fibra vegetal abacá de la variedad Tangongón Rojo, de calidad 4 y 5, proporcionada por un productor de la comuna San Ignacio de Búa, perteneciente a la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Esta fibra fue adquirida en buen estado, dejándola secar durante 8 horas con luz solar a temperatura ambiente, debido a las buenas condiciones que se presentaban, en este caso fue de 27 °C aproximadamente permitiendo un secado uniforme de forma natural. Luego de que la fibra se encuentra seca en su totalidad se puede comenzar a estudiar la manera de trabajarla.



Ilustración 16-17. Fibra puesta a secar en lugares de acopio y venta.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 18. Almacenamiento final de la fibra para ser comercializada.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 19. Fibra expuesta en el laboratorio lista para trabajar.  
Fuente: Autor, 2016.

### **2.1.1.1. Seccionamiento de la fibra.**

Para facilitar la trabajabilidad de la fibra dentro del compuesto se la seccionará en dimensiones pequeñas que permitan su libre manejo, el dimensionamiento estará justificado de acuerdo a varios documentos científicos analizados que nos sirven como referentes en la siguiente investigación.

Además, la investigación se fundamenta en analizar la durabilidad y resistencia de la fibra sin un previo tratamiento dentro de la pasta cementicia y con un tratamiento hidrófobo para dar a conocer el efecto de impermeabilización que permita dar mayor durabilidad a la fibra frente a la reacción de alcalinidad que se desarrolla entre el cemento y fibras, así también como la absorción de la humedad dentro de la pasta y las resistencias a compresión.

### **2.1.1.2. Impermeabilización de la fibra.**

Las fibras tanto artificiales como naturales son fibras sensibles a la alcalinidad del cemento y, por ende, se ven afectadas frente a esta reacción. Muchos años atrás las fibras sintéticas han sido desarrolladas industrialmente para su aplicación en la construcción, siendo las más analizadas y estructuradas para que la alcalinidad no sea un elemento prioritario que afecte en ellas, pues sus investigaciones permiten brindarles una aplicación interesante en ellas.

Caso contrario sucede con las fibras naturales donde son empleadas en países en desarrollo que no cuentan con tecnologías sofisticadas para su procesamiento, las mismas que suelen ser muy empleadas en la construcción en tierra. Estas fibras y su producción debido a la disponibilidad con que se presentan en estos países pueden ser explotadas en gran masa, aprovechando el bajo coste y mano de obra en obtenerlos.

Varias investigaciones científicas brindan parámetros acerca de la impermeabilización de la fibra para protegerla de los álcalis del cemento, mediante diferentes métodos y sustancias aplicadas.

Donde sustancias químicas, resinas como aceites brindan protección a la fibra dependiendo del tipo que se emplee el grado de afectación por parte del álcalis de la matriz pueden ser de mayor o menor grado. A continuación se nombra algunos de estos agentes protectores:

- Sellador de madera.
- Aceite de linaza.
- Aceite de linaza + resina natural.
- Parafina.
- Parafina + resina natural.

Pero a más de estos elementos se ha visto de buena manera resultados de fibras que son sumergidas en agua con óxido de calcio por un cierto tiempo para lograr su impermeabilización.

### **2.1.2. Matriz**

Como matriz o material cementante se utilizará el Cemento Portland Puzolánico Tipo IP de la marca comercial "Guapán" de nuestro país, que mantiene certificación autorizada basada en la NTE INEN 490 (2011), la misma que lo clasifica como un cemento hidráulico compuesto.

#### **2.1.2.1. Definiciones**

##### **2.1.2.1.1. Material cementante**

Material cementante viene definida de acuerdo a la norma NTE INEN 151 (2010): Cemento Hidráulico. Definición de términos; donde:

"Materia Cementante: Material inorgánico o una mezcla de materiales inorgánicos que fragua y desarrolla resistencia por reacciones químicas con el agua, debido a la formación de hidratos y que es capaz de realizarlo también bajo el agua" (p. 3).

##### **2.1.2.1.2. Cemento Portland Puzolánico Tipo IP**

La definición de este tipo de cemento está planteada en la NTE INEN 151 (2010), de la siguiente manera:

Cemento hidráulico consistente de una mezcla íntima y uniforme de cemento portland o cemento portland de escoria de altos hornos y puzolana fina producido por molido conjunto de clinker de cemento portland y puzolana; por una mezcla de cemento portland o cemento portland de escoria de altos hornos y puzolana finamente dividida o una combinación de molido conjunto y mezclado en el cual, la cantidad del componente puzolana está dentro de límites especificados.



Ilustración 20. Presentación de 50 kg Cemento Pozolánico Tipo IP.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 21. Vista del Cemento Pozolánico Tipo IP  
Fuente: Autor, 2016.

Entonces, el tipo de cemento a emplearse es un cemento compuesto binario que surge de la mezcla del cemento portland con cemento de escoria o bien puede ser con cemento de puzolana. Conformado en porcentajes de volumen de acuerdo a la norma NTE INEN 490 (2011), de la siguiente manera:

- 85 % de cemento portland
- 15 % de puzolana

### 2.1.2.1.3. Puzolana

De acuerdo la NTE INEN 490 (2011):

La puzolana debe ser un material silíceo o sílico-aluminoso, el cual por sí mismo posee muy poco o ningún valor cementante pero que, en forma finamente dividida y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

A más de esto debe de cumplir con las especificaciones expuestas en la tabla 8.

Tabla 8  
*Propiedades de la puzolana.*

Propiedad	Unidad	Norma INEN 490
Finura		
Cantidad retenida en el tamiz No. 325 (45 µm) mediante el tamizado húmedo.	%	20.00
Reactividad alcalina de la puzolana:		
Expansión de la barra de mortero a 91 días	%	0.05

Nota. Requisitos de la puzolana en el uso de cementos compuestos Tipo IP.  
Fuente: Elaboración propia a partir de la NTE INEN 490 (2016).

#### 2.1.2.1.4. Disposiciones específicas

Las distintas especificaciones vienen dadas por la casa comercial que distribuye este producto en nuestro país, las mismas que se encuentran basadas en la NTE INEN 490 (2011), las cuales están certificadas por su respectivo departamento de control de calidad haciendo una comparación en relación a sus resultados obtenidos.

Tabla 9  
*Composición química*

Propiedad	Unidad	Norma INEN 490	Resultado
SiO <sub>2</sub>	%	N/A	30.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	N/A	6.22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	N/A	3.59
CaO	%	N/A	52.10
MgO	%	6.0 máx.	1.00
SO <sub>3</sub>	%	4.0 máx.	2.00
Pérdida por calcinación	%	5.0 máx.	2.40
Residuo insoluble	%	N/A	--

Nota. Composición química del Cemento Portland Puzolánico Tipo IP.

Fuente: Elaboración propia a partir de la NTE INEN 0490 (2016).

De la misma manera cumple con los requisitos requeridos en cuanto a aspectos físicos la norma se refiere.

Tabla 10  
*Requisitos físicos*

Propiedad	Unidad	Norma INEN 490	Resultado
Finura (blaine)	cm <sup>2</sup> /g	N/A	4050
Retenido No. 325=45 µm	%	N/A	3.69
Expansión en autoclave	%	0.8 máx.	--
Contracción en autoclave	%	0.2 máx.	0.006165
Fraguado Inicial	minutos	45-420.	154.2
Fraguado final	minutos	N/A	--
Contenido de aire en mortero	%	12 máx.	3.87
Resistencia a la compresión			
3 días			
7 días	MPa	13.0	19.93
28 días	MPa	20.0	22.63
	MPa	25.0	34.94
Expansión en mortero			
14 días	%	0.020	N/D
8 semanas	%	0.060	N/D
Resistencia a sulfatos			
Expansión a 180 días	%	0.10 máx.	N/D
Contenido neto en la funda	kg	49.5-50.5	50.06

Nota. Requisitos físicos del Cemento Portland Puzolánico Tipo IP en comparación a la norma NTE INEN 0490.

Fuente: Elaboración propia a partir de la NTE INEN 0490 (2016).

### 2.1.3. Árido

Se trabajó con árido fino de canto rodado del río malacatos, la misma que en el momento en la que se la adquirió se encontraba húmeda, tuvo que ser secada en los hornos del laboratorio de la UTP para luego ser tamizada de acuerdo a la NTE INEN 873 (2009) (Ver anexo I), donde se establecen los requisitos para la obtención de arena normalizada y su uso dentro de morteros.

Tabla 11

*Requisitos para la arena normalizada.*

Tamiz	Porcentaje pasante	
	Arena 20-30	Arena graduada
1,18 mm (No. 16)	100	100
850 $\mu\text{m}$ (No. 20)	85 a 100	
600 $\mu\text{m}$ (No. 30)	0 a 5	96 a 100
425 $\mu\text{m}$ (No. 40)		65 a 75
300 $\mu\text{m}$ (No. 50)		20 a 30
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)		0 a 4

Nota. Porcentajes pasante por el tamiz.

Fuente: Elaboración propia a partir de NTE INEN 873 (2009).

En las imágenes a continuación se observa parte del procedimiento que se aplicó dentro del laboratorio con la finalidad de trabajar con arena estandarizada de acuerdo a normas y parámetros establecidos, con la finalidad de garantizar el análisis de la investigación.



Ilustración 22. Vista interna del horno empleado para el secado de la arena.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 23. Bandejas conteniendo arena seca salida del horno.

Fuente: Autor, 2016.

La arena adquirida ya salida del horno se la verifica que se encuentre seca en su totalidad colocándola en diferentes bandejas dejándola reposar por 24 horas, para luego realizarle el respectivo tamizaje utilizando el tamiz No. 16 que posee una abertura de 1.18 mm, pasando la mayor cantidad de arena graduada y lista para trabajar. Este proceso se lo realizó manualmente, bajo la supervisión del laboratorista.



Ilustración 24. Árido en su estado natural.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 25. Árido que no pasa la malla del tamiz No. 16.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 26. Árido luego de realizarse el tamizaje.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 27. Vista del tamiz No. 16 y de la arena pasante.  
Fuente: Autor, 2016.

Se desecha la arena que no pasa por el tamiz para evitar nuevamente cualquier tipo de mezcla con la arena ya tamizada, la misma que se coloca en un recipiente limpio, libre de humedad donde se pueda mantener en perfectas condiciones hasta el momento de desarrollar los especímenes.

## 2.2. Fabricación de probetas.

### 2.2.1. Preparación y clasificación de morteros.

La preparación de la mezcla del mortero están basadas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 198 (1987): Cementos. Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros y la NTE INEN 488 (2009), donde las dimensiones nominales de las probetas para ensayos de compresión (*C*) rigen de 50 mm de arista, mientras que para los ensayos de flexión (*F*) correspondieron a la norma ASTM C 348 – 02 con medidas prismáticas de 40x40x160 mm.

Para las respectivas comparaciones de resistencias entre morteros se planteó trabajar con morteros de dos tipos: M-NTE y M-ISO respectivamente. Estos tipos de mortero fueron tomados de la norma ecuatoriana NTE INEN 488 (2009) y el estudio realizado por acerca de la recomendación ISO/R 679-1968 por Gaspar D. (n.d.).

A partir de estos tipos de morteros se formulan morteros con fibra dentro de su composición independientemente si la fibra es tratada o no lo es con un agente protector que más adelante se presenta.

A continuación se hace referencia acerca de las características de cada mortero por realizarse:

- Mortero sin refuerzo de fibra natural (*M-NTE*).  
Consiste en la fabricación de morteros sin contenido de fibra según lo expuesto en la NTE INEN 488 (2009) para sus respectivas pruebas.
- Mortero reforzado con fibra natural sin tratamiento (*M-NTE-F*).  
Consiste en la fabricación de morteros, con diferente porcentaje de fibra sin previo tratamiento.
- Mortero reforzado con fibra natural con tratamiento (*M-NTE-FT*).  
Consiste en la fabricación de morteros, con diferente porcentaje de fibra tratada con parafina.
- Mortero sin refuerzo de fibra natural ISO (*M-ISO*).  
Consiste en la fabricación de morteros de acuerdo a la recomendación ISO/R 679-1968, para sus respectivos análisis.
- Mortero reforzado con fibra natural sin tratamiento (*M-ISO-F*).  
Consiste en la fabricación de morteros de acuerdo a la recomendación ISO/R 679-1968, con diferente porcentaje de fibra sin previo tratamiento.
- Mortero reforzado con fibra natural con tratamiento (*M-ISO-FT*).  
Consiste en la fabricación de morteros de acuerdo a la recomendación ISO/R 679-1968, con diferente porcentaje de fibra tratada con parafina.

### **2.2.2. Especímenes a desarrollar.**

Se realizarán muestras por triplicado para cada tipo de mortero de acuerdo al tiempo de curado de los mismos, independientemente de los porcentajes de sus compuestos y porcentaje de fibra que se origina del volumen total de la mezcla.

Con estos parámetros se formularon diferentes especímenes los mismos que se explican en la tabla 12 donde se muestra el número total a desarrollarse, además los mismos serán ensayados dentro del laboratorio mediante pruebas mecánicas a compresión (C) y flexión (F) y pruebas físicas como contenido de humedad, absorción y resistencia al fuego.

Tabla 12  
Especificaciones de morteros.

ESPECÍMENES A DESARROLLAR						
Código muestra	Relación A/C	Tiempo de curado (días)	Porcentaje de fibra (%)	Dosificación	Tipo de ensayo	Nº muestras
M-NTE	0.485	7-14-28	-	1:2.75	C-F	6
M-NTE-F	0.485	7-14-28	1	1:2.75	C-F	6
M-NTE-FT	0.485	7-14-28	1	1:2.75	C-F	6
M-ISO	0.500	7-14-28	-	1:3	C-F	6
M-ISO-F	0.500	7-14-28	1	1:3	C-F	6
M-ISO-FT	0.500	7-14-28	1	1:3	C-F	6
<b>TOTAL</b>						<b>36</b>

Nota. Valores total de los diferentes tipos de especímenes a desarrollar en la investigación.  
Fuente: Elaboración propia (2016).

### 2.2.3. Influencia de fibra en el compuesto.

El asunto de la fibra dentro de la mezcla cementicia es de total importancia ya que de esta depende obtener resultados favorables de la misma. Esto se debe a la cantidad de la fibra en caso de colocar un alto porcentaje de fibra complicando el mezclado, generando la incapacidad al adherirse a la pasta, conformación de grumos dentro de ella y, por ende, se afecta directamente a las resistencias del mortero.

Para determinar un porcentaje adecuado de fibra dentro de la mezcla cementante se basó en estudios realizados por Juárez et al (2002), donde se realizó el respectivo estudio con porcentajes de fibra de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0% dentro de concretos, donde se especifica que porcentajes mayores a 1.0% dificultaron su mezclado en cambio para el porcentaje de 0.5% y 1.0% se obtuvo una mejor distribución de la fibra dentro de la mezcla y por ende, una buena consistencia.

En fin, para evaluar la influencia del contenido de la fibra dentro del compuesto se realizarán especímenes con porcentaje del 1.0 % en relación al volumen total de la mezcla, basados en artículos científicos realizados en laboratorios experimentales.

Estos especímenes serán ensayados mediante el empleo de la máquina triaxial durante 7, 14 y 28 días respectivamente. La fibra en la mezcla para morteros tipo M-NTE-F (FT) y M-ISO-F (FT) será colocada de manera dispersa. De acuerdo a González M., Astudillo J., Bozo A., Silva R. (n.d.):

Existen materiales donde la fase dispersa está constituida por fibras. En este tipo de materiales la matriz transmite a las fibras la fuerza a la cual es sometido el material. Y también la presencia de fibras ayuda a retardar la propagación de fisuras y grietas, proporcionando una alta resistencia mecánica.

### 2.2.4. Relación Agua/Cemento.

La relación agua/cemento (a/c), es muy importante dentro de la mezcla, ya que mediante esta se determina la fluidez y trabajabilidad de la misma, resultando afectada

directamente la resistencia a compresión en caso de aumentar la cantidad de agua produciéndose un incremento de volumen en los espacios vacíos internos, aunque se beneficie la manejabilidad de la mezcla. Estos espacios vacíos se forman a manera de poros creándose la porosidad en la mezcla creándose quebraduras y fisuras dentro o fuera de la mezcla ya una vez terminada y seca.

Se analizó varios estudios acerca de esta relación con el fin de encontrar la más adecuada que brinde resultados favorables donde, Gaspar D. (n.d.) en su estudio acerca de la ISO/R 679-1968, especifica el uso de la relación 0.50 en la conformación de los morteros. Al igual que la investigación realizada por Puertas F., Amat T., Vázquez T. (2000).

Entonces, para la investigación se adoptó la misma relación agua/cemento de 0.50 manteniéndose constante en todos los especímenes fabricados, a excepción de los especímenes identificados con el código M-NTE realizados de acuerdo a la norma NTE INEN 488, donde la relación a/c es de 0.485.

Estas relaciones a/c, están caracterizadas por ser de consistencia seca, brindándole al composite una rapidez en su fraguado, pero para que esta consistencia sea manejable se usará un aditivo químico que nos facilite su trabajabilidad y mejorar ciertas propiedades de los compuestos.

#### **2.2.5. Aditivo en la mezcla.**

En la investigación de Gaspar-Tebar (1985), surge la definición acerca de aditivos amparándose en la norma española:

Según la norma UNE 83-200-84, aditivos son aquellas sustancias o productos que incorporados al hormigón, mortero o pasta antes o durante el amasado y/o durante un amasado suplementario, en una proporción no superior al 5 % del peso de cemento (salvo casos especiales), producen la modificación deseada en dicho hormigón, mortero o pasta en estado físico y/o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

La elaboración de morteros y hormigones que se han venido produciendo en masa se han visto involucrados en la introducción de nuevos materiales o sustancias componentes, estos elementos llamados aditivos, estas sustancias químicas mejoran las propiedades de la mezcla interfiriendo en la consistencia de la misma.

Giaccio G., Zerbino R. (2000), nos dice “Actualmente no es posible imaginar un hormigón de producción masiva que no utilice aditivos químicos; además, se emplean cada vez con mayor frecuencia mezclas más fluidas, con una gran capacidad de bombeo y facilidad de compactación” (p. 28).

La inclusión de aditivos se da debido a la baja relación entre A/C, produciendo una mezcla con mayor manejabilidad y mejorando consistentemente sus resistencias.

##### **2.2.5.1. Clasificación.**

Según la ASTM 494. Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto, clasifica a los aditivos mediante diferentes tipos:

- Tipo A — Aditivos reductores de agua.
- Tipo B — Aditivos retardantes.
- Tipo C — Aditivos acelerantes.
- Tipo D — Aditivos reductores de agua y retardantes.
- Tipo E — Aditivos reductores de agua y acelerantes.
- Tipo F — Aditivos reductores de agua, de alto rango.
- Tipo G — Aditivos reductores de agua, de alto rango, y retardantes.
- Tipo S — Aditivos de comportamiento específico.

Hay de tener en cuenta sobre los efectos secundarios que pueden producirse por la falta de conocimiento al aplicar un tipo de aditivo erróneo en la mezcla, pues pueden producir modificaciones en ciertas propiedades de la mezcla sea hormigón, mortero o pasta; como un retraso en el tiempo de fraguado, proporcionar bajos resultados en cuanto a resistencias se refieren entre otros.

#### **2.2.5.2. Funciones principales de algunos tipos de aditivos.**

##### **2.2.5.2.1. Aditivos acelerantes**

Acelera el tiempo de fraguado del cemento dentro de hormigones o morteros y sus resistencias mecánicas.

##### **2.2.5.2.2. Aditivos retardantes**

Retiene el proceso de fraguado del cemento dentro de hormigones o morteros

##### **2.2.5.2.3. Aditivos plastificantes**

Estos aditivos mejoran la trabajabilidad de hormigones y morteros con una determinada relación a/c permitiendo la reducción de agua.

##### **2.2.5.2.4. Aditivos reductores de agua o fluidificantes**

Disminuyen la cantidad de agua dentro de hormigones o morteros en cantidades iguales o superiores al 5%, con estos aditivos se obtiene también trabajabilidad dentro de la mezcla.

##### **2.2.5.2.5. Aditivos superplastificantes o superfluidificantes o reductores de agua de alta actividad**

Se obtiene simultáneamente aumentar considerablemente la trabajabilidad y la reducción de la cantidad de agua en cantidades iguales o superiores al 12%.

### 2.2.6. Densidad de mortero.

Para determinar la densidad del mortero (s), se parte del peso de cada material componente en la mezcla basándose en la norma NTE INEN 2615 (2012), especificándose de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$D = \frac{W_1 + W_2 + V_w}{\left(\frac{W_1}{S_1}\right) + \left(\frac{W_2}{S_2}\right) + V_w}$$

Dónde:

- D = densidad del mortero libre de aire, g/cm<sup>3</sup>,
- W<sub>1</sub> = masa del cemento, g,
- W<sub>2</sub> = masa de la arena, g,
- V<sub>w</sub> = cm<sup>3</sup> o gramos de agua utilizada,
- S<sub>1</sub> = densidad del cemento, g/cm<sup>3</sup>,
- S<sub>2</sub> = densidad de la arena normalizada, 2.65 g/cm<sup>3</sup>.

### 2.2.7. Tipo de balanza.

Para calcular el peso de los diferentes materiales componentes dentro de la mezcla se utilizará la balanza eléctrica modelo FX-5000i. Como se puede observar en la Ilustración 28 y las especificaciones en relación a la misma se encuentran resumidas en la tabla 13, siendo una balanza de fácil manejabilidad y gran precisión garantiza un buen trabajo.

Tabla 13  
Especificaciones de la balanza.

Especificaciones	
Marca	A&D
Modelo	FX-5000i
Capacidad de pesaje	5200 g
Unidades de medida	Quilates Gramos Miligramos Libras Onzas Kilogramos
Legibilidad	0.01 g
Bandeja de pesaje (diámetro)	150 mm
Consumo de energía	11 VA
Dimensiones externas	193 (W) x 262.5 (D) x 85.5 (H) mm



Ilustración. 28. Balanza modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.

Fuente: Elaboración propia a partir de A&D Company, Limited (2016).

### 2.2.8. Mezclado de los morteros.

La mezcla compuesta entre el árido fino y el material cementante debe de realizarse de acuerdo a las normas NTE INEN 155 (2009) y NTE INEN 2518 (2010), donde recomiendan realizar la mezcla durante un intervalo de 3 a 5 minutos dentro de una mezcladora mecánica con la suficiente cantidad de agua que favorezca la manejabilidad de la misma con el fin de obtener una consistencia fácil de trabajar y en caso de que el mezclado se lo realice manualmente especificar el procedimiento llevado a cabo dentro del laboratorio.

### 2.2.9. Condiciones del curado.

Para conocer sus resistencias mecánicas fueron puestas a prueba cada espécimen a 7, 14 y 28 días cada serie dependiendo del tipo de mortero a realizarse dentro de recipientes con agua sumergiendo cada espécimen completamente, y con el objetivo de conocer el estado de la fibra dentro de la mezcla. Cabe recalcar que de referencia a este proceso también se dispuso del estudio realizado por Guevara G., Hidalgo C., Pizarro M., Rodríguez I., Rojas L., Segura G. (2012), quienes en su estudio acerca de la relación A/C aunque aplicado a concreto determinaron:

Asimismo, el curado es muy importante, ya que si este proceso se hace mal, se podría perder hasta el 30% de la resistencia esperada; por eso, lo recomendable sería hacerlo por 28 días. Cabe resaltar que la resistencia que se le especifica al concreto, aproximadamente el 70%, se genera en los primeros siete días. A los 14 días, la resistencia ha logrado llegar al 85% de lo que se espera en 28 días.

### 2.2.10. Almacenamiento de materiales

Los materiales de trabajo deben de estar almacenados en un lugar donde se evite su deterioro y la mezcla con otros materiales, de acuerdo a lo que estipula la norma NTE INEN 2518 (2010). El buen ambiente que se genera dentro del laboratorio, hace un lugar propicio donde se puedan almacenar los materiales con los que se va a trabajar. Así que todo el material y especímenes serán puestos a resguardo dentro del laboratorio antes mencionado.



Ilustración 29-30. Vistas internas del laboratorio de resistencias y suelos de la UTPL.

## 2.2.11. Dosificación de morteros.

Las respectivas dosificaciones fueron realizadas de acuerdo a las proporciones de la norma NTE INEN 488 (2009) en el caso de los especímenes a desarrollarse para probarlos a compresión. Mientras que para las dosificaciones realizadas para probar resultados a flexión están basadas en el estudio realizado por el estudio realizado por Gaspar D. (n.d.) donde hacen mención a la ISO/R 679-1968, donde personalmente se probará y comparará valores pero ya con la incorporación de la fibra dentro de la mezcla.

### 2.2.11.1. Especímenes puestos a pruebas de resistencia a compresión.

La resistencia a compresión es un aspecto de suma importancia para validar el uso de morteros dentro de la construcción, comúnmente se utiliza recipientes cúbicos metálicos para sus pruebas. Los recipientes para estos especímenes se encuentran estandarizados de acuerdo a la NTE INEN 488 (2009) con moldes cúbicos de 50x50x50 mm, cada serie de tres recipientes.

Tabla 14

*Dosificaciones de morteros NTE a compresión.*

Dosificación NTE: 1:2.75

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M-NTE 1	0.485	83.333	229.167	40.333	-	7
M-NTE 2	0.485	83.333	229.167	40.333	-	14
M-NTE 3	0.485	83.333	229.167	40.333	-	28
TOTAL	0.485	250.00	687.501	121.00	-	-

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M-NTE-F 1	0.485	83.333	225.64	40.333	3.53	7
M-NTE-F 2	0.485	83.333	225.64	40.333	3.53	14
M-NTE-F 3	0.485	83.333	225.64	40.333	3.53	28
TOTAL	0.485	250.00	676.92	121.00	10.59	-

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M-NTE-FT 1	0.485	83.333	225.64	40.333	3.53	7
M-NTE-FT 2	0.485	83.333	225.64	40.333	3.53	14
M-NTE-FT 3	0.485	83.333	225.64	40.333	3.53	28
TOTAL	0.485	250.00	676.92	121.00	10.59	-

Fuente: Elaboración propia (2016).

Tabla 15  
 Dosificaciones de morteros ISO a compresión.

Dosificación ISO: 1:3

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M-ISO 1	0.50	83.333	250.00	41.667	-	7
M-ISO 2	0.50	83.333	250.00	41.667	-	14
M-ISO 3	0.50	83.333	250.00	41.667	-	28
TOTAL	0.50	250.00	750.00	125.001	-	-

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M- ISO -F 1	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	7
M- ISO -F 2	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	14
M- ISO -F 3	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	28
TOTAL	0.50	250.00	738.75	125.001	11.25	-

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M- ISO -FT 1	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	7
M- ISO -FT 2	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	14
M- ISO -FT 3	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	28
TOTAL	0.50	250.00	738.75	125.001	11.25	-

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 2.2.11.2. Especímenes puestos a pruebas de resistencia a flexión.

Las resistencias a la flexión de los diferentes especímenes en cuanto a morteros a desarrollar se realizan en recipientes que se encuentran estandarizados de acuerdo a la ASTM C 348 – 02 con dimensiones de sus encofrados de 40x40x160 mm, cada serie de tres recipientes.

Tabla 16  
 Dosificaciones de morteros NTE a flexión.

Dosificación NTE: 1:2.75

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M-NTE 1	0.485	166.667	458.33	80.67	-	7
M-NTE 2	0.485	166.667	458.33	80.67	-	14
M-NTE 3	0.485	166.667	458.33	80.67	-	28
TOTAL	0.485	500.001	1375.00	242.01	-	-

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M-NTE-F 1	0.485	166.667	451.27	80.67	7.06	7
M-NTE-F 2	0.485	166.667	451.27	80.67	7.06	14
M-NTE-F 3	0.485	166.667	451.27	80.67	7.06	28
TOTAL	0.485	500.001	1353.81	242.01	21.18	-

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M-NTE-FT 1	0.485	166.667	451.27	80.67	7.06	7
M-NTE-FT 2	0.485	166.667	451.27	80.67	7.06	14
M-NTE-FT 3	0.485	166.667	451.27	80.67	7.06	28
TOTAL	0.485	500.001	1353.81	242.01	21.18	-

Fuente: Elaboración propia (2016).

Tabla 17

*Dosificaciones de morteros ISO a flexión.*

Dosificación ISO: 1:3

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M-ISO 1	0.50	150.00	450.00	75.00	-	7
M-ISO 2	0.50	150.00	450.00	75.00	-	14
M-ISO 3	0.50	150.00	450.00	75.00	-	28
TOTAL	0.50	450.00	1350.00	225.00	-	-

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M- ISO -F 1	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	7
M- ISO -F 2	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	14
M- ISO -F 3	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	28
TOTAL	0.50	450.00	1329.75	225.00	20.25	-

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Curado (días)
M- ISO -FT 1	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	7
M- ISO -FT 2	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	14
M- ISO -FT 3	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	28
TOTAL	0.50	450.00	1329.75	225.00	20.25	-

Fuente: Elaboración propia (2016).

**CAPÍTULO III**  
**RESULTADOS**

### 3.1. Trabajabilidad con la fibra.

#### 3.1.1. Seccionamiento de la fibra.

Ya una vez lista la fibra dentro del laboratorio se agrupa en grandes hiladas y se la secciona de acuerdo a las dimensiones previstas con tijera, debido a la facilidad que presenta cortándola en dimensiones que oscilan los 20-25 mm de longitud aproximadamente, de acuerdo a estudios previos que justifican esta medida como Macías J., Díaz J. (1994), Bledzki A., Al-Mamun A., Faruk O. (2007), Osorio J., Varón F., Herrera J. (2007) y Juárez C., Rivera R., Rechy M. (2004).



Ilustración 31. Fibra seca de abacá.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 32. Agrupación en hiladas de fibra para su seccionamiento con ayuda de tijera.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 33. Seccionamiento de la fibra.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 34. Almacenamiento de la fibra.

Fuente: Autor, 2016.

#### 3.1.2. Impermeabilización de la fibra.

Para la impermeabilización de la fibra se investigó sustancias que permitan su impermeabilización y que protejan a la misma de la alcalinidad de la pasta cementicia, encontrando varias sustancias y métodos. Pero la sustancia hidrófoba seleccionada que ha brindado resultados generosos como para ser empleada en fibras, es la Parafina Sólida (P).

El uso de esta sustancia viene dado por Juárez (2002), donde recomienda:

Esta cera es sólida a temperatura ambiente, con punto de fusión de 67°C aproximadamente. Compuesta por una mezcla de hidrocarburos que se obtienen normalmente como subproducto de la fabricación de aceites lubricantes derivados del petróleo. Se utiliza principalmente para preparar pomadas, velas, así como también, para impermeabilizar papel y telas.

### 3.1.3. Tratamiento con Parafina Sólida (P).

La aplicación de esta cera se la realizó disolviéndola aproximadamente en unos 80 °C a fuego rápido, una vez líquida inmediatamente se la colocó en un envase plástico para ser mezclada con la fibra cortada, el mezclado de la sustancia con la fibra se la realizó manualmente con la ayuda de cucharón metálico. Debemos de asegurarnos de que la fibra se encuentre impregnada en su totalidad como se observa en la ilustración 25, para luego dejarla secar al ambiente durante 10 minutos para proseguir con el siguiente procedimiento que consiste en la eliminación de grumos formados durante este proceso.



Ilustración 35. Parafina sólida presentación 1 kilo en paquete.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 36. Disolución de la parafina sólida.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 37. Fibra de abacá lista para ser sumergida en parafina disuelta.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 38. Fibra de abacá sumergida en parafina disuelta.  
Fuente: Autor, 2016

### 3.1.3.1. Eliminación de grumos.

Para evitar los grumos de cera existentes entre las fibras una vez que la parafina se encuentra en proceso de enfriamiento, nos basamos nuevamente en Juárez (2004) donde nos indica:

La fibra impregnada se colocó dentro de un horno a 100°C - 110°C durante 15 min, esto redujo la formación de grumos de parafina en las fibras mejorando la disgregación de las mismas antes y durante el mezclado.

Hay que especificar que durante este proceso se debe de trabajar con guantes para cubrir y proteger la piel de las manos, debido a la gran temperatura que llega a tener la parafina una vez derretida y no sufrir heridas. Además el proceso debe de realizarse lo más pronto posible, evitando que se prolongue el tiempo de enfriamiento de la parafina con la fibra ya que dependiendo de esto los grumos tienden a aumentar de tamaño. Este proceso se lo realizó manualmente con ayuda de un rodillo de madera sin presionar fuerte con la fibra evitando dañarla.



Ilustración 39. Formación de grumos por la mezcla entre la parafina y la fibra.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 40. Presencia de grumos en menor cantidad.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 41. Eliminación de los grumos formados.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 42. Almacenamiento de la fibra ya con tratamiento hidrófobo.  
Fuente: Autor, 2016.

Ya una vez realizada la impregnación de parafina en la fibra, seca y en su mayoría eliminado la gran cantidad de grumos formados, se puede trabajar brindándole protección hidrófoba a la fibra aumentando su durabilidad dentro de la matriz. Su colocación dentro de la matriz será de manera dispersa distribuyéndose por toda la mezcla.

### 3.2. Aditivo.

#### 3.2.1. Aditivo Sikament - N 100.

Dentro de las variadas mezclas a desarrollar se empleará el aditivo superplastificante, reductor de agua de alto poder Sikament - N 100, que cumple con la norma ASTM C494 para aditivos tipo A y F, con el objetivo de desarrollar rápidamente sus resistencias en comparación con los morteros de igual consistencia que no cuentan con la inclusión de un aditivo. Además mejora la plasticidad de la mezcla reduciendo la cantidad de agua permitiendo una mayor trabajabilidad en su colocación y adherencia, incrementando notablemente su impermeabilidad y durabilidad.

Tabla 18

*Características del aditivo Sikament – N 100.*

Característica	Propiedades
Apariencia	Líquido
Color	Café
Composición	Resinas sintéticas
Presentación	Plástico 10 kg Tambor 230 kg IBC y al granel
Densidad	1.22 Kg/l aprox.
pH	8-10
Dosificación Superplastificante	0.5% al 1.0% del peso del cemento
Dosificación Reductor de Agua	1.0% al 2.0% del peso del cemento
Presencia de cloruros	Ninguna

Fuente: Elaboración propia (2016).



Ilustración 43. Presentación de 10kg.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 44. Apariencia del aditivo.

Fuente: Autor, 2016.

De acuerdo a la dosificación recomendada en la hoja técnica del producto que consiste entre los 0.5% al 1.0% del peso del cemento para que funcione como superplastificante, quedando a libre elección se decidió trabajar con el 1.0% del peso con el fin de brindarle trabajabilidad a la mezcla ya que la relación entre agua/cemento es medianamente seca, además de acelerar las propiedades mecánicas de cada tipo de mortero.

### **2.2.11.3. Ventajas del superplastificante Sikament – N 100.**

Muchas ventajas nos permiten usar el aditivo Sikament – N 100 dentro de la investigación pero los más importantes se argumentan a continuación:

- Permite una mayor trabajabilidad sin ser necesario incrementar la cantidad del agua.
- Disminuye la retracción durante el secado.
- En una mezcla de consistencia normal, este aditivo fluidifica al mortero facilitando su colocación.
- Elimina la incorporación de aire dentro de la mezcla.
- Incrementa la resistencia inicial y final a la compresión.

### **3.3. Máquina de ensayo.**

Los diferentes especímenes se ensayaron dentro de la máquina de ensayo modelo AP-1000 Series Versa-Tester de fabricación norteamericana, una máquina de pruebas para uso general operada hidráulicamente, diseñada para ser usada con todo tipo de materiales y capaz de soportar cargas entre 30000 y 60000 lb.

Tabla 19

*Especificaciones de la máquina Versa-Tester.*

<b>Característica</b>	<b>Especificaciones</b>
Capacidad	60000 lb (27215.542 kg).
Dimensiones	29" ancho x 20" profundidad x 66" alto (737 x 508 x 1676 mm).
Columnas de calibración roscadas	2 tubos de 8½ de diámetro.
Ancho entre columnas	12 pulg (304.8 mm)
Ajuste entre columnas	18 pulg (457.2 mm)
Altura máxima entre platos	17 pulg (431.8 mm)
Recorrido hidráulico	6 pulg (152.4 mm)
Gabinete	Conformada por dos compartimentos, con todas las partes operativas montadas integralmente.
Pistón de carga	Aluminio
Peso de envío	700 lb (317.515 kg)
Peso neto	545 lb (247.208 kg)

Fuente: Elaboración propia (2016).

