

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL MORTERO REFORZADO
CON FIBRA DE COCO Y MODIFICADO CON ÓXIDO DE HIERRO

LUIS ROBERTO QUIRÓS RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE MORFOLOGÍA EXPERIMENTAL
MEDELLÍN
2018

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL MORTERO REFORZADO
CON FIBRA DE COCO Y MODIFICADO CON ÓXIDO DE HIERRO

LUIS ROBERTO QUIRÓS RODRÍGUEZ

Trabajo de grado para optar al título de Licenciatura en Diseño Industrial

Asesor

Ph.D ALEJANDRO ALBERTO ZULETA GIL

MSc. DAVID ANDRÉS TORREBLANCA DÍAZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE MORFOLOGÍA EXPERIMENTAL

MEDELLÍN

2018

02/11/2018

LUIS ROBERTO QUIRÓS RODRÍGUEZ

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma Luis Roberto Quirós Rodríguez

Tabla de contenido

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. Tema general del proyecto.....	9
1.2. Características generales del proyecto de investigación.....	9
1.3. Problema de investigación identificado	9
1.3.1 Problema de investigación.....	9
1.3.2 Pregunta de investigación	11
1.3.3 Hipótesis.....	11
1.4. Elementos del problema de investigación	11
1.5. Limitaciones de la investigación: alcance y riesgos	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. MARCO DE REFERENCIA.....	13
3.1. Antecedentes	13
3.1.1. Mortero	13
3.1.2. Fibra de coco.....	14
3.1.3. Mortero reforzado con fibras.....	15
3.1.4. Óxido de hierro	16
3.1.5. Impacto ambiental de la producción de cemento y concreto	17
3.2. Estado del arte	18
3.3. Conceptualización de los elementos del problema	20
3.3.1. Tipos de fibra.....	20
3.3.2. Fibras naturales.....	20
3.3.3. Propiedades mecánicas de las fibras naturales.....	21

4.OBJETIVOS	22
4.1. Objetivo General.....	22
4.2. Objetivos Específicos.....	22
5. METODOLOGÍA.....	23
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
6.1 Elementos a tomar en cuenta en la fabricación de las probetas.....	26
6.2. Pruebas de compresión y flexión de las probetas	29
6.2.1 Pruebas de compresión.....	32
6.2.2 Pruebas de flexión.....	34
7. CONCLUSIONES	38
8. RECOMENDACIONES	39
9. BIBLIOGRAFÍA	40
10. ANEXOS	43

Listado de tablas

Tabla 1. Clasificación de las fibras naturales según su origen.....	21
Tabla 2: Clasificación de las fibras según sus propiedades	22
Tabla 3. Formulación empleada para la elaboración de los concretos.	23
Tabla 4. Lista de materiales utilizados con sus respectivos pesos.	24
Tabla 5. Primera serie de probetas realizas con mortero puro	29
Tabla 6. Primera serie de probetas realizas con mortero y cantidades de fibra baja y alta (2 y 4 % respectivamente).	30
Tabla 7. Segunda serie de probetas realizadas con mortero, cantidades de fibra baja y alta (2 y 4 % respectivamente) y óxido de hierro.	30
Tabla 8. Resultados finales y comparación entre las probetas.	31

Listado de figuras

Figura 1: Estructura del coco. Fuente: Duarte et al, 2012.	14
Figura 2: Presentaciones del óxido de hierro	17
Figura 3. Características físicas de la fibra de coco por cómo se encuentran y comercializan en el mercado colombiano.	27
Figura 4. Dispersión y distribución de la fibra en la mezcla.....	27
Figura 5. Tamaño de las probetas.....	28
Figura 6. (a) Probeta en prueba de compresión	32
Figura 7. Antes y después de la prueba de compresión.....	33
Figura 8. (a) Representación de probeta con poca cantidad de fibra en la zona del contacto, lo cual hace que la probeta se quiebre con facilidad al no ofrecer resistencia	34
Figura 9. Gráfico de las probetas de flexión con fibra baja.....	36
Figura 10. Fisura de las probetas de flexión.....	36
Figura 11. Fenómeno de fisura de 45 grados.....	37

RESUMEN

El proyecto de investigación se centró en el estudio del comportamiento mecánico de los morteros reforzados con fibra de coco y modificados con óxido de hierro, esto con el objetivo de analizar el efecto de la presencia de dichos componentes sobre las propiedades mecánicas del material obtenido. El estudio se llevó a cabo generando tres diferentes tipos de probetas, dentro de las cuales están el mortero sin refuerzo, para determinar las pruebas de flexión y compresión en promedio y usarlas como punto de comparación con las demás; mortero reforzado con fibra de coco en dos presentaciones alta (4%) y baja (2%); y un tercer tipo de muestra que consistió en una probeta con las mismas variaciones que la anterior a nivel de fibra de coco, pero en este caso se le agregó óxido de hierro a las dos presentaciones de probeta.

Para determinar las propiedades mecánicas de los materiales evaluados, se realizaron pruebas de flexión y compresión a las probetas obtenidas para definir y comparar los diferentes resultados que se obtenían.

Se encontraron resultados concordantes con las observaciones de los experimentos realizados en la bibliografía consultada en donde se evidenció que la fibra de coco y el óxido de hierro llegan a mejorar las propiedades mecánicas del mortero.

Principalmente porque la fibra bloquea la propagación de las grietas lo cual hace que el material resista de mejor manera los esfuerzos. Sin embargo, se pudo observar que mucho depende de la homogeneidad de la dispersión de las fibras dentro de la probeta, debido a que hubo ensayos de flexión en los que la probeta ejerció nula resistencia a los esfuerzos y cuyo fenómeno se recomienda que sea estudio de investigaciones futuras.

PALABRAS CLAVE: MORTERO REFORZADO, FIBRA DE COCO, ÓXIDO DE HIERRO, SOSTENIBILIDAD.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación se centró en el estudio del comportamiento mecánico de los morteros reforzados con fibra de coco y modificados con óxido de hierro, esto con el objetivo de analizar el efecto de la presencia de dichos componentes sobre las propiedades mecánicas del material obtenido.

El estudio se llevó a cabo generando tres diferentes tipos de probetas, dentro de las cuales están el mortero sin refuerzo, para aplicar las pruebas de flexión y compresión en promedio y usarlas como punto de comparación con las demás; mortero reforzado con fibra de coco en dos presentaciones alta (4%) y baja (2%); y un tercer tipo de probeta que consistió en una probeta con las mismas variaciones que la anterior a nivel de fibra de coco, pero en este caso se le agregó óxido de hierro a las dos presentaciones de probeta.

Para determinar las propiedades mecánicas de los materiales evaluados, se realizaron pruebas de flexión y compresión a las probetas obtenidas. Esto, con el fin de definir y comparar los diferentes resultados que se obtenían con las diversas presentaciones del mortero reforzado con fibra de coco y modificado con óxido de hierro, en proporciones de 2% y 4% para la fibra y una relación de 1: 0,125 para el óxido.

La intención del proyecto es la de determinar qué tipo de composición podía otorgar la mejor resistencia mecánica del mortero ante la flexión y la compresión, esto con el objetivo de que el material se pueda utilizar en diferentes aplicaciones del diseño industrial y en donde, dichas mejoras mecánicas, puedan otorgar nuevas posibilidades de diseño a nivel morfológico.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Tema general del proyecto

Materiales sostenibles. El proyecto en sí busca evaluar el comportamiento mecánico de morteros reforzados con fibra de coco y modificados con óxido de hierro.

1.2. Características generales del proyecto de investigación

El proyecto consistió en una experimentación cuantitativa en la cual se caracterizaron las propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibra de coco a los cuales también se les realizó la adición de óxido de hierro, con el fin de pigmentarlo y observar el efecto de dicha adición sobre las propiedades mecánicas del mismo. Para lograrlo se realizaron una serie de probetas en las cuales se probaron las diferentes cantidades de fibra de coco, esto con el objetivo de poder determinar qué composición otorgaba mejor refuerzo al mortero. A los materiales obtenidos se les realizaron pruebas de compresión y flexión con el fin de determinar sus características mecánicas.

1.3. Problema de investigación identificado

1.3.1 Problema de investigación

El mortero convencional (mezcla de agua, arena y cemento) genera un gran problema ambiental debido a que su industria produce una gran cantidad de dióxido de carbono (CO_2) a la hora de su producción (cemento). Sumado a esto el sector de la construcción es de los sectores que más contamina a nivel mundial en materia de huella de carbono y uso de energía, lo cual ha hecho que se busque disminuir la cantidad de mortero utilizado. Para esto el uso de fibras naturales como

complemento funciona de gran manera debido a que ayuda a generar mortero reforzado más sostenible, en donde la cantidad de cemento es menor y no se necesita utilizar barras de acero lo cual ayuda a disminuir la densidad de los morteros.

Por otro lado, a pesar de ser resistente a la compresión, el mortero tiene una baja resistencia a la flexión. De tal forma dicho problema hace que se limiten sus posibilidades de aplicación como un material estructural. Para proporcionarle una mayor resistencia se utilizan otros materiales que ayudan a reforzarlo como lo son las barras metálicas y las fibras. El hecho de combinar mortero simple o convencional con un refuerzo hace que se considere como mortero reforzado. En el caso de las barras de acero se utilizan para restringir la aparición de grietas originadas por la poca resistencia a la tensión, dicho principio funciona con la mayoría de las fibras empleadas para reforzarlo. Por estas razones es común que el mismo se refuerce con otros componentes para mejorar sus capacidades mecánicas.