Es una máquina multifuncional empleada en el uso de diferentes áreas de laboratorio con varias aplicaciones como:

Laboratorio de suelos.

- Pruebas de compresión cilindros suelo-cemento.
- Ensayos de flexión de vigas de tierra y cemento.
- Pruebas triaxiales.
- Prueba de compresión sin confinar.

Laboratorios de hormigón y cemento.

- Pruebas de compresión de cilindros de hormigón de baja resistencia.
- Ensayos de flexión de vigas de hormigón.
- Cubos de cemento de prueba de compresión.
- Prueba de briquetas de cemento.
- Ensayo de resistencia de la unión de mortero.

Materiales y Laboratorios Industriales entre otros.



Ilustración 45-46. Máquina de ensayo Versa-Tester.

Fuente: Autor, 2016.

### 3.4. Mezclado, vaciado y curado.

La mezcla de los materiales fue realizada manualmente en bandejas de aluminio con las que se cuenta dentro del laboratorio, en el caso de los especímenes para compresión la bandeja tuvo una capacidad de 2000 ml, mientras que los especímenes ensayados a flexión su capacidad fue de 3500 ml.

Seco completamente el árido fino se mezcló con el cemento durante 10 min para luego agregarle agua ya combinado con aditivo hasta su absorción total para mejorar la consistencia de la mezcla, este procedimiento fue realizado para los especímenes que

no cuentan con la inclusión de fibra dentro de sus componentes, tanto para compresión y flexión, es decir, para los morteros comunes.

En cambio, para los especímenes conformados por fibra con y sin tratamiento hidrófobo el procedimiento fue similar, pero sumándose a la mezcla de árido fino y cemento, la fibra adicionándose manualmente y aleatoriamente durante 15 minutos aproximadamente evitando la formación de grumos debido al entrelazamiento entre ellas.

Al momento de realizar el vaciado de la mezcla dentro de los moldes se tuvo que separar las acumulaciones de fibra manualmente, evitando así las formaciones de aire dentro de la pasta cementicia, tratando de que toda la mezcla sea homogénea.

El vaciado tanto para compresión y flexión fue realizado mediante la compactación en dos capas tal y cual lo anuncian en la NTE INEN 488 (2009). Dejando curar los especímenes en sus moldes el primer día, para luego ser desencofrados y sumergidos en su totalidad en agua potable, para ser ensayados los días especificados dentro de la máquina de ensayo, con el asesoramiento del Ing. Ángel Tapia con quien se coordinó estos ensayos previamente. Se debe tener cuidado con la pureza del agua y que a futuro no exista ningún tipo de contaminación por cualquier sustancia presente en el laboratorio. Todo este procedimiento se tuvo en cuenta para todos los especímenes realizados.

Se debe tener en cuenta que luego de sumergir los especímenes completamente en agua para su respectivos curados se los ensaya inmediatamente dentro de un tiempo permisible, establecidos en la tabla 20, dispuesto en las normas técnicas.

Tabla 20  
*Tolerancias de tiempo*

<b>Edad del prisma</b>	<b>Tolerancia permisible</b>
24 horas	± ½ horas
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
14 días <sup>A</sup>	± 6 horas
28 días	± 12 horas

Nota. A Valor propuesto por el autor mediante relaciones de tiempo y edad establecidas en la norma.  
Fuente: Elaboración propia a partir de NTE INEN 488 (2009).

### **3.5. Pruebas mecánicas en el laboratorio.**

#### **3.5.1. Especímenes puestos a pruebas de resistencia a compresión.**

La preparación de materiales se la realizó dentro de las instalaciones del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la UTPL, con el apoyo del Ing. Diego Mata y del Ing. Ángel Tapia, quienes me brindaron ayuda sobre inconvenientes que se me presentaban en el proceso.

Sobre los moldes de encofrado, cada modelo para los morteros de diferentes composiciones consta de tres recipientes con dimensiones de 50x50x50 mm de arista de acuerdo a la NTE INEN 488 (2009).

Para el desarrollo de este procedimiento se utilizó el molde estándar para encofrados que cumplen con la NTE INEN 488 (2009), el mismo que es propiedad del Laboratorio de la UTPL, así mismo se mandaron a fabricar más modelos metálicos de acuerdo a las dimensiones que establece la norma ya mencionada.

Una vez que se cuente con los moldes especificados se procede a realizar los diferentes tipos de especímenes de morteros explicados en la, sección 2.2.1 del capítulo 2.



Ilustración 47. Molde estándar para morteros sometidos a compresión.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 48. Molde fabricado de acuerdo a la NTE INEN 488 (2009).  
Fuente: Autor, 2016.

La muestra deberá presentar su superficie seca y limpiar cualquier impureza que se encuentre en la misma ya que tendrá contacto con los apoyos de la máquina de ensayo. Además se deberá tener mucho cuidado al colocar cada muestra en la máquina.

Para calcular sus resistencias a la compresión se aplica la siguiente ecuación:

$$R_c = \frac{P_c}{b^2}$$

Dónde:

$R_c$  = Resistencia a la compresión, en MPa.

$P_c$  = Carga de rotura a la compresión, en N.

$B$  = Lado de la sección cuadrada en la que se aplica la carga, en mm.

### **3.5.1.1. Morteros NTE a compresión.**

Estos tipos de morteros diseñados se encuentran bajo parámetros establecidos en la norma NTE INEN 488 (2009), donde a más de esta especificación se desarrollaron morteros de la misma clase pero añadiéndole fibra natural para realizar comparaciones de acuerdo a lo resultados obtenidos durante las pruebas mecánicas dentro del laboratorio.

### 3.5.1.1.1 Morteros a compresión Tipo M-NTE.

Mortero realizado a partir de cemento, arena y agua + aditivo sin la inclusión de fibra.

Tabla 21

Dosificación NTE a compresión.

Dosificación 1:2.75

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra 1% (g)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-NTE 7	0.485	83.333	229.167	40.33	-	0.833	7
M-NTE 14	0.485	83.333	229.167	40.33	-	0.833	14
M-NTE 28	0.485	83.333	229.167	40.33	-	0.833	28
TOTAL	0.485	250.00	687.501	121.00	-	2.500	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 49. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 50. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 51. Materiales listos para su mezclado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 52. Mezcla manual entre cemento y árido fino.  
Fuente: Autor, 2016.

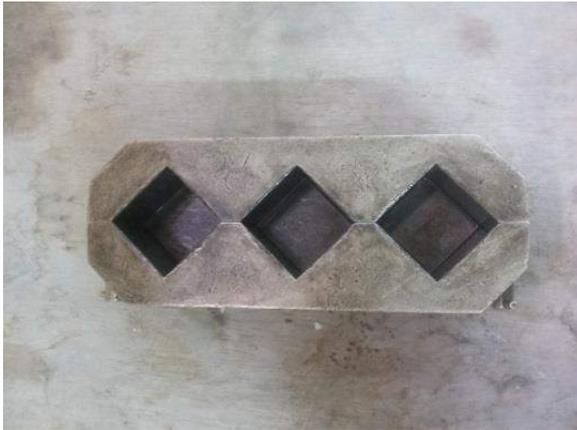


Ilustración 53. Preparación de molde para M-NTE.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 54. Colocación del mortero M-NTE para el moldeo final de los especímenes.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 55. Moldeo final de las muestras durante 24 horas.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 56. Desencofrar los especímenes del recipiente.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 57. Marcaje de los especímenes para identificarlos al momento de ensayarlos.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 58. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.

Fuente: Autor, 2016.

### 3.5.1.1.1. Procedimiento operatorio a compresión M-NTE 7.



Ilustración 59. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 60. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 61-62. Calibración de la máquina de ensayo y colocación del espécimen en la misma.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 63. Aplicación de carga sobre el M-NTE 7.  
Fuente: Autor, 2016

Con todo el proceso ya realizado y la obtención de datos del mortero M-NTE 7 puesto a prueba dentro de los 7 días de curado se presenta sus resultados en la tabla 22 y su representación gráfica en la ilustración 64.

Tabla 22  
*Datos y resultados del espécimen M-NTE 7*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE 7	5.05	5.04	5.11	25.45	130.06	263.45

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Lectura de deformación	Deformación vertical	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.45	0.00
10.00	0.03	16.50	4.94	81.51	25.45	3.20
20.00	0.05	34.50	4.94	170.43	25.45	6.70
30.00	0.08	69.50	4.94	343.33	25.45	13.49
40.00	0.10	132.00	4.94	652.08	25.45	25.62
50.00	0.13	201.00	4.94	992.94	25.45	39.02
60.00	0.15	269.00	4.94	1328.86	25.45	52.21
65.00	0.17	300.00	4.94	1482.00	25.45	58.23
70.00	0.18	330.00	4.94	1630.20	25.45	64.06
75.00	0.19	360.00	4.94	1778.40	25.45	69.88
80.00	0.20	386.00	4.94	1906.84	25.45	74.92
85.00	0.22	411.00	4.94	2030.34	25.45	79.78
90.00	0.23	423.00	4.94	2089.62	25.45	82.11
100.00	0.25	440.00	4.94	2173.60	25.45	85.41
105.00	0.27	443.50	4.94	2190.89	25.45	86.09
<b>110.00</b>	<b>0.28</b>	<b>445.00</b>	<b>4.94</b>	<b>2198.30</b>	<b>25.45</b>	<b>86.38</b>
115.00	0.29	435.50	4.94	2151.37	25.45	84.53

Fuente: Elaboración propia (2016).

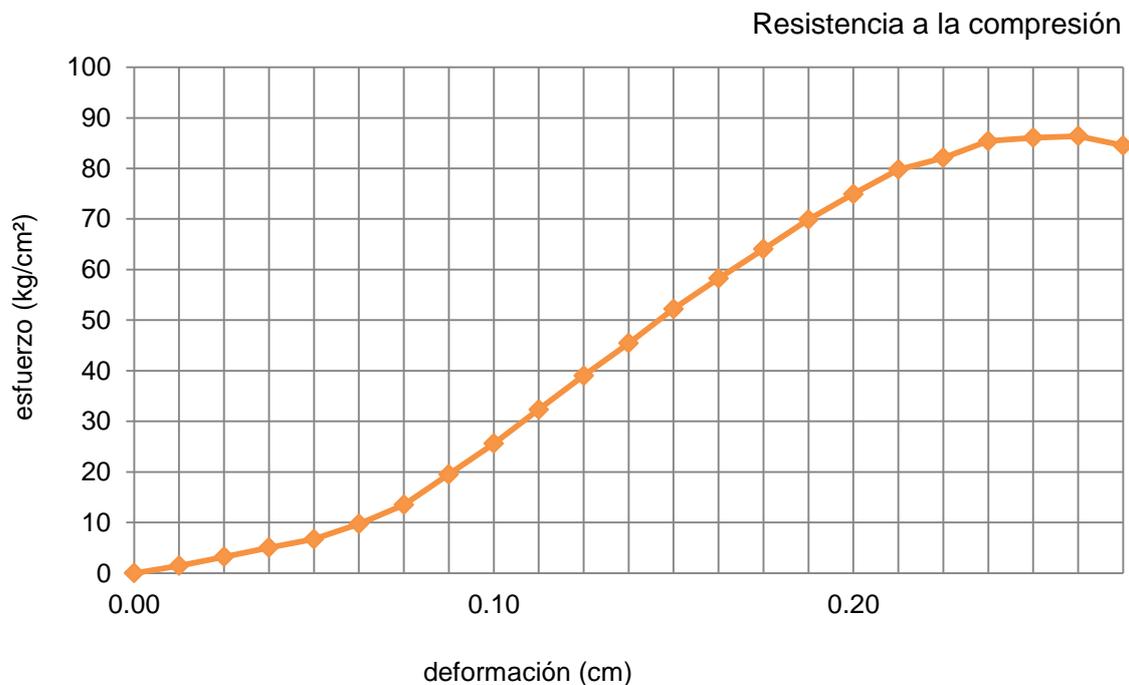


Ilustración 64. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE 7.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.1.2. Procedimiento operatorio a compresión M-NTE 14.



Ilustración 65. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 66. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 67-68. Calibración de la máquina de ensayo y colocación del espécimen en la misma.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 69. Aplicación de carga sobre el M-NTE 7.  
Fuente: Autor, 2016

Los datos receptados del M-NTE 14 puesto a prueba dentro de los 14 días de curado se presentan en la tabla 23 y su representación gráfica en la ilustración 70.

Tabla 23  
*Datos y resultados del espécimen M-NTE 14.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE 14	5.06	5.03	5.10	25.45	129.80	270.56

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Lectura de deformación	Deformación vertical	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.45	0.00
10.00	0.03	10.00	4.94	49.40	25.45	1.94
20.00	0.05	22.00	4.94	108.68	25.45	4.27
30.00	0.08	35.80	4.94	176.85	25.45	6.95
40.00	0.10	60.50	4.94	298.87	25.45	11.74
50.00	0.13	97.50	4.94	481.65	25.45	18.93
60.00	0.15	147.00	4.94	726.18	25.45	28.53
70.00	0.18	201.00	4.94	992.94	25.45	39.02
80.00	0.20	265.00	4.94	1309.10	25.45	51.44
90.00	0.23	314.00	4.94	1551.16	25.45	60.95
100.00	0.25	368.00	4.94	1817.92	25.45	71.43
110.00	0.28	419.00	4.94	2069.86	25.45	81.33
120.00	0.30	465.00	4.94	2297.10	25.45	90.26
130.00	0.33	498.00	4.94	2460.12	25.45	96.66
140.00	0.36	513.00	4.94	2534.22	25.45	99.58
<b>145.00</b>	<b>0.37</b>	<b>514.00</b>	<b>4.94</b>	<b>2539.16</b>	<b>25.45</b>	<b>99.77</b>
150.00	0.38	507.00	4.94	2504.58	25.45	98.41
155.00	0.39	478.00	4.94	2361.32	25.45	92.78

Fuente: Elaboración propia (2016).

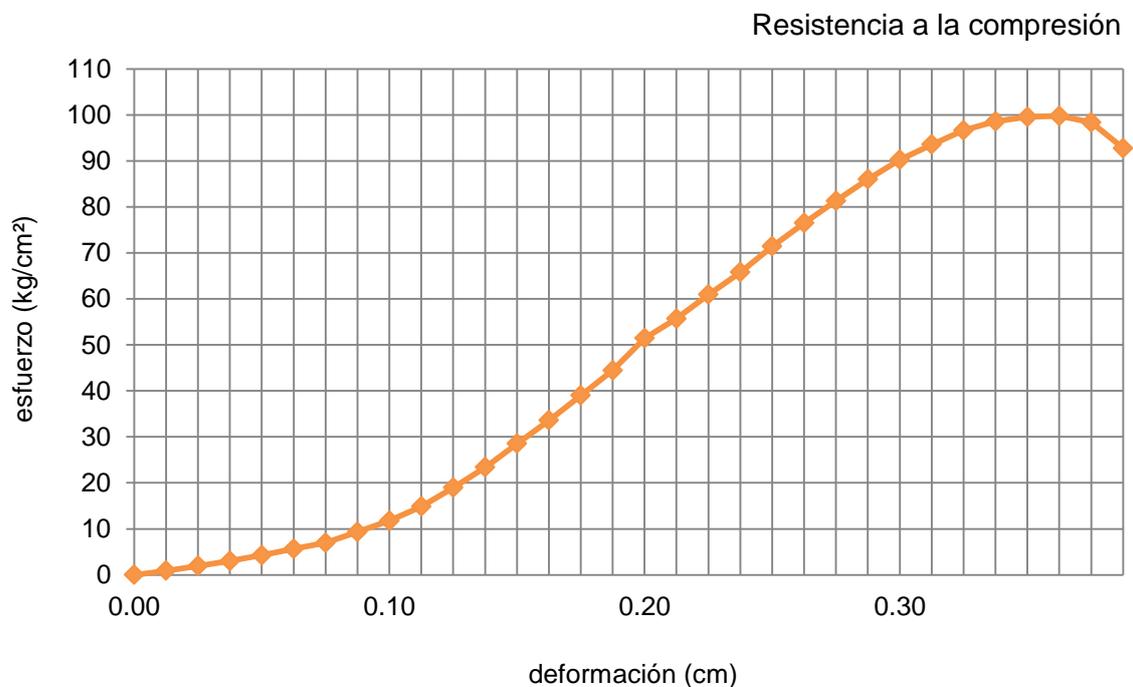


Ilustración 70. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE 14.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.1.1.3. Procedimiento operatorio a compresión M-NTE 28.



Ilustración 71. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 72. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 73-74. Calibración de la máquina de ensayo y colocación del espécimen en la misma.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 75. Aplicación de carga sobre el M-NTE 28.  
Fuente: Autor, 2016

Los datos receptados del M-NTE 28 puesto a prueba dentro de los 28 días de curado se presentan en la tabla 24 y sus valores están representados en la ilustración 76.

Tabla 24  
Datos y resultados del espécimen M-NTE 28.

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE 28	5.00	5.08	5.06	25.40	128.52	273.75

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación vertical	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.40	0.00
10.00	0.03	15.00	4.94	74.43	25.40	2.93
20.00	0.05	32.00	4.94	158.41	25.40	6.24
30.00	0.08	55.50	4.94	274.50	25.40	10.81
40.00	0.10	99.50	4.94	491.86	25.40	19.36
50.00	0.13	170.00	4.94	840.13	25.40	33.08
60.00	0.15	240.00	4.94	1185.93	25.40	46.69
70.00	0.18	313.00	4.94	1546.55	25.40	60.89
80.00	0.20	383.00	4.94	1892.35	25.40	74.50
90.00	0.23	455.00	4.94	2248.03	25.40	88.51
100.00	0.25	515.00	4.94	2544.43	25.40	100.17
110.00	0.28	564.00	4.94	2786.49	25.40	109.70
120.00	0.30	598.00	4.94	2954.45	25.40	116.32
<b>130.00</b>	<b>0.33</b>	<b>612.00</b>	<b>4.94</b>	<b>3023.61</b>	<b>25.40</b>	<b>119.04</b>
135.00	0.34	598.00	4.94	2954.45	25.40	116.32

Fuente: Elaboración propia (2016).

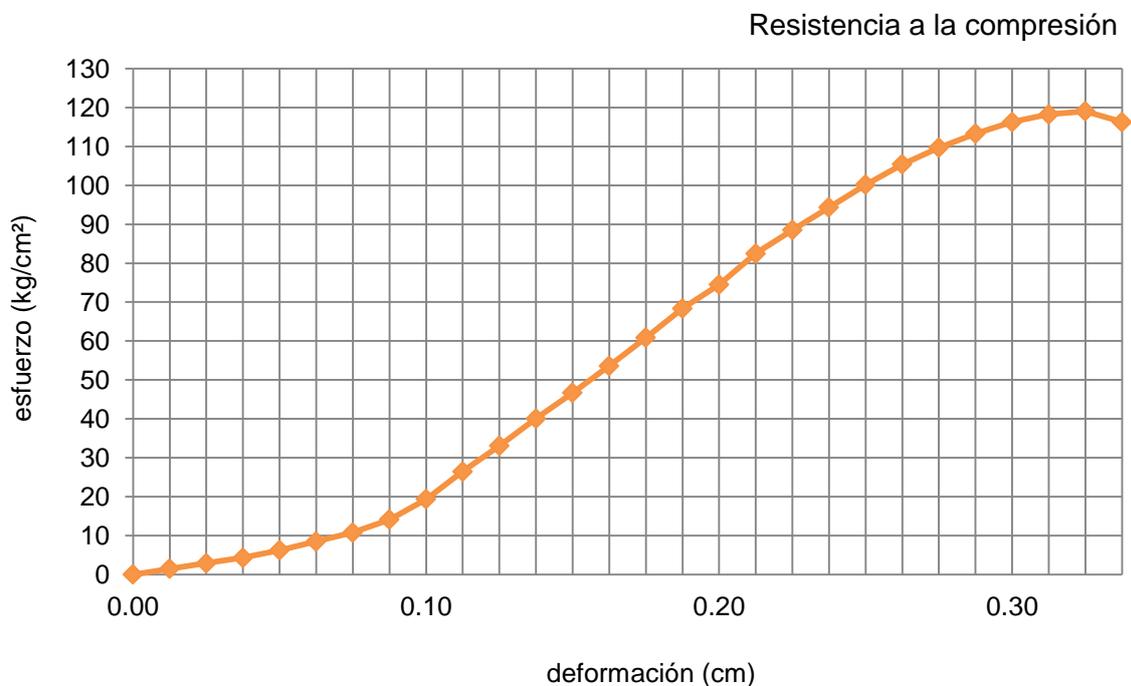


Ilustración 76. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE 28.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.1.1.4. Resumen de resultados de morteros NTE a compresión.

Realizadas las respectivas pruebas de resistencia a compresión a los morteros tipo M-NTE, sus resultados se expresan en la tabla 25 y su posterior ilustración.



Ilustración 77. Fisuración de los espécimen M-NTE 7, M-NTE 14 y M-NTE 28 respectivamente.  
Fuente: Autor, 2016.

Tabla 25  
Resultados de especímenes NTE a compresión.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Deform. (cm)	Carga (kg)	Rc (kg/cm <sup>2</sup> )	Rc (MPa)
M-NTE 7	7	263.45	2.03	0.28	2198.30	86.38	8.47
M-NTE 14	14	270.56	2.08	0.37	2539.16	99.77	9.78
M-NTE 28	28	273.75	2.13	0.33	3023.28	119.04	11.67

Fuente: Elaboración propia (2016).

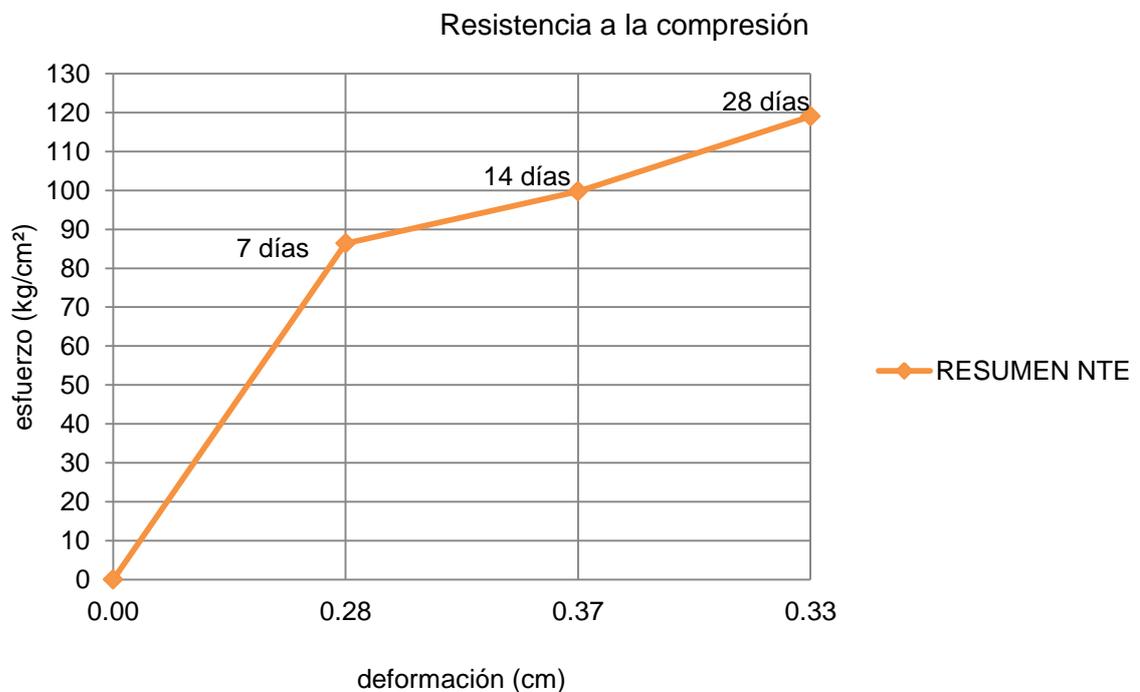


Ilustración 78. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE probado a los 7, 14 y 28 días.  
Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.1.2 Morteros a compresión Tipo M-NTE-F.

Morteros que consisten de cemento, arena, agua y la inclusión de fibra natural sin tratamiento hidrófobo puestos a prueba a 7, 14 y 28 días respectivamente.

Tabla 26

*Dosificación NTE-F a compresión.*

Dosificación 2:2.75

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra 1% (g)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-NTE-F7	0.485	83.333	225.64	40.33	3.53	0.833	7
M-NTE-F14	0.485	83.333	225.64	40.33	3.53	0.833	14
M-NTE-F28	0.485	83.333	225.64	40.33	3.53	0.833	28
TOTAL	0.485	250.00	676.92	121.00	10.59	2.500	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 79. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 80. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 81. Pesaje de la fibra en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 82. Mezcla manual entre cemento y árido fino.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 83. Agregado de fibra a la mezcla consistente entre cemento y árido fino.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 84. Agregado del agua + aditivo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 85. Colocación del mortero M-NTE-F para el moldeado final de los especímenes.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 86. Marcaje de los especímenes para identificarlos al momento de ensayarlos.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 87. Desencofrar los especímenes del recipiente.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 88. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.  
Fuente: Autor, 2016.

### 3.5.1.1.1.5. Procedimiento operatorio a compresión M-NTE-F7.



Ilustración 89. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 90. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 91-92. Calibración de la máquina de ensayo y colocación del espécimen en la misma.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 93. Aplicación de carga sobre el M-NTE-F7.  
Fuente: Autor, 2016

Culminado el proceso realizado al mortero M-NTE-F7, ensayado a los 7 días sus datos receptados se presentan en la tabla 27 y sus valores están representados en la ilustración 94.

Tabla 27  
*Datos y resultados del espécimen M-NTE-F7.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-F7	5.03	5.00	5.11	25.15	128.52	296.24

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.15	0.00
10.00	0.03	15.00	4.94	74.10	25.15	2.95
20.00	0.05	26.50	4.94	130.91	25.15	5.21
30.00	0.08	42.00	4.94	207.48	25.15	8.25
40.00	0.10	65.00	4.94	321.10	25.15	12.77
50.00	0.13	93.50	4.94	461.89	25.15	18.37
60.00	0.15	127.00	4.94	627.38	25.15	24.95
70.00	0.18	165.00	4.94	815.10	25.15	32.41
80.00	0.20	209.00	4.94	1032.46	25.15	41.05
90.00	0.23	255.00	4.94	1259.70	25.15	50.09
100.00	0.25	306.00	4.94	1511.64	25.15	60.10
120.00	0.30	393.00	4.94	1941.42	25.15	77.19
140.00	0.36	441.50	4.94	2181.01	25.15	86.72
160.00	0.41	450.50	4.94	2225.47	25.15	88.49
180.00	0.46	454.00	4.94	2242.76	25.15	89.18
190.00	0.48	455.50	4.94	2250.17	25.15	89.47
<b>200.00</b>	<b>0.51</b>	<b>456.50</b>	<b>4.94</b>	<b>2255.11</b>	<b>25.15</b>	<b>89.67</b>
210.00	0.53	444.50	4.94	2195.83	25.15	87.31

Fuente: Elaboración propia (2016).

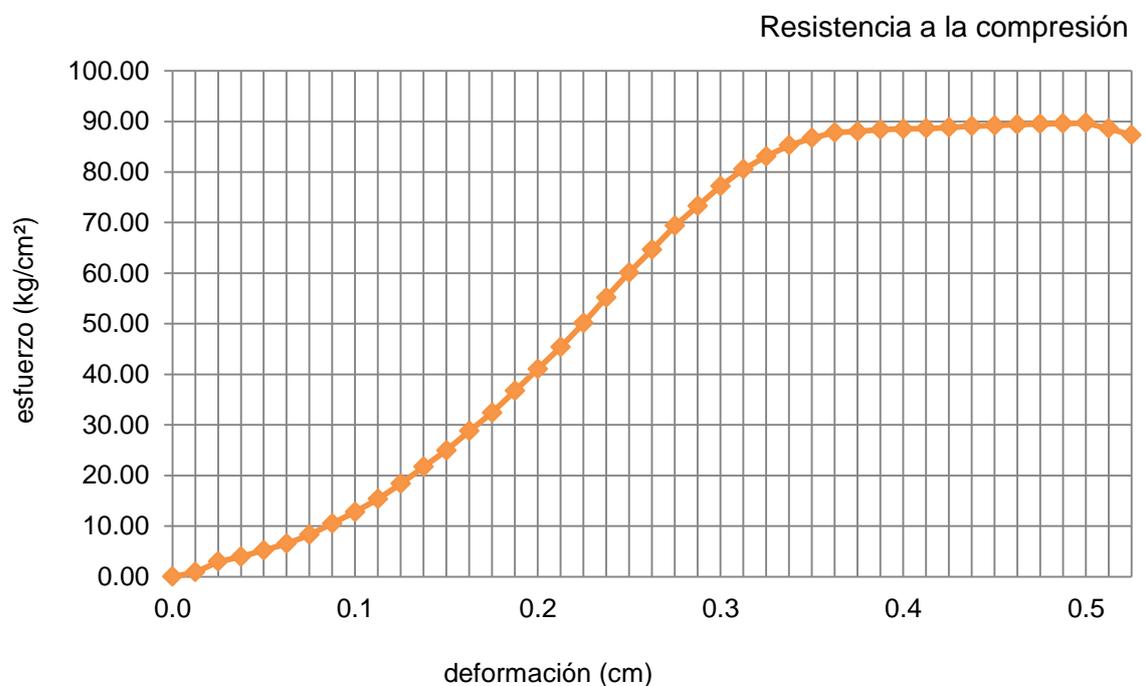


Ilustración 94. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-F7.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.1.1.6. Procedimiento operatorio a compresión M-NTE-F14.



Ilustración 95. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 96. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 97-98. Calibración de la máquina de ensayo y colocación del espécimen en la misma.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 99. Formación de fisuras en el M-NTE-F14.  
Fuente: Autor, 2016

Todos los datos receptados acerca del mortero M-NTE-F14 ensayado a los 14 días se presentan en la tabla 28 y sus valores están representados en la ilustración 100.

Tabla 28

*Datos y resultados del espécimen M-NTE-F14.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-F14	5.01	5.02	5.12	25.15	128.77	271.83

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.15	0.00
10.00	0.03	1.00	4.94	5.27	25.15	0.21
20.00	0.05	2.00	4.94	10.21	25.15	0.41
30.00	0.08	3.50	4.94	17.62	25.15	0.70
40.00	0.10	5.20	4.94	26.02	25.15	1.03
50.00	0.13	6.50	4.94	32.44	25.15	1.29
60.00	0.15	8.90	4.94	44.30	25.15	1.76
70.00	0.18	17.50	4.94	86.78	25.15	3.45
80.00	0.20	39.50	4.94	195.46	25.15	7.77
90.00	0.23	76.50	4.94	378.24	25.15	15.04
100.00	0.25	134.00	4.94	662.29	25.15	26.33
120.00	0.30	282.00	4.94	1393.41	25.15	55.40
140.00	0.36	435.00	4.94	2149.23	25.15	85.46
160.00	0.41	578.00	4.94	2855.65	25.15	113.54
<b>175.00</b>	<b>0.44</b>	<b>635.00</b>	<b>4.94</b>	<b>3137.23</b>	<b>25.15</b>	<b>124.74</b>
180.00	0.46	624.00	4.94	3082.89	25.15	122.58
185.00	0.47	609.00	4.94	3008.79	25.15	119.63

Fuente: Elaboración propia (2016).

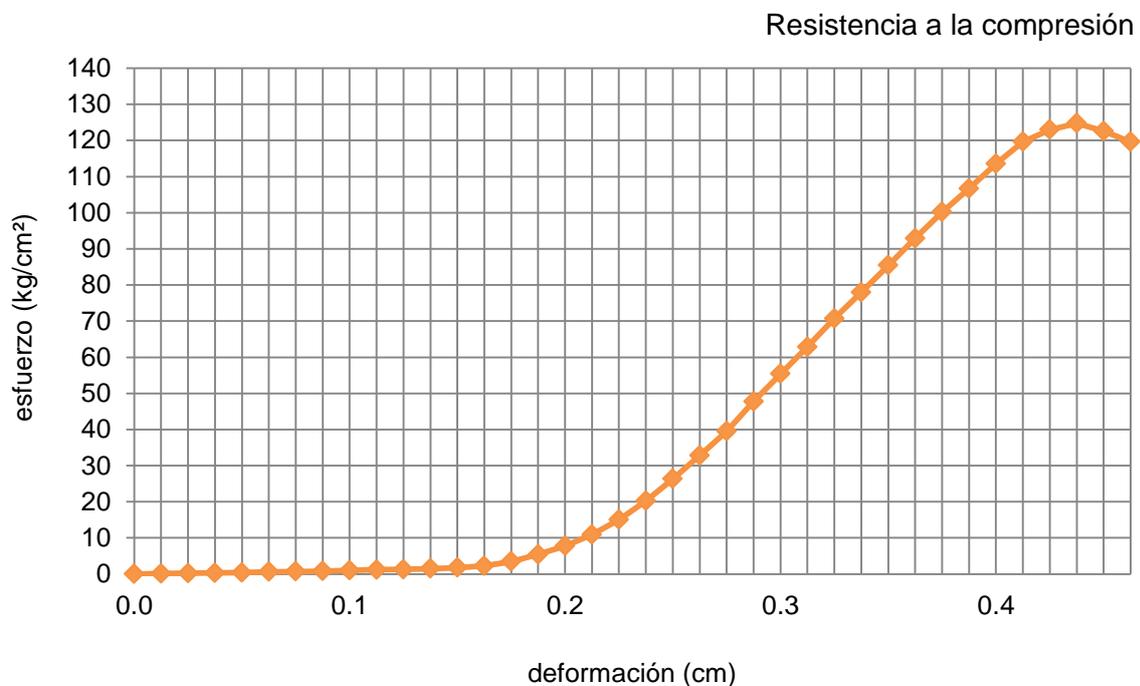


Ilustración 100. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-F14.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.1.1.7. Procedimiento operatorio a compresión M-NTE-F28.



Ilustración 101. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 102. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 103. Aplicación de carga sobre el M-NTE-F28.  
Fuente: Autor, 2016



Ilustración 104-105. Formación de fisuras mientras se le aplicó la carga máxima dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016



Todos los datos receptados acerca del mortero M-NTE-F28 ensayado a los 28 días se presentan en la tabla 29 y sus valores están representados en la ilustración 106.

Tabla 29

*Datos y resultados del espécimen M-NTE-F28.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-F28	5.15	5.10	5.15	26.27	135.26	271.70

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	26.27	0.00
10.00	0.03	7.00	4.94	34.58	26.27	1.32
20.00	0.05	15.00	4.94	74.10	26.27	2.82
30.00	0.08	29.50	4.94	145.73	26.27	5.55
40.00	0.10	54.00	4.94	266.76	26.27	10.16
50.00	0.13	84.50	4.94	417.43	26.27	15.89
60.00	0.15	126.00	4.94	622.44	26.27	23.70
70.00	0.18	181.50	4.94	896.61	26.27	34.14
80.00	0.20	254.00	4.94	1254.76	26.27	47.77
90.00	0.23	329.00	4.94	1625.26	26.27	61.88
100.00	0.25	408.00	4.94	2015.52	26.27	76.74
110.00	0.28	481.00	4.94	2376.14	26.27	90.47
120.00	0.30	553.00	4.94	2731.82	26.27	104.01
130.00	0.33	595.00	4.94	2939.30	26.27	111.91
<b>140.00</b>	<b>0.36</b>	<b>615.00</b>	<b>4.94</b>	<b>3038.10</b>	<b>26.27</b>	<b>115.67</b>
150.00	0.38	590.00	4.94	2914.60	26.27	110.97

Fuente: Elaboración propia (2016).

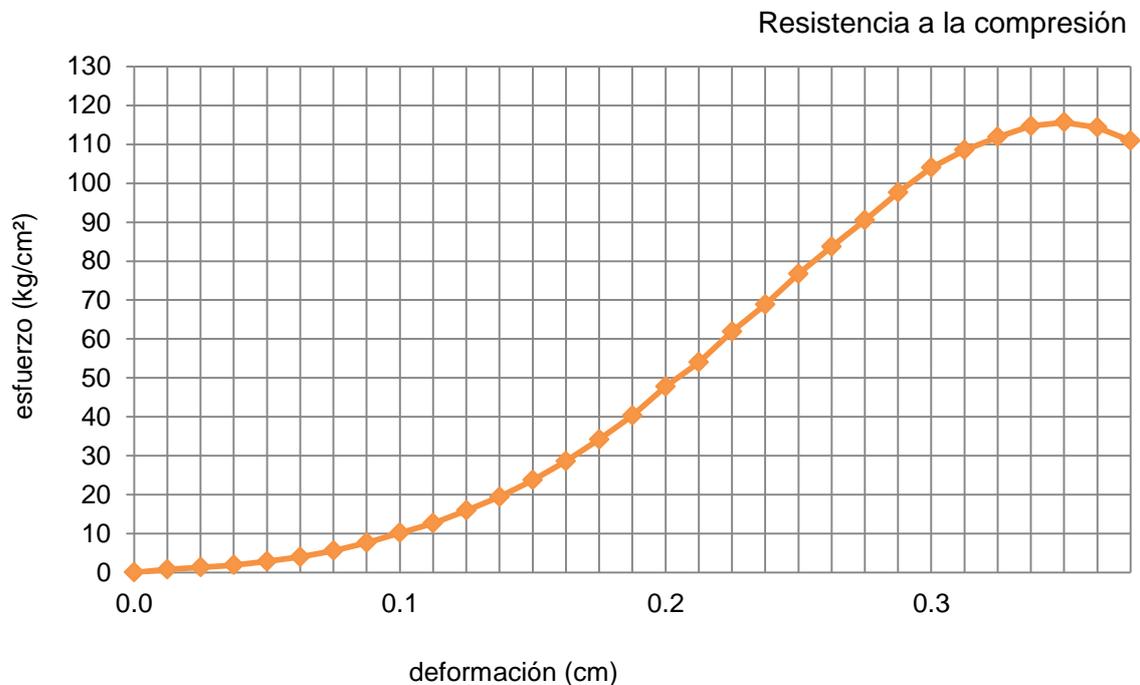


Ilustración 106. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-F28.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.1.1.8. Resumen de resultados de morteros M-NTE-F a compresión.

Realizadas las respectivas pruebas de resistencia a compresión a los morteros M-NTE-F, sus resultados son expresados en la tabla 30 y su posterior ilustración.



Ilustración 107. Fisuración de los espécimen M-NTE-F7, M-NTE-F14 y M-NTE-F28.

Fuente: Autor, 2016.

Tabla 30

Resultados de especímenes NTE-F.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Deform. (cm)	Carga (kg)	Rc (kg/cm <sup>2</sup> )	Rc (MPa)
M-NTE-F7	7	310.81	2.42	0.51	2255.11	89.67	8.79
M-NTE-F14	14	271.83	2.11	0.44	3137.23	124.74	12.23
M-NTE-F28	28	271.70	2.01	0.36	3038.10	115.67	11.34

Fuente: Elaboración propia (2016).

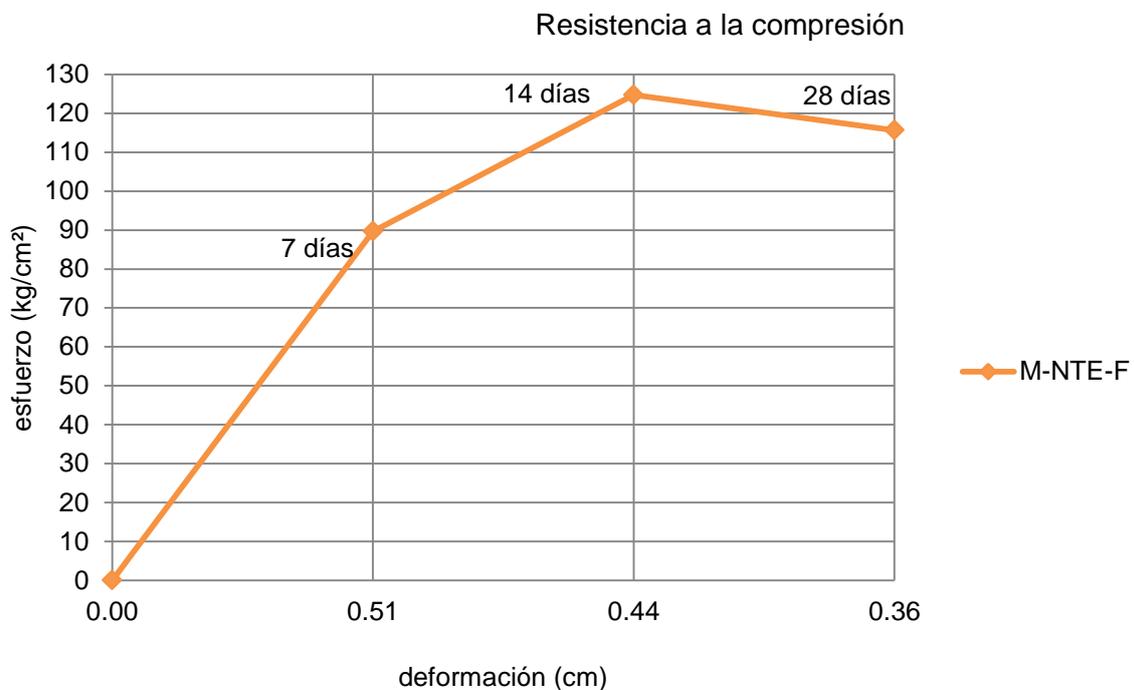


Ilustración 108. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-F probado a los 7, 14 y 28 días.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.1.3 Morteros a compresión Tipo M-NTE-FT.

Morteros que consisten de cemento, arena, agua y la inclusión de fibra natural con tratamiento hidrófobo realizado con la impregnación de parafina sólida disuelta sobre la fibra y puestos a prueba a 7, 14 y 28 días respectivamente.

Tabla 31  
Dosificación NTE-FT a compresión.

Dosificación 2:2.75

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-NTE-FT7	0.485	83.333	225.64	40.33	3.53	0.833	7
M-NTE-FT14	0.485	83.333	225.64	40.33	3.53	0.833	14
M-NTE-FT28	0.485	83.333	225.64	40.33	3.53	0.833	28
TOTAL	0.485	250.00	676.92	121.00	10.59	2.500	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 109. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 110. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 111. Pesaje de la fibra en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 112. Mezcla manual entre cemento y árido fino.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 113. Agregado del agua + aditivo en la mezcla.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 114. Encofrados dimensionados de acuerdo a la NTE INEN 488 (2009).  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 115. Colocación de la mezcla en sus respectivos moldes.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 116. Marcaje de los especímenes para identificarlos al momento de ensayarlos.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 117. Desencofrar los especímenes del recipiente.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 118. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.  
Fuente: Autor, 2016.

### 3.5.1.1.1.9. Procedimiento operatorio a compresión M-NTE-FT7.



Ilustración 119. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 120. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 121. Aplicación de carga sobre el M-NTE-FT7.  
Fuente: Autor, 2016



Ilustración 122-123. Formación de fisuras mientras se le aplicó la carga máxima dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016



Todos los datos receptados acerca del mortero M-NTE-FT7 ensayado a los 7 días se presentan en la tabla 32 y sus valores están representados en la ilustración 124.

Tabla 32  
Datos y resultados del espécimen M-NTE-FT7.

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-FT7	5.05	5.10	5.19	25.76	133.67	310.82

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.76	0.00
10.00	0.03	2.00	4.94	10.21	25.76	0.40
20.00	0.05	4.00	4.94	20.09	25.76	0.78
30.00	0.08	8.00	4.94	39.85	25.76	1.55
40.00	0.10	11.50	4.94	57.14	25.76	2.22
50.00	0.13	16.00	4.94	79.37	25.76	3.08
60.00	0.15	20.00	4.94	99.13	25.76	3.85
70.00	0.18	26.50	4.94	131.24	25.76	5.10
80.00	0.20	30.00	4.94	148.53	25.76	5.77
100.00	0.25	56.50	4.94	279.44	25.76	10.85
120.00	0.30	104.00	4.94	514.09	25.76	19.96
140.00	0.36	200.00	4.94	988.33	25.76	38.37
160.00	0.41	319.00	4.94	1576.19	25.76	61.20
180.00	0.46	432.00	4.94	2134.41	25.76	82.87
200.00	0.51	541.00	4.94	2672.87	25.76	103.78
220.00	0.56	616.00	4.94	3043.37	25.76	118.17
<b>235.00</b>	<b>0.60</b>	<b>645.00</b>	<b>4.94</b>	<b>3186.63</b>	<b>25.76</b>	<b>123.73</b>
245.00	0.62	625.00	4.94	3087.83	25.76	119.89

Fuente: Elaboración propia (2016).

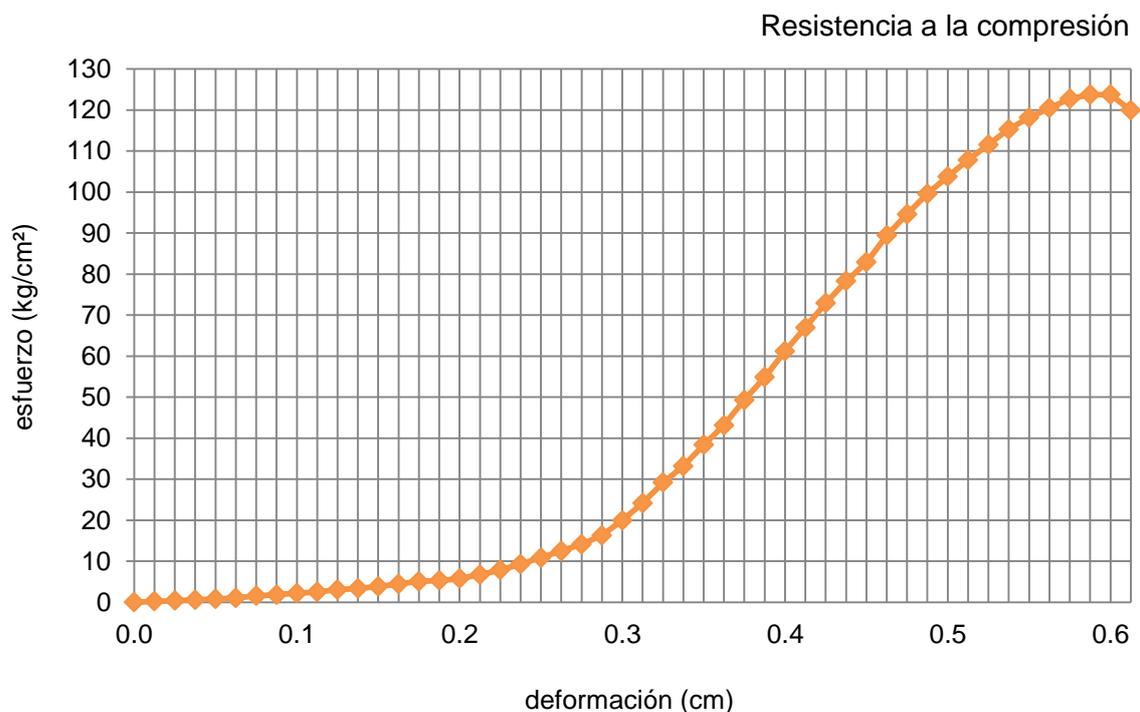


Ilustración 124. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-FT7.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.1.1.10. Procedimiento operatorio a compresión M-NTE-FT14.



Ilustración 125. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 126. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 127. Aplicación de carga sobre el M-NTE-FT14.  
Fuente: Autor, 2016

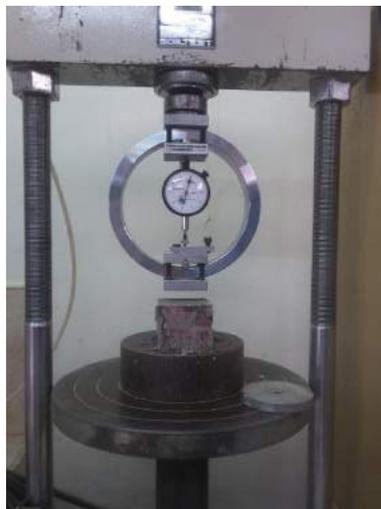


Ilustración 128-129. Formación de fisuras mientras se le aplicó la carga máxima dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016



Todos los datos receptados acerca del mortero M-NTE-FT14 ensayado a los 14 días se presentan en la tabla 33 y sus valores están representados en la ilustración 130.

Tabla 33  
*Datos y resultados del espécimen M-NTE-FT14.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-FT14	5.20	4.95	5.18	25.74	133.33	296.24

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
					Peso de placa/anillo de acero (Kg)	0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.74	0.00
10.00	0.03	6.00	4.94	29.97	25.74	1.16
20.00	0.05	13.00	4.94	64.55	25.74	2.51
30.00	0.08	22.00	4.94	109.01	25.74	4.24
40.00	0.10	34.50	4.94	170.76	25.74	6.63
50.00	0.13	51.50	4.94	254.74	25.74	9.90
60.00	0.15	72.00	4.94	356.01	25.74	13.83
70.00	0.18	102.00	4.94	504.21	25.74	19.59
80.00	0.20	142.50	4.94	704.28	25.74	27.36
90.00	0.23	189.50	4.94	936.46	25.74	36.38
100.00	0.25	243.00	4.94	1200.75	25.74	46.65
110.00	0.28	301.00	4.94	1487.27	25.74	57.78
120.00	0.30	359.00	4.94	1773.79	25.74	68.91
130.00	0.33	425.00	4.94	2099.83	25.74	81.58
140.00	0.36	480.00	4.94	2371.53	25.74	92.13
150.00	0.38	538.00	4.94	2658.05	25.74	103.27
160.00	0.41	589.00	4.94	2909.99	25.74	113.05
<b>175.00</b>	<b>0.44</b>	<b>651.00</b>	<b>4.94</b>	<b>3216.27</b>	<b>25.74</b>	<b>124.95</b>
180.00	0.46	642.00	4.94	3171.81	25.74	123.22

Fuente: Elaboración propia (2016).

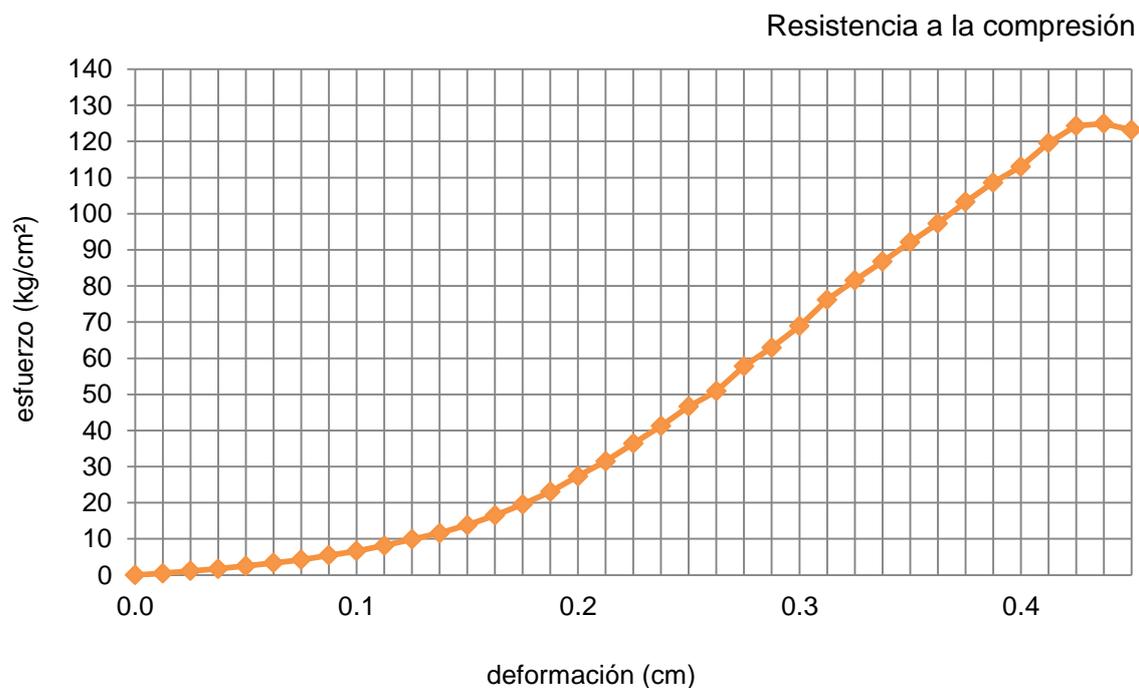


Ilustración 130. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-FT14.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.1.1.1. Procedimiento operatorio a compresión M-NTE-FT28.



Ilustración 131. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 132. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 133. Aplicación de carga sobre el M-NTE-FT28.  
Fuente: Autor, 2016



Ilustración 134-135. Formación de fisuras mientras se le aplicó la carga máxima dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016



Todos los datos receptados acerca del mortero M-NTE-FT28 ensayado a los 28 días se presentan en la tabla 34 y sus valores están representados en la ilustración 136.

Tabla 34

*Datos y resultados del espécimen M-NTE-FT28.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-FT28	5.00	5.10	5.15	25.50	131.33	289.40

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.50	0.00
10.00	0.03	7.00	4.94	34.91	25.50	1.37
20.00	0.05	14.50	4.94	71.96	25.50	2.82
30.00	0.08	31.00	4.94	153.47	25.50	6.02
40.00	0.10	54.50	4.94	269.56	25.50	10.57
50.00	0.13	90.00	4.94	444.93	25.50	17.45
60.00	0.15	139.00	4.94	686.99	25.50	26.94
70.00	0.18	193.50	4.94	956.22	25.50	37.50
80.00	0.20	257.00	4.94	1269.91	25.50	49.80
90.00	0.23	321.00	4.94	1586.07	25.50	62.20
100.00	0.25	393.00	4.94	1941.75	25.50	76.15
110.00	0.28	463.00	4.94	2287.55	25.50	89.71
120.00	0.30	524.00	4.94	2588.89	25.50	101.53
130.00	0.33	566.00	4.94	2796.37	25.50	109.66
140.00	0.36	607.00	4.94	2998.91	25.50	117.60
150.00	0.38	631.00	4.94	3117.47	25.50	122.25
<b>160.00</b>	<b>0.41</b>	<b>644.00</b>	<b>4.94</b>	<b>3181.69</b>	<b>25.50</b>	<b>124.77</b>
170.00	0.43	625.00	4.94	3087.83	25.50	121.09

Fuente: Elaboración propia (2016).

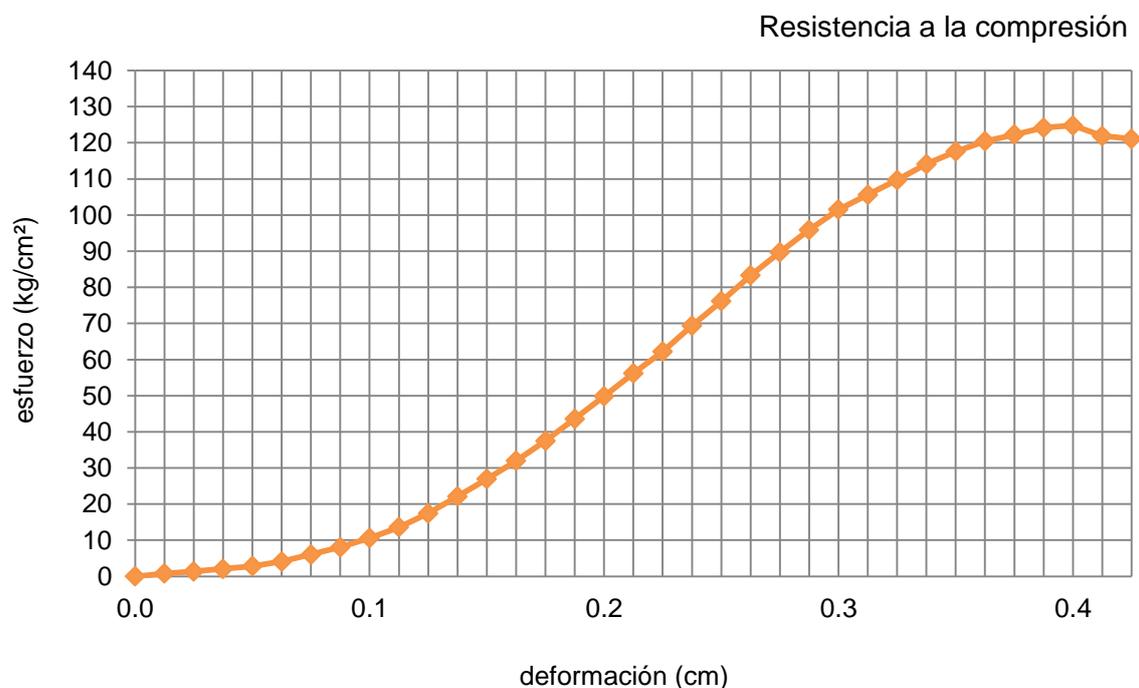


Ilustración 136. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-FT14.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.1.1.12. Resumen de resultados de morteros M-NTE-FT a compresión.

Realizadas las respectivas pruebas de resistencia a compresión a los morteros M-NTE-FT, sus resultados son expresados en la tabla 35.



Ilustración 137. Fisuración especímenes M-NTE-FT7, M-NTE-FT14 y M-NTE-FT28.

Fuente: Autor, 2016.

Tabla 35

Resultados de especímenes NTE-FT.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Deform. (cm)	Carga (kg)	Rc ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Rc (MPa)
M-NTE-FT7	7	310.82	2.33	0.60	3186.63	123.73	12.13
M-NTE-FT14	14	296.40	2.22	0.44	3216.27	124.95	12.25
M-NTE-FT28	28	289.40	2.20	0.41	3181.69	124.77	12.24

Fuente: Elaboración propia (2016).

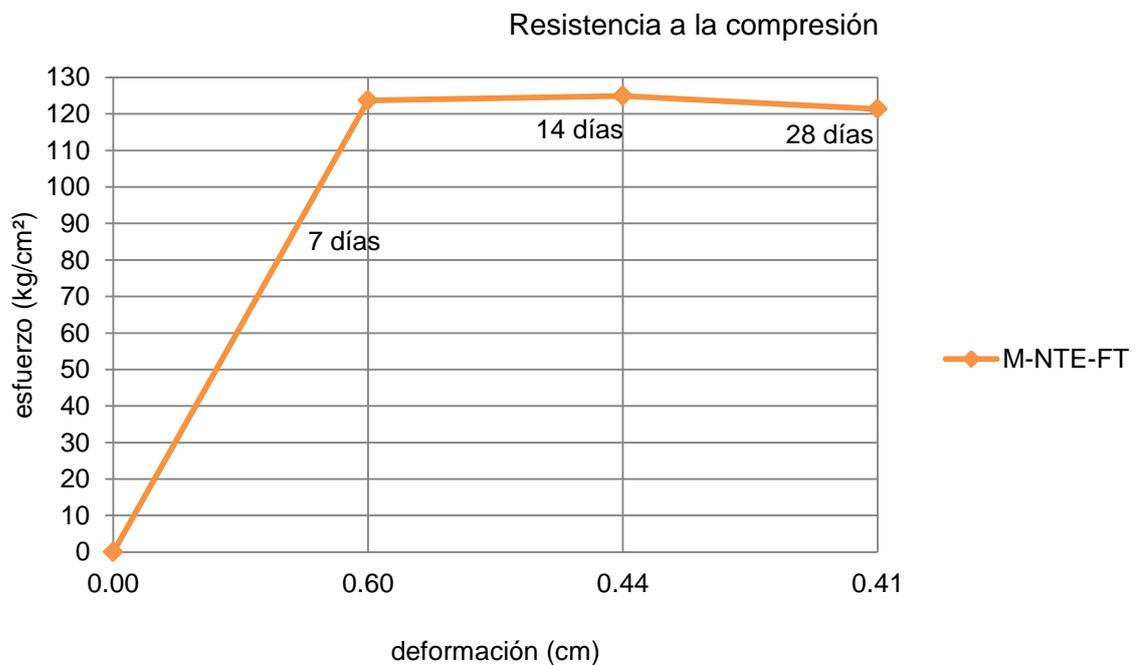


Ilustración 138. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE probado a los 7, 14 y 28 días.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2. Morteros ISO a compresión.

La fabricación de estos morteros consistió en el análisis que realizó Gaspar D. (n.d.) en su estudio acerca de la recomendación ISO/R 679-1968.

#### 3.5.1.2.1. Morteros a compresión Tipo M-ISO.

Mortero realizado a partir de cemento, arena y agua sin la inclusión de fibra.

Tabla 36

Dosificación ISO a compresión.

Dosificación 1:3

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-ISO 7	0.50	83.333	250.00	41.667	-	0.833	7
M-ISO 14	0.50	83.333	250.00	41.667	-	0.833	14
M-ISO 28	0.50	83.333	250.00	41.667	-	0.833	28
TOTAL	0.50	250.00	750.00	125.001	-	2.500	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 139. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 140. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 141. Pesaje del agua + aditivo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 143. Mezcla homogénea ya con agua + aditivo.  
Fuente: Autor, 2016.

Ilustración 142. Mezcla manual entre cemento y árido fino.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 144. Encofrado estándar para morteros.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 145. Colocación de la mezcla sobre el encofrado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 146. Marcaje de los especímenes.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 147. Desencofrado de especímenes.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 148. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.

**3.5.1.2.1.1. Procedimiento operatorio a compresión M-ISO 7.**



Ilustración 149. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 150. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 151. Aplicación de carga sobre el M-ISO 7.  
Fuente: Autor, 2016



Ilustración 152-153. Formación de fisuras mientras se le aplicó la carga máxima dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016



Todos los datos receptados acerca del mortero M-ISO 7 ensayado a los 7 días se presentan en la tabla 37 y sus valores están representados en la ilustración 154.

Tabla 37  
*Datos y resultados del espécimen M-ISO 7.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO 7	5.02	5.00	5.10	25.10	128.01	279.28

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

Peso de placa/anillo de acero (Kg) 0.331						
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.10	0.00
10.00	0.03	8.00	4.94	39.85	25.10	1.59
20.00	0.05	21.00	4.94	104.07	25.10	4.15
30.00	0.08	42.50	4.94	210.28	25.10	8.38
40.00	0.10	80.50	4.94	398.00	25.10	15.86
50.00	0.13	144.00	4.94	711.69	25.10	28.35
60.00	0.15	218.00	4.94	1077.25	25.10	42.92
70.00	0.18	293.00	4.94	1447.75	25.10	57.68
80.00	0.20	370.00	4.94	1828.13	25.10	72.83
90.00	0.23	442.00	4.94	2183.81	25.10	87.00
100.00	0.25	502.00	4.94	2480.21	25.10	98.81
110.00	0.28	568.00	4.94	2806.25	25.10	111.80
120.00	0.30	580.00	4.94	2865.53	25.10	114.16
<b>130.00</b>	<b>0.33</b>	<b>596.00</b>	<b>4.94</b>	<b>2944.57</b>	<b>25.10</b>	<b>117.31</b>
140.00	0.36	575.00	4.94	2840.83	25.10	113.18

Fuente: Elaboración propia (2016).

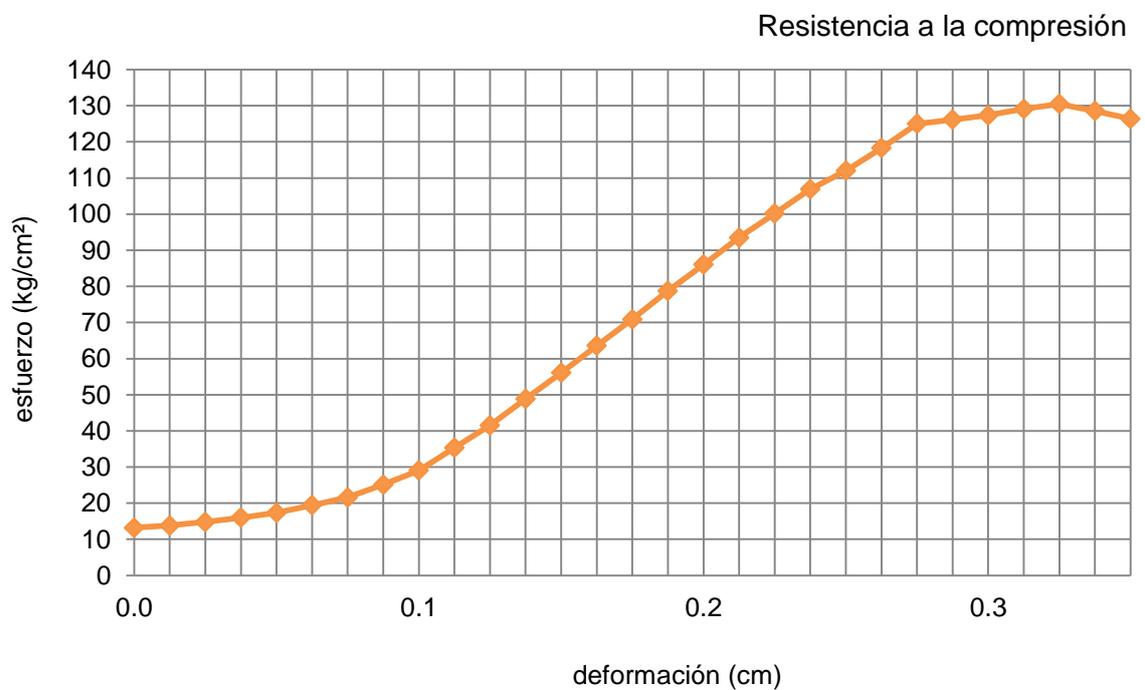


Ilustración 154. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO 7.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2.1.2. Procedimiento operatorio a compresión M-ISO 14.



Ilustración 155. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 156. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 157. Aplicación de carga sobre el M-ISO 14.  
Fuente: Autor, 2016



Ilustración 158-159. Formación de fisuras mientras se le aplicó la carga máxima dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016



Para este proceso se utilizó una placa de acero como soporte entre el anillo y el espécimen, por lo que su peso fue tomado en cuenta para calcular la carga total aplicada. Todos los datos receptados sobre el mortero M-ISO 14 ensayado a los 14 días se presentan en la tabla 38 y sus valores están representados en la ilustración 160.

Tabla 38  
*Datos y resultados del espécimen M-ISO 14.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO 14	5.07	5.09	5.15	25.81	132.90	277.81

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

Peso de placa/anillo de acero (Kg) 0.331						
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.81	0.00
10.00	0.03	10.00	4.94	49.73	25.81	1.93
20.00	0.05	26.50	4.94	131.24	25.81	5.09
30.00	0.08	51.50	4.94	254.74	25.81	9.87
40.00	0.10	90.00	4.94	444.93	25.81	17.24
50.00	0.13	156.00	4.94	770.97	25.81	29.88
60.00	0.15	227.00	4.94	1121.71	25.81	43.47
70.00	0.18	305.00	4.94	1507.03	25.81	58.40
80.00	0.20	382.00	4.94	1887.41	25.81	73.14
90.00	0.23	455.00	4.94	2248.03	25.81	87.11
100.00	0.25	528.00	4.94	2608.65	25.81	101.09
110.00	0.28	586.00	4.94	2895.17	25.81	112.19
120.00	0.30	628.00	4.94	3102.65	25.81	120.23
125.00	0.32	648.00	4.94	3201.45	25.81	124.06
<b>130.00</b>	<b>0.33</b>	<b>655.00</b>	<b>4.94</b>	<b>3236.03</b>	<b>25.81</b>	<b>125.40</b>
135.00	0.34	630.00	4.94	3112.53	25.81	120.61

Fuente: Elaboración propia (2016).

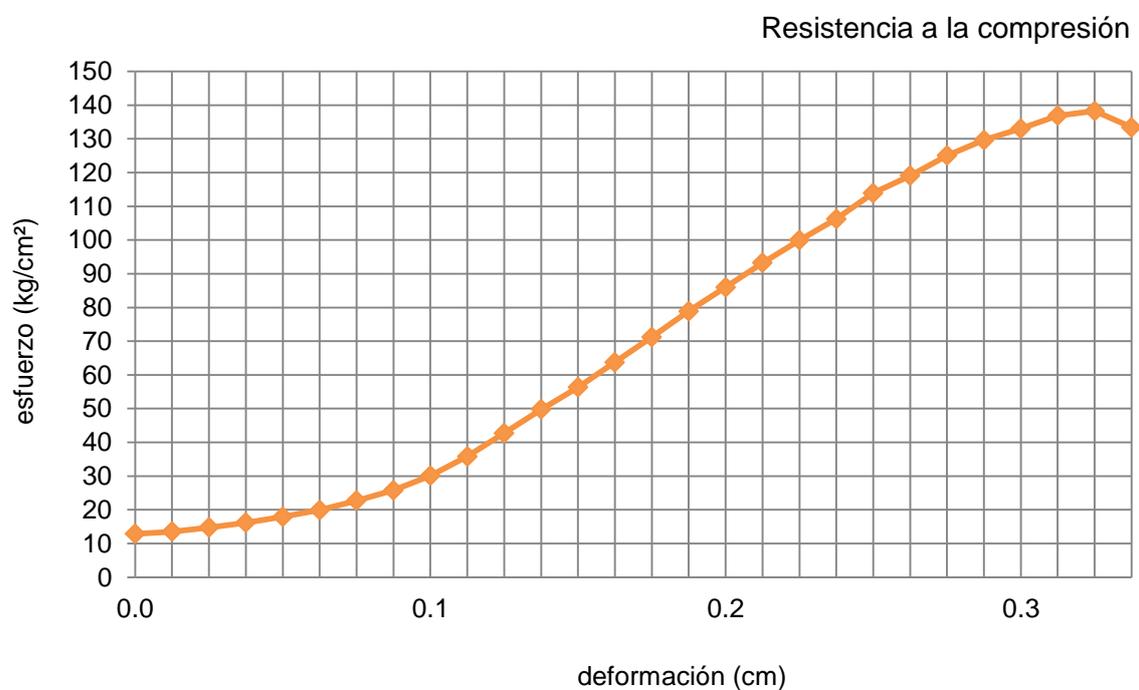


Ilustración 160. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO 14.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2.1.3. Procedimiento operatorio a compresión M-ISO 28.



Ilustración 161. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 162. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 163. Aplicación de carga sobre el M-ISO 28.  
Fuente: Autor, 2016



Ilustración 164-165. Formación de fisuras mientras se le aplicó la carga máxima dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016



Todos los datos receptados sobre el mortero M-ISO 28 ensayado a los 28 días se presentan en la tabla 39 y sus valores están representados en la ilustración 166.

Tabla 39

*Datos y resultados del espécimen M-ISO 28.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO 28	5.00	5.01	5.05	25.05	126.50	271.18

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.05	0.00
10.00	0.03	13.50	4.94	67.02	25.05	2.68
20.00	0.05	30.00	4.94	148.53	25.05	5.93
30.00	0.08	51.00	4.94	252.27	25.05	10.07
40.00	0.10	80.00	4.94	395.53	25.05	15.79
50.00	0.13	126.00	4.94	622.77	25.05	24.86
60.00	0.15	186.00	4.94	919.17	25.05	36.69
70.00	0.18	254.00	4.94	1255.09	25.05	50.10
80.00	0.20	327.00	4.94	1615.71	25.05	64.50
90.00	0.23	403.00	4.94	1991.15	25.05	79.49
100.00	0.25	480.00	4.94	2371.53	25.05	94.67
110.00	0.28	557.00	4.94	2751.91	25.05	109.86
120.00	0.30	630.00	4.94	3112.53	25.05	124.25
130.00	0.33	703.00	4.94	3473.15	25.05	138.65
<b>135.00</b>	<b>0.34</b>	<b>717.00</b>	<b>4.94</b>	<b>3542.31</b>	<b>25.05</b>	<b>141.41</b>
140.00	0.36	713.00	4.94	3522.55	25.05	140.62
145.00	0.37	698.00	4.94	3448.45	25.05	137.66

Fuente: Elaboración propia (2016).