Adicionalmente, aplicado al diseño industrial el mortero como material se ha utilizado usualmente para lograr formas convencionales, lo cual hace que no haya un mayor estudio de las posibilidades morfológicas de este material. Por tal razón es importante su investigación y experimentación a nivel de sus alcances y capacidades de resistencia debido a que, si sus capacidades mecánicas mejoran, podrían existir una mayor cantidad de opciones de morfología aplicada al diseño industrial.

El mortero reforzado con fibra de coco y modificado con óxido de hierro tiene mejores propiedades mecánicas que el mortero simple. De tal forma se plantea la hipótesis de si la fibra de coco sumada al óxido de hierro puede servir para reforzar el mortero de manera que permita mejorar sus propiedades mecánicas, con el fin de poder usarse en aplicaciones de diseño industrial.

1.3.2 Pregunta de investigación

¿Cuál es la relación empleada entre la cantidad de fibra de coco, mortero y óxido de hierro que ofrece mejores propiedades mecánicas?

1.3.3 Hipótesis

La adición de fibra de coco y óxido de hierro mejora la resistencia mecánica a compresión y flexión del mortero.

1.4. Elementos del problema de investigación

Los elementos más importantes que conforman el problema planteado son: el mortero, los materiales compuestos, la fibra de coco como refuerzo, el óxido de hierro, las propiedades mecánicas del mortero y el impacto ambiental de morteros.

1.5. Limitaciones de la investigación: alcance y riesgos

El alcance del proyecto es el de poder proporcionar una composición de mortero reforzado con fibra de coco que potencie sus capacidades mecánicas lo cual permita darle al material la mejor capacidad mecánica. Para lograrlo se realizan diversas pruebas en las que varían las cantidades de sus componentes y que posteriormente se comparan bajo las mismas variables de tiempo y elaboración. A futuro esto podrá ser utilizado por diseñadores industriales en la creación de productos hechos con mortero reforzado con fibra de coco en donde éstos puedan experimentar con el material obtenido potenciando sus posibilidades de aplicación, los cuales pueden tener un menor espesor en las piezas. El trabajo comprende desde la obtención de muestras hasta el estudio del comportamiento mecánico del mortero con fibra de coco y óxido de hierro en dos niveles (2 y 4 % en peso). Debido al tiempo, el trabajo no contempla la experimentación formal morfológica aplicando

los conocimientos y resultados encontrados durante la realización del proyecto. Además, no se evaluará la durabilidad de las fibras de coco en la matriz del mortero.

2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este proyecto permite estudiar las posibilidades que existen cuando se refuerza mortero por medio de la fibra de coco y el óxido de hierro. Esto abarcando las oportunidades que brinda la utilización de un elemento que ayude a mejorar el comportamiento mecánico del mortero, teniendo como objetivo su implementación en el diseño industrial. De igual forma al realizarse un estudio del comportamiento mecánico se puede determinar cuál es la mejor configuración de mortero reforzado con fibras de coco y óxido de hierro que pueda llegar a mejorar la resistencia a la flexión y a la compresión, siendo la primera uno de los principales problemas a nivel de capacidades mecánicas en dicho material.

Por otro lado, se proponen estrategias para disminuir la cantidad del mortero haciendo uso de aditivos con tal de mejorar las propiedades mecánicas, específicamente al sumarlo con un material biodegradable, como lo es la fibra de coco. Lo anterior contribuye con mejorar la problemática ambiental que genera la industria cementera ya que se disminuye la cantidad de cemento utilizado en las mezclas. Esto debido a que se utiliza menos mortero si en el mismo se introducen refuerzos o agregados externos. De tal forma la fibra de coco se vuelve una alternativa ecológica a los refuerzos utilizados actualmente. Adicionalmente, la fibra de coco es un residuo natural que se encuentra en grandes cantidades en diferentes zonas del mundo, lo cual lo hace un material sumamente accesible y de fácil obtención. Además, su implementación permite aprovechar un elemento poco usado en la actualidad en casos de trabajos de diseño industrial. De tal manera resulta oportuno debido a que se le encuentra un uso adicional a un elemento que frecuentemente sería tratado como un residuo sin mayor relevancia en su utilización.

El proyecto en sí sirve para poder experimentar con la mejora de las propiedades físicas del mortero, permitiendo que el mortero reforzado se utilice en otros contextos y haciendo uso de morfologías distintas a lo habitual. Esto se realiza

con el objetivo que se puedan potenciar las opciones de diseño de mobiliario urbano al poder utilizar este material usando formas no convencionales y con características delgadas y resistentes. Así mismo, su uso en otros contextos diferentes al de mobiliario urbano depende mucho de las posibilidades que permita el material y a la experimentación morfológica del mismo. De igual manera el agregado de óxido de hierro le otorga mayores opciones estéticas y brinda al diseñador la posibilidad de experimentar con la misma estética del color del material, lo cual hace que una pieza sencilla de concreto se vuelva sumamente atractiva sólo con añadirle color.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Antecedentes

3.1.1. Mortero

Los morteros son la mezcla de un material aglutinante (cemento), un material de relleno (agregado fino o arena), agua que al unirse conforman una masa pétreo resistente y duradera. Cabe destacar que el mortero se diferencia del concreto u hormigón por no tener agregados gruesos (grava). Es la mezcla resultante de la combinación de dichos materiales, el cual tiene un tiempo de fraguado y curado que hace que se endurezca y reaccione químicamente para ser un material fuerte, resistente y con alta durabilidad. Existen dos tipos de morteros: aéreos (endurecen bajo la influencia del aire) e hidráulicos (endurecen bajo agua). (Sánchez De Guzmán, 2001).

El mortero suele ser usado en cimientos, construcciones, calzadas, paredes, bloques, columnas, ladrillos, entre otros. Es decir, es un material muy versátil en su función de construcción debido a su posibilidad de ser usado para diferentes elementos estructurales. Además, que es un material sumamente moldeable y con propiedades adherentes. (Sánchez De Guzmán, 2001).

Su tiempo de fraguado es de 24 horas para poder llegar a una consistencia sólida lo cual hace que sea un compuesto que tiene un tiempo de curado corto y que hace que sea el conglomerante más económico y versátil en la industria de la construcción. Su tiempo de curado es de un estimado de 28 días para alcanzar el 100% de sus propiedades mecánicas, de igual forma a los 7 días de curado ya habrá alcanzado un 60% de sus capacidades mecánicas. (Payá, Serrano, Giner, & Gil, 2009). Es uno de los materiales más usados en la construcción y se le da forma haciendo uso de encofrados que son moldes rígidos en los cuales la mezcla se vacía durante su fabricación. Además, que puede ser usado sin importar las condiciones del tiempo, ya sean húmedas o secas. También es un excelente adhesivo debido a que una vez fraguado es muy difícil separarlo de otros materiales como ladrillos o acero. Ofrece grandes características de ser un material aislante contra ruidos, aunque eso depende del espesor con el que se utilice.

3.1.2. Fibra de coco

La fibra de coco es la parte del coco que se obtiene de la estopa o mesocarpo que se encuentra entre el exocarpo duro o cubierta externa y el endocarpo o envoltura dura (ver Figura 1). Este material se puede utilizar como alternativa de materia prima fibrosa. Del 100% de un coco se aprovecha aproximadamente 17%, que resulta ser el material consumible. (Altamirano, Sanchez, & Cuevas, 2015).

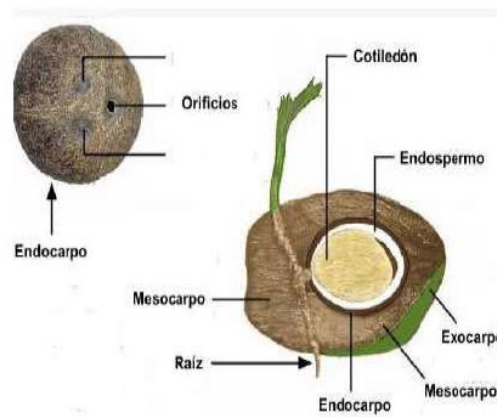


Figura 1: Estructura del coco. Fuente: Duarte et al, 2012.

Sus principales características son que tiene baja conductividad al calor, resistencia al impacto, a las bacterias y al agua. Se ha empezado a utilizar en el mercado de la construcción debido a su durabilidad y resistencia. (Villanueva, 2016).

Es un material de origen natural que por sus contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina lo hace de degradación lenta lo cual le proporciona una alta longevidad frente a la alta alcalinidad del mortero. (Paricaguán et al., 2013). Sin embargo, si se compara con las fibras sintéticas como la fibra de vidrio, que también se utiliza para reforzar el concreto, hay una gran diferencia ya que las de vidrio no demuestran problemas de degradación. De igual forma se puede analizar que, aunque no se degrada, la fabricación de la fibra de vidrio puede llegar a contaminar de mayor manera.

En el mercado colombiano de la ciudad de Medellín se obtiene en dos presentaciones, una versión llamada como “musgo” y la que es llamada como la fibra normal. En la “musgo” la fibra es sumamente corta y de grosor fino y, en la fibra normal, las fibras son mucho más largas y gruesas.

3.1.3. Mortero reforzado con fibras

Debido a los avances en tecnología y la versatilidad del mortero, se han realizado muchas investigaciones en las cuales se mejoran sus propiedades físicas y mecánicas por medio del uso de fibras y refuerzos. Sumado a la tendencia por parte de los científicos de buscar materiales alternativos a los utilizados actualmente.

Los morteros reforzados tienen el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas de los morteros simples, para lo cual mucho depende de las fibras que se utilicen (naturales, vegetales, sintéticas o minerales). El mortero simple, sin refuerzo, suele tener alta capacidad de resistencia a la compresión, sin embargo, suele ser débil a la tensión y a la flexión lo cual hace que existan otros tipos de mortero en donde con uso de aditivos y agregados se mejoran dichas características. (Monzón, 2017).