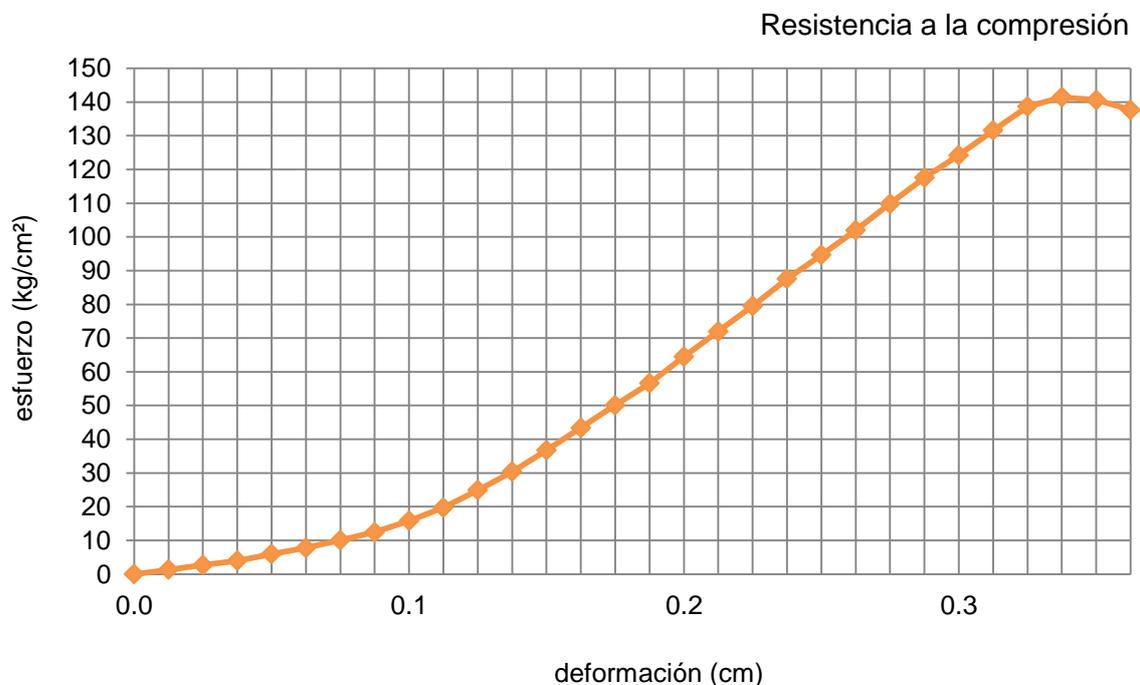


Ilustración 166. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO 28.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2.1.4. Resumen de resultados de morteros ISO a compresión.

Realizadas las respectivas pruebas de resistencia a compresión a los morteros tipo M-ISO, sus resultados se expresan en la tabla 40.



Ilustración 167. Fisuración especímenes M-ISO 7, M-ISO 14 y M-ISO 28 respectivamente.  
Fuente: Autor, 2016.

Tabla 40

Resultados de especímenes ISO a compresión.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Deform. (cm)	Carga (kg)	Rc (kg/cm <sup>2</sup> )	Rc (MPa)
M-ISO 7	7	279.28	2.18	0.33	2944.57	117.31	11.50
M-ISO 14	14	277.81	2.09	0.33	3236.03	125.40	12.30
M-ISO 28	28	271.18	2.14	0.34	3542.31	141.41	13.87

Fuente: Elaboración propia (2016).

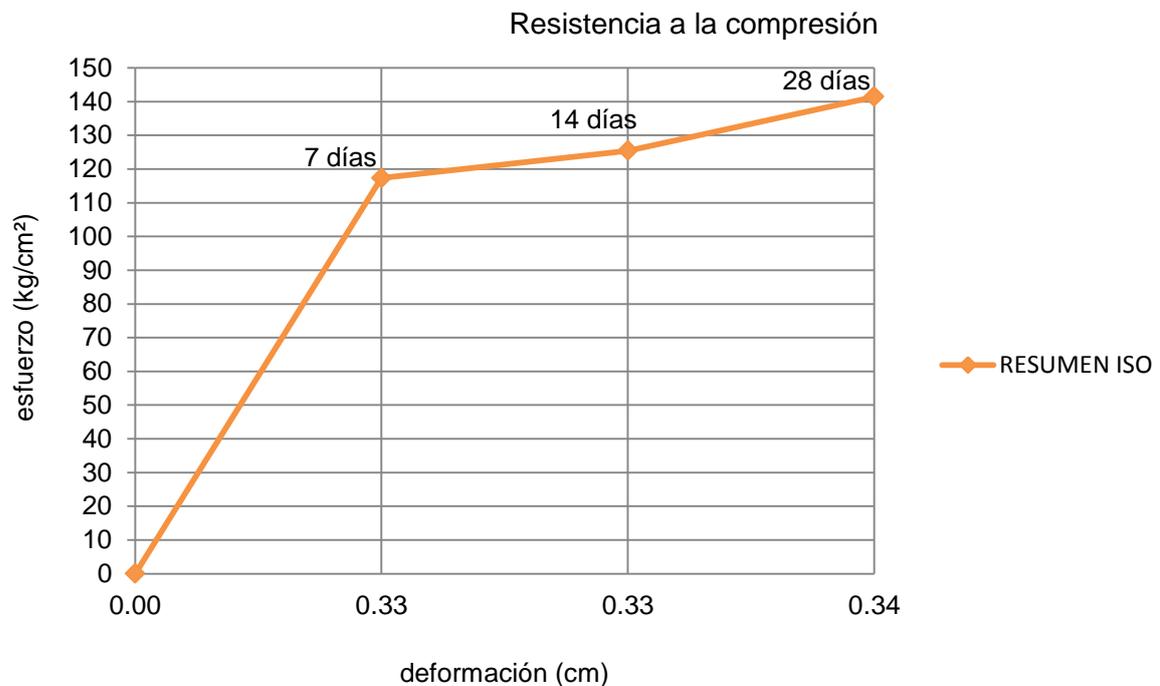


Ilustración 168. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO probado a los 7, 14 y 28 días.  
Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2.2. Morteros a compresión Tipo M-ISO-F.

Mortero realizado a partir de cemento, arena y agua con la inclusión de fibra de sin tratamiento hidrófobo.

Tabla 41  
Dosificación ISO-F a compresión.

Dosificación 1:3

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-ISO-F7	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	0.833	7
M-ISO-F14	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	0.833	14
M-ISO-F28	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	0.833	28
TOTAL	0.50	250.00	738.75	125.001	11.25	2.500	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 169. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 170. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 171. Materiales listos para su mezclado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 172. Mezcla manual entre cemento y árido fino.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 173. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 174. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 175. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 176. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 177. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 178. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.  
Fuente: Autor, 2016.

### 3.5.1.2.2.1. Procedimiento operatorio a compresión M-ISO-F7.



Ilustración 179. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 180. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 181-182. Aplicación de carga sobre el M-ISO-F7.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 183. Formación de fisuras en el espécimen.  
Fuente: Autor, 2016

Todos los datos receptados acerca del mortero M-ISO-F7 ensayado a los 7 días se presentan en la tabla 42 y sus valores están representados en la ilustración 184.

Tabla 42  
*Datos y resultados del espécimen M-ISO-F7.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-F7	5.00	5.05	5.13	25.25	129.53	270.67

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.25	0.00
10.00	0.03	2.50	4.94	12.68	25.25	0.50
20.00	0.05	5.50	4.94	27.50	25.25	1.09
30.00	0.08	13.50	4.94	67.02	25.25	2.65
40.00	0.10	29.00	4.94	143.59	25.25	5.69
50.00	0.13	57.00	4.94	281.91	25.25	11.16
60.00	0.15	105.00	4.94	519.03	25.25	20.56
70.00	0.18	178.00	4.94	879.65	25.25	34.84
80.00	0.20	255.00	4.94	1260.03	25.25	49.90
90.00	0.23	335.00	4.94	1655.23	25.25	65.55
100.00	0.25	410.00	4.94	2025.73	25.25	80.23
110.00	0.28	470.00	4.94	2322.13	25.25	91.97
<b>115.00</b>	<b>0.29</b>	<b>486.00</b>	<b>4.94</b>	<b>2401.17</b>	<b>25.25</b>	<b>95.10</b>
120.00	0.30	478.00	4.94	2361.65	25.25	93.53
125.00	0.32	472.50	4.94	2334.48	25.25	92.45

Fuente: Elaboración propia (2016).

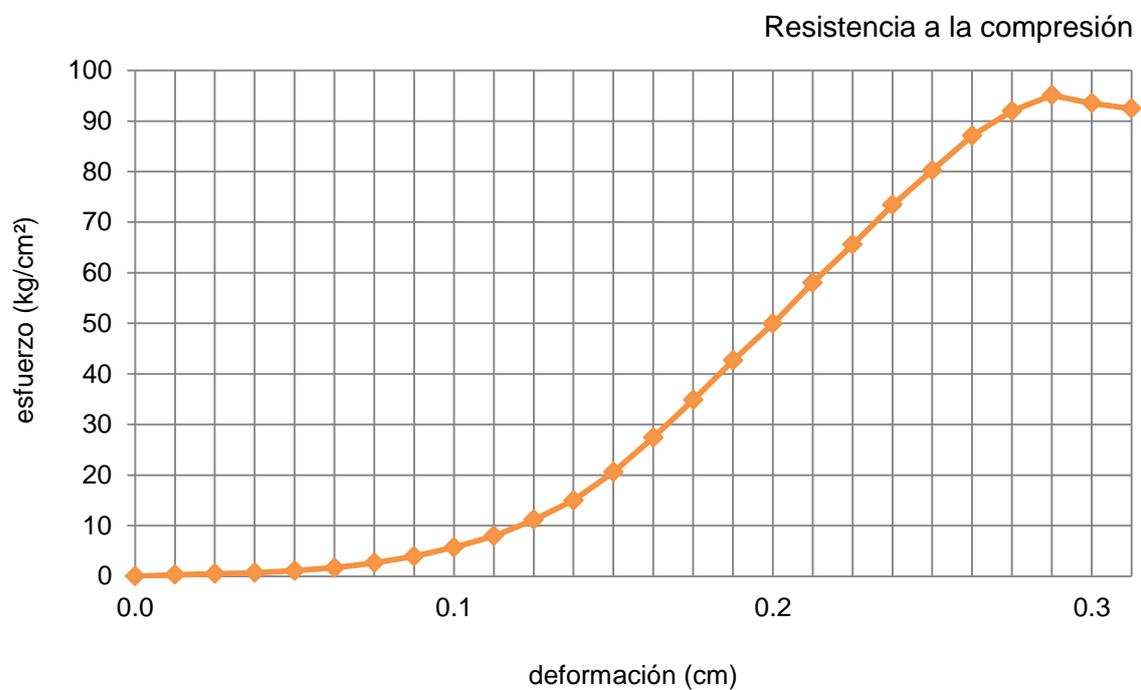


Ilustración 184. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-F7.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2.2.2. Procedimiento operatorio a compresión M-ISO-F14.



Ilustración 185. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 186. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 187-188. Aplicación de carga sobre el M-ISO-F14.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 189. Formación de fisuras en el espécimen.

Fuente: Autor, 2016

Todos los datos receptados acerca del mortero M-ISO-F14 ensayado a los 14 días se presentan en la tabla 43 y sus valores están representados en la ilustración 190.

Tabla 43

*Datos y resultados del espécimen M-ISO-F14.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-F14	5.00	5.10	5.15	25.50	131.33	296.76

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.50	0.00
10.00	0.03	2.50	4.94	12.68	25.50	0.50
20.00	0.05	5.50	4.94	27.50	25.50	1.08
30.00	0.08	13.00	4.94	64.55	25.50	2.53
40.00	0.10	27.00	4.94	133.71	25.50	5.24
50.00	0.13	51.50	4.94	254.74	25.50	9.99
60.00	0.15	97.00	4.94	479.51	25.50	18.80
70.00	0.18	169.00	4.94	835.19	25.50	32.75
80.00	0.20	438.00	4.94	2164.05	25.50	84.86
90.00	0.23	529.00	4.94	2613.59	25.50	102.49
100.00	0.25	611.00	4.94	3018.67	25.50	118.38
110.00	0.28	690.00	4.94	3408.93	25.50	133.68
120.00	0.30	765.00	4.94	3779.43	25.50	148.21
130.00	0.33	840.00	4.94	4149.93	25.50	162.74
<b>140.00</b>	<b>0.36</b>	<b>907.00</b>	<b>4.94</b>	<b>4480.91</b>	<b>25.50</b>	<b>175.72</b>
145.00	0.37	841.00	4.94	4154.87	25.50	162.94

Fuente: Elaboración propia (2016).

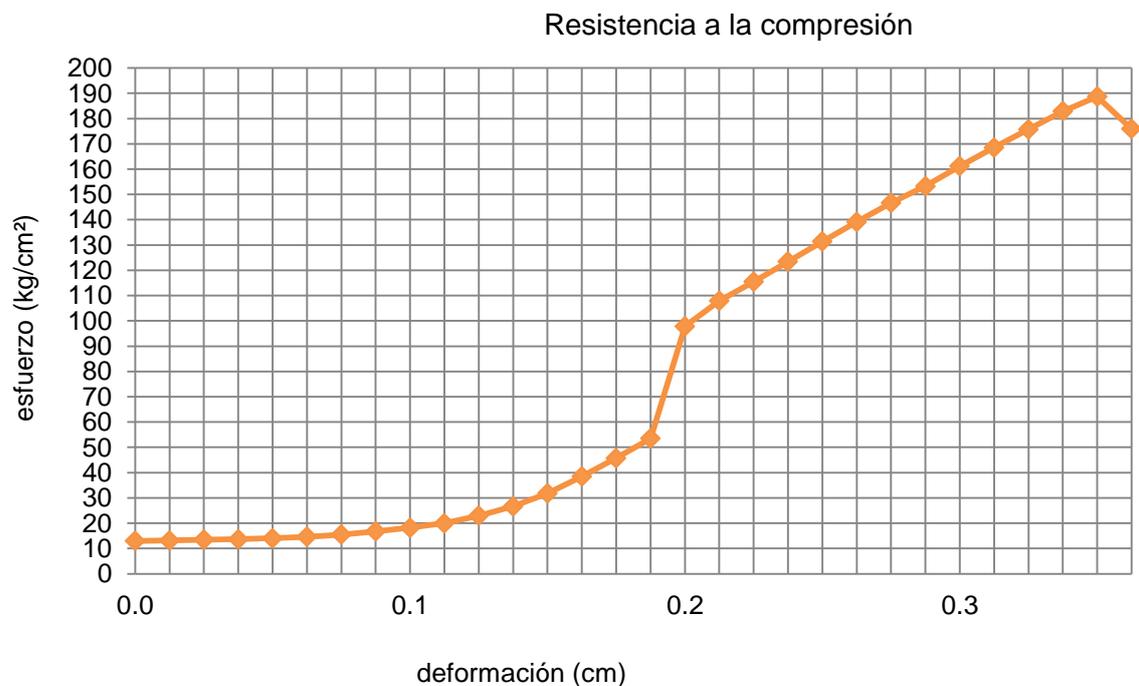


Ilustración 190. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-F14.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2.2.3. Procedimiento operatorio a compresión M-ISO-F28.



Ilustración 191. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 192. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 193-194. Aplicación de carga sobre el M-ISO-F14.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 195. Formación de fisuras en el espécimen.

Fuente: Autor, 2016

Todos los datos receptados acerca del mortero M-ISO-F28 ensayado a los 28 días se presentan en la tabla 44 y sus valores están representados en la ilustración 196.

Tabla 44

*Datos y resultados del espécimen M-ISO-F28.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-F28	5.10	5.10	5.15	26.01	133.95	278.18

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	26.01	0.00
10.00	0.03	7.50	4.94	37.05	26.01	1.42
20.00	0.05	13.00	4.94	64.22	26.01	2.47
30.00	0.08	24.50	4.94	121.03	26.01	4.65
40.00	0.10	42.00	4.94	207.48	26.01	7.98
50.00	0.13	65.50	4.94	323.57	26.01	12.44
60.00	0.15	94.50	4.94	466.83	26.01	17.95
70.00	0.18	127.00	4.94	627.38	26.01	24.12
80.00	0.20	162.50	4.94	802.75	26.01	30.86
90.00	0.23	203.00	4.94	1002.82	26.01	38.56
100.00	0.25	251.00	4.94	1239.94	26.01	47.67
120.00	0.30	367.00	4.94	1812.98	26.01	69.70
140.00	0.36	509.00	4.94	2514.46	26.01	96.67
160.00	0.41	651.00	4.94	3215.94	26.01	123.64
180.00	0.46	807.00	4.94	3986.58	26.01	153.27
<b>185.00</b>	<b>0.47</b>	<b>831.50</b>	<b>4.94</b>	<b>4107.61</b>	<b>26.01</b>	<b>157.92</b>
190.00	0.48	560.00	4.94	2766.40	26.01	106.36

Fuente: Elaboración propia (2016).

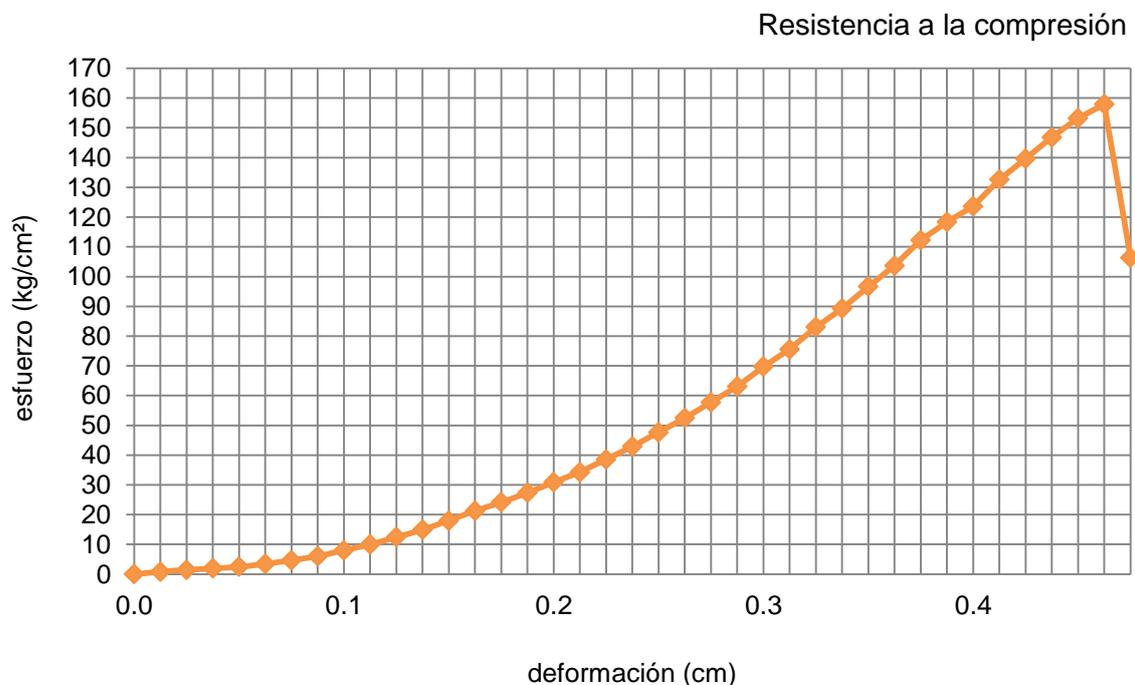


Ilustración 196. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-F28.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2.2.4. Resumen de resultados de morteros ISO-F a compresión.

Acabo de los 28 días transcurridos y realizados las respectivas pruebas de resistencia a compresión de morteros tipo M-ISO-F, sus resultados se expresan en la tabla 45.



Ilustración 197. Fisuración especímenes M-ISO-F7, M-ISO-F14 y M-ISO-F28 respectivamente.  
Fuente: Autor, 2016.

Tabla 45  
Resultados de especímenes ISO-F.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Deform. (cm)	Carga (kg)	Rc (kg/cm <sup>2</sup> )	Rc (MPa)
M-ISO-F7	7	270.67	2.09	0.29	2401.17	95.10	9.33
M-ISO-F14	14	296.76	2.26	0.36	4480.91	175.72	17.23
M-ISO-F28	28	278.18	2.08	0.47	4107.61	157.92	15.49

Fuente: Elaboración propia (2016).

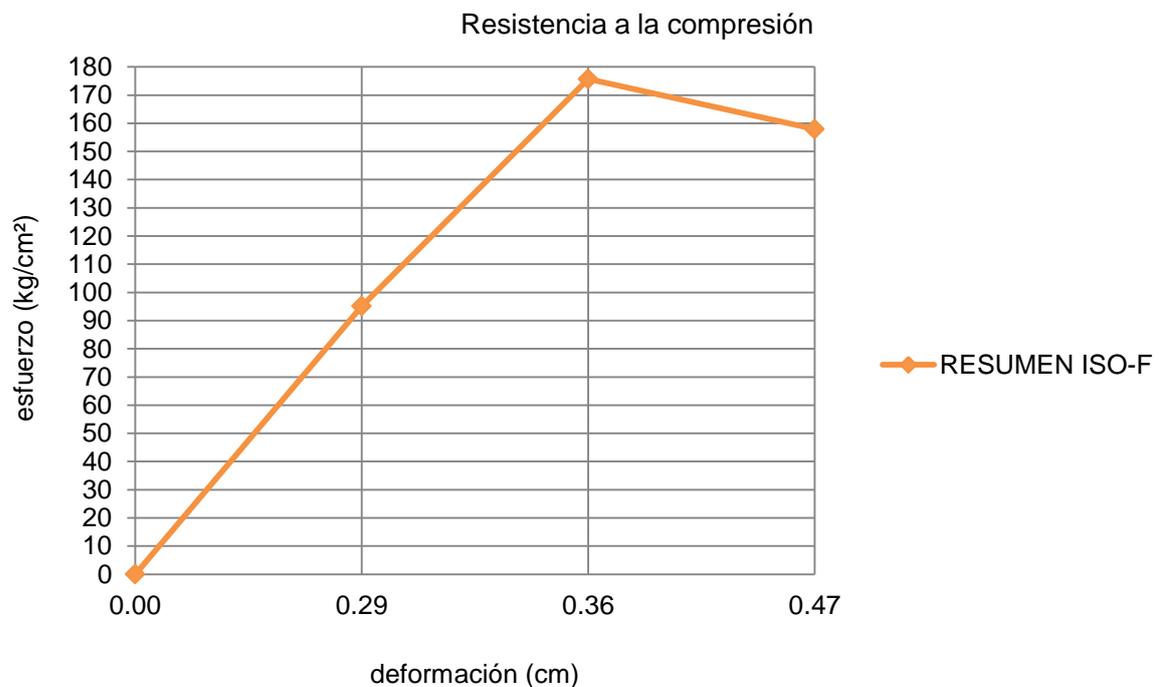


Ilustración 198. Gráfica de resultados de los especímenes M-ISO-F probado a los 7, 14 y 28 días.  
Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2.3. Morteros a compresión Tipo M-ISO-FT.

Mortero realizado a partir de cemento, arena y agua con la inclusión de fibra con tratamiento hidrófobo.

Tabla 46

Dosificación ISO-FT a compresión.

Dosificación 1:3

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-ISO-FT7	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	0.833	7
M-ISO-FT14	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	0.833	14
M-ISO-FT28	0.50	83.333	246.25	41.667	3.75	0.833	28
TOTAL	0.50	250.00	738.75	125.00	11.25	2.500	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 199. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 200. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 201. Pesaje de la fibra en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 202. Pesaje del agua + aditivo en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 203. Mezcla manual entre todos los componentes; cemento, árido fino y fibra.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 204. Agregado del agua + aditivo en la mezcla.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 205. Colocación de la mezcla en sus respectivos encofrados.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 206. Marcaje de los diferentes especímenes.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 207. Desencofrado de los especímenes.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 208. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.  
Fuente: Autor, 2016.

### 3.5.1.2.3.1. Procedimiento operatorio a compresión M-ISO-FT7.



Ilustración 209. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 210. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 211-212. Aplicación de carga sobre el M-ISO-FT7.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 213. Formación de fisuras en el espécimen.  
Fuente: Autor, 2016

Los datos receptados del M-ISO-FT7 puesto a prueba dentro de los 7 días de curado se presentan en la tabla 47 y sus valores están representados en la ilustración 214.

Tabla 47  
Datos y resultados del espécimen M-ISO-FT7.

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-FT7	5.10	5.11	5.10	26.06	132.91	284.18

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.33	26.06	0.01
10.00	0.03	8.50	4.94	42.32	26.06	1.62
20.00	0.05	20.00	4.94	99.13	26.06	3.80
30.00	0.08	37.00	4.94	183.11	26.06	7.03
40.00	0.10	65.50	4.94	323.90	26.06	12.43
50.00	0.13	119.00	4.94	588.19	26.06	22.57
60.00	0.15	190.00	4.94	938.93	26.06	36.03
70.00	0.18	251.00	4.94	1240.27	26.06	47.59
80.00	0.20	321.00	4.94	1586.07	26.06	60.86
90.00	0.23	380.00	4.94	1877.53	26.06	72.04
100.00	0.25	438.00	4.94	2164.05	26.06	83.04
110.00	0.28	484.00	4.94	2391.29	26.06	91.76
120.00	0.30	507.00	4.94	2504.91	26.06	96.12
<b>130.00</b>	<b>0.33</b>	<b>523.00</b>	<b>4.94</b>	<b>2583.95</b>	<b>26.06</b>	<b>99.15</b>
140.00	0.36	516.00	4.94	2549.37	26.06	97.82

Fuente: Elaboración propia (2016).

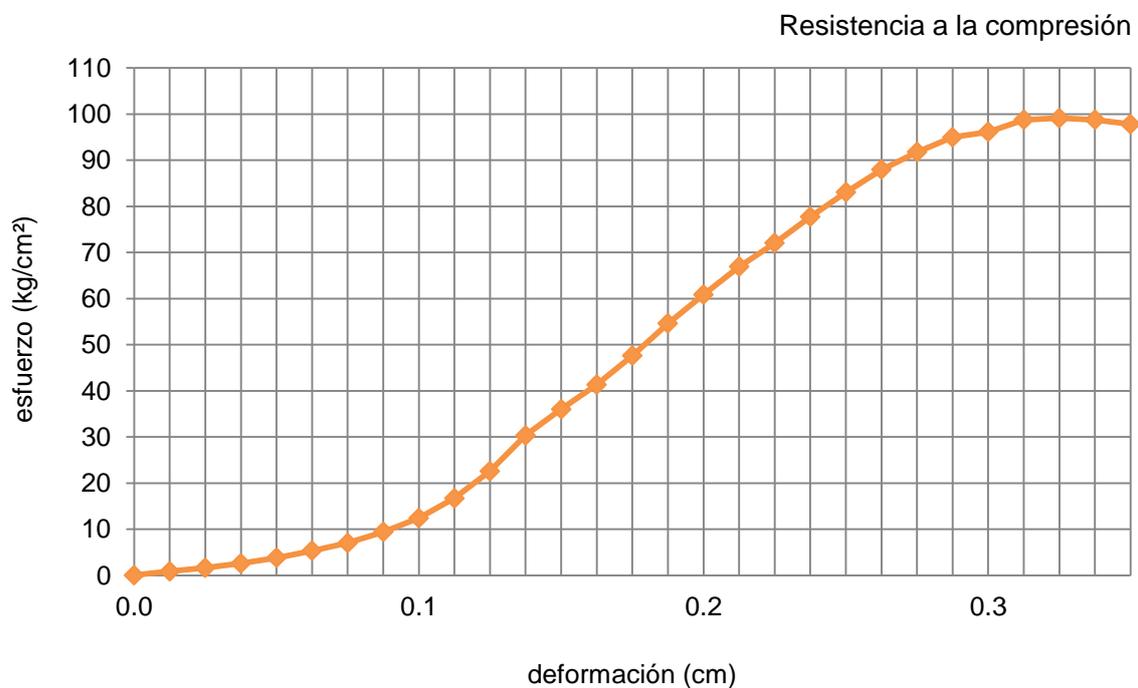


Ilustración 214. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-FT7.  
Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2.3.2. Procedimiento operatorio a compresión M-ISO-FT14.



Ilustración 215. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 216. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 217-218. Aplicación de carga sobre el M-ISO-FT14.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 219. Formación de fisuras en el espécimen.  
Fuente: Autor, 2016

Los datos receptados del M-ISO-FT14 puesto a prueba dentro de los 14 días de curado se presentan en la tabla 48 y sus valores están representados en la ilustración 220.

Tabla 48

*Datos y resultados del espécimen M-ISO-FT14.*

<b>Datos del espécimen</b>						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-FT14	5.13	5.00	5.14	25.65	131.84	295.21

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.65	0.00
10.00	0.03	8.00	4.94	39.85	25.65	1.55
20.00	0.05	15.50	4.94	76.90	25.65	3.00
30.00	0.08	24.00	4.94	118.89	25.65	4.64
40.00	0.10	40.50	4.94	200.40	25.65	7.81
50.00	0.13	72.00	4.94	356.01	25.65	13.88
60.00	0.15	127.00	4.94	627.71	25.65	24.47
70.00	0.18	189.00	4.94	933.99	25.65	36.41
80.00	0.20	269.00	4.94	1329.19	25.65	51.82
90.00	0.23	354.00	4.94	1749.09	25.65	68.19
100.00	0.25	418.00	4.94	2065.25	25.65	80.52
110.00	0.28	480.00	4.94	2371.53	25.65	92.46
120.00	0.30	545.00	4.94	2692.63	25.65	104.98
130.00	0.33	585.00	4.94	2890.23	25.65	112.68
<b>140.00</b>	<b>0.36</b>	<b>620.00</b>	<b>4.94</b>	<b>3063.13</b>	<b>25.65</b>	<b>119.42</b>
145.00	0.37	605.00	4.94	2989.03	25.65	116.53

Fuente: Elaboración propia (2016).

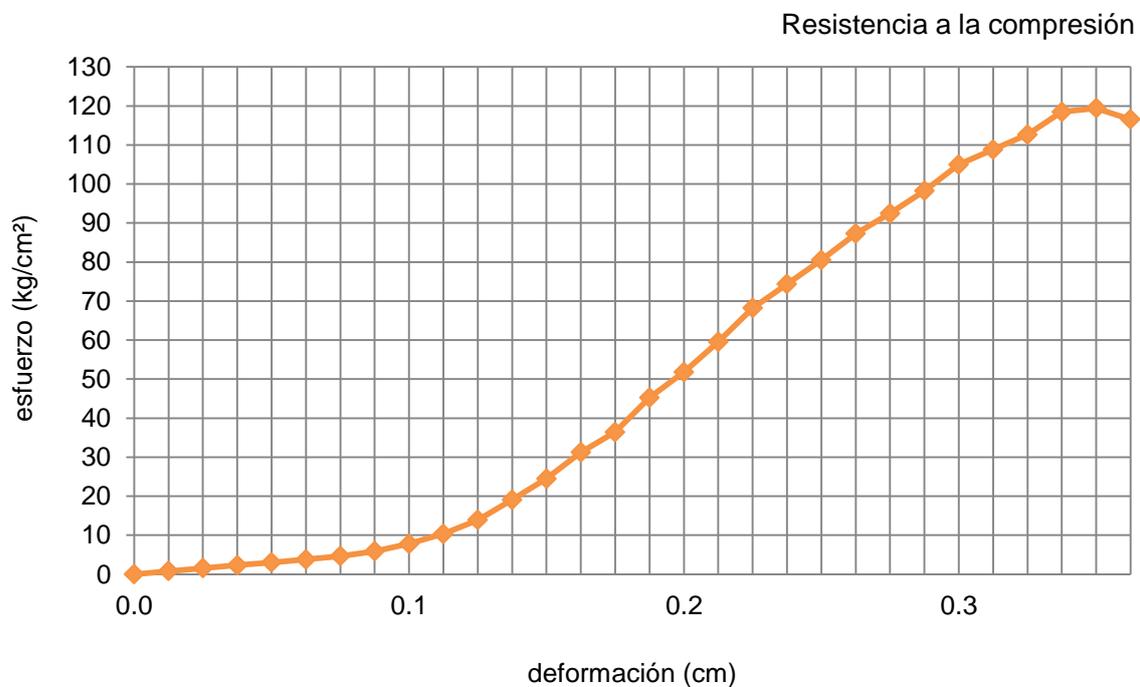


Ilustración 220. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-FT14.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2.3.3. Procedimiento operatorio a compresión M-ISO-FT28.



Ilustración 221. Pesaje del espécimen en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 222. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 223-224. Aplicación de carga sobre el M-ISO-FT28.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 225. Formación de fisuras en el espécimen.  
Fuente: Autor, 2016

Los datos receptados del M-ISO-FT28 puesto a prueba dentro de los 28 días de curado se presentan en la tabla 49 y sus valores están representados en la ilustración 226.

Tabla 49  
Datos y resultados del espécimen M-ISO-FT28.

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-FT28	5.05	5.10	5.10	25.76	131.35	296.24

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
Peso de placa/anillo de acero (Kg)						0.331
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Constante de anillo	Carga máxima de rotura	Área de la superficie	Resistencia a la compresión
0.001'	cm	dv	kg/dv	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	4.94	0.00	25.76	0.00
10.00	0.03	7.50	4.94	37.38	25.76	1.45
20.00	0.05	16.00	4.94	79.37	25.76	3.08
30.00	0.08	30.00	4.94	148.53	25.76	5.77
40.00	0.10	52.00	4.94	257.21	25.76	9.99
50.00	0.13	82.50	4.94	407.88	25.76	15.84
60.00	0.15	129.00	4.94	637.59	25.76	24.76
70.00	0.18	187.00	4.94	924.11	25.76	35.88
80.00	0.20	247.00	4.94	1220.51	25.76	47.39
90.00	0.23	310.00	4.94	1531.73	25.76	59.47
100.00	0.25	365.00	4.94	1803.43	25.76	70.02
110.00	0.28	414.00	4.94	2045.49	25.76	79.42
120.00	0.30	460.00	4.94	2272.73	25.76	88.24
130.00	0.33	550.00	4.94	2717.33	25.76	105.51
140.00	0.36	645.00	4.94	3186.63	25.76	123.73
150.00	0.38	735.00	4.94	3631.23	25.76	140.99
<b>160.00</b>	<b>0.41</b>	<b>755.00</b>	<b>4.94</b>	<b>3730.03</b>	<b>25.76</b>	<b>144.83</b>
165.00	0.42	740.00	4.94	3655.93	25.76	141.95

Fuente: Elaboración propia (2016).

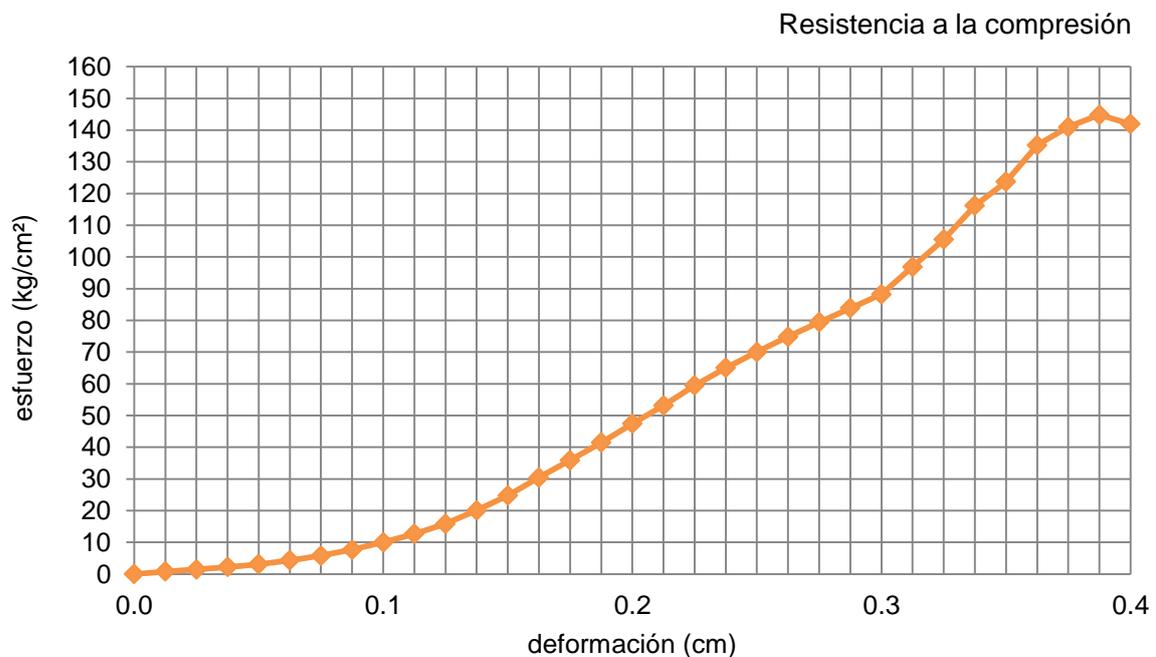


Ilustración 226. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-FT28.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.1.2.3.4. Resumen de resultados de morteros ISO-FT a compresión.