Los factores principales que controlan el desempeño del material son las propiedades físicas de las fibras y la matriz y la adherencia entre las mismas. Como características de las fibras es que éstas se distribuyen aleatoriamente por toda la probeta, a diferencia de los refuerzos convencionales como barras de acero en

donde su distribución se acomoda dependiendo de la necesidad. Esto resulta en algunos casos en una desventaja debido a que muchas fibras se localizan inadecuadamente en relación con las tensiones y esfuerzos aplicados al material. De igual manera el factor de eficiencia depende de la longitud de la fibra y su influencia en el material.

Las principales ventajas es que el uso de las fibras permite realizar morfologías delgadas e irregulares sin perder propiedades mecánicas, además que le quita peso al compuesto. Las fibras suelen ser cortas y se adicionan en bajos volúmenes (frecuentemente menos del 1%). La función principal de las fibras es la de evitar la propagación de una grieta o fisura, debido a que amarran el material y evitan que la grieta se expanda. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Jussara, 2004).

De tal manera el uso de fibras en la mezcla de concretos ayuda a tener una alta resistencia a la tracción en relación con su peso, además que permite la habilidad de moldear el material en diversas formas y que posee resistencia a las condiciones ambientales. Así mismo, en algunos casos, incrementa la resistencia a la compresión, flexión y tracción. Se puede decir que el uso de fibras mejora la integridad estructural del material. Se utiliza principalmente en la construcción de diversas estructuras como lo son edificios, puentes y plataformas. (Tom, S, Varghese & Antony, 2014).

3.1.4. Óxido de hierro

Existen una serie de aditivos colorantes que proporcionan pigmentación a la matriz del concreto y lo realizan de manera directa sin necesidad de emplear agregados especiales para colorear. En el caso del óxido de hierro se puede encontrar en varias presentaciones de color como lo es en negro, azul, rojo y amarillo (ver Figura 2). Su dosificación no debe exceder del 10% del peso del cemento, debido a que cantidades mayores pueden necesitar mayor cantidad de agua, lo cual puede debilitar el material. Además, las dosificaciones por debajo del 6% usualmente no generan un efecto significativo en las propiedades del concreto. (Kosmatka et al., 2004).

Como propiedades el óxido de hierro no presenta toxicidad, además que es insoluble en el agua. En los últimos años se han generado estudios acerca de la influencia del óxido de hierro como aditivo del concreto en el cual, además de añadirle color a las piezas de concreto, puede ayudar a mejorar las propiedades anticorrosivas del material, en los que se pudo observar que su adición hacía que las velocidades de corrosión a partir de los ocho meses de exposición fueran bajas. (Velásquez, Acosta, Gaona, Almeraya, & Martínez, 2004). De igual manera el óxido de hierro puede mejorar levemente la resistencia a la compresión. (Kishar, Alasqalani, Sarraj, & Ahmed, 2015).



Figura 2: Presentaciones del óxido de hierro. Tomado de: <http://m.eo-paint.com/inorganic-pigment/iron-oxide-pigment/iron-oxide-brown-pigment.html>

3.1.5. Impacto ambiental de la producción de cemento y concreto

La industria de la construcción genera un gran impacto negativo a nivel ambiental, principalmente en la producción del cemento durante sus diversas etapas en las cuales genera una alta contaminación atmosférica debido a la combustión de los componentes al interior de los hornos de clinker y de las moliendas de materia prima y de cemento en su etapa final. El clinker es el material resultante de la acción de calcinar mezclas de piedras calizas y arcillas preparadas artificialmente con otros agregados y el cual es el principal material para la fabricación del cemento. (Sánchez De Guzmán, 2001). De igual manera, otros problemas ambientales es que se producen residuos rocosos y cambios en las propiedades de la vegetación y del suelo, provenientes de la extracción de las materias primas. Su fabricación produce partículas de dióxidos de azufre, dióxidos

de nitrógeno y otros tipos de gases que son sumamente dañinos para el medio ambiente y para la salud de las personas debido a las emisiones atmosféricas de sus partículas suspendidas. (Bernal & Saavedra, 2008).

A nivel de la producción del concreto los principales impactos ambientales son las emisiones de polvo y manejo inadecuado de efluentes, materiales peligrosos y no peligrosos. Además que su producción suele tener altos usos de energía y materia prima (minerales y agua). (Navas De García, Reyes Gil, & Galván Rico, 2015).

3.2. Estado del arte

Se han realizado una gran cantidad de investigaciones con el objetivo de entender y determinar la influencia de agregados de fibra en las propiedades mecánicas de morteros y concretos. Se pudo encontrar varios estudios en los que se trató específicamente la adición de fibra de coco como refuerzo para concretos, lo que demuestra el interés por parte de la comunidad científica e ingenieril de utilizar la fibra de coco como refuerzo.

El primero trata del estudio del uso de la fibra de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. (Quintero Garcia & Gonzalez Salcedo, 2006). En este estudio se hicieron varias series de probetas, que variaban dependiendo de las longitudes utilizadas (2 y 5 cms) y de su volumen (0,5% y 1,5%) a las cuales se les aplicaron pruebas de flexión, compresión y tracción. Además, que se buscó observar sus propiedades en el transcurso de varios días (6, 10, 14 y 28 días) con tal de determinar el estado en el cual se lograba las mejores propiedades del material. Sus resultados demostraron que el uso de la fibra de coco funciona para mantener unido el material aún después de darse la falla. Su análisis se concentró en la tenacidad del concreto y el cómo el uso de la fibra se comportaba en relación con las grietas del material ante lo cual concluyeron que mucho depende de la adherencia de este a la matriz del concreto. De igual forma observaron las deformaciones más bajas en las probetas que poseían la mayor cantidad de fibra (1,5%) y en donde las fibras eran de mayor longitud (5 cm). Sin embargo, la mayor resistencia a la compresión se observó con las fibras más cortas de 2 cm. En el

caso de la flexión el mayor valor de resistencia lo presentó el concreto con porcentaje de fibra de 0,5% y de longitud de 5 cm. Por último, concluyen que dicho compuesto puede utilizarse principalmente en la construcción de elementos sometidos a flexión como lo son vigas y losas.

El segundo estudio tiene el mismo objetivo que el anterior. En éste las principales conclusiones pudieron demostrar que al usar un porcentaje de 5% de fibra de coco se obtenían los mejores resultados de resistencia a la compresión, tracción y flexión. Sin embargo, si se utilizaba un mayor porcentaje de fibra de coco la resistencia se reducía, lo que se podría analizar como una saturación de la fibra. Al haber una gran cantidad de fibra, la unión de la fibra y el concreto se perjudica porque hay menor volumen de concreto en la probeta y así las fibras no se sostienen de la misma manera. De igual forma se reportó que hubo una tendencia decreciente con respecto a la resistencia a la compresión, para lo cual se plantean varias hipótesis como lo son el grosor de la fibra y la presencia de impurezas en la superficie de las fibras, lo cual puede que llegue a afectar en la unión con la matriz del concreto. Por último, dan una lista de posibles usos del material como lo son para la construcción de edificaciones en zonas con alta posibilidad de sismos, piezas para techos y bloques de construcción. (Tom, S, Varghese & Antony, 2014).

Un estudio aún más completo fue el realizado por Paricaguán (2015) en donde se buscó evaluar el comportamiento mecánico del concreto reforzado usando fibras de coco y de bagazo de caña de azúcar. Para ello se evaluaron las propiedades físicas y químicas de dichos materiales con y sin tratamiento, bajo pruebas de flexión, compresión y tracción (sometida a varias temperaturas). Para el tratamiento se utilizó polimetilmetacrilato (PMMA) el cual tiene el objetivo de evitar reacciones entre la alcalinidad de la pasta de cemento y las fibras naturales, haciendo que se mejore la durabilidad de las fibras. La caña de azúcar se utilizó como alternativa a la fibra de coco debido a que presentaba características morfológicas y físico-mecánicas que lo catalogaban como un material adecuado para ser usado como fibrorefuerzo. Las conclusiones coinciden con los estudios anteriores en que la fibra ayuda a evitar la propagación de las grietas. Sin embargo, llama la atención que, en el caso de la compresión, al haberse realizado probetas

con concentraciones de 2.5% y 10%, la resistencia a la compresión se disminuía en las piezas con 10% de fibra, lo cual apoya la idea de la saturación de la fibra en la matriz del concreto. En el caso de las fibras de caña de azúcar se pudo observar que en las pruebas de flexión no se produjeron resultados significativos debido a que se comportaban de manera similar a las probetas sin fibra.

3.3. Conceptualización de los elementos del problema

3.3.1. Tipos de fibra

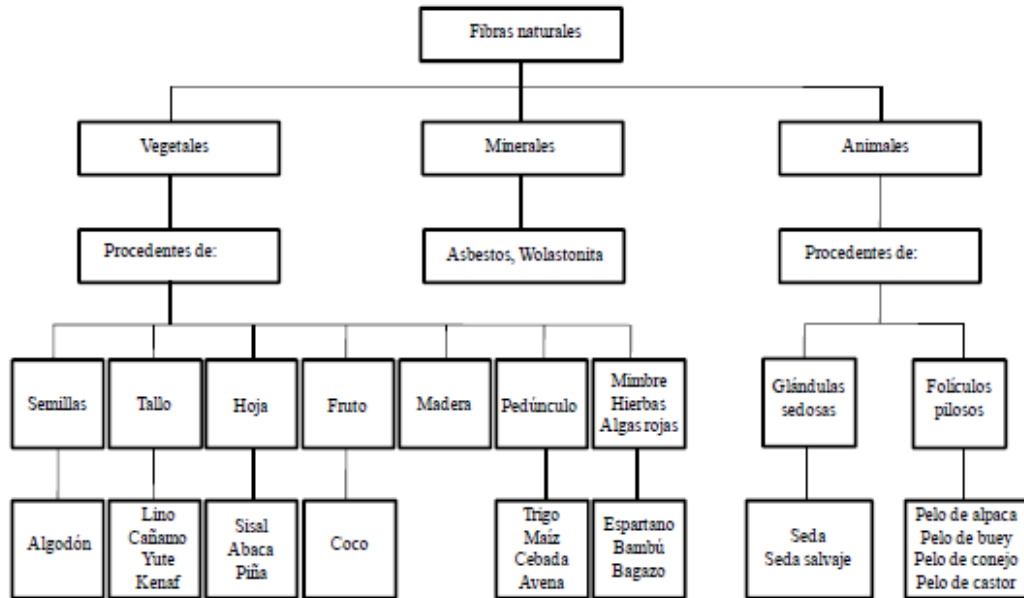
A nivel de refuerzo para concretos y morteros existen varios tipos de fibras como lo son las fibras naturales, sintéticas, de vidrio y de acero. Cada uno de estos tipos tiene características específicas relacionadas a su material y les otorgan diversas ventajas o desventajas a los compuestos. En el caso de las fibras de vidrio éstas están diseñadas para resistir el ambiente alcalino de la mezcla del mortero además que le otorgan grandes resistencias mecánicas, específicamente un módulo elástico superior a la mayoría de las fibras orgánicas pero inferior que a las fibras de acero. Las fibras de acero se encuentran en diferentes tamaños, grosores y formas, además que poseen secciones transversales que ayudan a adherirse a la matriz. Se usan para aplicaciones en concretos prefabricados donde es necesario tener una resistencia al impacto y a la tenacidad. Las fibras sintéticas suelen ser las fibras acrílicas, de carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno. Permiten reducir las contracciones plásticas y la duración, a pesar de que no suelen tener buena adherencia a la matriz. (Monzón, 2017). Para este proyecto se decidió concentrar la investigación a partir de la fibra natural de origen vegetal proveniente del coco.

3.3.2. Fibras naturales

Las fibras naturales se dividen en tres tipos de origen: vegetal, mineral o animal. Ver Tabla 1. Este tipo de fibras aprovechan recursos renovables, que son menos costosos y que para su obtención requieren menor cantidad de energía. Además

que existe una disminución de sustancias contaminantes en su fabricación y, en general, generan menores impactos ambientales. (Paricaguán, 2015).

Tabla 1. Clasificación de las fibras naturales según su origen. Fuente Maya y Rajesh 2008.



3.3.3. Propiedades mecánicas de las fibras naturales

Las fibras naturales demuestran ventajas como baja densidad, gran abundancia y facilidad de obtención, biodegradabilidad y bajo costo. Como desventajas presentan la dispersión de la fibra el cual muestra dificultades en la adherencia a la matriz del concreto y la baja resistencia a la degradación biológica.

Para ser consideradas como refuerzos en matrices de concreto las fibras naturales deben presentar propiedades adecuadas. Según los estudios de Bledzki y Gassan (1999), Luo y Netravali (1999) y Herrera y Valadez (2004), se puede observar que, dentro de las fibras naturales estudiadas, la fibra de coco es de las que tiene mayor elongación a la ruptura, además que presenta resistencia última intermedia. Ver Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de las fibras según sus propiedades. Fuente: Bledzki y Gassan, 1999; Luo y Netravali, 1999; Herrera y Valadez, 2004.

Tipo de fibra	Longitud mm	Diámetro mm	Densidad Absoluta g/cm ³	Módulo de Elasticidad Gpa	Resistencia Última a Mpa	Elongación a la Ruptura %	Absorción de Agua %
Yute	1800-3000	0.10-0.20	1.02-1.04	26-32	250-350	1.5-1.9	62
Lino	500	-	-	100	1000	1.8-2.2	-
Bambú	2500-3500	0.05-0.40	1.52	33-40	350-500	-	40-45
Caña de azúcar	50-300	0.20-0.40	1.20-1.30	15-19	170-290	-	70-75
Sisal	-	0.10-0.50	-	13-26	280-568	3-5	60-70
Henequén	-	0.36	1.40	-	91-307	2.3-7.6	163.10
Pasto de elefante	-	0.45	-	5	178	3.6	-
Plátano	-	0.43	0.298	1.4	92	5.9	276
Musamba	-	0.82	-	0.9	83	9.7	-
Coco	50-350	0.10-0.40	1.12-1.15	19-26	120-200	10-25	130-180

4.OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Evaluar el comportamiento mecánico de morteros reforzados con fibra de coco y modificados con óxido de hierro.

4.2. Objetivos Específicos

- Obtener morteros reforzados de diferentes composiciones de fibras de coco y óxido de hierro.
- Caracterizar el comportamiento mecánico de los morteros modificados obtenidos.
- Determinar la composición óptima de fibra y óxido de hierro que ofrezcan mejor resistencia mecánica (a compresión y flexión).

5. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos se realizó una revisión bibliográfica para determinar las relaciones comúnmente empleadas para la obtención de morteros, en donde se investigó acerca del material en estado simple, sus características físicas y mecánicas, con el objetivo de poder entenderlo de mejor manera. Así mismo, se consultó acerca de las diferentes variaciones de morteros reforzados que existen como lo son con fibras sintéticas o naturales. Con base a lo anterior, se determinó la formulación para cada una de las probetas, la cual se describe en la Tabla 3.

Tabla 3. Formulación empleada para la elaboración de los concretos.

$x + 1,5x + 0,65x + 0,125x = \text{masa deseada en la probeta (cm}^3\text{)}$	
Siendo “x” la cantidad de cemento empleado.	
1,5	es la relación de cemento con arena húmeda. 1: 1,5
0.65	es la relación de cemento con agua. 1: 0,65
0,125	es la relación de cemento con óxido de hierro. 1: 0,125
2x/100	es la fórmula para obtener la fibra en el caso de fibra baja.
4x/100	es la fórmula para obtener la fibra en el caso de fibra alta.
Proporciones de 2% y 4% del peso de la fibra con respecto al peso del cemento.	

La formulación empleada dependía de la cantidad de probetas que se deseaban realizar, para lo cual se tomaba en cuenta la masa para calcular las diversas cantidades de los materiales. Cada serie de probetas fue tratada con diferentes características a nivel de la composición del mortero. Cabe destacar que dicha composición consistía en arena, agua y cemento. En la primera serie se trató el mortero simple al cual con una misma formulación se generaron 19 probetas, de las cuales 9 eran para flexión y 10 para compresión. Luego en el caso del mortero con fibra de coco se realizaron en dos días diferentes, en un día se realizaron las 9 probetas de fibra de coco baja y el otro día las 10 probetas de fibra alta. Por último, en la serie de mortero con fibra de coco y óxido de hierro se decidió hacer dos mezclas con la misma cantidad de componentes en donde ambas se diferenciaban por la cantidad de la fibra de coco, lo cual se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Lista de materiales utilizados con sus respectivos pesos.

Componentes	Serie de probetas (3 en total)				
	1. Mortero simple	2. Mortero con fibra de coco		3. Mortero con fibra de coco y óxido de hierro	
		Baja (2%)	Alta (4%)	Baja (2%)	Alta (4%)
Cantidad de probetas realizadas, flexión y compresión	Total: 19 9 de flexión 10 de compresión	Total: 9 5 de flexión 4 de compresión	Total: 10 6 de flexión 4 de compresión	Total: 11 6 de flexión 5 de compresión	Total: 10 5 de flexión 5 de compresión
Cemento	571.42g	274.2g	685.7	790g	
Arena	857.3g	411.4g	1028.5	1,185g	
Agua	371g	178.2g	445.7	513,5g	
Fibra de coco alta	-	-	13.7	-	31,6g
Fibra de coco baja	-	10.9g	-	15,8g	-
Pigmento (Fe ₂ O ₃)	-	-		98,75g	

Luego de esto, se procedió con la fabricación de los moldes de acuerdo con las normas ASTM C78 /C78M y ASTM C109/C109M para las pruebas de flexión y compresión con dimensiones de 5 x 5 x 5 cm para las probetas de compresión y de 10 x 3 x 3 cm (prisma) para las probetas de flexión, respectivamente. Los moldes fueron realizados en madera triplex al cual se aplicó sellador y vaselina para facilitar

el desmolde de las piezas. Dichos moldes tenían una capacidad de albergar 11 probetas en el caso de compresión y 12 probetas en el caso de flexión.

Las muestras fueron preparadas de acuerdo con la norma INVE-402-07 y almacenadas durante 24 horas en el molde para posteriormente continuar con su fraguado, al 100% de humedad, para ser caracterizados mecánicamente luego de 7 días, tiempo durante el cual el mortero alcanza el 60% de sus propiedades mecánicas (Payá et al., 2009).

Una vez obtenidos los moldes se procedió con la preparación de las primeras probetas de mortero puro con el objetivo de usarlas como punto de referencia para medir su resistencia a la flexión y compresión; esto con el fin de compararlas con las muestras modificadas. Una vez realizadas las probetas con mortero puro se procedió con la realización de las probetas con fibra de coco añadida. Para esto se hicieron probetas con diversas cantidades de fibra de coco y se dividieron en cantidad alta (4%) y cantidad baja (2%); para esto se cortaron las fibras de coco en trozos de 2 cm aproximadamente.