Acabo de los 28 días transcurridos y realizados las respectivas pruebas de resistencia a compresión de morteros tipo M-ISO-FT, sus resultados se expresan en la tabla 50.



Ilustración 227. Fisuración especímenes M-ISO-FT7, M-ISO-FT14 y M-ISO-FT28 respectivamente. Fuente: Autor, 2016.

Tabla 50  
Resultados de especímenes ISO-FT.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )	Deform. (cm)	Carga (kg)	Rc ( $\text{kg/cm}^2$ )	Rc (MPa)
M-ISO-FT 7	7	284.18	2.14	0.33	2583.95	99.15	9.72
M-ISO-FT14	14	295.21	2.24	0.36	3063.13	119.42	11.71
M-ISO-FT28	28	296.24	2.26	0.41	3730.03	144.83	14.20

Fuente: Elaboración propia (2016).

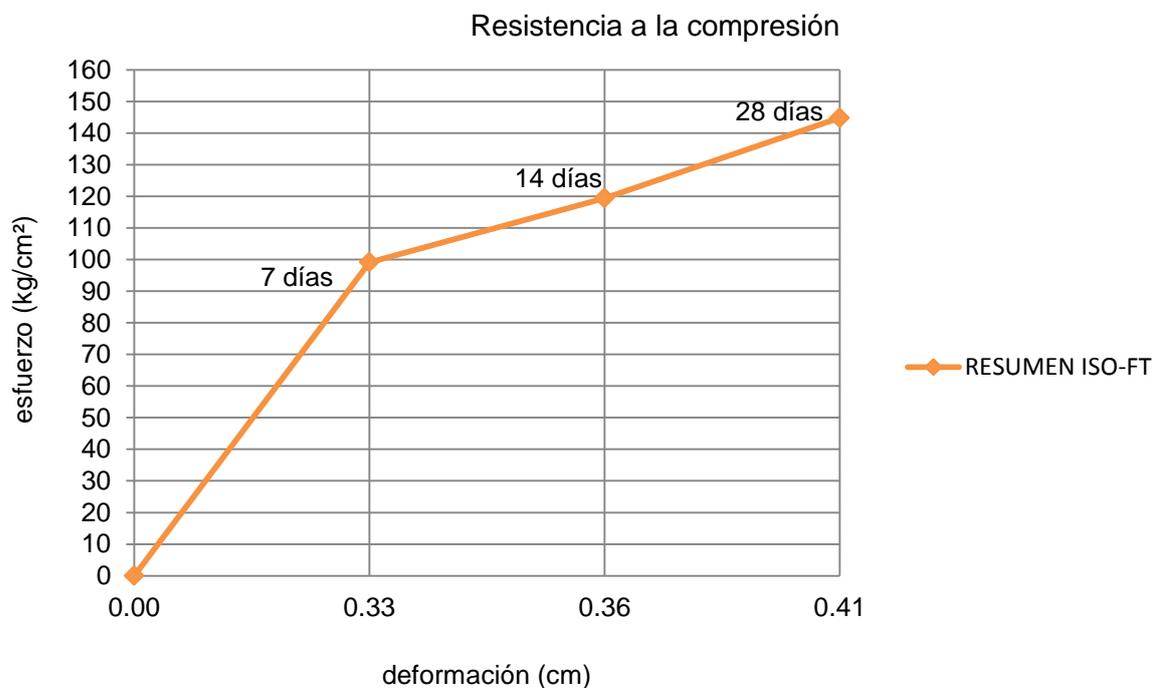


Ilustración 228. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-FT probado a los 7, 14 y 28 días. Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2. Especímenes puestos a pruebas de resistencia a flexión.

Los especímenes de morteros ensayados a la resistencia a la flexión están normalizados mediante la ASTM 348 – 02 y la NTE INEN 0198 (1987), donde nos dice que los especímenes deberán estar moldeados de acuerdo a las dimensiones de sus recipientes que son 40x40x160 mm y la colocación de la mezcla dentro de ellos se realiza mediante dos capas similar al proceso que se empleó para fabricar los especímenes a compresión.

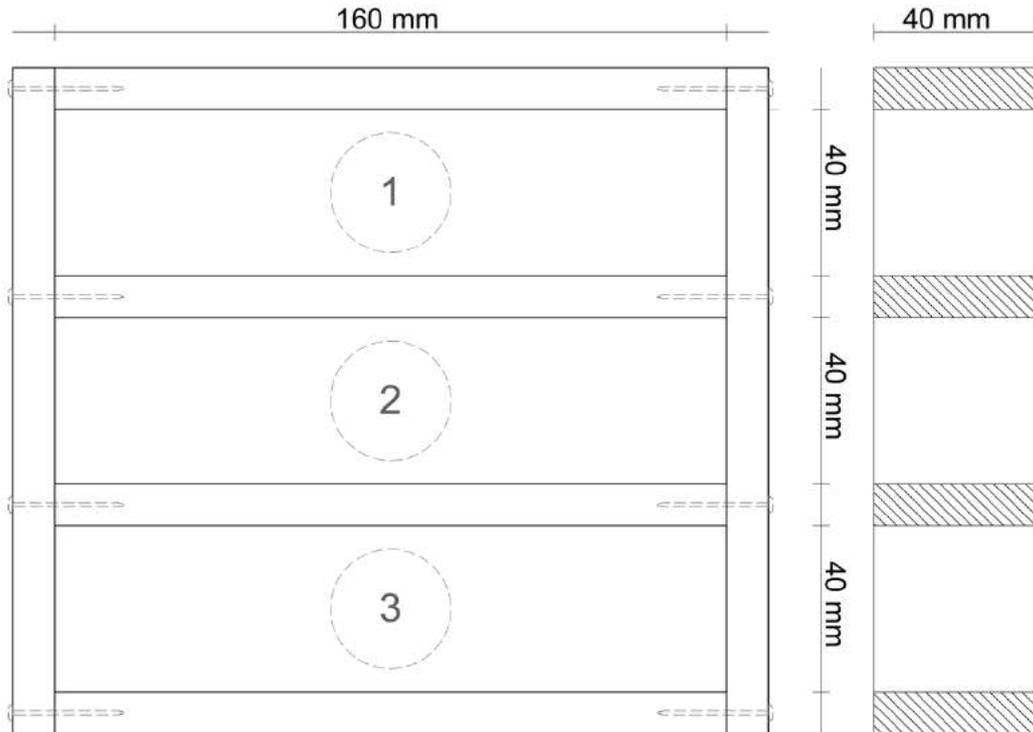


Ilustración 229. Dimensiones de encofrados para especímenes a flexión.  
Fuente: Elaboración propia (2016).

El tiempo permisible luego de que se termine el curado dependiendo de la edad de cada espécimen es el mismo que se presentó en la tabla 20 de la sección 3.4.

Para preparar la muestra en la máquina de ensayo se debe tomar en cuenta la distancia entre apoyos, la misma que debe de ser de 100 mm. Ya una vez regulado esto se colocará con cuidado el prisma sobre sobre ambos apoyos y se procederá a ensayar<sup>o</sup>

Para calcular sus valores sometidos a la flexión se aplica la siguiente ecuación:

$$R_f = \frac{6M}{b^3} = 1.5 \frac{P_f \cdot L}{b^3}$$

Dónde:

R<sub>f</sub> = Resistencia a la flexión, en MPa.

M = Momento flector (módulo de rotura), en N/mm.

P<sub>f</sub> = Carga de rotura a la flexión, en N.

b = Lado de la sección cuadrada en la que se aplica la carga, en mm.

L = Distancia entre los apoyos, en mm

Con estas definiciones acerca de la ecuación se logra deducir que  $L=100$  mm y  $b=40$  mm, entonces simplificando nos quedaría la siguiente ecuación:

$$R_f = 0.00234375 P_f$$

### 3.5.2.1. Morteros a flexión NTE.

Morteros diseñados de acuerdo a la NTE INEN 488 (2009) pero proporcionados a las dimensiones que poseen los moldes para los ensayos a flexión, su producción están basados en la creación de especímenes sin fibra y especímenes con fibra con y sin tratamiento hidrófobo.

#### 3.5.2.1.1. Morteros a flexión Tipo M-NTE

Morteros realizados únicamente con el agregado fino, cemento y agua potable, sin inclusión de fibra.

Tabla 51

*Dosificación NTE a flexión.*

Dosificación: 1:2.75

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-NTE 7	0.485	166.667	458.333	80.667	-	1.667	7
M-NTE 14	0.485	166.667	458.333	80.667	-	1.667	14
M-NTE 28	0.485	166.667	458.333	80.667	-	1.667	28
TOTAL	0.485	500.001	1374.999	242.00	-	5.001	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 230. Materiales listos para su mezclado.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 231. Agua + aditivo listo para su mezclado.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 232. Mezcla manual entre cemento y árido fino.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 233. Agregado de agua + aditivo en la mezcla.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 234. Colocación de la mezcla en sus respectivos encofrados.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 235. Moldeo final de los especímenes M-NTE a flexión.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 236. Marcaje de los especímenes para identificarlos al momento de ensayarlos.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 237. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.  
Fuente: Autor, 2016.

### 3.5.2.1.1.1. Procedimiento operatorio a flexión M-NTE 7.



Ilustración 238. Colocación del espécimen en la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.

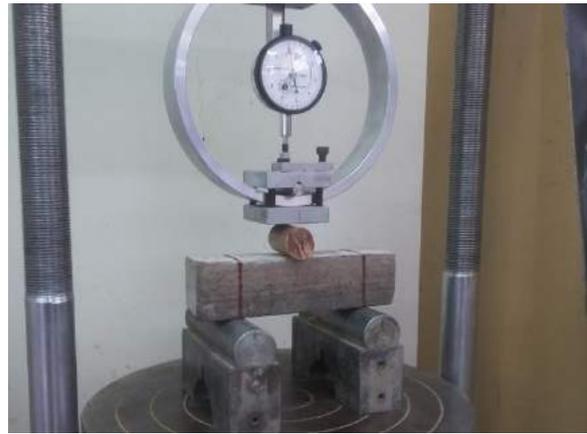


Ilustración 239. Medición de las aristas del espécimen a evaluar.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 240-241. Fisuración y ruptura total del espécimen M-NTE 7 dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.



Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-NTE 7 a los 7 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 52 y graficados en la ilustración 242.

Tabla 52  
*Datos y resultados del espécimen M-NTE 7.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho	Longitud	Espesor	Área	Volumen	Peso
	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	g
M-NTE 7	4.00	16.00	4.00	64.00	256.00	562.50

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

				Constante del anillo		0.83	
				Constante de fórmula		1.50	
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.00	0.00	
10.00	0.03	25.00	20.75	10.00	64.00	4.86	
20.00	0.05	48.00	39.84	10.00	64.00	9.34	
30.00	0.08	71.50	59.35	10.00	64.00	13.91	
35.00	0.09	82.50	68.48	10.00	64.00	16.05	
40.00	0.10	93.50	77.61	10.00	64.00	18.19	
45.00	0.11	105.50	87.57	10.00	64.00	20.52	
50.00	0.13	117.00	97.11	10.00	64.00	22.76	
55.00	0.14	128.50	106.66	10.00	64.00	25.00	
60.00	0.15	140.00	116.20	10.00	64.00	27.23	
65.00	0.17	153.00	126.99	10.00	64.00	29.76	
70.00	0.18	166.50	138.20	10.00	64.00	32.39	
75.00	0.19	180.00	149.40	10.00	64.00	35.02	
80.00	0.20	192.50	159.78	10.00	64.00	37.45	
85.00	0.22	205.00	170.15	10.00	64.00	39.88	
<b>90.00</b>	<b>0.23</b>	<b>215.00</b>	<b>178.45</b>	<b>10.00</b>	<b>64.00</b>	<b>41.82</b>	

Fuente: Elaboración propia (2016).

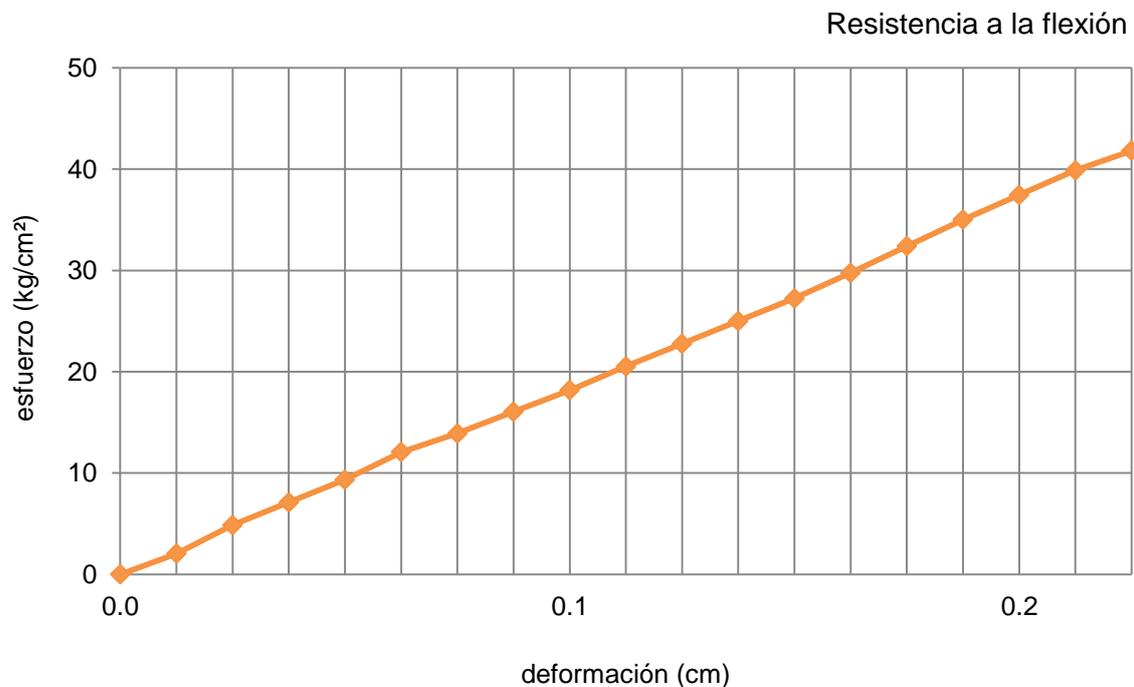


Ilustración 242. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE 7 a flexión.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.1.1.2. Procedimiento operatorio a flexión M-NTE 14.



Ilustración 243. Espécimen seco listo para ser ensayado.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 244. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 245-246. Fisuración y ruptura total del espécimen M-NTE 14 dentro de la máquina triaxial.

Fuente: Autor, 2016.



Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-NTE 14 a los 14 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 53 y graficados en la ilustración 247.

Tabla 53

*Datos y resultados del espécimen M-NTE 14.*

<b>Datos del espécimen</b>						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE 14	4.00	16.00	4.00	64.00	256.00	564.64

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

						Constante del anillo	4.94
						Constante de fórmula	1.50
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.00	0.00	
10.00	0.03	4.60	22.72	10.00	64.00	5.33	
20.00	0.05	10.00	49.40	10.00	64.00	11.58	
25.00	0.06	12.80	63.23	10.00	64.00	14.82	
30.00	0.08	15.60	77.06	10.00	64.00	18.06	
35.00	0.09	18.00	88.92	10.00	64.00	20.84	
40.00	0.10	20.60	101.76	10.00	64.00	23.85	
45.00	0.11	23.00	113.62	10.00	64.00	26.63	
50.00	0.13	26.00	128.44	10.00	64.00	30.10	
55.00	0.14	28.50	140.79	10.00	64.00	33.00	
60.00	0.15	30.80	152.15	10.00	64.00	35.66	
65.00	0.17	33.00	163.02	10.00	64.00	38.21	
70.00	0.18	35.20	173.89	10.00	64.00	40.76	
75.00	0.19	38.20	188.71	10.00	64.00	44.23	
80.00	0.20	39.50	195.13	10.00	64.00	45.73	
<b>85.00</b>	<b>0.22</b>	<b>41.00</b>	<b>202.54</b>	<b>10.00</b>	<b>64.00</b>	<b>47.47</b>	

Fuente: Elaboración propia (2016).

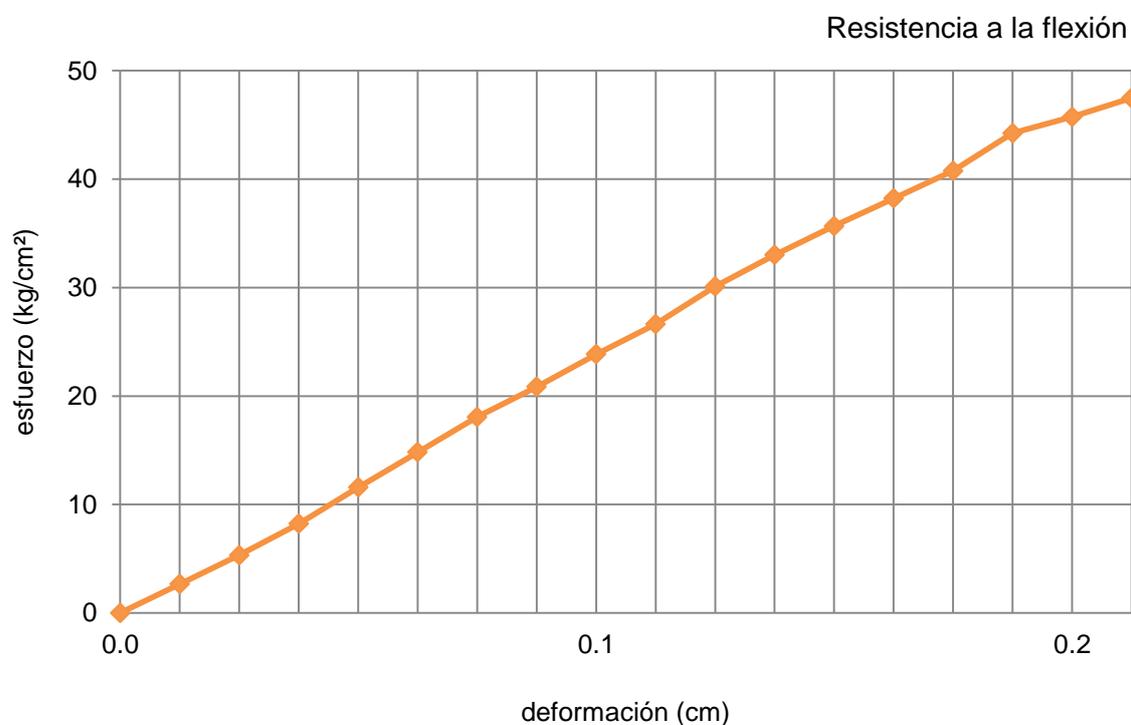


Ilustración 247. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE 14 a flexión.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.1.1.3. Procedimiento operatorio a flexión M-NTE 28.

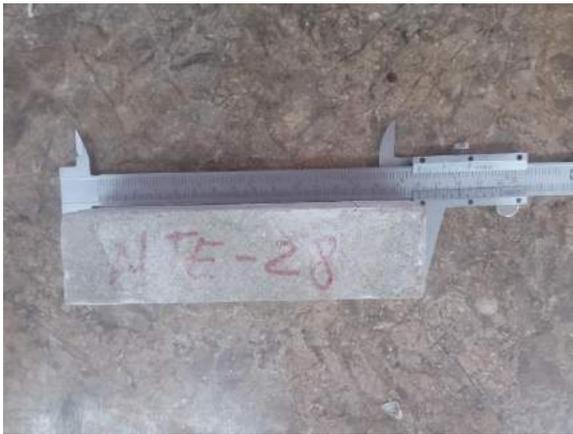


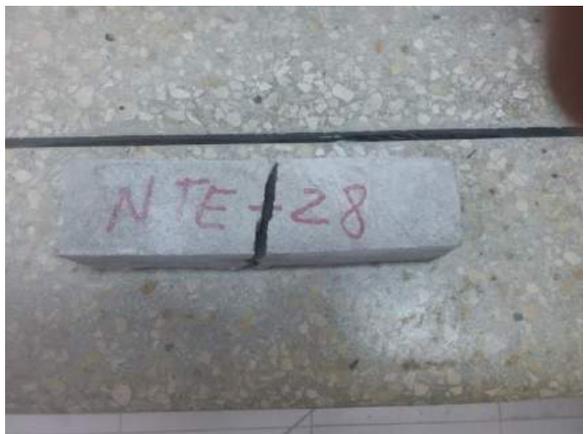
Ilustración 248. Espécimen seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 249. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 250-251. Fisuración y ruptura total del espécimen M-NTE 28 dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.



Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-NTE 28 a los 28 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 54 y graficados en la ilustración 252.

Tabla 54  
*Datos y resultados del espécimen M-NTE 28.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE 28	4.10	16.05	4.05	65.81	266.51	574.16

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

							Constante del anillo	0.83
							Constante de fórmula	1.50
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión		
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>		
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	65.81	0.00		
10.00	0.03	7.00	5.81	10.00	65.81	1.32		
20.00	0.05	22.00	18.26	10.00	65.81	4.16		
30.00	0.08	43.00	35.69	10.00	65.81	8.14		
40.00	0.10	67.00	55.61	10.00	65.81	12.68		
50.00	0.13	91.00	75.53	10.00	65.81	17.22		
60.00	0.15	116.00	96.28	10.00	65.81	21.95		
70.00	0.18	138.00	114.54	10.00	65.81	26.11		
75.00	0.19	150.50	124.92	10.00	65.81	28.47		
80.00	0.20	164.00	136.12	10.00	65.81	31.03		
85.00	0.22	178.00	147.74	10.00	65.81	33.68		
90.00	0.23	197.00	163.51	10.00	65.81	37.27		
95.00	0.24	210.50	174.72	10.00	65.81	39.83		
100.00	0.25	222.50	184.68	10.00	65.81	42.10		
105.00	0.27	241.00	200.03	10.00	65.81	45.60		
<b>110.00</b>	<b>0.28</b>	<b>249.00</b>	<b>206.67</b>	<b>10.00</b>	<b>65.81</b>	<b>47.11</b>		
115.00	0.29	233.00	193.39	10.00	65.81	44.08		

Fuente: Elaboración propia (2016).

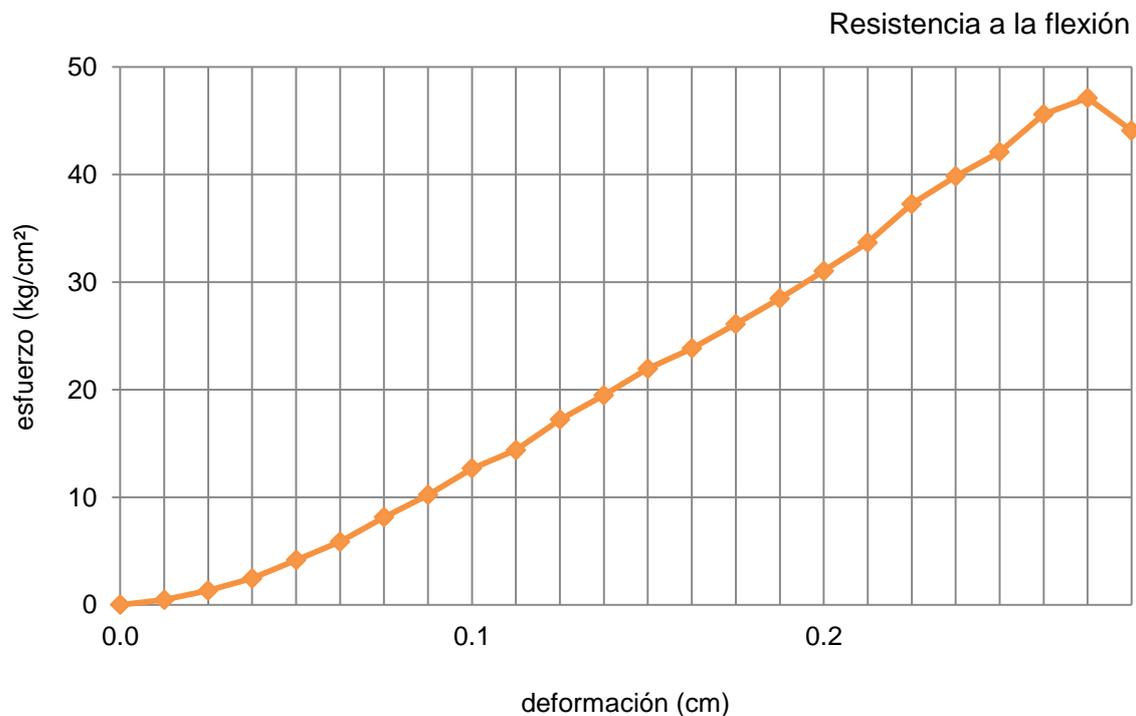


Ilustración 252. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE 28 a flexión.  
Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.1.1.4. Resumen de resultados de morteros NTE a flexión.

Los resultados de los especímenes M-NTE aplicados a resistencia a la flexión durante los 7, 14 y 28 días respectivamente se presentan en la tabla 56 y su posterior ilustración.



Ilustración 253. Ruptura de especímenes M-NTE 7, M-NTE 14 y M-NTE 28 respectivamente.  
Fuente: Autor, 2016.

Tabla 55  
Resultados de especímenes M-NTE a flexión.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Deformación (cm)	Carga máx. (kg)	Rc ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Rc (MPa)
M-NTE 7	7	562.50		0.23	178.45	41.82	4.10
M-NTE 14	14	564.64		0.22	202.54	47.47	4.66
M-NTE 28	28	274.16		0.28	206.67	47.11	4.62

Fuente: Elaboración propia (2016).

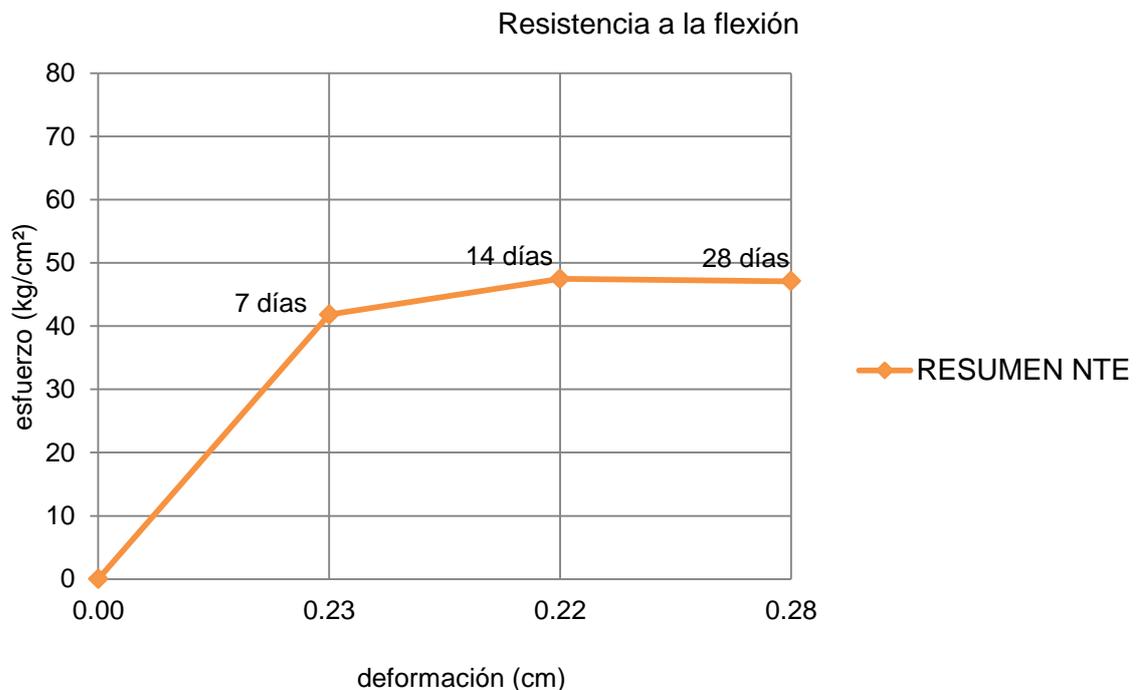


Ilustración 254. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE probado a los 7, 14 y 28 días.  
Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.1.2. Morteros a flexión Tipo M-NTE-F.

Morteros realizados con el agregado fino, cemento, agua potable + aditivo y con la inclusión de fibra sin tratamiento hidrófobo dentro de la mezcla.

Tabla 56

Dosificación NTE-F a flexión.

Dosificación: 1:2.75

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-NTE-F7	0.485	166.667	451.277	80.667	7.057	1.667	7
M-NTE-F14	0.485	166.667	451.277	80.667	7.057	1.667	14
M-NTE-F28	0.485	166.667	451.277	80.667	7.057	1.667	28
TOTAL	0.485	500.001	1353.831	242.001	21.171	5.001	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 255. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 256. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 257. Pesaje de la fibra en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 258. Pesaje del agua + aditivo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 259. Mezcla manual entre cemento y árido fino.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 260. Incorporación de fibra en la mezcla.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 261. Agregado del agua + aditivo en la mezcla.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 262. Colocación de la mezcla en sus respectivos moldes.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 263. Marcaje de los especímenes para identificarlos al momento de ensayarlos.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 264. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.  
Fuente: Autor, 2016.

### 3.5.2.1.2.1. Procedimiento operatorio M-NTE-F7.



Ilustración 265. Espécimen seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 266. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 267-268. Sometimiento y fisuración del espécimen M-NTE-F7 dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-NTE-F7 a los 7 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 57 y graficados en la ilustración 46.

Tabla 57  
*Datos y resultados del espécimen M-NTE 7.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-F7	4.00	15.95	4.14	63.80	264.13	565.33

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

				Constante del anillo		0.83	
				Constante de fórmula		1.50	
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	63.80	0.00	
10.00	0.03	14.00	11.62	10.00	63.80	2.73	
20.00	0.05	30.50	25.32	10.00	63.80	5.95	
30.00	0.08	52.00	43.16	10.00	63.80	10.15	
40.00	0.10	71.50	59.35	10.00	63.80	13.95	
50.00	0.13	93.50	77.61	10.00	63.80	18.25	
60.00	0.15	117.50	97.53	10.00	63.80	22.93	
70.00	0.18	139.00	115.37	10.00	63.80	27.12	
75.00	0.19	150.50	124.92	10.00	63.80	29.37	
80.00	0.20	163.50	135.71	10.00	63.80	31.91	
85.00	0.22	175.50	145.67	10.00	63.80	34.25	
90.00	0.23	187.00	155.21	10.00	63.80	36.49	
95.00	0.24	194.60	161.52	10.00	63.80	37.97	
100.00	0.25	209.50	173.89	10.00	63.80	40.88	
<b>105.00</b>	<b>0.27</b>	<b>218.00</b>	<b>180.94</b>	<b>10.00</b>	<b>63.80</b>	<b>42.54</b>	
110.00	0.28	175.00	145.25	10.00	63.80	34.15	

Fuente: Elaboración propia (2016).

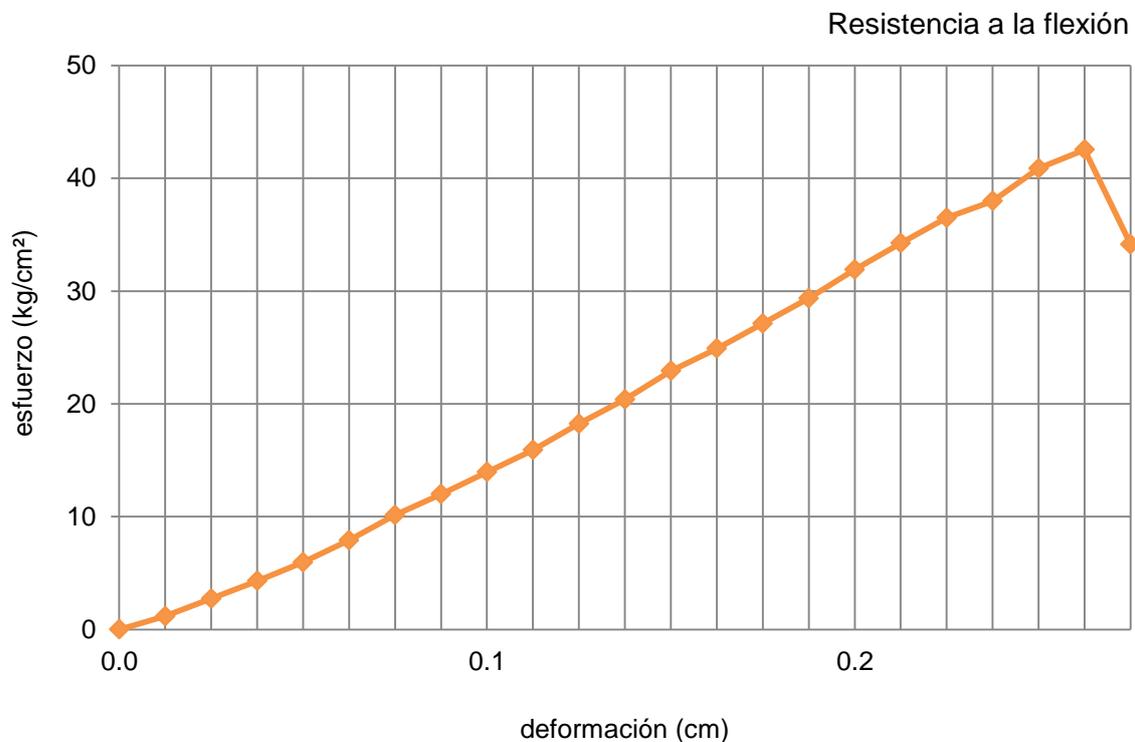


Ilustración 269. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-F7.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.1.2.2. Procedimiento operatorio M-NTE-F14.



Ilustración 270. Espécimen seco listo para ser ensayado.

Fuente: Autor, 2016.

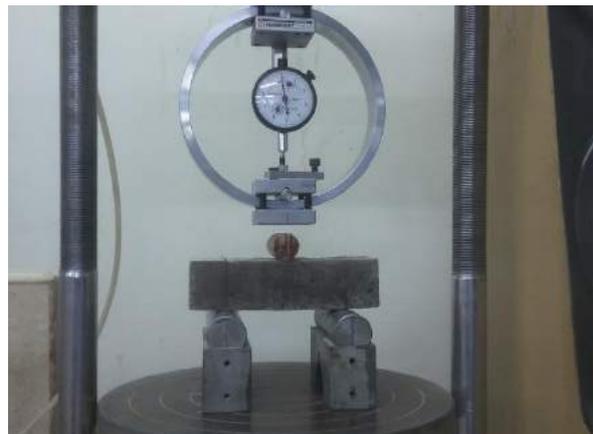


Ilustración 271. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 272-273. Sometimiento y fisuración del espécimen M-NTE-F14 dentro de la máquina triaxial.

Fuente: Autor, 2016.



Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-NTE-F14 a los 14 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 58 y graficados en la ilustración 46.