Por último, se definió la composición de mortero modificado con óxido de hierro para lo cual se realizaron las probetas de mortero en donde se usó la misma fórmula anterior, considerando las cantidades de fibra alta (4%) y baja (2%), pero a las cuales se le aplicó una cantidad específica de óxido de hierro (relación de 1: 0.125 de óxido de hierro con respecto al cemento). Es importante anotar que, para la obtención de las probetas con fibra de coco, esta se introdujo al momento de realizar la mezcla de la arena con el cemento en seco separando las fibras de manera manual, con el fin de distribuirlas homogéneamente en el material. De igual forma en el caso del óxido de hierro éste se mezcló manualmente con la arena y el cemento en estado seco hasta lograr una mezcla homogénea, para posteriormente agregar el agua.

Una vez obtenidas las probetas se procedió con la ejecución de los ensayos mecánicos, los cuales fueron realizados a flexión y compresión empleando una máquina universal Instron 5169. Para esto se evaluaron cinco probetas para cada

una de las condiciones (sin fibra, con fibra alta/baja, con fibra alta/baja y óxido de hierro).

El principal instrumento de análisis de la información fueron los gráficos y tablas de resultados que la máquina generaba a la hora de realizar las pruebas. Estos mismos se comparaban, en el caso de la compresión, en los datos otorgados por la carga de compresión máxima (N), el esfuerzo de compresión máximo (MPa) y la deformación por compresión máxima (%). En el caso de la flexión se analizaron los resultados de las pruebas y datos del módulo de ruptura (MPa), carga máxima (N), esfuerzo máximo de flexión (MPa) y la deformación por flexión (%).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Elementos a tomar en cuenta en la fabricación de las probetas

Durante la preparación de las muestras se pudieron observar varios factores que incidían en la fabricación de las probetas. Principalmente, el caso de la fibra de coco que mostraba numerosas características que podían variar la preparación de las probetas. La fibra de coco empleada fue la que se denomina “normal”, la cual tiene un espesor tal que permite mejorar su adherencia al mortero. Además, su tamaño permitía que se pudiera cortar y definir sus longitudes según se deseara (2 cm). Sin embargo, al ser un material delgado no siempre se podía obtener dicha longitud de manera exacta debido a la dificultad de su manejabilidad a la hora de cortar. Así mismo, su espesor y el peso eran muy difíciles de calcular al existir una gran cantidad de fibras en un mismo conjunto de fibras, esto debido a que cada fibra tenía características físicas diferentes a las otras, esto se puede observar en la Figura 3. De tal forma se utilizaba un material irregular.



Figura 3. Características físicas de la fibra de coco por cómo se encuentran y comercializan en el mercado colombiano.

Otro aspecto que se pudo observar durante la fabricación de las probetas fue el asunto relacionado con la dispersión y distribución de la fibra en el mezclado, en donde se observó que las fibras tenían la tendencia a enredarse entre ellas cuando se intentaba mezclarlas con el cemento, el agua y la arena. Lo anterior resultaba un problema que hacía difícil la correcta homogenización de la mezcla, ya que había espacios dentro la mezcla en los cuales no había fibras. Esto se puede observar en la Figura 4.

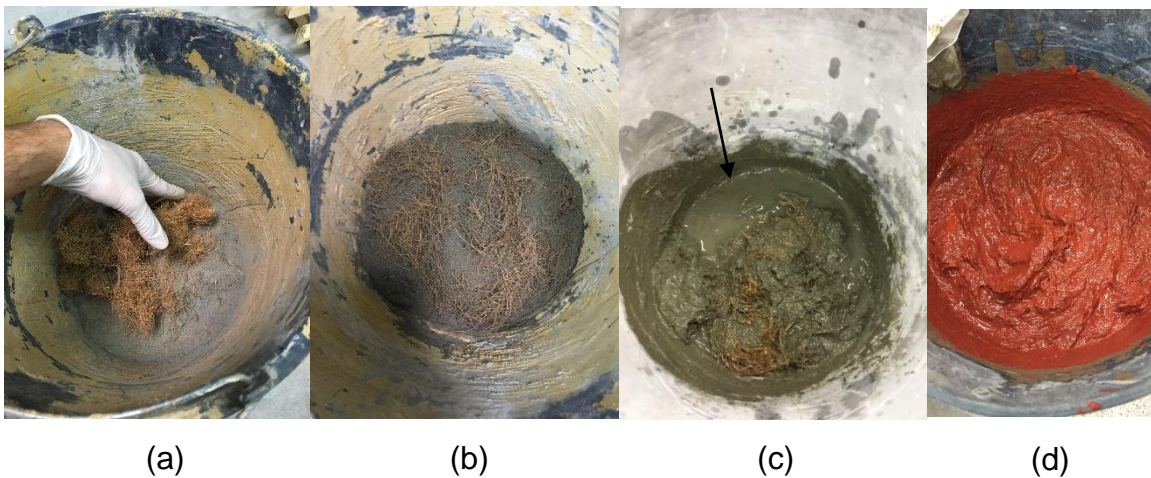


Figura 4. Dispersión y distribución de la fibra en la mezcla. (a) Las fibras suelen estar unidas al sacarse de la bolsa, se deben separar antes de meterlas en la mezcla; (b) Dispersión de las fibras en la mezcla; (c) Las fibras se unen al mezclarse con los elementos lo cual deja espacios de mezcla sin fibra (señalado con la flecha) y (d) Mezcla con óxido de hierro.

Es importante mencionar que de igual forma que con el asunto de la dispersión de la fibra en la mezcla, también sucede con la dispersión y distribución

de la fibra en las probetas, debido a que la mezcla se introduce en los moldes de manera desigual, las probetas quedan con mayor o menor cantidad de fibra de coco. Lo anterior implica además una consideración adicional y es el hecho de no poder asegurar, además de la cantidad homogénea de las muestras, la orientación de estas, lo cual hace que las fibras dentro de las probetas sean relativas en materia de su cantidad y su distribución. De igual manera la mezcla del mortero, al realizarse de manera manual, no permite comprobar que la mezcla en sí quede igual en todos los casos.

Específicamente en el caso del tamaño de las probetas, éste podía variar a la hora del fraguado debido a que, al colocar la mezcla en los moldes, después de 15 minutos aproximadamente, se podía observar que la parte superior se reducía en tamaño. Esto sucedía debido a que el agua de la mezcla se evaporaba lo cual hacía que las probetas perdieran una pequeña parte de su masa. Para contrarrestarlo se llenaba un poco más del límite de los moldes para evitar que las probetas se encogieran de gran manera. Además, que la forma de la parte superior que quedaba expuesta en el molde era sumamente irregular a diferencia de las partes más rectas que se formaban en las paredes del molde. Esto se puede observar en la Figura 5, en la cual se puede observar que las primeras cuatro probetas poseen un mayor tamaño en comparación a la quinta, que por la evaporación del agua redujo su tamaño.



Figura 5. Tamaño de las probetas.

6.2. Pruebas de compresión y flexión de las probetas

Se eligieron las 3 muestras de prueba que tenían la mayor similitud, esto con tal de demostrar la tendencia de las probetas ante los esfuerzos de flexión y compresión. En el caso de compresión se toman en cuenta la carga de compresión máxima (N), el esfuerzo de compresión máximo (MPa) y la deformación por compresión máxima (%). Por su parte, en el caso de la flexión se analizaron los resultados de las pruebas y datos del módulo de ruptura (MPa), carga máxima (N), esfuerzo máximo de flexión (MPa) y la deformación por flexión (%). Para todos los datos se calculó el promedio y la desviación estándar, este último como elemento que marca la tendencia estándar. Esto se puede observar en las Tablas 5 - 7. En la Tabla 8 se puede observar la comparación entre los valores de las diversas series de probetas.

En la prueba de compresión se estableció el valor máximo como el punto en el que la probeta ya tenía colapso total. En el caso de la prueba de flexión se definió el valor máximo de flexión cuando la probeta lograra llegar a 3mm de extensión con respecto a la máquina o cuando ocurría la fractura total, lo cual sólo ocurrió en el caso del mortero puro debido a la ausencia de la fibra.

Tabla 5. Primera serie de probetas realizadas con mortero puro. Se incluyen los datos utilizados de las 3 probetas similares, la media y la desviación estándar de las mismas.

1era Serie de Probetas: Mortero Puro						
Mortero Puro	Compresión (3 probetas similares)	Carga max N	Esfuerzo MPA	Deformación por compresión máx. %	Número de probeta en hoja de resultados	
		31395,08	12,56	2,01	1	
		34879,81	13,95	4,46	3	
		29694,32	11,88	3,52	4	
	MEDIA	31989,74	12,80	3,33		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2643,395	1,06	1,24			
Mortero Puro	Flexión (3 probetas similares)	Módulo de ruptura	Carga máxima	Esfuerzo de flexión máximo	Deformación de flexión máximo	Número de probeta en hoja de resultados
		2,62	1413,68	3,93	1,58	2
		3,56	1921,72	5,34	2,42	3
		3,65	1972,11	5,48	2,49	5
	MEDIA	3,28	1769,17	4,92	2,16	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,57	308,89	0,86	0,51		

Tabla 6. Primera serie de probetas realizadas con mortero y cantidades de fibra baja y alta (2 y 4 % respectivamente).