Tabla 58

*Datos y resultados del espécimen M-NTE-F14.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-F14	4.05	16.00	4.15	64.80	268.92	575.16

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

				Constante del anillo		0.83	
				Constante de fórmula		1.50	
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.80	0.00	
10.00	0.03	11.00	9.13	10.00	64.80	2.11	
20.00	0.05	28.00	23.24	10.00	64.80	5.38	
30.00	0.08	50.50	41.92	10.00	64.80	9.70	
40.00	0.10	73.00	60.59	10.00	64.80	14.03	
50.00	0.13	97.00	80.51	10.00	64.80	18.64	
60.00	0.15	121.50	100.85	10.00	64.80	23.34	
70.00	0.18	143.50	119.11	10.00	64.80	27.57	
80.00	0.20	171.50	142.35	10.00	64.80	32.95	
85.00	0.22	183.50	152.31	10.00	64.80	35.26	
90.00	0.23	192.00	159.36	10.00	64.80	36.89	
95.00	0.24	210.00	174.30	10.00	64.80	40.35	
100.00	0.25	221.00	183.43	10.00	64.80	42.46	
<b>105.00</b>	<b>0.27</b>	<b>224.00</b>	<b>185.92</b>	<b>10.00</b>	<b>64.80</b>	<b>43.04</b>	
110.00	0.28	180.00	149.40	10.00	64.80	34.58	

Fuente: Elaboración propia (2016).

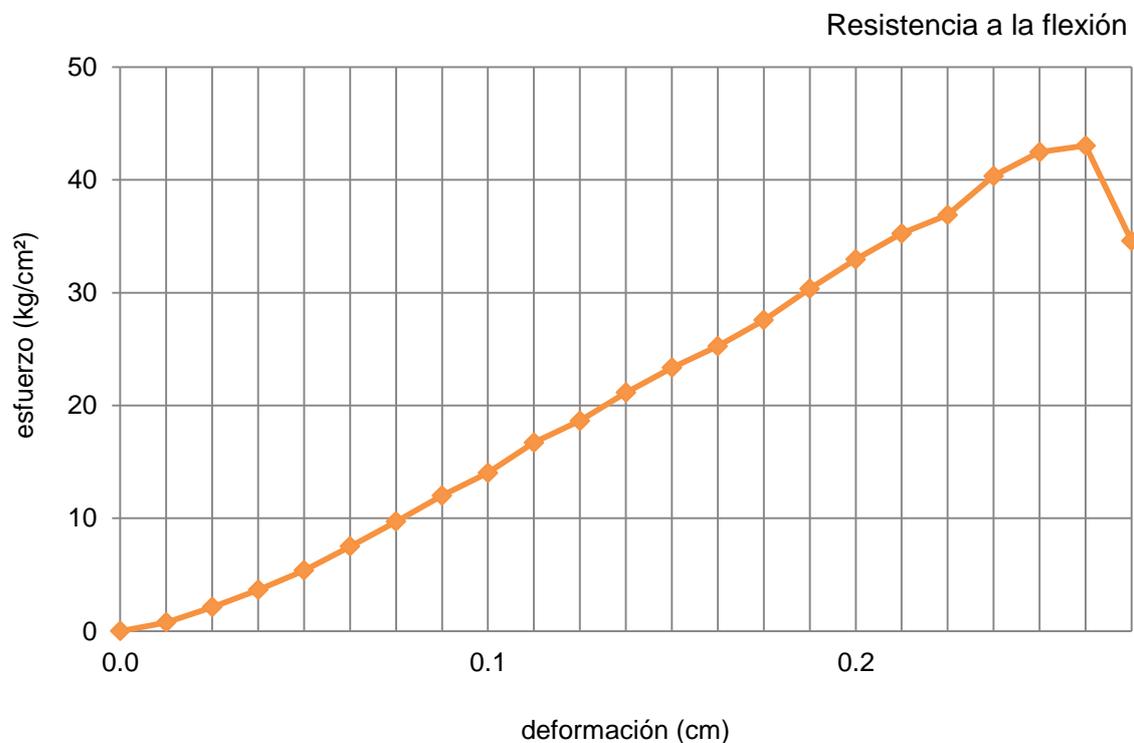


Ilustración 274. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE 28.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.1.2.3. Procedimiento operatorio M-NTE-F28.



Ilustración 275. Espécimen seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 276. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 277-278. Sometimiento y fisuración del espécimen M-NTE-F28 dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.



Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-NTE-F28 a los 28 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 59 y graficados en la ilustración 279.

Tabla 59  
*Datos y resultados del espécimen M-NTE-F28.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-F28	4.00	16.00	4.10	64.00	262.40	563.22

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

				Constante del anillo		0.83	
				Constante de fórmula		1.50	
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.00	0.00	
10.00	0.03	5.00	4.15	10.00	64.00	0.97	
20.00	0.05	14.00	11.62	10.00	64.00	2.72	
30.00	0.08	29.50	24.49	10.00	64.00	5.74	
40.00	0.10	54.00	44.82	10.00	64.00	10.50	
50.00	0.13	80.50	66.82	10.00	64.00	15.66	
60.00	0.15	112.50	93.38	10.00	64.00	21.88	
65.00	0.17	126.00	104.58	10.00	64.00	24.51	
70.00	0.18	138.00	114.54	10.00	64.00	26.85	
75.00	0.19	159.00	131.97	10.00	64.00	30.93	
80.00	0.20	171.50	142.35	10.00	64.00	33.36	
<b>85.00</b>	<b>0.22</b>	<b>186.00</b>	<b>154.38</b>	<b>10.00</b>	<b>64.00</b>	<b>36.18</b>	
90.00	0.23	30.00	24.90	10.00	64.00	5.84	

Fuente: Elaboración propia (2016).

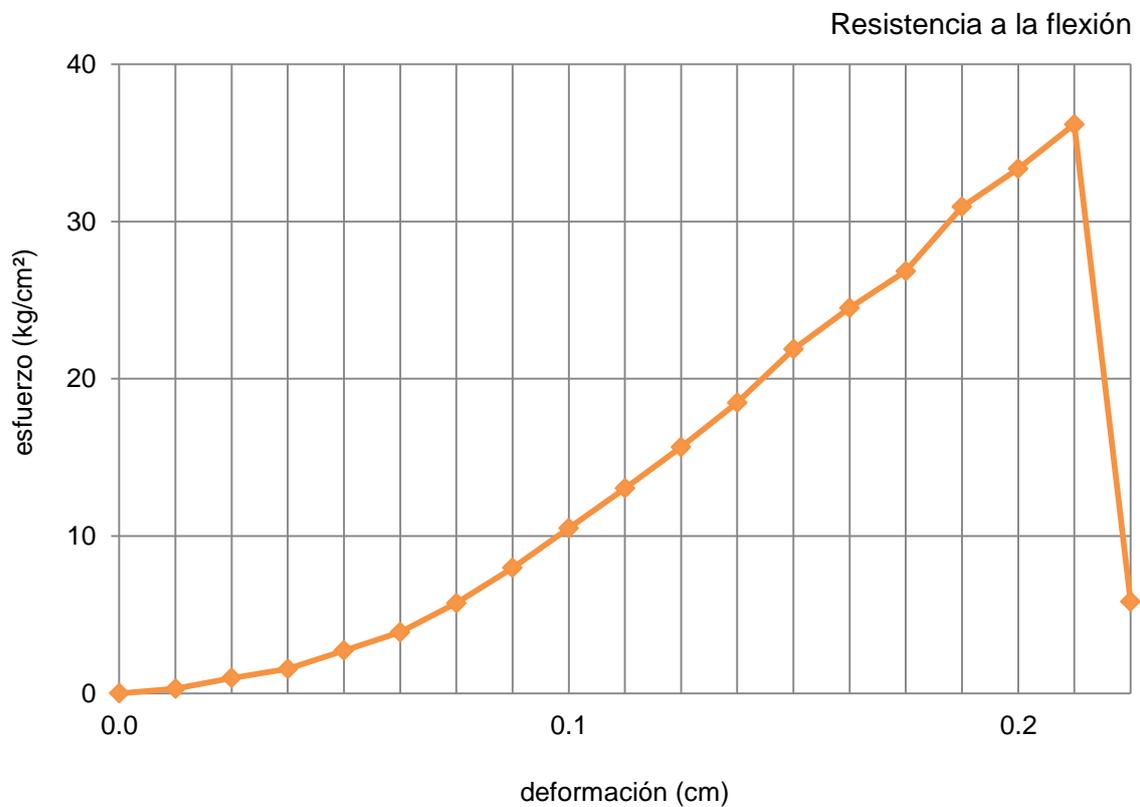


Ilustración 279. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE 28.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.1.2.4. Resumen de resultados de morteros NTE-F a flexión.

Los resultados de los especímenes M-NTE-F aplicados a resistencia a la flexión durante los 7, 14 y 28 días respectivamente se presentan en la tabla 60 y su posterior ilustración



Ilustración 280. Fisuración especímenes M-NTE-F7, M-NTE-F14 y M-NTE-F28 respectivamente.  
Fuente: Autor, 2016.

Tabla 60  
Resultados de especímenes M-NTE-F a flexión.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )	Deformación (cm)	Carga máx. (kg)	Rc ( $\text{kg/cm}^2$ )	Rc (MPa)
M-NTE-F7	7	565.33	2.14	0.27	180.94	42.54	4.17
M-NTE-F14	14	575.16	2.15	0.27	185.92	43.17	4.23
M-NTE-F28	28	263.22	2.10	0.22	154.38	36.18	3.55

Fuente: Elaboración propia (2016).

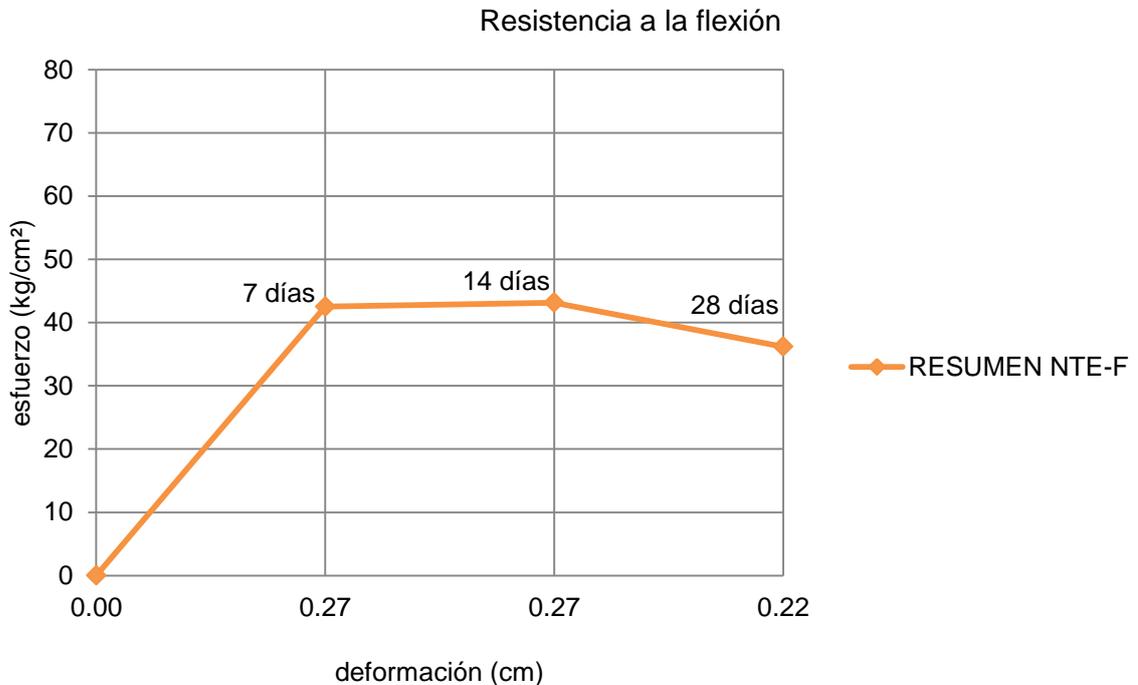


Ilustración 281. Gráfica de resultados de los especímenes M-NTE-F probados a los 7, 14 y 28 días.  
Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.1.3. Morteros a flexión Tipo M-NTE-FT.

Morteros realizados con el agregado fino, cemento, agua potable + aditivo y con la inclusión de fibra con tratamiento hidrófobo dentro de la mezcla.

Tabla 61

Dosificación NTE-FT a flexión.

Dosificación: 1:2.75

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-NTE-FT7	0.485	166.667	451.277	80.667	7.057	1.667	7
M-NTE-FT14	0.485	166.667	451.277	80.667	7.057	1.667	14
M-NTE-FT28	0.485	166.667	451.277	80.667	7.057	1.667	28
TOTAL	0.485	500.001	1353.831	242.001	21.171	5.001	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 282. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 283. Pesaje del agua + aditivo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 284. Pesaje de la fibra en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 285. Materiales pesados y listos para su mezclado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 286. Mezcla manual entre cemento y árido fino.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 287. Incorporación de fibra en la mezcla.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 288. Agregado del agua + aditivo en la mezcla.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 289. Colocación de la mezcla en sus respectivos moldes.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 290. Moldeo final de los especímenes.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 291. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.  
Fuente: Autor, 2016.

### 3.5.2.1.3.1. Procedimiento operatorio M-NTE-FT7.



Ilustración 292. Espécimen seco listo para ser ensayado.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 293. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 294-295. Sometimiento y fisuración del espécimen M-NTE-FT7 dentro de la máquina triaxial.

Fuente: Autor, 2016.



Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-NTE-FT7 a los 7 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 62 y graficados en la ilustración 296.

Tabla 62

*Datos y resultados del espécimen M-NTE-FT7.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-FT7	4.00	16.00	4.10	64.00	262.40	568.29

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
					Constante del anillo	0.83
					Constante de fórmula	1.50
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.00	0.00
10.00	0.03	12.00	9.96	10.00	64.00	2.33
20.00	0.05	29.00	24.07	10.00	64.00	5.64
30.00	0.08	55.00	45.65	10.00	64.00	10.70
40.00	0.10	74.00	61.42	10.00	64.00	14.40
50.00	0.13	96.00	79.68	10.00	64.00	18.68
60.00	0.15	119.00	98.77	10.00	64.00	23.15
70.00	0.18	141.00	117.03	10.00	64.00	27.43
80.00	0.20	161.00	133.63	10.00	64.00	31.32
90.00	0.23	184.00	152.72	10.00	64.00	35.79
<b>95.00</b>	<b>0.24</b>	<b>196.00</b>	<b>162.68</b>	<b>10.00</b>	<b>64.00</b>	<b>38.13</b>
100.00	0.25	114.00	94.62	10.00	64.00	22.18

Fuente: Elaboración propia (2016).

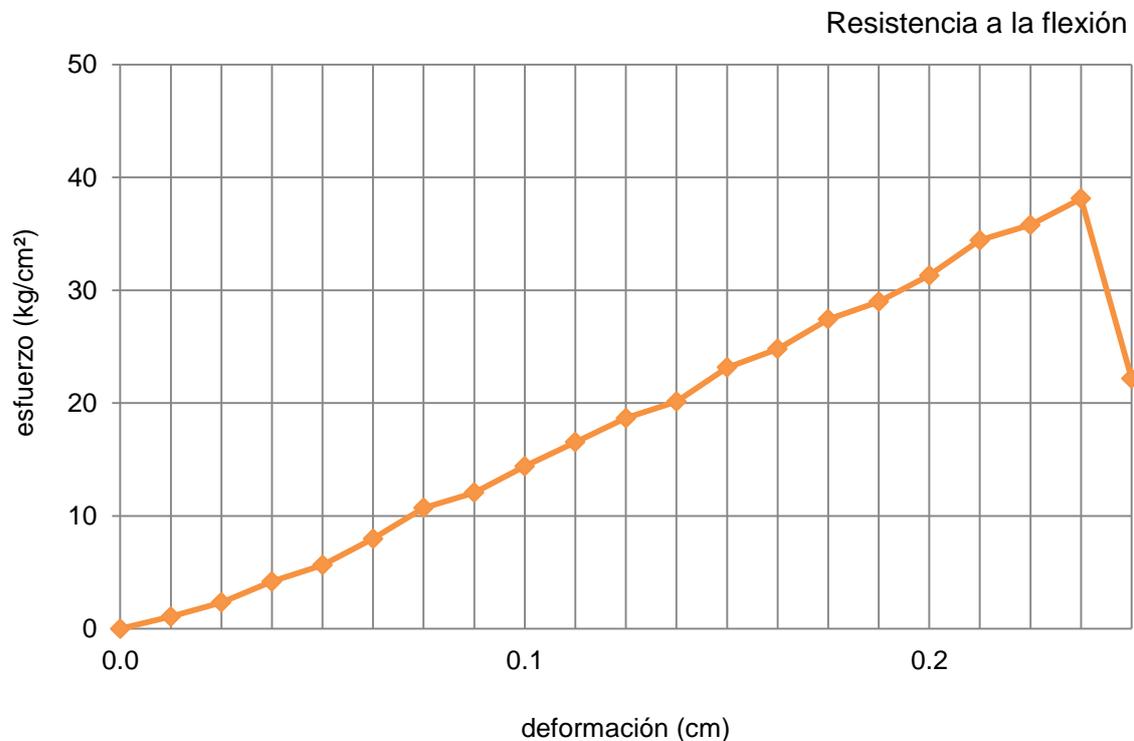


Ilustración 296. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-FT7.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.1.3.2. Procedimiento operatorio M-NTE-FT14.



Ilustración 297. Espécimen seco listo para ser ensayado.

Fuente: Autor, 2016.

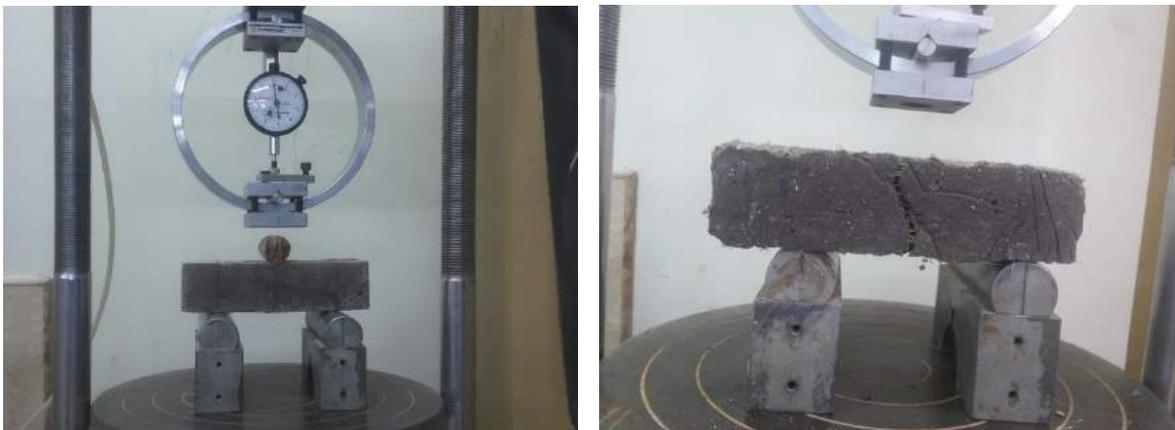


Ilustración 298-299. Sometimiento y fisuración del espécimen M-NTE-FT14 dentro de la máquina triaxial.

Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-NTE-FT14 a los 14 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 63 y graficados en la ilustración 300.

Tabla 63

*Datos y resultados del espécimen M-NTE-FT14.*

<b>Datos del espécimen</b>						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-FT14	4.05	16.00	4.12	64.80	266.98	599.38

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
					Constante del anillo	0.83
					Constante de fórmula	1.50
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.80	0.00
10.00	0.03	11.00	9.13	10.00	64.80	2.11
20.00	0.05	27.00	22.41	10.00	64.80	5.19
30.00	0.08	49.00	40.67	10.00	64.80	9.41
40.00	0.10	76.00	63.08	10.00	64.80	14.60
50.00	0.13	98.50	81.76	10.00	64.80	18.92
60.00	0.15	122.00	101.26	10.00	64.80	23.44
70.00	0.18	141.00	117.03	10.00	64.80	27.09
80.00	0.20	168.00	139.44	10.00	64.80	32.28
90.00	0.23	188.50	156.46	10.00	64.80	36.22
100.00	0.25	211.00	175.13	10.00	64.80	40.54
<b>105.00</b>	<b>0.27</b>	<b>216.50</b>	<b>179.70</b>	<b>10.00</b>	<b>64.80</b>	<b>41.60</b>
110.00	0.28	88.00	132.00	10.00	64.80	30.56

Fuente: Elaboración propia (2016).

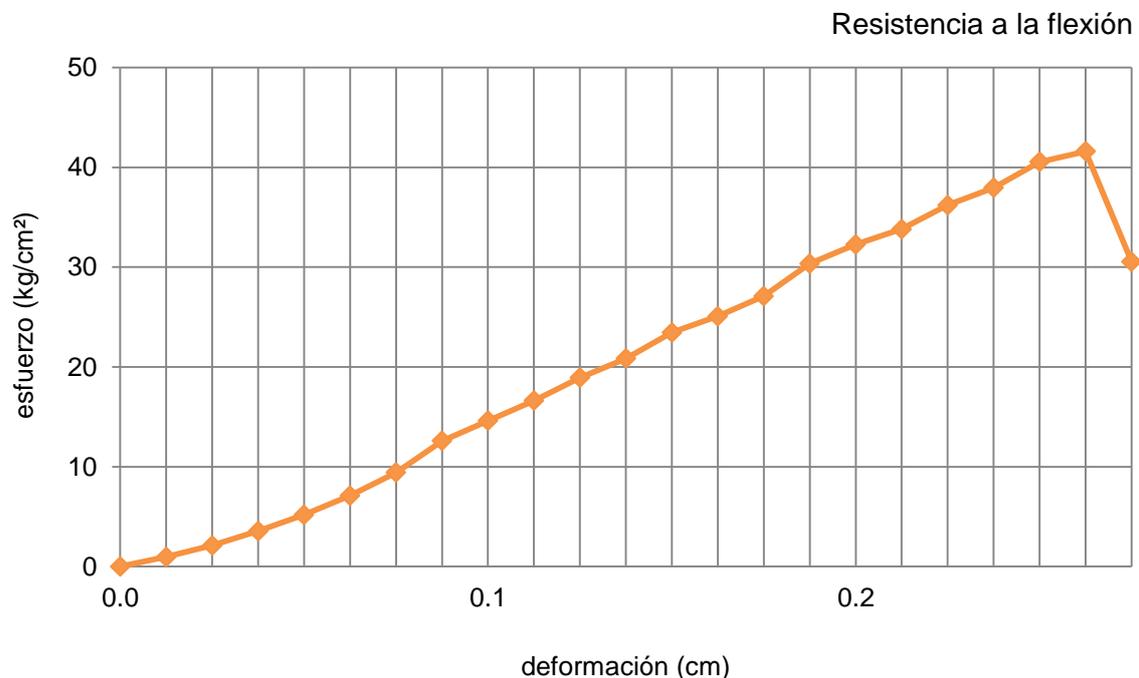


Ilustración 300. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-FT14.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.1.3.3. Procedimiento operatorio M-NTE-FT28.



Ilustración 301. Espécimen seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 302. Calibración de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 303-304. Sometimiento y fisuración del espécimen M-NTE-FT28 dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-NTE-FT28 a los 28 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 64 y graficados en la ilustración 305.

Tabla 64  
*Datos y resultados del espécimen M-NTE-FT28.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-NTE-FT28	4.00	16.00	4.10	64.00	262.40	573.91

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

						Constante del anillo	0.83
						Constante de fórmula	1.50
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.00	0.00	
10.00	0.03	8.00	6.64	10.00	64.00	1.56	
20.00	0.05	18.00	14.94	10.00	64.00	3.50	
30.00	0.08	31.50	26.15	10.00	64.00	6.13	
40.00	0.10	56.00	46.48	10.00	64.00	10.89	
50.00	0.13	85.00	70.55	10.00	64.00	16.54	
60.00	0.15	109.50	90.89	10.00	64.00	21.30	
65.00	0.17	120.00	99.60	10.00	64.00	23.34	
70.00	0.18	136.00	112.88	10.00	64.00	26.46	
75.00	0.19	149.00	123.67	10.00	64.00	28.99	
80.00	0.20	165.00	136.95	10.00	64.00	32.10	
85.00	0.22	189.00	156.87	10.00	64.00	36.77	
90.00	0.23	201.50	167.25	10.00	64.00	39.20	
95.00	0.24	217.00	180.11	10.00	64.00	42.21	

Fuente: Elaboración propia (2016).

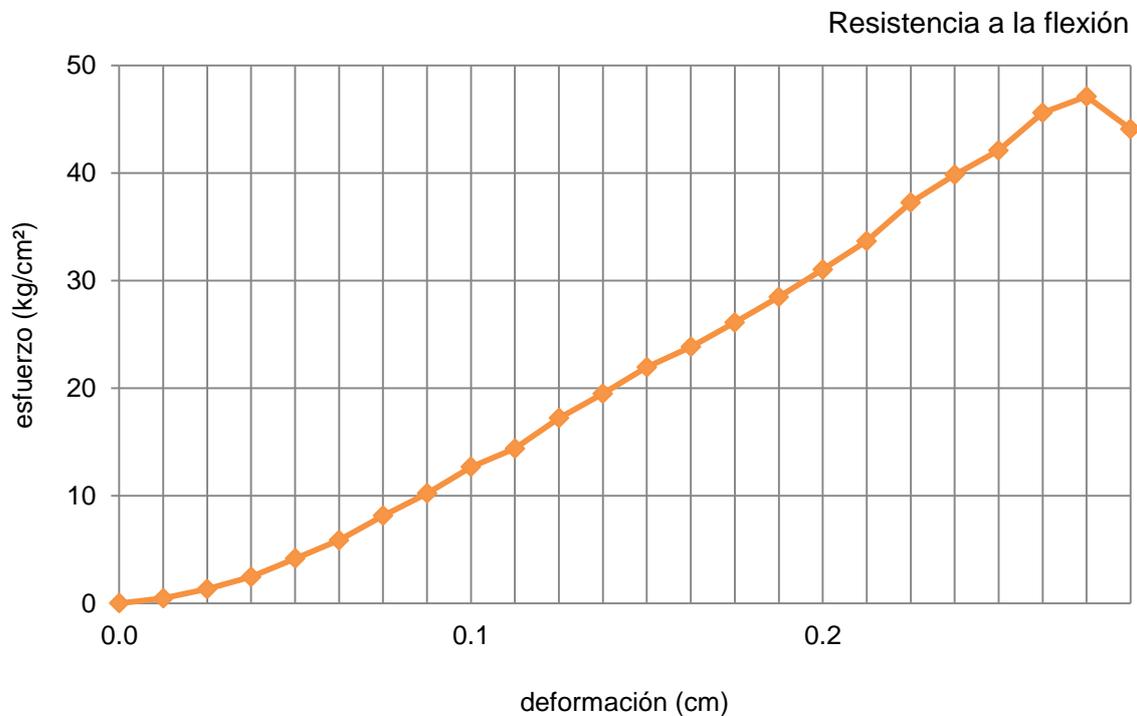


Ilustración 305. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-FT28.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.1.3.4. Resumen de resultados de morteros NTE-FT a flexión.

Los resultados de los especímenes M-NTE-FT aplicados a resistencia a la flexión durante los 7, 14 y 28 días respectivamente se presentan en la tabla 65.



Ilustración 306. Fisuración especímenes M-NTE-FT7, M-NTE-FT14 y M-NTE-FT28.

Fuente: Autor, 2016.

Tabla 65

Resultados de especímenes M-NTE-FT a flexión.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Deformación (cm)	Carga máx. (kg)	Rc ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Rc (MPa)
M-NTE-FT7	7	568.29	2.17	0.24	162.68	38.13	3.74
M-NTE-FT14	14	599.38	2.25	0.27	179.70	41.60	4.08
M-NTE-FT28	28	573.91	2.19	0.24	180.11	42.21	4.14

Fuente: Elaboración propia (2016).

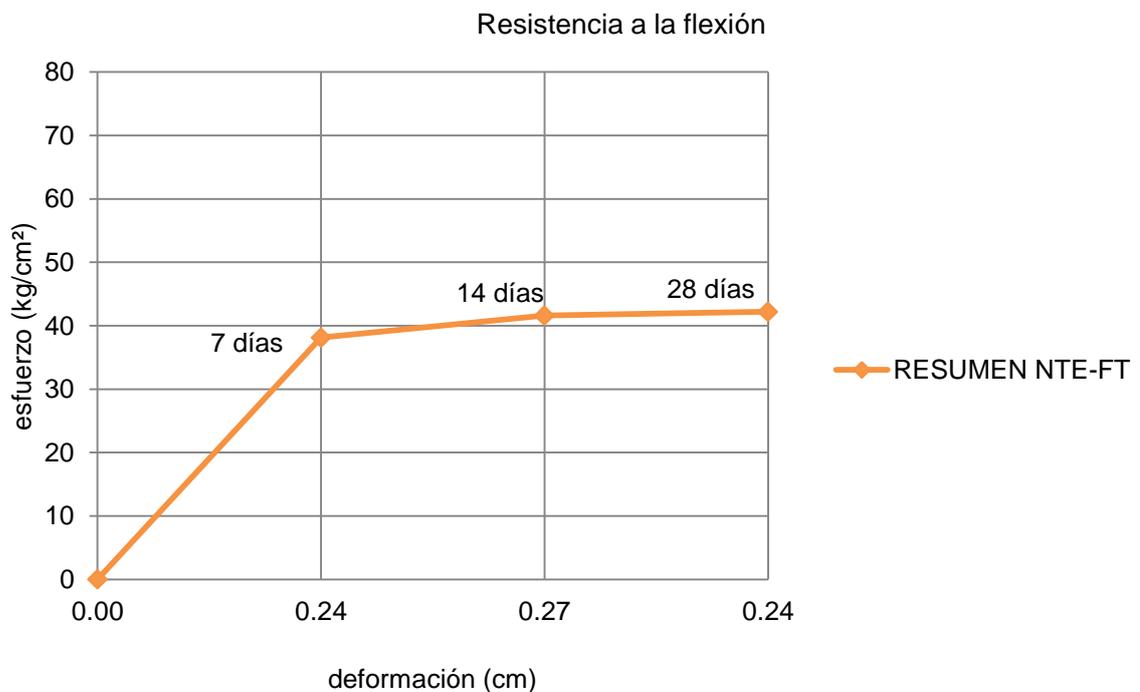


Ilustración 307. Gráfica de resultados del espécimen M-NTE-FT probado a los 7, 14 y 28 días.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2. Morteros a flexión ISO.

Morteros realizados de acuerdo al enunciado 3.5.1.2., pero su dosificación se encuentra proporcionada a las dimensiones de los moldes a flexión para sus respectivas pruebas. Al igual que los especímenes realizados para el tipo de mortero M-NTE, los M-ISO cuentan con muestras realizados con la inclusión de fibra con y sin tratamiento.

#### 3.5.2.2.1. Morteros a flexión Tipo M-ISO.

Conformados mediante árido fino, cemento y agua, sin la inclusión de fibra de acuerdo a los valores de la ISO/R 679-1968 que se presentan en la Tabla 66.

Tabla 66

Dosificación ISO a flexión.

Dosificación 1:3

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-ISO 7	0.50	150.00	450.00	75.00	-	1.50	7
M-ISO 14	0.50	150.00	450.00	75.00	-	1.50	14
M-ISO 28	0.50	150.00	450.00	75.00	-	1.50	28
TOTAL	0.50	450.00	1350.00	225.00	-	4.50	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 308. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 309. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 310. Agua + aditivo listo para su mezclado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 311. Mezcla manual entre cemento y árido fino.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 312. Agregado de agua + aditivo en la mezcla.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 313. Moldeo final de los especímenes M-ISO a flexión.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 314. Marcaje de los especímenes para identificarlos al momento de ensayarlos.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 315. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.  
Fuente: Autor, 2016.

### 3.5.2.2.1.1. Procedimiento operatorio a flexión M-ISO 7.



Ilustración 316. Especimen M-ISO 7 seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.

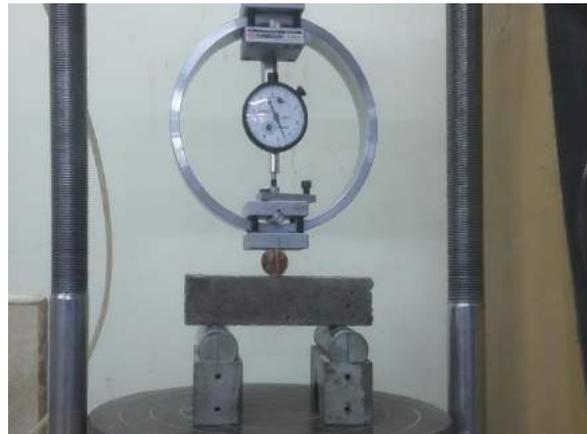


Ilustración 317. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.

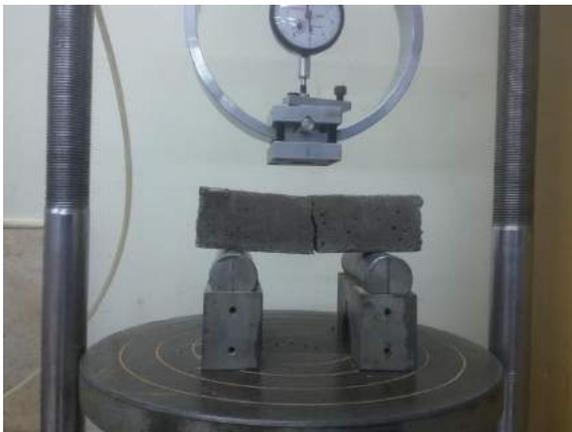


Ilustración 318. Fisuración del espécimen dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.

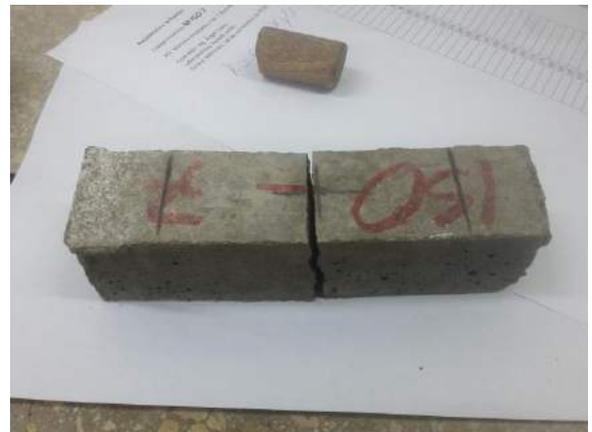


Ilustración 319. Ruptura total del espécimen M-ISO 7.  
Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-ISO 7 a los 7 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 67 y graficados en la ilustración 320.

Tabla 67  
*Datos y resultados del espécimen M-ISO 7.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO 7	4.00	16.00	4.00	64.00	256.00	562.16

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

				Constante del anillo		0.83	
				Constante de fórmula		1.50	
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.00	0.00	
5.00	0.01	4.50	3.74	10.00	64.00	0.88	
10.00	0.03	10.00	8.30	10.00	64.00	1.95	
15.00	0.04	18.50	15.36	10.00	64.00	3.60	
20.00	0.05	28.00	23.24	10.00	64.00	5.45	
25.00	0.06	41.00	34.03	10.00	64.00	7.98	
30.00	0.08	53.00	43.99	10.00	64.00	10.31	
35.00	0.09	66.00	54.78	10.00	64.00	12.84	
40.00	0.10	79.00	65.57	10.00	64.00	15.37	
45.00	0.11	94.50	78.44	10.00	64.00	18.38	
50.00	0.13	107.00	88.81	10.00	64.00	20.81	
55.00	0.14	121.00	100.43	10.00	64.00	23.54	
60.00	0.15	133.00	110.39	10.00	64.00	25.87	
<b>65.00</b>	<b>0.17</b>	<b>144.00</b>	<b>119.52</b>	<b>10.00</b>	<b>64.00</b>	<b>28.01</b>	
70.00	0.18	122.00	101.26	10.00	64.00	23.73	

Fuente: Elaboración propia (2016).