2da Serie de Probetas: Mortero Fibra de Coco (Alta y Baja)						
Mortero + Fibra Alta	Compresión (3 probetas similares)	Carga max N	Esfuerzo MPA	Deformación por compresión máx. %	Número de probeta en hoja de resultados	
		31476,09	12,59	1,62	1	
		34875,04	13,95	1,75	2	
		32506,83	13	2,75	4	
	MEDIA	32952,65	13,18	2,04		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1742,78	0,70	0,62			
Mortero + Fibra Baja	Compresión (3 probetas similares)	Carga max N	Esfuerzo MPA	Deformación por compresión máx. %	Número de probeta en hoja de resultados	
		30664,74	12,27	5,06	1	
		33313,41	13,33	2,41	4	
		28355,69	11,34	3,96	5	
	MEDIA	30777,95	12,31	3,81		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2480,80	0,996	1,33			
Mortero + Fibra Alta	Flexión (3 probetas similares)	Módulo de ruptura	Carga máxima	Esfuerzo de flexión máximo	Deformación de flexión máximo	Número de probeta en hoja de resultados
		5,57	3006,96	8,35	24,25	3
		4,75	2566,65	7,13	2,05	4
		5,09	2749,32	7,64	30,11	6
	MEDIA	5,14	2774,31	7,71	18,80	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,41	221,22	0,61	14,80		
Mortero + Fibra Baja	Flexión (3 probetas similares)	Módulo de ruptura	Carga máxima	Esfuerzo de flexión máximo	Deformación de flexión máximo	Número de probeta en hoja de resultados
		5,22	2819,36	7,83	31,05	2
		5,45	2941,21	8,17	30,28	3
		5,76	3108,61	8,64	32,42	4
	MEDIA	5,48	2956,39	8,21	31,25	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,27	145,22	0,41	1,08		

Tabla 7. Segunda serie de probetas realizadas con mortero, cantidades de fibra baja y alta (2 y 4 % respectivamente) y óxido de hierro.

3era Serie de Probetas: Mortero + Fibra de Coco (Alta y Baja) + Óxido de Hierro						
Mortero + Fibra Alta + Óxido de Hierro	Compresión (3 probetas similares)	Carga max N	Esfuerzo MPA	Deformación por compresión máx. %	Número de probeta en hoja de resultados	
		32651,87	13,06	2,46	1	
		39709,62	15,88	2,21	4	
		40764,76	16,31	3,08	5	
	MEDIA	37708,75	15,08	2,58		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	4411,05	1,77	0,45			
Mortero + Fibra Baja + Óxido de Hierro	Compresión (3 probetas similares)	Carga max N	Esfuerzo MPA	Deformación por compresión máx. %	Número de probeta en hoja de resultados	
		35624,47	14,25	4,26	2	
		36710,71	14,68	3,02	3	
		37577,61	15,03	2,54	5	
	MEDIA	36637,60	14,65	3,27		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	978,62	0,39	0,89			
Mortero + Fibra Alta + Óxido de Hierro	Flexión (3 probetas similares)	Módulo de ruptura	Carga máxima	Esfuerzo de flexión máximo	Deformación de flexión máximo	Número de probeta en hoja de resultados
		7,01	3783,26	10,51	21,21	2
		6,38	3445,88	9,57	24,34	4
		7,14	3856,43	10,71	21,88	5
	MEDIA	6,84	3695,19	10,26	22,48	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,41	218,99	0,61	1,65		
Mortero + Fibra Baja + Óxido de Hierro	Flexión (3 probetas similares)	Módulo de ruptura	Carga máxima	Esfuerzo de flexión máximo	Deformación de flexión máximo	Número de probeta en hoja de resultados
		5,85	2106,28	8,78	8,78	2
		6,09	2190,95	9,13	9,81	4
		6,13	2205,93	9,19	9,76	6
	MEDIA	6,02	2167,72	9,03	9,45	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,15	53,73	0,22	0,58		

Tabla 8. Resultados finales y comparación entre las probetas.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Compresión



		Carga comp máx.	Esfuerzo comp. máx.	Deformación comp. máx.
Mortero puro	Media:	31989.74 N	12.80 MPa	3.33 %
	Desviación estándar	2643.40 N	1.06 MPa	1.24 %
Mortero + fibra baja	Media:	30777.95 N	12.31 MPa	3.81 %
	Desviación estándar	2480.80 N	0.99 MPa	1.33 %
Mortero + fibra alta	Media:	32952.65 N	13.18 MPa	2.04 %
	Desviación estándar	1742.78 N	0.70 MPa	0.62 %
Mortero + fibra baja + óxido de hierro	Media:	36637.60 N	14.65 MPa	3.27 %
	Desviación estándar	978.62 N	0.39 MPa	0.89 %
Mortero + fibra alta + óxido de hierro	Media:	37708.75 N	15.08 MPa	2.58 %
	Desviación estándar	4411.05 N	1.77 MPa	0.45 %

Flexión



		Módulo de ruptura	Carga máxima	Esfuerzo flex. máx.	Deformación flex. máx.
Mortero puro	Media:	3.28 MPa	1769.17 N	4.92 MPa	2.16 %
	Desviación estándar	0.57 MPa	308.89 N	0.86 MPa	0.51 %
Mortero + fibra baja	Media:	5.48 MPa	2956.39 N	8.21 MPa	31.25 %
	Desviación estándar	0.27 MPa	145.22 N	0.41 MPa	1.08 %
Mortero + fibra alta	Media:	5.14 MPa	2774.31 N	7.71 MPa	18.80 %
	Desviación estándar	0.41 MPa	221.22 N	0.61 MPa	14.80 %
Mortero + fibra baja + óxido de hierro	Media:	6.02 MPa	2167.72 N	9.03 MPa	9.45 %
	Desviación estándar	0.15 MPa	53.73 N	0.22 MPa	0.58 %
Mortero + fibra alta + óxido de hierro	Media:	6.84 MPa	3695.19 N	10.26 MPa	22.48 %
	Desviación estándar	0.41 MPa	218.99 N	0.61 MPa	1.65 %

Al realizarse las diversas pruebas de compresión y flexión en las probetas se pudieron obtener una serie de resultados que posteriormente fueron analizados para poder determinar el comportamiento mecánico del mortero reforzado con fibra de coco y modificado con óxido de hierro.

6.2.1 Pruebas de compresión

Durante las pruebas se encontró que la fibra evita que la grieta causada por la compresión se propague, lo cual ayuda a mantener un estado sólido del material sin que éste pierda totalmente su forma y falle en su totalidad, por lo cual la fibra ayuda a que el material pueda soportar mayor tiempo la carga de compresión. Esto se puede observar en la Figura 6.

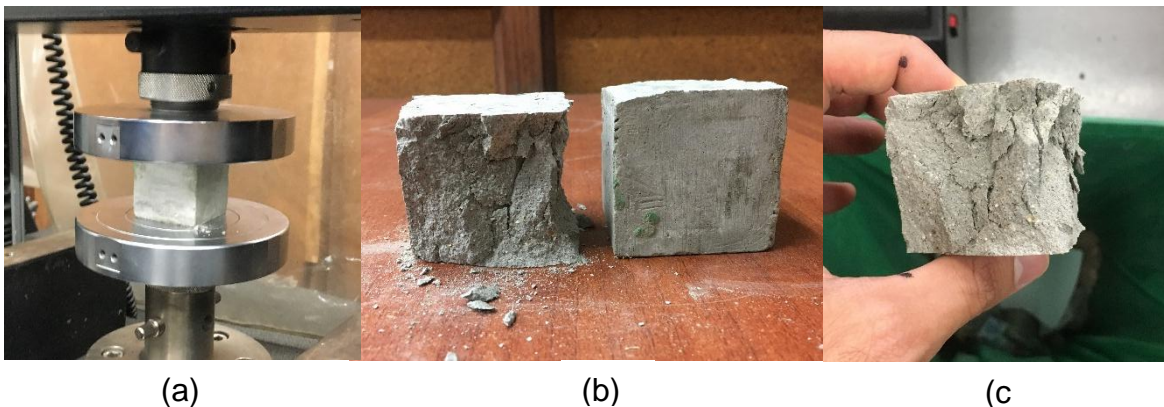


Figura 6. (a) Probeta en prueba de compresión. (b) Comparación del comportamiento de una probeta sin refuerzo a la cual no se le ha realizado las pruebas con otra que sí. (c) Falla y deformación de la probeta sin refuerzo.

En el caso de la compresión el aumento de la resistencia está directamente relacionado con el aumento de la fibra. Las probetas de fibra alta (4%) tenían una resistencia mayor al esfuerzo de compresión máximo que las probetas de fibra baja, en donde las de fibra baja se deformaban más al no resistir de la misma manera que las de fibra alta. Cabe destacar que dicha tendencia también sucede al agregarse el óxido de hierro. De igual manera se puede observar que las probetas con óxido de hierro son las que presentan mayor resistencia a la compresión si se comparan con las probetas sin el óxido de hierro. Además, que las probetas de

concreto puro son las más débiles ante la compresión. Esto se puede observar en la Tabla 8.

En la compresión la fibra no opone gran resistencia al ser comprimida por lo cual no consigue un aumento notable en la resistencia lo que significa que la fibra de coco no influye de gran manera en la resistencia a la compresión. En el caso de las probetas de mortero con fibra baja, en comparación a las probetas de mortero puro no hubo una mejora significativa. El porcentaje promedio de la deformación se incrementó un poco, pero se puede observar que no hubo una diferencia apreciable.

Se puede analizar que la adición de la fibra de coco y el óxido de hierro ayuda a mejorar levemente las capacidades de resistencia a la compresión, además se debe tomar en cuenta que en el caso de la compresión el punto de contacto de la prueba se aplica de igual manera en toda la probeta por lo cual la dispersión y homogeneidad de la fibra no llega a afectar la resistencia.

En la compresión no cambian mucho los modos de falla, ya sea con refuerzo o sin refuerzo. Se observan mejoras en las propiedades principalmente por el bloqueo de la fisura en el material. Esto sucede porque las fibras sostienen la propagación de las fisuras. Esto se puede observar en la Figura 7 en donde la fibra de coco sostiene las piezas de la probeta que se quebraron y quedaron sueltas.

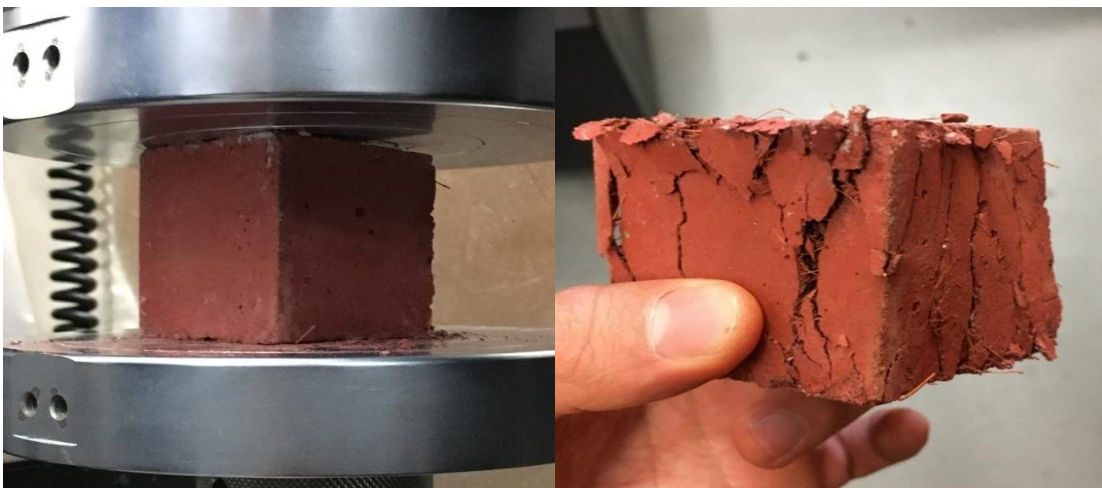


Figura 7. Antes y después de la prueba de compresión. Bloqueo de la fisura. En el costado izquierdo de la probeta se puede ver que la fractura hace que la pieza se desprenda del cubo, pero la fibra hace que siga pegada al mismo.

6.2.2 Pruebas de flexión

En el caso de la flexión, la prueba consistía que la carga comenzaba a aumentar hasta llegar a un valor máximo en el cual ocurría la fractura y como los dos materiales se separaban, el uno relativo al otro, al no haber nada que los uniera, la carga disminuía y el ensayo paraba. Se debe tomar en cuenta que en la flexión los ensayos se paraban cuando se llegaba al criterio de fin del ensayo. El criterio que se utilizó en las pruebas fue de 3 mm extensión por flexión.

En flexión depende si las fibras quedan más agrupadas en un lado de la probeta que en otro, lo cual hace que haya espacios en los cuales haya poca o nula presencia de fibra y justamente ahí ocurría la falla. Esto sucede en algunas probetas en las que al realizarse la prueba de flexión inmediatamente se generaba la falla, como sucedía en el caso de las probetas de mortero puro, lo cual demuestra que dichas probetas poseían poca o nula cantidad de fibras en dicha zona de contacto. De tal forma todo va relacionado con la homogeneización de las fibras dentro de las probetas. Esta observación se esquematiza en la Figura 8.

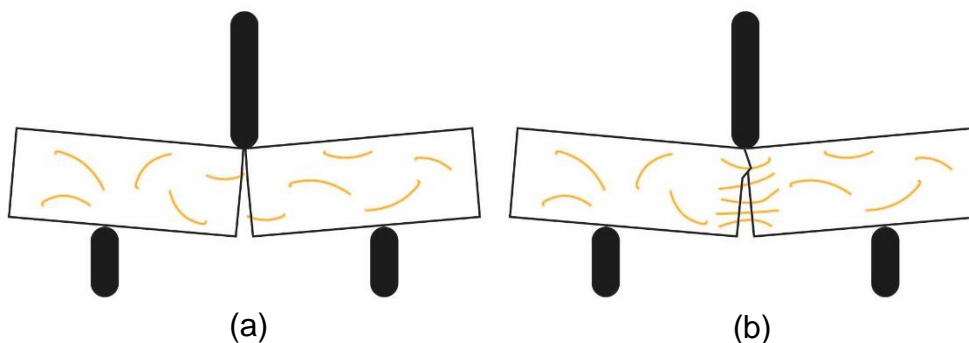


Figura 8. (a) Representación de probeta con poca cantidad de fibra en la zona del contacto, lo cual hace que la probeta se quiebre con facilidad al no ofrecer resistencia, (b) probeta con alta cantidad de fibra en la zona de contacto lo cual le da mayor resistencia.

En el caso de la flexión se observa que al aumentar la cantidad de fibra el esfuerzo máximo es menor con respecto a la muestra con menor cantidad de fibra, al menos en el caso de la fibra sin óxido de hierro. Con la adición del óxido de hierro las probetas que poseían mayor cantidad de fibra sí demostraban un aumento del

esfuerzo de flexión máxima en comparación a las de fibra baja. Lo cual lo hace contradictorio ya que con sólo añadirle el óxido de hierro las características de resistencia, que hacían que las probetas de fibra baja tuvieran mayor capacidad de resistir la flexión, cambian a la inversa en donde las de fibra alta llegan a resistir más que las de fibra baja cuando se tiene agregado el óxido de hierro.

Tal situación también sucede en el caso de la deformación de flexión máxima en donde se puede observar que las probetas de fibra baja se deformaban de mayor manera que las de fibra alta, lo cual demuestra que pueden resistir más la flexión antes de romperse. Pero al igual que en el caso anterior al añadirle el óxido de hierro dichos factores cambian haciendo que las probetas de mortero con fibra alta y óxido de hierro sean mucho más resistentes que las probetas de fibra baja y óxido de hierro. Además, las probetas con fibra tienen un aumento considerable en la deformación y en la resistencia a la flexión en comparación a las probetas de mortero simple, ya que éstas se fisuraban sin generar resistencia.

De tal manera se puede establecer que los resultados cambian considerablemente y no siguen una tendencia establecida. Esto puede deberse a que una menor cantidad de fibra hace que la probabilidad de la dispersión sea mayor, porque al ser menor la cantidad la fibra no debería enredarse entre sí en la distribución dentro de la probeta. Sin embargo, tal tendencia no sucede al agregar el óxido de hierro lo cual lo hace una tendencia irregular, además que se puede argumentar que una mayor cantidad de fibra hace que las posibilidades de una zona de contacto con poca cantidad de fibra sean menores. Incluso se podría inferir que en el caso de las probetas de mortero con fibra alta se pudo haber llegado a una saturación de la cantidad de fibras por lo cual se puede observar que las propiedades mecánicas resultaban mejores en las probetas con fibra baja, ya que la saturación genera que las probetas pierdan características mecánicas porque hay una menor cantidad de mortero en la composición. Todo esto demuestra que es una tendencia variable y que no deja una conclusión clara, para esto se recomienda realizar trabajos futuros que ayuden a aclarar este fenómeno.

Además, en el caso del mortero compuesto con fibras se pudo observar también un comportamiento diferente. En el gráfico de la Figura 9 se puede observar el primer comportamiento, en donde se muestra que la línea azul se comportó de manera en que al iniciar la prueba se generó la fractura en poco tiempo, ya sea por la falta de fibra de coco o por la poca unión entre las fibras dentro de la zona en que se fracturó. Para esta muestra, la resistencia a la compresión subió a una carga máxima hasta ocasionar la fractura y posteriormente se pudo observar como las fibras comienzan a aportar una resistencia que permite que la probeta siga soportando una carga constante. Las fibras mantienen unidas las dos partes de la probeta por lo cual puede seguir soportando la carga ya que genera una resistencia, sin embargo, conforme sube la carga las fibras que sostienen la unión se van soltando progresivamente, esto se puede observar en la Figura 10.

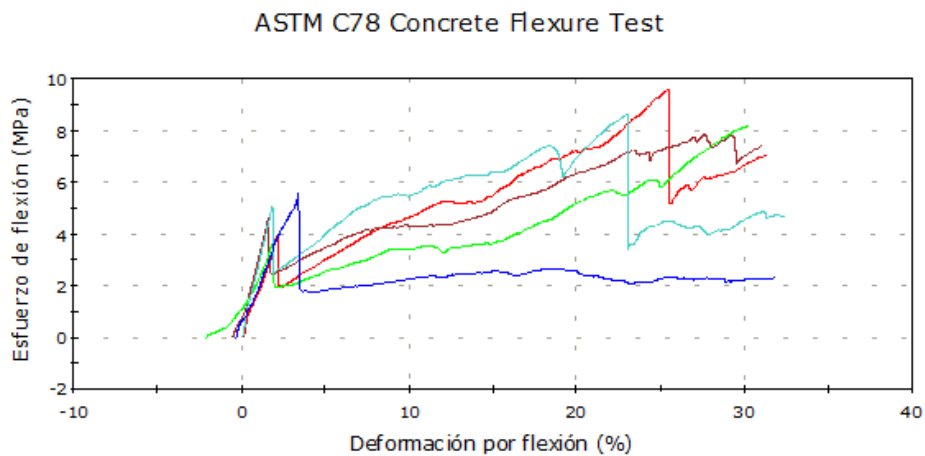


Figura 9. Gráfico de las probetas de flexión con fibra baja.



Figura 10. Fisura de las probetas de flexión. Se puede observar como las probetas siguen unidas por medio de las fibras.

De igual manera se puede observar otro comportamiento en el que la carga aumenta, genera la falla, pero paralelamente la probeta se va fracturando en uno de los dos soportes de la máquina universal, debido a que ahí también se va generando una carga. Es una fractura a 45 grados. Esto hace que se genere una especie de triángulo entre las dos fracturas que afectan la probeta. De tal forma se puede observar en el gráfico de la Figura 9 como se generan varios puntos de fractura hasta llegar a una falla total como se puede observar en la línea de color celeste. Esto sucede principalmente porque se genera una falla inicial (primera fractura vertical), ahí disminuye la carga por la grieta que se generó, pero se empieza a generar una resistencia por medio de las fibras, lo cual hace que la carga siga aumentando. Este fenómeno se puede ver en la Figura 11.

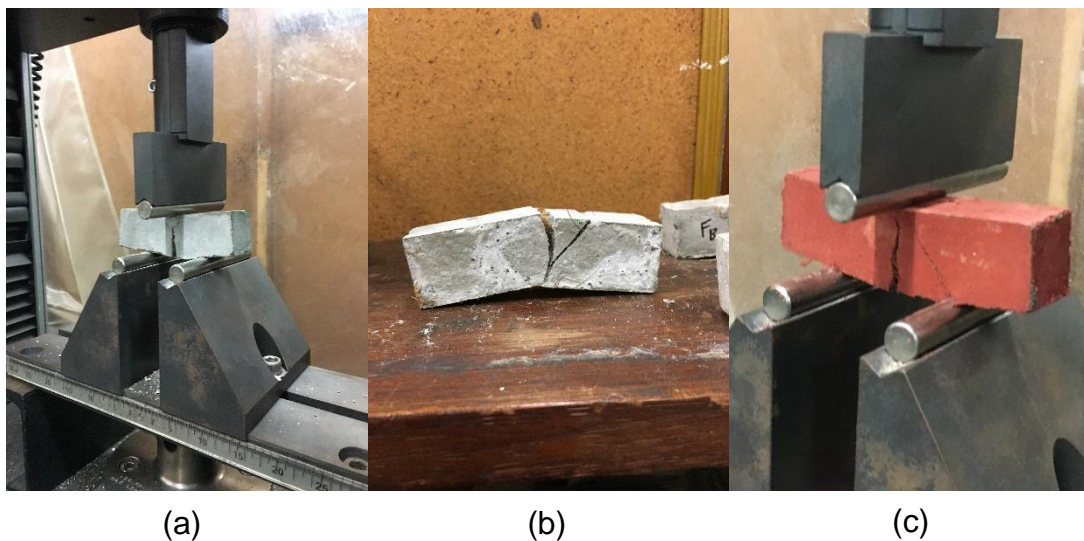


Figura 11. Fenómeno de fisura de 45 grados. (a) Probeta en prueba de flexión; (b) fractura de 45 grados; (c) fractura de 45 grados en probeta con óxido de hierro

Por tales razones se puede decir que en el caso de la flexión mucho depende de la dispersión y homogeneidad de la fibra de coco dentro de la probeta debido a que al concentrarse la presión de la máquina en un punto principal (el del contacto), la resistencia depende de si hay fibras de coco en dicha zona para lo cual pueden proporcionar una resistencia. En el caso de no haber, la probeta se flexionará y romperá sin resistir. La conclusión más clara en el caso de la flexión es que con fibra y óxido de hierro la resistencia a la flexión aumenta considerablemente en

comparación a las probetas de mortero puro, a pesar de que se presentan variables que pueden poner en duda dicha afirmación.

7. CONCLUSIONES

- Se puede establecer que, tanto en los casos de flexión como compresión, la adición de fibra de coco y óxido de hierro mejora las características mecánicas del mortero, al menos si se compara con el mortero en estado puro. En el caso de la compresión, se observa una mejora del comportamiento del material ante la presión, en donde logra mantener su forma, además que su resistencia mejora levemente si se compara al mortero en estado puro. En el caso de la flexión la resistencia se mejora considerablemente en donde el esfuerzo de flexión máxima se duplica cuando se agregan dichos agregados. Así mismo en la deformación de flexión máxima se puede observar que el uso de la fibra permite que las probetas se puedan deformar de mayor manera aguantando la presión hasta producirse el fallo.

- La fibra bloquea la propagación de las grietas, uniendo el material de manera que se mantiene unido aún después de fracturarse. Esto se pudo observar tanto en las probetas de compresión, como en las de flexión. Sin embargo, es en las de flexión en las que se puede observar que la fibra hace que las piezas, ya fracturadas, se mantengan unidas y puedan soportar mayor carga, incluso después de su falla inicial.

- En los resultados de las pruebas de flexión se pudo observar que había probetas que no cumplían la tendencia de resistencia ya que los resultados de resistencia variaban en las probetas con fibra y en las probetas con fibra y óxido de hierro. En las primeras la mayor resistencia ocurría en las probetas con fibra baja, en cambio al agregarse el óxido de hierro la mayor resistencia sucedía en las probetas con fibra alta. Esto se puede deber al asunto con la homogeneización y dispersión de la fibra dentro de la probeta en donde había probetas que en la zona de contacto de la prueba no poseían suficiente fibra como para resistir. Tal situación tiene relación con la mezcla de las fibras, ya que ésta no es homogénea debido a que al mezclarse las fibras se suelen unir y enredar entre sí, por lo cual la mezcla

con el mortero no queda uniforme en cantidad de fibra. Lo cual hace que su resistencia en el mortero se vea afectada debido a su distribución, para esto se recomienda trabajos futuros que ayuden a aclarar este fenómeno.

- La principal ventaja de la adición de la fibra es que se baja la masa del mortero debido a que la pieza contiene menor peso ya que usa menos materias primas, es decir menos cemento y menos arena. Además, que hace que se utilice la fibra de coco que en sí es un residuo natural. De tal manera se le da un valor agregado a un residuo y con ello se logra mejorar las cualidades del material.

8. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta las conclusiones y resultados obtenidos en el trabajo de investigación se recomiendan trabajos futuros que estudien el tema de la dispersión y la distribución de las fibras dentro de las probetas, además de su resistencia con tal de poder entender de mejor manera las ventajas mecánicas de la adición de la fibra.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Altamirano, G. de la Cruz, Sanchez, S. T., & Cuevas, A. S. (2015). Utilización de fibra de coco en la elaboración de piezas ecosustentables de mampostería. Perspectiva en México y avance de estudio. Tomado de:
https://www.researchgate.net/publication/288991375_UTILIZACION_DE_FIBRA_DE_COCO_EN_LA_ELABORACION_DE_PIEZAS_ECOSUSTENTABLES_DE_MAMPOSTERIA_PERSPECTIVA_EN_MEXICO_Y_AVANCE_DE_ESTUDIO
2. Bernal, B. A. F., & Saavedra, K. A. H. (2008). Diagnóstico De La Industria Del Cemento En Colombia Y Evaluación De Alternativas Tecnológicas Para El Cumplimiento De La Norma De Emisión De Fuentes Fijas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1(9), 154. Tomado de:
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
3. Bledzki, K., Reihmane, S., y Gassan, J. (1996). "Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites". *Journal of Applied Polymer Science* (59): 1392-1336.
4. Duarte, S., Queiroz, S., Sanches, A., Vicentini, R., y Dedini, G (2012). "Ethnobotant of Natural Fibres-Bactris setosa (tucum) in a Traditional Rural Community". *Poland: Fibres & Textiles in Eastern Europe* (2): 18-20.
5. Kishar, E. A., Alasqalani, M. Y., Sarraj, Y. R., & Ahmed, D. A. (2015). The Effect of Using Commercial Red and Black Iron Oxides as a Concrete Admixtures on its Physiochemical and Mechanical Properties. *International Journal of Science and Research*, 4(12), 1389–1393.
6. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Jussara, T. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Tomado de:
https://www.academia.edu/29059360/PCA_Diseño_y_Control_de_Mezclas_de_Concreto

7. Maya, J. y Rajesh, D. (2008). "Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites". *Polymer composites*. (29):187-208.
8. Monzón, P. (2017). *Comparación de las características físicas y propiedades mecánicas en morteros reforzados, con fibra natural extraída del tronco de la palma de coco y fibra de polipropileno*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
9. Navas De García, A., Reyes Gil, R. E., & Galván Rico, L. E. (2015). Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto, *4*, 67–80. Tomado de: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
10. Paricaguán, B. (2015). Contribución al estudio del comportamiento mecánico y fisicoquímico del concreto reforzado con fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar para su uso, 1–195. Tomado de: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/2416/bparicaguan.pdf?sequence=1>
11. Paricaguán, B., Albano, C., Palacios, J., Torres, R., Camacho, N., Infante, J., & Alvarado, M. (2013). Degradación térmica de fibras de coco con tratamiento químico provenientes de mezclas de concreto (estudio cinético). Thermal degradation of fibers of coconut with chemical treatment from mixtures of I make concrete (kinetic study).
12. Payá, V., Serrano, M., Giner, J., & Gil, A. (2009). Evolución de la resistencia del hormigón con la edad y la temperatura.
13. Quintero Garcia, S. L., & Gonzalez Salcedo, L. O. (2006). Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecanicas del concreto. *Ingeniería y Desarrollo*, (20), 135–150. Tomado de: <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsgao&AN=edsgcl.258600212&lang=es&site=eds-live>
14. Sánchez De Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. (Bhandar, Ed.). Universidad Pontificia Javeriana.
15. Tom, A. (2014). Coconut fibre reinforced concrete (Doctoral dissertation, Mahatma Gandhi University).