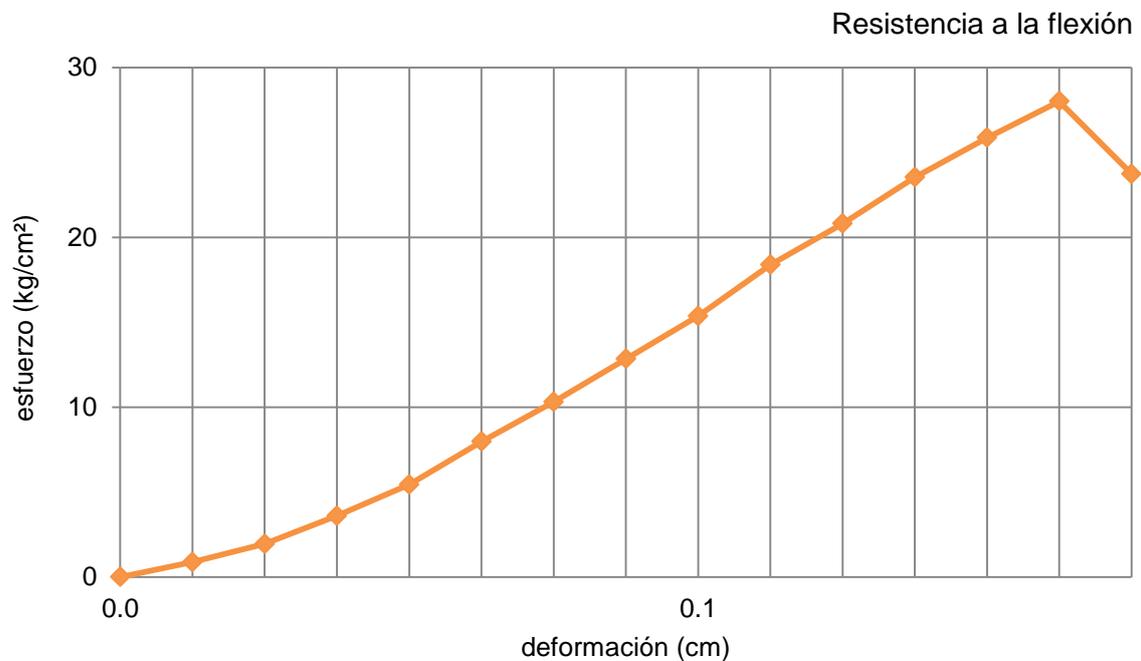


Ilustración 320. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO 7.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2.1.2. Procedimiento operatorio a flexión M-ISO 14.



Ilustración 321. Espécimen M-ISO 14 seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 322. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 323. Fisuración del espécimen dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 324. Ruptura total del espécimen M-ISO 14.  
Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-ISO 14 a los 14 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 68 y graficados en la ilustración 325.

Tabla 68  
*Datos y resultados del espécimen M-ISO 14.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO 14	4.00	16.00	4.00	64.00	256.00	593.28

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

						Constante del anillo	0.83
						Constante de fórmula	1.50
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.00	0.00	
10.00	0.03	13.00	10.79	10.00	64.00	2.53	
15.00	0.04	22.50	18.68	10.00	64.00	4.38	
20.00	0.05	34.00	28.22	10.00	64.00	6.61	
25.00	0.06	46.50	38.60	10.00	64.00	9.05	
30.00	0.08	58.00	48.14	10.00	64.00	11.28	
35.00	0.09	69.00	57.27	10.00	64.00	13.42	
40.00	0.10	80.00	66.40	10.00	64.00	15.56	
45.00	0.11	95.00	78.85	10.00	64.00	18.48	
50.00	0.13	109.50	90.89	10.00	64.00	21.30	
55.00	0.14	123.00	102.09	10.00	64.00	23.93	
60.00	0.15	135.00	112.05	10.00	64.00	26.26	
65.00	0.17	154.00	127.82	10.00	64.00	29.96	
70.00	0.18	178.00	147.74	10.00	64.00	34.63	
75.00	0.19	193.00	160.19	10.00	64.00	37.54	
<b>80.00</b>	<b>0.20</b>	<b>199.00</b>	<b>165.17</b>	<b>10.00</b>	<b>64.00</b>	<b>38.71</b>	

Fuente: Elaboración propia (2016).

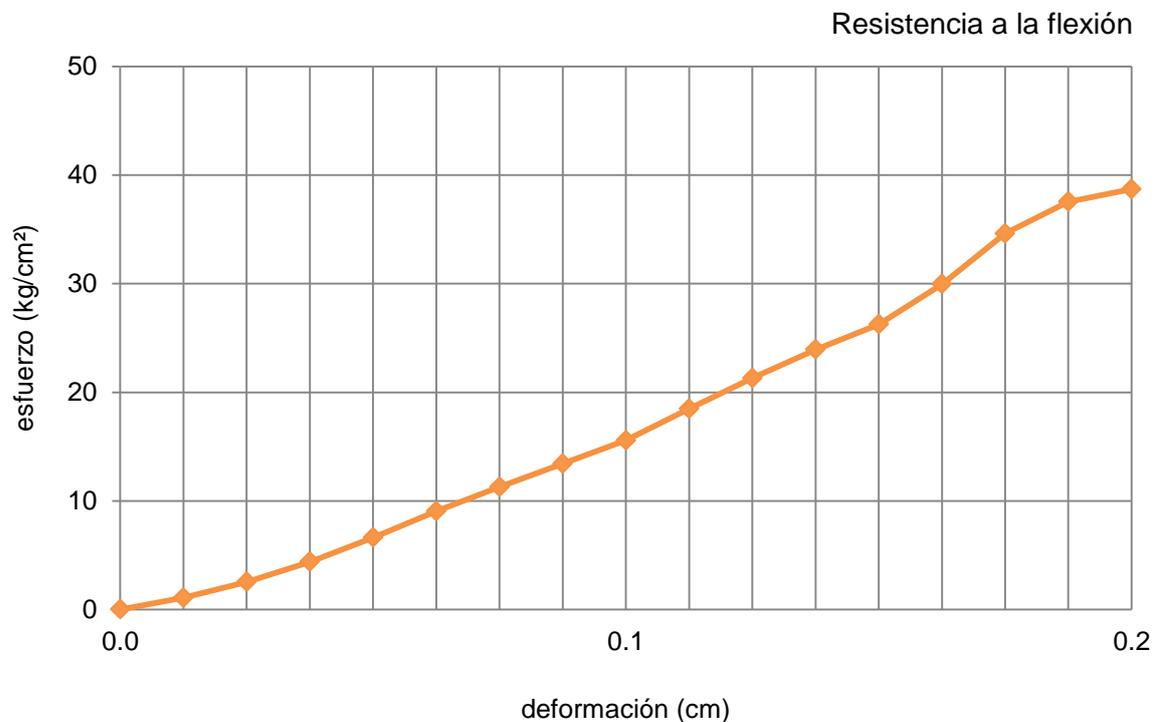


Ilustración 325. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO 14.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2.1.3. Procedimiento operatorio a flexión M-ISO 28.



Ilustración 326. Especimen M-ISO 28 seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 327. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 328. Fisuración del espécimen dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 329. Ruptura total del espécimen M-NTE 14.  
Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-ISO 28 a los 28 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 69 y graficados en la ilustración 330.

Tabla 69

*Datos y resultados del espécimen M-ISO 28.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO 28	4.05	16.00	4.30	64.80	278.64	593.40

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

				Constante del anillo		0.83	
				Constante de fórmula		1.50	
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.80	0.00	
10.00	0.03	9.50	7.89	10.00	64.80	1.83	
20.00	0.05	27.00	22.41	10.00	64.80	5.19	
30.00	0.08	49.50	41.09	10.00	64.80	9.51	
40.00	0.10	77.00	63.91	10.00	64.80	14.79	
50.00	0.13	102.00	84.66	10.00	64.80	19.60	
60.00	0.15	131.00	108.73	10.00	64.80	25.17	
65.00	0.17	146.00	121.18	10.00	64.80	28.05	
70.00	0.18	164.00	136.12	10.00	64.80	31.51	
75.00	0.19	180.50	149.82	10.00	64.80	34.68	
80.00	0.20	199.00	165.17	10.00	64.80	38.23	
85.00	0.22	218.00	180.94	10.00	64.80	41.88	
90.00	0.23	232.00	192.56	10.00	64.80	44.57	
<b>95.00</b>	<b>0.24</b>	<b>251.00</b>	<b>208.33</b>	<b>10.00</b>	<b>64.80</b>	<b>48.22</b>	
100.00	0.25	30.00	24.90	10.00	64.80	5.76	

Fuente: Elaboración propia (2016).

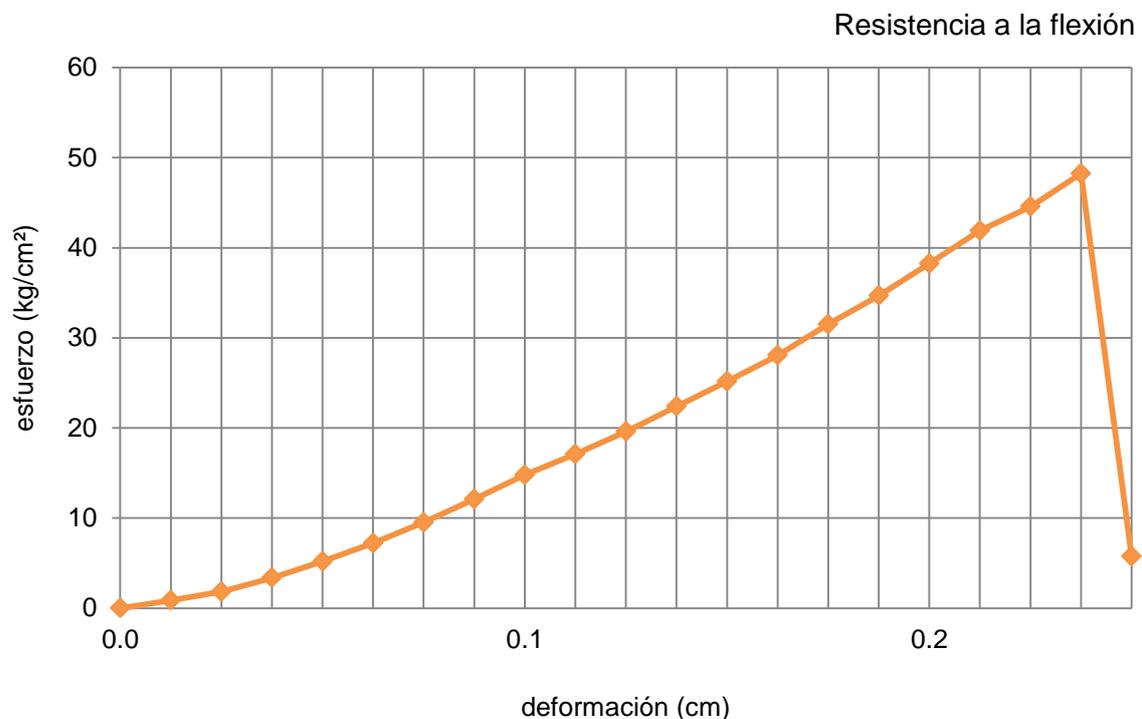


Ilustración 331. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO 28.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2.1.4. Resumen de resultados de morteros M-ISO a flexión.

Los resultados de los especímenes M-ISO aplicados a la resistencia a la flexión durante los 7, 14 y 28 días respectivamente se presentan en la tabla 70 y su posterior ilustración.



Ilustración 332. Ruptura de especímenes M-ISO 7, M-ISO 14 y M-ISO 28 respectivamente.  
Fuente: Autor, 2016.

Tabla 70  
Resultados de especímenes M-ISO a flexión.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )	Deformación (cm)	Carga máx. (kg)	Rc ( $\text{kg/cm}^2$ )	Rc (MPa)
M-ISO 7	7	562.16		0.17	119.52	28.01	2.75
M-ISO 14	14	593.28		0.20	165.17	38.71	3.80
M-ISO 28	28	593.40		0.24	208.33	48.22	4.73

Fuente: Elaboración propia (2016).

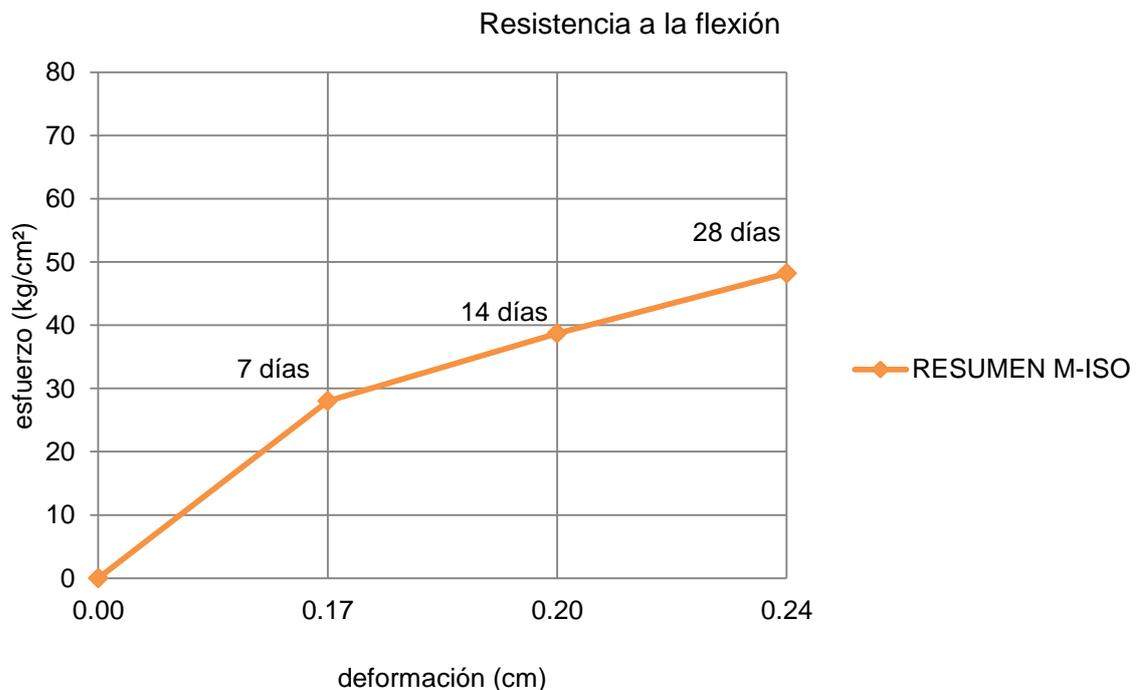


Ilustración 333. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO probado a los 7, 14 y 28 días.  
Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2.2. Morteros a flexión tipo M-ISO-F.

Conformados mediante árido fino, cemento y agua, con inclusión de fibra natural.

Tabla 71

Dosificación ISO a flexión.

Dosificación 1:3

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-ISO-F7	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	1.50	7
M-ISO-F14	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	1.50	14
M-ISO-F28	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	1.50	28
TOTAL	0.50	450.00	1329.75	225.00	20.25	4.50	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 334. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 335. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.

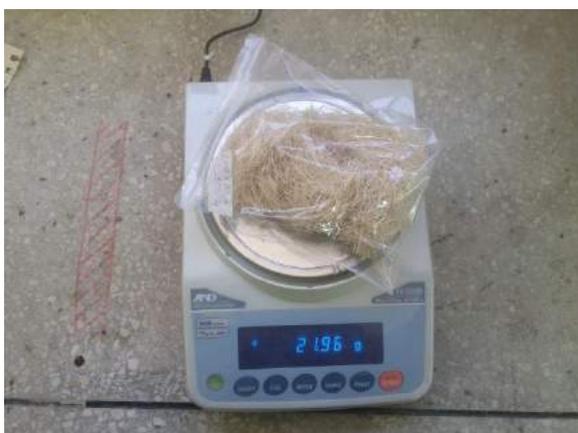


Ilustración 336. Pesaje de la fibra en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 337. Pesaje del agua + aditivo en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 338. Materiales listos para su mezclado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 339. Mezcla manual entre árido fino y cemento e incorporación de la fibra a la mezcla.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 340. Colocación de la mezcla en sus respectivos moldes.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 341. Moldeo final de los especímenes.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 342. Marcaje de los especímenes para identificarlos al momento de ensayarlos.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 343. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.  
Fuente: Autor, 2016.

### 3.5.2.2.1. Procedimiento operatorio a flexión M-ISO-F7.



Ilustración 344. Espécimen M-ISO-F7 seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.

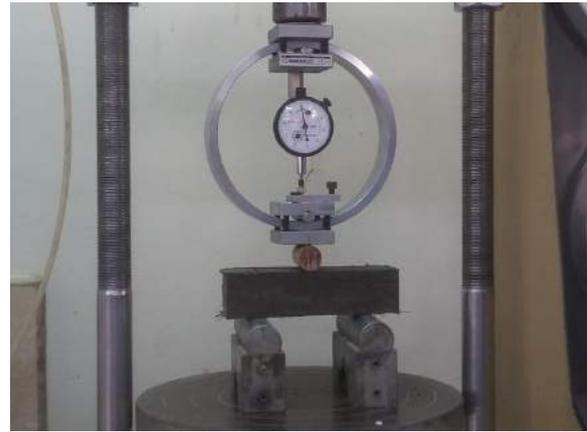


Ilustración 345. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 346-347. Fisuración del espécimen M-ISO-F7 dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-ISO-F7 a los 7 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 72 y graficados en la ilustración 348.

Tabla 72

*Datos y resultados del espécimen M-ISO-F7.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-F7	4.00	16.00	4.14	64.00	264.96	565.33

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
					Constante del anillo	0.83
					Constante de fórmula	1.50
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.00	0.00
10.00	0.03	11.00	9.13	10.00	64.00	2.14
20.00	0.05	25.50	21.17	10.00	64.00	4.96
30.00	0.08	44.00	36.52	10.00	64.00	8.56
40.00	0.10	67.00	55.61	10.00	64.00	13.03
45.00	0.11	76.50	63.50	10.00	64.00	14.88
50.00	0.13	88.50	73.46	10.00	64.00	17.22
55.00	0.14	101.50	84.25	10.00	64.00	19.74
60.00	0.15	113.50	94.21	10.00	64.00	22.08
65.00	0.17	127.00	105.41	10.00	64.00	24.71
70.00	0.18	138.50	114.96	10.00	64.00	26.94
75.00	0.19	153.50	127.41	10.00	64.00	29.86
80.00	0.20	166.00	137.78	10.00	64.00	32.29
<b>85.00</b>	<b>0.22</b>	<b>168.00</b>	<b>139.44</b>	<b>10.00</b>	<b>64.00</b>	<b>32.68</b>
90.00	0.23	100.00	83.00	10.00	64.00	19.45

Fuente: Elaboración propia (2016).

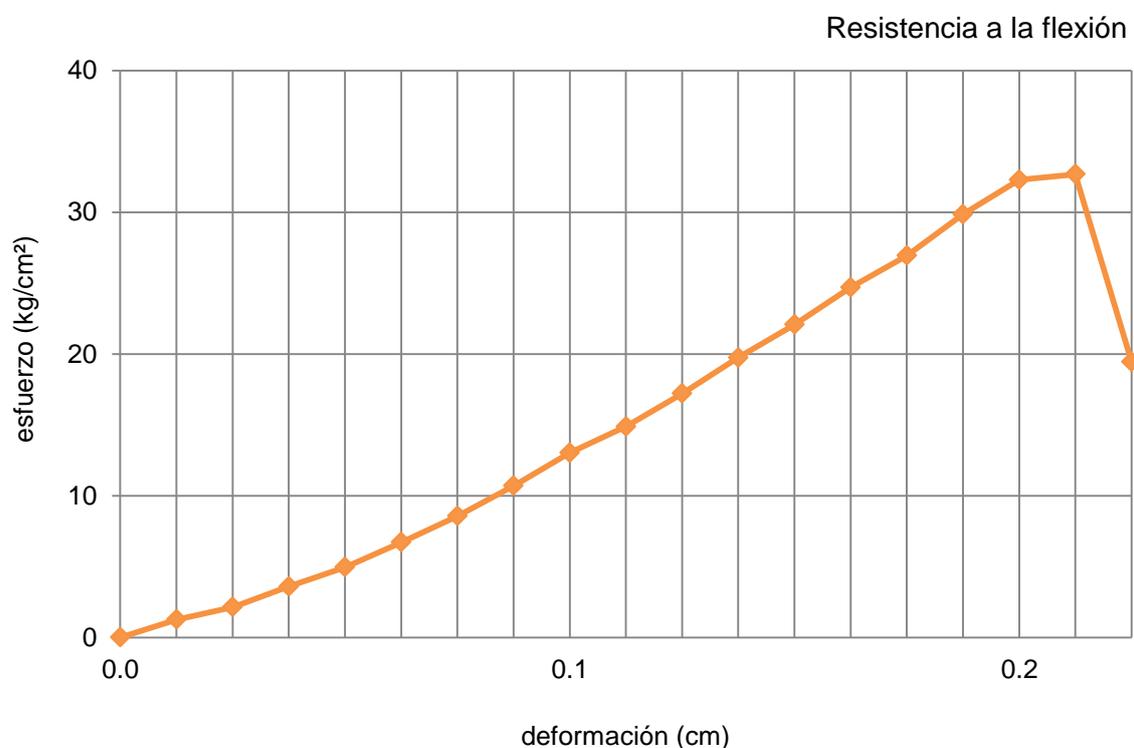


Ilustración 348. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-F7.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2.2. Procedimiento operatorio a flexión M-ISO-F14.



Ilustración 349. Espécimen M-ISO-F14 seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 350. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 351-352. Fisuración del espécimen M-ISO-F14 dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-ISO-F14 a los 14 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 73 y graficados en la ilustración 353.

Tabla 73

*Datos y resultados del espécimen M-ISO-F14.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-F14	4.05	16.05	4.20	65.00	273.01	612.61

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

Resultados en la máquina de ensayo						
					Constante del anillo	0.83
					Constante de fórmula	1.50
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	65.00	0.00
10.00	0.03	6.00	4.98	10.00	65.00	1.15
20.00	0.05	17.00	14.11	10.00	65.00	3.26
30.00	0.08	31.00	25.73	10.00	65.00	5.94
40.00	0.10	51.50	42.75	10.00	65.00	9.86
50.00	0.13	74.50	61.84	10.00	65.00	14.27
60.00	0.15	102.00	84.66	10.00	65.00	19.54
65.00	0.17	116.00	96.28	10.00	65.00	22.22
70.00	0.18	126.00	104.58	10.00	65.00	24.13
75.00	0.19	148.00	122.84	10.00	65.00	28.35
80.00	0.20	158.00	131.14	10.00	65.00	30.26
85.00	0.22	173.00	143.59	10.00	65.00	33.13
90.00	0.23	184.50	153.14	10.00	65.00	35.34
<b>95.00</b>	<b>0.24</b>	<b>193.00</b>	<b>160.19</b>	<b>10.00</b>	<b>65.00</b>	<b>36.97</b>
100.00	0.25	70.00	58.10	10.00	65.00	13.41

Fuente: Elaboración propia (2016).

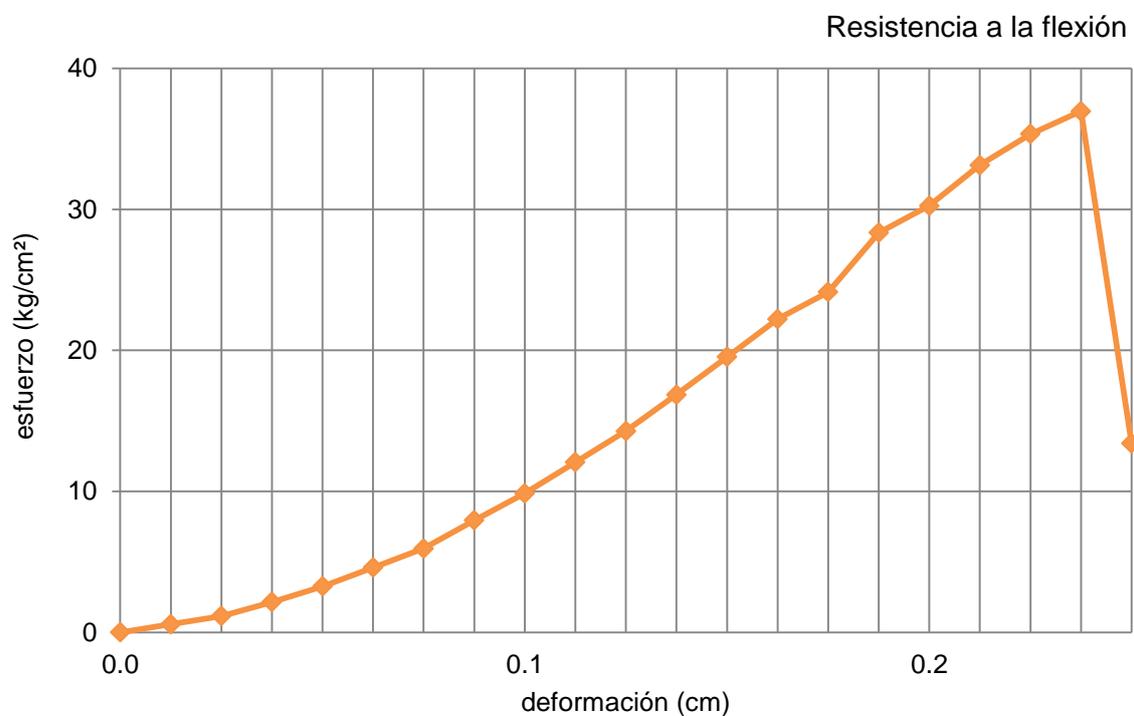


Ilustración 354. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-F14.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2.3. Procedimiento operatorio a flexión M-ISO-F28.



Ilustración 355. Especimen M-ISO-F28 seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 356. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 357-358. Fisuración del espécimen M-ISO-F28 dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-ISO-F28 a los 28 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 74 y graficados en la ilustración 359.

Tabla 74

*Datos y resultados del espécimen M-ISO-F28.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-F28	4.00	16.00	4.15	64.00	265.60	599.93

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

						Constante del anillo	0.83
						Constante de fórmula	1.50
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.00	0.00	
10.00	0.03	8.50	7.06	10.00	64.00	1.65	
20.00	0.05	20.00	16.60	10.00	64.00	3.89	
30.00	0.08	33.50	27.81	10.00	64.00	6.52	
40.00	0.10	48.50	40.26	10.00	64.00	9.43	
50.00	0.13	68.50	56.86	10.00	64.00	13.33	
60.00	0.15	85.00	70.55	10.00	64.00	16.54	
70.00	0.18	105.50	87.57	10.00	64.00	20.52	
80.00	0.20	129.50	107.49	10.00	64.00	25.19	
90.00	0.23	153.00	126.99	10.00	64.00	29.76	
100.00	0.25	182.00	151.06	10.00	64.00	35.40	
110.00	0.28	212.00	175.96	10.00	64.00	41.24	
<b>115.00</b>	<b>0.29</b>	<b>221.00</b>	<b>183.43</b>	<b>10.00</b>	<b>64.00</b>	<b>42.99</b>	

Fuente: Elaboración propia (2016).

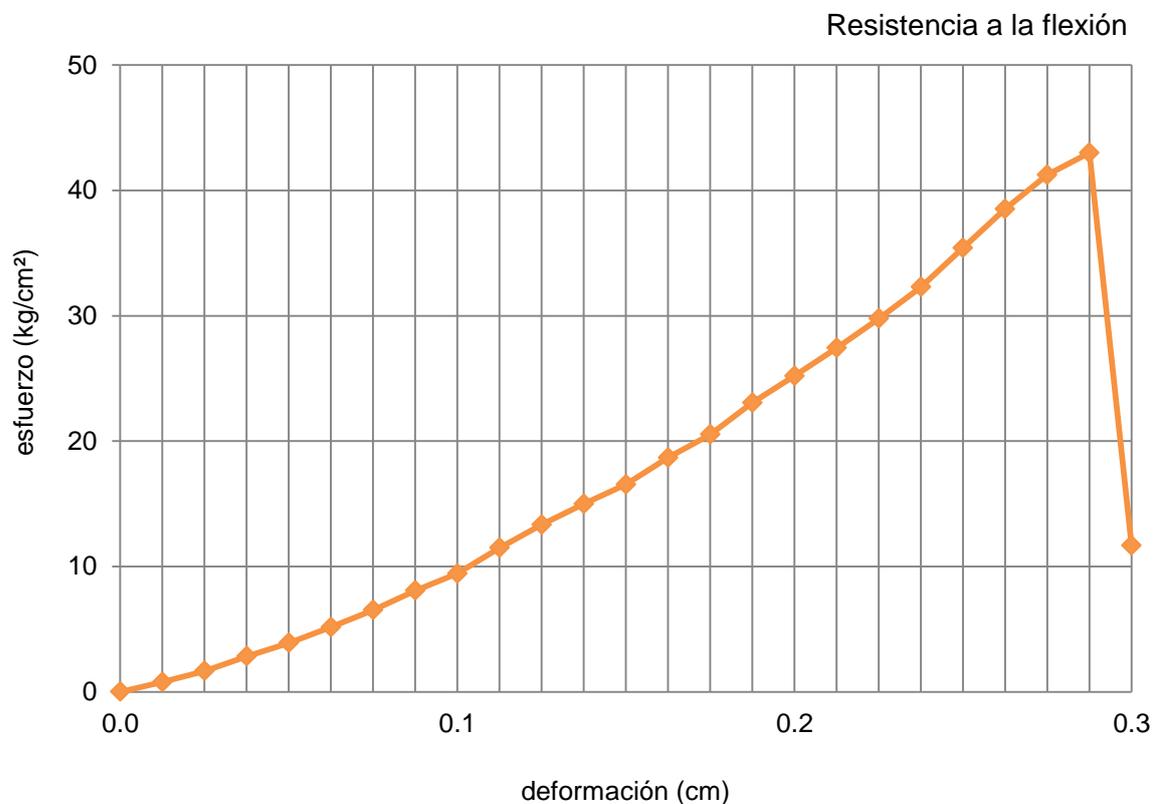


Ilustración 359. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-F28.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2.4. Resumen de resultados de morteros M-ISO-F a flexión.

Los resultados de los especímenes M-ISO aplicados a la resistencia a la flexión durante los 7, 14 y 28 días respectivamente se presentan en la tabla 75 y su posterior ilustración.



Ilustración 360. Fisuración especímenes M-ISO 7, M-ISO 14 y M-ISO 28 respectivamente.  
Fuente: Autor, 2016.

Tabla 75  
Resultados de especímenes M-ISO-F a flexión.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Deformación (cm)	Carga máx. (kg)	Rc ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Rc (MPa)
M-ISO-F7	7	562.16	2.13	0.22	139.44	32.78	3.21
M-ISO-F14	14	593.28	2.24	0.24	160.19	37.20	3.65
M-ISO-F28	28	593.40	2.26	0.29	183.43	42.99	4.22

Fuente: Elaboración propia (2016).

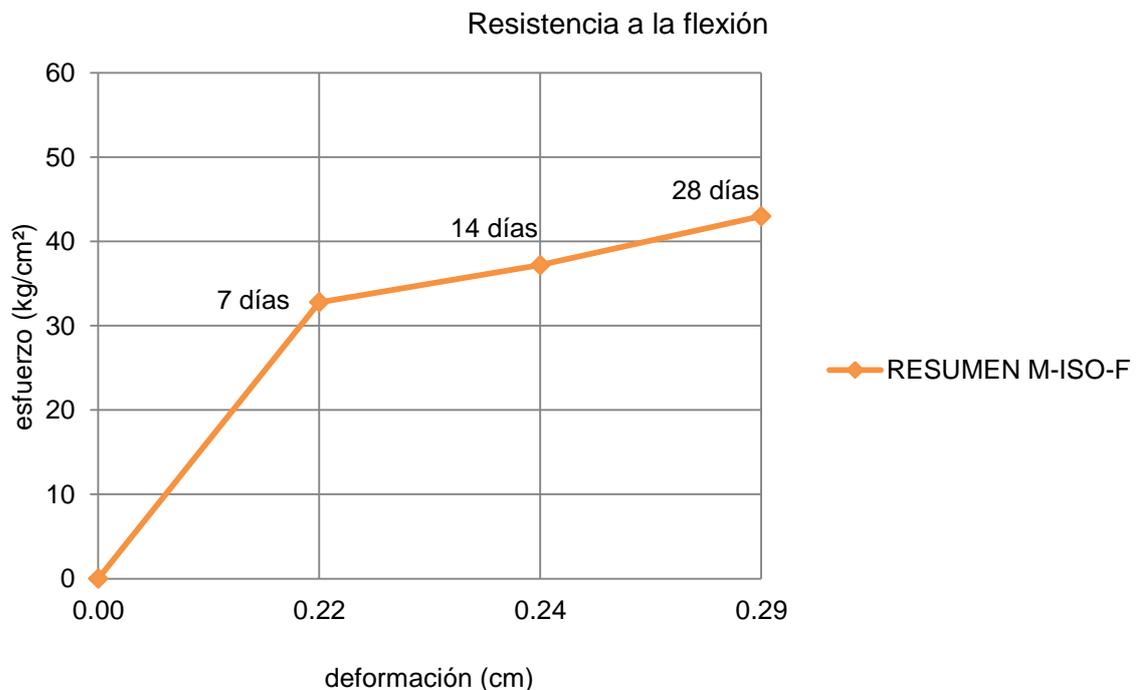


Ilustración 361. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-F probado a los 7, 14 y 28 días.  
Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2.3. Morteros a flexión tipo M-ISO-FT.

Conformados mediante árido fino, cemento y agua, con inclusión de fibra natural con tratamiento hidrófobo.

Tabla 76

Dosificación ISO-F a flexión.

Dosificación 1:3

Código muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm <sup>3</sup> )	Fibra (1%)	Aditivo (g)	Curado (días)
M-ISO-FT7	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	1.50	7
M-ISO-FT14	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	1.50	14
M-ISO-FT28	0.50	150.00	443.25	75.00	6.75	1.50	28
TOTAL	0.50	450.00	1329.75	225.00	20.25	4.50	-

El desarrollo del mezclado y curado de los especímenes se presentan a continuación:



Ilustración 362. Pesaje del cemento en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 363. Pesaje del árido fino en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 364. Pesaje de la fibra en la balanza eléctrica modelo FX-5000i.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 365. Agua + aditivo listo para ser incorporado en la mezcla.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 366. Mezcla manual entre árido fino y cemento e incorporación de la fibra a la mezcla.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 367. Colocación de la mezcla en sus respectivos moldes.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 368. Colocación de la mezcla en sus respectivos moldes.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 369. Moldeo final de los especímenes.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 370. Marcaje de los especímenes para identificarlos al momento de ensayarlos.

Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 371. Especímenes sumergidos completamente en agua hasta el día de ser ensayados.

Fuente: Autor, 2016.

### 3.5.2.2.3.1. Procedimiento operatorio a flexión M-ISO-FT7.



Ilustración 372. Espécimen M-ISO-F7 seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.

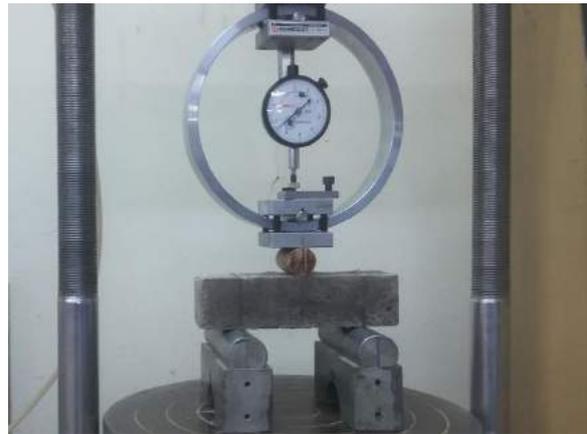


Ilustración 373. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 374-375. Fisuración del espécimen M-ISO-FT7 dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-ISO-FT7 a los 7 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 77 y graficados en la ilustración 376.

Tabla 77  
Datos y resultados del espécimen M-ISO-FT7.

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-FT7	4.05	16.00	4.30	64.80	278.64	572.67

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

				Constante del anillo		0.83	
				Constante de fórmula		1.50	
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.80	0.00	
10.00	0.03	12.50	10.38	10.00	64.80	2.40	
20.00	0.05	29.80	24.73	10.00	64.80	5.73	
25.00	0.06	41.00	34.03	10.00	64.80	7.88	
30.00	0.08	51.50	42.75	10.00	64.80	9.89	
35.00	0.09	63.00	52.29	10.00	64.80	12.10	
40.00	0.10	71.50	59.35	10.00	64.80	13.74	
45.00	0.11	83.00	68.89	10.00	64.80	15.95	
50.00	0.13	95.50	79.27	10.00	64.80	18.35	
55.00	0.14	109.00	90.47	10.00	64.80	20.94	
60.00	0.15	120.50	100.02	10.00	64.80	23.15	
65.00	0.17	130.00	107.90	10.00	64.80	24.98	
<b>70.00</b>	<b>0.18</b>	<b>137.00</b>	<b>113.71</b>	<b>10.00</b>	<b>64.80</b>	<b>26.32</b>	
75.00	0.19	80.00	66.40	10.00	64.80	15.37	

Fuente: Elaboración propia (2016).

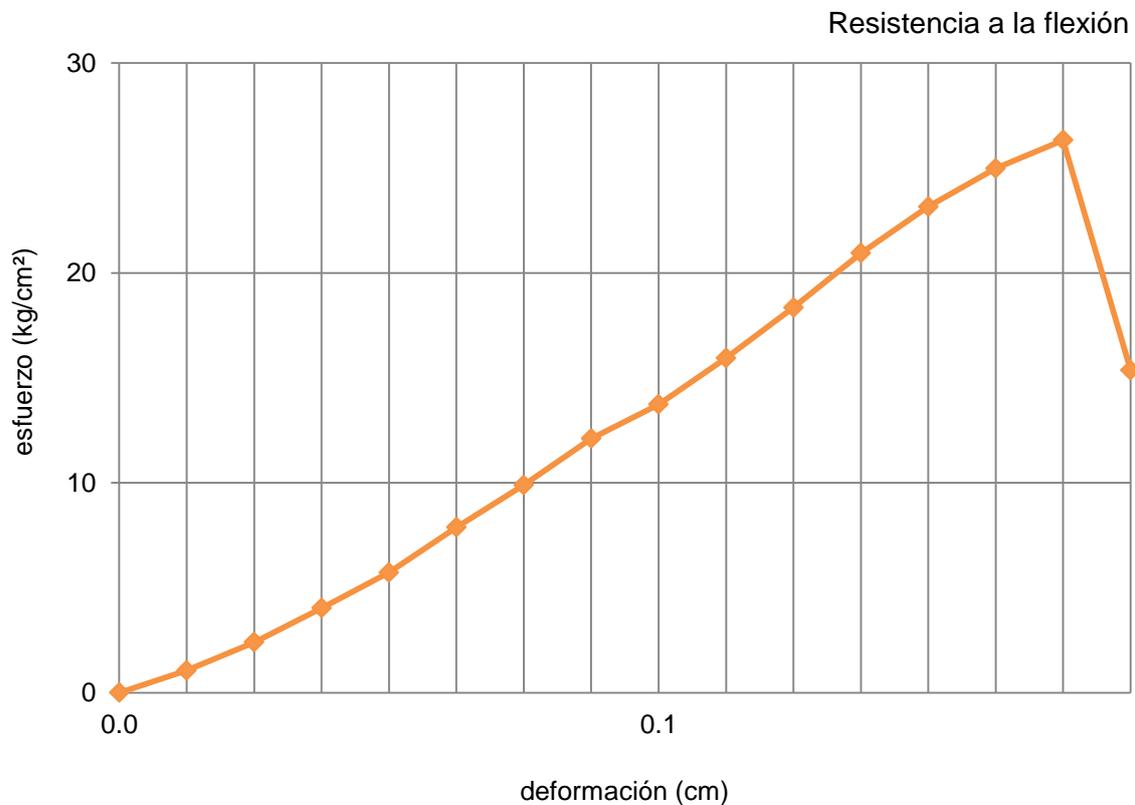


Ilustración 376. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-FT7.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2.3.2. Procedimiento operatorio a flexión M-ISO-FT14.



Ilustración 377. Especimen M-ISO-FT14 seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.

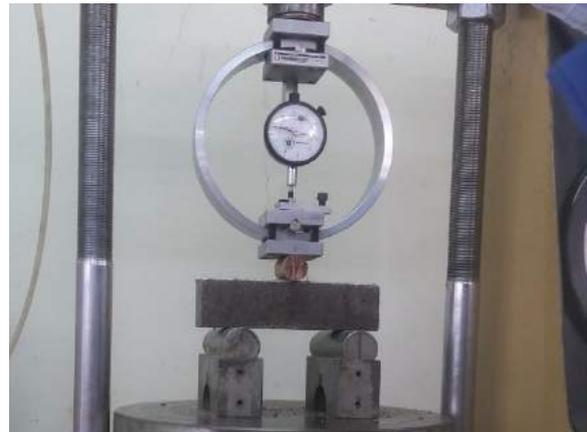


Ilustración 378. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 379-380. Fisuración del espécimen M-ISO-FT14 dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-ISO-FT14 a los 14 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 78 y graficados en la ilustración 381.

Tabla 78  
*Datos y resultados del espécimen M-ISO-FT14.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-FT14	4.05	16.00	4.30	64.80	278.64	584.52

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

				Constante del anillo		0.83	
				Constante de fórmula		1.50	
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.80	0.00	
10.00	0.03	7.00	5.81	10.00	64.80	1.34	
20.00	0.05	15.00	12.45	10.00	64.80	2.88	
30.00	0.08	30.00	24.90	10.00	64.80	5.76	
40.00	0.10	53.00	43.99	10.00	64.80	10.18	
45.00	0.11	66.50	55.20	10.00	64.80	12.78	
50.00	0.13	79.00	65.57	10.00	64.80	15.18	
55.00	0.14	94.00	78.02	10.00	64.80	18.06	
60.00	0.15	108.50	90.06	10.00	64.80	20.85	
65.00	0.17	123.00	102.09	10.00	64.80	23.63	
70.00	0.18	138.00	114.54	10.00	64.80	26.51	
85.00	0.22	157.00	130.31	10.00	64.80	30.16	
90.00	0.23	172.00	142.76	10.00	64.80	33.05	
<b>95.00</b>	0.24	186.00	154.38	10.00	64.80	35.74	
<b>100.00</b>	<b>0.25</b>	<b>198.00</b>	<b>164.34</b>	<b>10.00</b>	64.80	<b>38.04</b>	
105.00	0.27	127.00	105.41	10.00	64.80	24.40	

Fuente: Elaboración propia (2016).

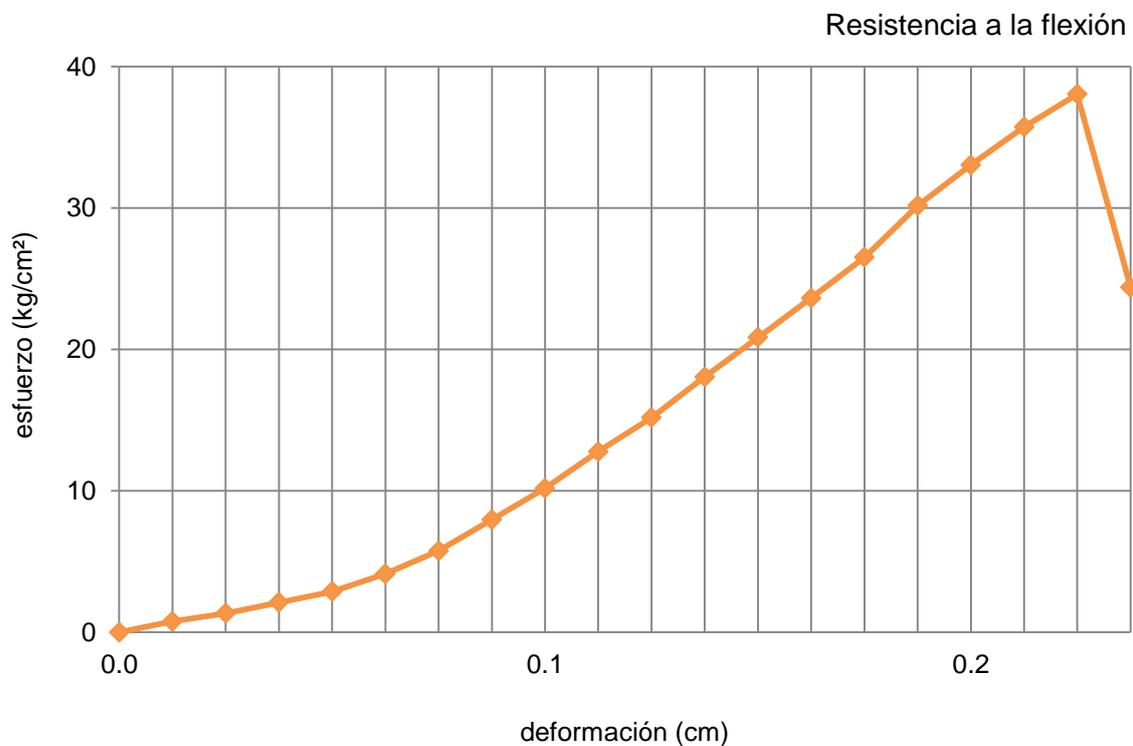


Ilustración 381. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-FT14.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2.3.3. Procedimiento operatorio a flexión M-ISO-FT28.



Ilustración 382. Especimen M-ISO-FT28 seco listo para ser ensayado.  
Fuente: Autor, 2016.



Ilustración 383. Sometimiento del espécimen a carga dentro de la máquina de ensayo.  
Fuente: Autor, 2016.

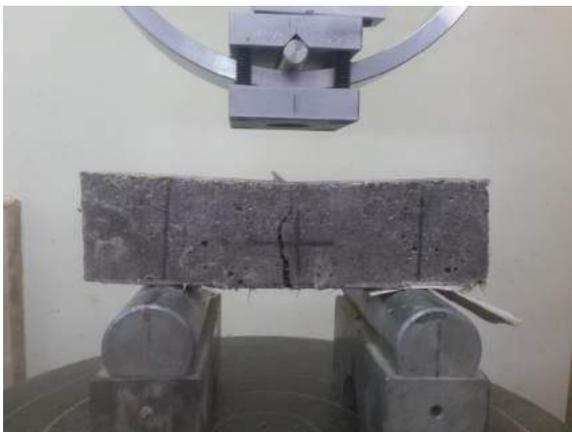


Ilustración 384-385. Fisuración del espécimen M-ISO-FT28 dentro de la máquina triaxial.  
Fuente: Autor, 2016.

Realizado el ensayo a flexión del espécimen M-ISO-FT28 a los 28 días de haber permanecido sumergido en agua, sus resultados son expuestos en la tabla 79 y graficados en la ilustración 386.

Tabla 79

*Datos y resultados del espécimen M-ISO-FT28.*

Datos del espécimen						
Código	Ancho cm	Longitud cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso g
M-ISO-FT28	4.05	16.00	4.30	64.80	278.64	599.93

Supervisor: Ing. Ángel Tapia.

### Resultados en la máquina de ensayo

				Constante del anillo		0.83	
				Constante de fórmula		1.50	
Lectura de deformación	Deformación unitaria	Lectura de Carga de deformación	Carga máxima de rotura	Distancia entre apoyos	Lado de la superficie cuadrada	Resistencia a la flexión	
0.001"	cm	dv	kg	cm	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	64.80	0.00	
10.00	0.03	12.50	10.38	10.00	64.80	2.40	
20.00	0.05	31.00	25.73	10.00	64.80	5.96	
30.00	0.08	55.00	45.65	10.00	64.80	10.57	
40.00	0.10	80.00	66.40	10.00	64.80	15.37	
50.00	0.13	111.00	92.13	10.00	64.80	21.33	
55.00	0.14	126.00	104.58	10.00	64.80	24.21	
60.00	0.15	142.00	117.86	10.00	64.80	27.28	
65.00	0.17	158.00	131.14	10.00	64.80	30.36	
70.00	0.18	177.00	146.91	10.00	64.80	34.01	
75.00	0.19	193.50	160.61	10.00	64.80	37.18	
80.00	0.20	210.00	174.30	10.00	64.80	40.35	
<b>85.00</b>	<b>0.22</b>	<b>224.00</b>	<b>185.92</b>	<b>10.00</b>	<b>64.80</b>	<b>43.04</b>	
90.00	0.23	60.00	49.80	10.00	64.80	11.53	

Fuente: Elaboración propia (2016).

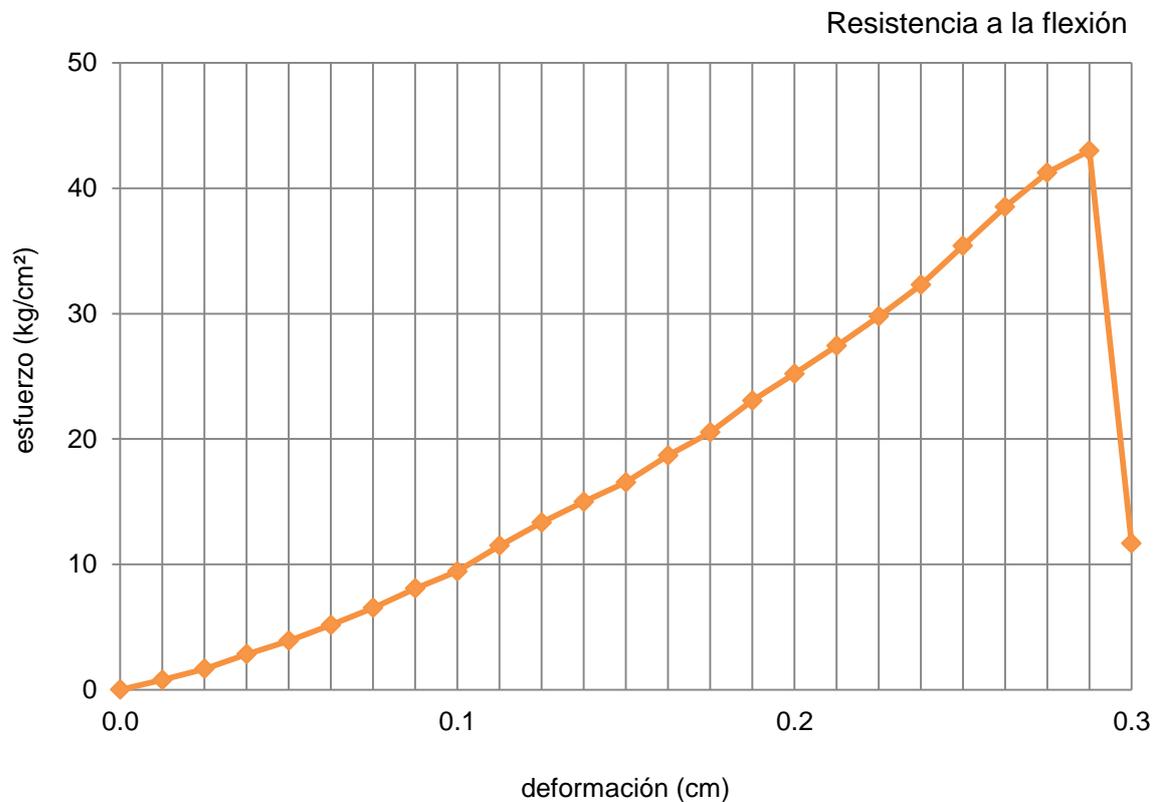


Ilustración 386. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-FT28.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.5.2.2.3.4. Resumen de resultados de morteros M-ISO-FT a flexión.

Los resultados de los especímenes M-ISO-FT aplicados a resistencia a la flexión durante los 7, 14 y 28 días respectivamente se presentan en la tabla 80 y su posterior ilustración.



Ilustración 387. Fisuración especímenes M-ISO-FT7, M-ISO-FT14 y M-ISO-FT 28.

Fuente: Autor, 2016.

Tabla 80

Resultados de especímenes M-ISO-FT a flexión.

Código de muestra	Curado (días)	Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Deformación (cm)	Carga máx. (kg)	Rc (kg/cm <sup>2</sup> )	Rc (MPa)
M-ISO-FT7	7	572.67	2.06	0.18	113.71	26.32	2.58
M-ISO-FT14	14	584.52	2.10	0.25	164.34	38.04	3.73
M-ISO-FT28	28	596.55	2.14	0.22	185.92	43.04	4.22

Fuente: Elaboración propia (2016).

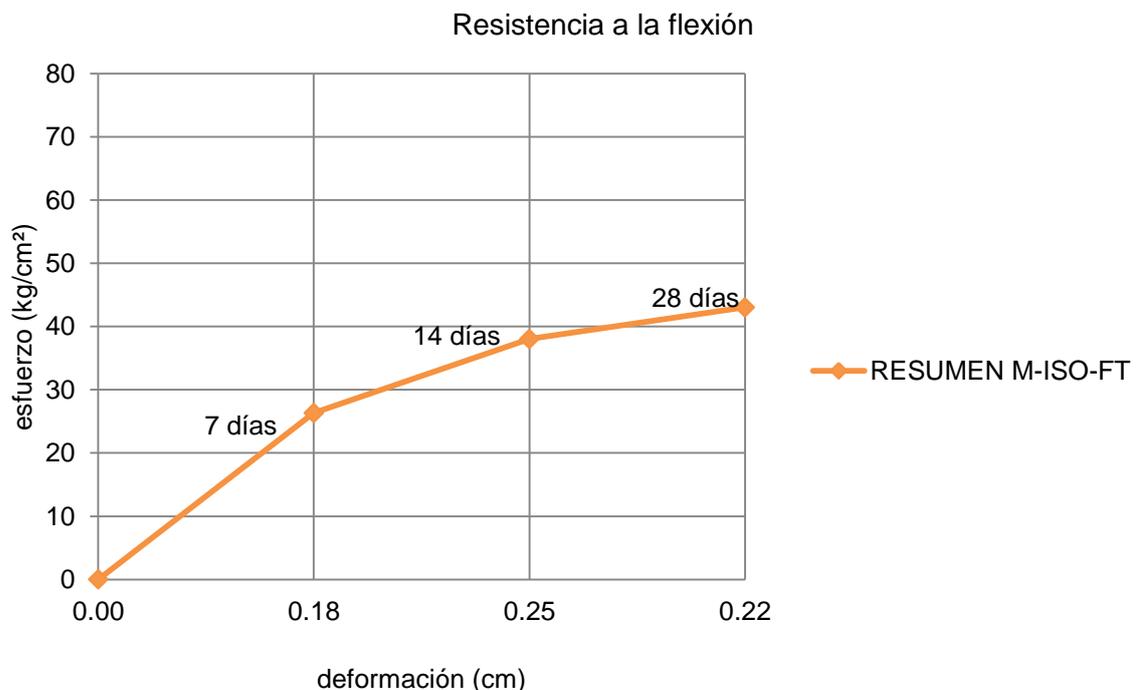


Ilustración 388. Gráfica de resultados del espécimen M-ISO-FT probado a los 7, 14 y 28 días.

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.6. Pruebas físicas en el laboratorio.

#### 3.6.1. Ensayos de densidad, contenido de humedad y absorción.

Para el desarrollo del siguiente proceso en cuanto el cálculo de las tres propiedades enunciadas, la investigación se basó en documentos científicos como la de Mayor P. Olivares F. (2007), donde regidos a las normas españolas concretamente las UNE-EN 1015-2:1999, UNE-EN 1015-10:2000, UNE-EN 1015-18:2003 y también el estudio de Vargas L. (2007) basado en la ASTM C-1185 (1995), logrando así fundamentar el respectivo proceso experimental.

Para el procedimiento se tomó en cuenta los especímenes conformados por cubos de 50 x 50x 50 mm de arista, los mismos que luego de haber terminado su día de curado en sus respectivos encofrados y a temperatura ambiente se los peso obteniendo su peso inicial ( $P_i$ ). Luego fueron puestos a secar dentro de uno de los hornos con los que cuentan en el Laboratorio de suelos del Departamento de Ingeniería Civil de la UTPL durante 24 horas llegando a obtener su peso desecado ( $P_d$ ), para luego ser sumergido completamente en agua durante 24 horas más obteniendo su peso nuevamente ( $P_s$ ). Todos los especímenes fueron pesados en la balanza electrónica que se especifica en el 3.3.3. del capítulo 2.

Los especímenes tomados para realizar estos ensayos fueron los que estuvieron programados para ensayarse a los 7 días, escogiendo así un espécimen por cada tipo de mortero a realizarse, en total fueron 6 especímenes puestos a prueba para conocer sus diferentes propiedades, de los cuales 3 pertenecieron a los morteros tipo M-NTE y 3 a los morteros tipo M-ISO.

Entonces, la densidad fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{P_d}{V}$$

Dónde:

$\rho$  = densidad del mortero, g/cm<sup>3</sup>,  
 $P_d$  = peso desecado del espécimen, g,  
 $V$  = volumen del espécimen, cm<sup>3</sup>.

La fórmula para el cálculo del contenido de humedad de los especímenes se plantea:

$$Hum = 100 \left[ \frac{(P_i - P_d)}{P_d} \right]$$

Dónde:

Hum = contenido de humedad, %,  
 $P_i$  = peso inicial del espécimen, g,  
 $P_d$  = peso desecado del espécimen, g,

El grado de absorción de los especímenes fue calculado con la siguiente fórmula:

$$Abs = 100 \left[ \frac{(P_s - P_d)}{P_d} \right]$$

Dónde:

- Abs = absorción de los especímenes, %,
- $P_s$  = peso saturado del espécimen, g,
- $P_d$  = peso desecado del espécimen, g,

Con la ayuda de las siguientes ilustraciones se puede observar la manera en la que se procedió a realizar los diferentes procesos para obtener sus pesos en estado inicial, desecado y saturado.



Ilustración 389. Especímenes en sus respectivos encofrados.  
Fuente: Autor, 2017.



Ilustración 390. Especímenes desencofrados y listos para obtener su peso inicial.  
Fuente: Autor, 2017.



Ilustración 391. Especímenes colocados dentro del horno durante 24 horas.  
Fuente: Autor, 2017.



Ilustración 392. Especímenes sumergidos en agua hasta su totalidad durante 24 horas.  
Fuente: Autor, 2017.

A continuación se realizó la respectiva tabulación con todos los resultados obtenidos representándose en la tabla 81, para calcular las propiedades antes anunciadas:

Tabla 81

*Resultados de pruebas físicas de los especímenes.*

<b>Código de muestra</b>	<b>Peso inicial</b> g	<b>Peso desecado</b> g	<b>Peso saturado</b> g	<b>Volumen</b> g/cm <sup>3</sup>	<b>Densidad</b> g/cm <sup>3</sup>	<b>Humedad</b> (%)	<b>Absorción</b> (%)
M-NTE	263.28	251.99	271.40	130.06	1.94	4.48	7.70
M-NTE-F	258.46	243.23	271.65	128.52	1.89	6.26	11.68
M-NTE-FT	284.03	276.84	295.82	133.67	2.07	2.60	6.86
M-ISO	269.54	256.55	277.40	128.01	2.00	5.06	8.13
M-ISO-F	253.79	246.91	271.78	129.53	1.91	2.79	10.07
M-ISO-FT	270.62	261.29	286.08	132.91	1.97	3.57	9.49

Fuente: Autor, 2017.

## CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como finalidad analizar el comportamiento de la fibra natural dentro de compuestos como el mortero para su desempeño en la construcción, para esto fue necesario caracterizar cada espécimen a pruebas mecánicas de resistencia y físicas. De igual manera se analizó comparaciones entre morteros desarrollados sin el uso de la fibra como componente y los morteros desarrollados con la inclusión del 1% de fibra en relación al total en peso de la mezcla, para esto se realizó diferentes curados de los especímenes a 7, 14 y 28 días, presentándose las siguientes conclusiones:

- Los especímenes conformados a partir de fibra tratada y no tratada de 2 mm de longitud, aumentan sus propiedades mecánicas las cuales alcanzan valores frente a la resistencia a la compresión entre 89.67 y 124.95 kg/cm<sup>3</sup> en cuanto pertenecen a los morteros tipo NTE y los morteros tipo ISO presentan valores entre 95.10 kg/cm<sup>3</sup> y 175.72 kg/cm<sup>3</sup>, valores que superan a la de los especímenes conformados sin fibra tanto para tipo NTE e ISO.
- Los diferentes especímenes compuestos a base de fibra no tratada absorben una mayor cantidad de agua en relación a los especímenes compuestos por fibra tratada.
- La absorción de agua entre los especímenes conformados sin la inclusión de fibra y los conformados por fibra tratada se mantiene con valores similares.
- La sustancia química empleada en este caso es la Parafina sólida, funcionó correctamente con su objetivo de impermeabilizar la fibra evitando que esta absorba agua, y por ende, su durabilidad será mayor que la fibra no tratada ya que esta con la humedad interna del composite se vendrá a descomponer.
- También se trabajó con parafina líquida como medio protector de la fibra pero en este caso la adherencia con la matriz no era la más adecuada.
- El esfuerzo máximo a la flexión en los especímenes reforzados con fibra disminuyeron, en relación a los especímenes que no cuentan con la fibra entre sus componentes aunque la función principal de la fibra si se cumple evitando la ruptura abrupta del espécimen.
- En cuanto a la relación agua/cemento empleado para los dos tipos de morteros NTE e ISO, produce una mezcla muy seca provocando una gran cantidad de porosidad en los especímenes, es por esto que se optó el empleo de un aditivo químico de acuerdo a sus cualidades con el fin de ayudar a mejorar la consistencia de la mezcla y sus resistencias.
- La trabajabilidad de la fibra de abacá en morteros con el dimensionamiento de 20 mm de longitud, resultó un poco complejo al momento de incorporarla en el resto de la mezcla. Pero su trabajabilidad fue considerada debido a que su fractura en flexión no fue abrupta como en los especímenes que no cuentan con fibra dentro de su composición, debido a que la fibra conforma un cuerpo elástico dentro del compuesto evitando la propagación de grietas.
- Sobre los moldes que no son estándar, es decir, hechos a medidas similares que los estándar, constatar que cumple con las mismas evitando aumento de dimensiones que provocarán errores al final del proceso.
- Aprovechar la materia prima de fibras vegetales presentes en nuestro país en la innovación de procesos constructivos sustentables, permitiendo construcciones de bajo costo en comparación con las convencionales o construcciones que emplean materiales compuestos a partir de fibras sintéticas.

## RECOMENDACIONES

Las respectivas recomendaciones acerca del presente trabajo investigativo se dan debido a la importancia que tiene el desarrollo de nuevos materiales aprovechando los recursos propios del país.

- Las dimensiones de los encofrados deben de estar regidas a las respectivas normas que garanticen su uso, para no alterar los resultados.
- Trabajar con la misma relación a/c, tanto para morteros sin fibra como morteros con fibra para evitar alteraciones al momento de ser ensayados y así poder realizar comparaciones válidas.
- Al momento de incorporar la fibra sea tratada o no tratada en la mezcla, remover lo máximo posible con la finalidad de que sea una mezcla homogénea evitando formaciones de grumos con el árido y cemento.
- Debido a los diferentes climas y ecosistemas favorables para la producción de fibras vegetales no solo de abacá, podrían ser producidas en gran escala aumentando la producción agrícola de las mismas y emplearlas en diferentes materiales biodegradables para la construcción específicamente, motivando a la industrialización de las mismas.
- Investigar el mismo uso de la fibra de abacá para morteros pero en longitudes menores a 20 mm con la finalidad de mejorar la manejabilidad dentro de la mezcla con el resto de materiales.
- El lugar donde se dejó a curar los especímenes debe de estar libre de polvo, aceites y demás sustancias para que no contaminen el agua de los recipientes donde se encuentran los especímenes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cerón Álvaro (2006). Estudio de factibilidad para implementar una empresa de exportación de fibra de abacá (Trabajo de fin de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Colonna Pau (2010). *La química verde*. Zaragoza, España. Editorial Acribia.
- Edwards Brian (2004). *Guía básica de la sostenibilidad*. Barcelona, España. Gustavo Gili.
- Maiti, Ratikanta (1995). *Fibras vegetales en el mundo - Aspectos botánicos, calidad y utilidad*. Primera edición. México D. F, México. Editorial Trillas.
- Sanchez Alberto (1990). *Cultivo de fibras*. México D.F., México. Editorial Trillas.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017*. Primera edición. Quito, Ecuador.
- Sousa Combe Lourdes (2011). *Limpieza verde y sustentable: conceptos básicos y beneficios*.

### Portales electrónicos:

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2004). *Ley de Gestión Ambiental, Codificación*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). *Acuerdo Ministerial 027*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/06/Acuerdo-Ministerial-027.pdf>

### Simposios y conferencias:

- Maldonado, L., (2000). *Situación actual de la producción y comercialización de abacá en el Ecuador*. Primer Encuentro Nacional de productores y artesanos de fibras naturales: Memorias Técnicas, [http://biblioteca.espe.edu.ec/upload/Memorias\\_Tecnicas.pdf](http://biblioteca.espe.edu.ec/upload/Memorias_Tecnicas.pdf) (Diciembre, 2009).
- Mayor P., Hernández F. (mayo de 2007). *Determinación por procedimientos físico mecánicos de la dosificación de agua en morteros monocapa. Análisis predictivo de fisuraciones*. I Jornada Nacional de Investigación en Edificación. Madrid, España.

### Artículos científicos:

- Arbeláez, A. (1997). Morteros reforzados con fibras de bambú. *Revista Fac. Nal. Agr. Medellín*. Vol. 50, No. 2. p. 131-151.

- Bledzki A., Al-mamun A., Faruk O. (2007). Abaca fibre reinforced PP composites and comparison with jute and flax fibre PP composites. *eXPRESS Polymer Letters* Vol.1, No.11 (2007) 755–762.
- Bledzki A.K., Jaszkiwicz A. (2010). "Mechanical performance of biocomposites based on PLA and PHBV reinforced with natural fibres - A comparative study to PP." *Composites Science and Technology*, 2010: 1687-1696.
- Cadima M., Rosas J., Aguirre F. (2005). Comportamiento de hormigones reforzados con y sin fibras. *Investigación & Desarrollo*, No. 5, pp. 61-74. Recuperado de: <http://www.upb.edu/sites/default/files/6CadimaN5.pdf>
- Costa R., Orriols R. (2012). Fibras minerales artificiales y aparato respiratorio. *Arch Bronconeumol*, 48(12): 460-468.
- Fallis, A. . (2013). Fibras de Abacá en Concreto. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gaspar-Tebar (1985). Aditivos para hormigones, morteros y pastas. *Materiales de Construcción*, Vol. 35, No. 200, p. 69-77.
- González M., Astudillo J., Bozo A., Silva R. (n.d.). Estudio Experimental de un material fibrocemento utilizando fibras de rastrojos de trigo. p. 1-22.
- Guevara G., Hidalgo C., Pizarro M., Rodríguez I., Rojas L., Segura G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en Marcha*, Vol. 25, No. 2, p. 80-86.
- Juárez C. (2002). Concretos base Cemento Portland Reforzados con Fibras Naturales (agave lechuguilla), como materiales para construcción en México (tesis de grado). Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, N. L., México.
- Juárez C., Rodríguez P. (2004). Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. *Ingenierías*, Vol. 7, No. 22, p. 7-19.
- López L, Sarmiento A., Fajardo J., Valarezo L., Zuluaga R. (2013). Determinación del porcentaje de humedad, solubles e insolubles en agua de la fibra de Carludovica Palmata (paja toquilla). *Ingenius*, No. 9, p. 23-27.
- Mata Francisco (2010). La Selección Sostenible de los Materiales de Construcción. *Investigación & Desarrollo*, No. 8, pp. 3-16. Recuperado de: [http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD10\\_001.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD10_001.pdf)
- Macía Manuel (2006). Las plantas de fibra. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, p. 370-384.
- Macías J., Díaz J. (1994). Composición de hormigones y morteros con fibras de Henequén. p. 1-11.

- Vargas, B. (2007). Industrialización de la construcción para la vivienda social. *Revista Nodo*, 2(3).
- Olivares M., Galán C., Roa J. (2003). Composites: characteristics and applications in building construction, Vol. 54, n° 484, pp. 45-62.
- Osorio J, Varón F, and Herrera J. (2007). Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. *Dyna*, Vol. 74. No. 153, pp 69-79. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v74n153/a08v74n153.pdf>
- Ponce S., Guerrero V. (2014). Propiedades mecánicas de compuestos biodegradables elaborados a base de ácido poliláctico reforzados con fibras de abacá. *Revista EPN*, Vol. 33, n° 2.
- Pontón P., Guerrero V. (2010). Obtención de Materiales Compuestos de Matriz Poliéster reforzados con Fibra de Abacá mediante Estratificación manual. *Revista Tecnológica ESPOL*. Vol 23. No. 3, pp. 47-54.
- Puertas F., Amat T., Vázquez T. (2000). Comportamiento de morteros de cementos alcalinos reforzados con fibras acrílicas y de polipropileno. *Materiales de Construcción*, Vol. 50, No. 259, p. 69-84.
- Reynaldo M. Pablo, Jr., PhD (2011). "Natural Organic Fiber Meshes as Reinforcements in Cement Mortar Matrix." *Fort Wayne*, Vol. 108, No. 302.
- Salas, J., & Oteiza, I. (2009). Estrategias divergentes de industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible. *Informes de la Construcción*, 61(513), p. 11-31.

#### Tesis y trabajos de grado:

- Ojeda Galo (2012). Teñido de fibra de abacá (*Musa textilis*) utilizando colorante extraído de la cochinilla (*Dactylopius coccus Costa*) (Trabajo de fin de titulación). UTPL, Loja.
- Vargas L. (2007). *Uso de fibras de papel periódico, cal hidratada y alumbre, en la elaboración de un material compuesto* (tesis de grado). Universidad de Colima, Coquimatlán, México.

#### Normas Técnicas Estadounidenses.

- ACI Committee 544; (2002). State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI 544.1R-96. American Concrete Institute, November.
- ASTM C348 – 02 (2002). Standard test method for flexural strength of hydraulic – cement mortars.
- ASTM C494/C494M – 08a (2008). Especificación Normalizada de aditivos químicos para concreto. p. 10.

- ASTM C1185-95a (1995). Standard test methods for sampling and testing non-asbestos fiber-cement flat sheet roofing and siding singles and clapboards.

#### Normas Técnicas Ecuatorianas.

- NTE INEN 0151 (2010): Cemento Hidráulico. Definición de términos.
- NTE INEN 0154 (1987): Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas.
- NTE INEN 0198 (1987): Cementos. Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros.
- NTE INEN 0488 (2009): Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.
- NTE INEN 0490 (2011): Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos.
- NTE INEN 0696 (2011): Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.
- NTE INEN 0694 (2010): Hormigones y áridos para elaborar hormigón. Terminología.
- NTE INEN 0804 (1987): Prevención de incendios. Determinación de la resistencia al fuego de elementos constructivos.
- NTE INEN 0873 (2009): Arena normalizada. Requisitos.
- NTE INEN 2652 (2012): Cemento Hidráulico. Determinación de la Finura del Cemento Hidráulico y Materia Prima mediante los Tamices de 300 um (No. 50), 150 um (No. 100) y 75 um (No. 200), por el Método Húmedo.
- NTE INEN 2518 (2010): Morteros para unidades de mampostería. Requisitos.
- NTE INEN 2563 (2011): Morteros. Evaluación Previa A La Construcción Y Durante La Construcción De Morteros Para Mampostería Simple Y Reforzada.
- NTE INEN 2615 (2012): Cemento para mortero. Requisitos.
- NTE INEN 2502 (2009): Cemento hidráulico. Determinación del flujo en morteros.
- NTE INEN 2504 (2009): Mortero y hormigón. Determinación del cambio de longitud del mortero y del hormigón endurecido.
- NTE INEN 2536 (2010): Áridos para uso en morteros para mampostería. Requisitos.

#### Normas Técnicas Españolas.

- UNE-EN 1015-2 (1999): Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo.

- UNE-EN 1015-10 (2000): Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido.
- UNE-EN 1015-18 (2003): Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido.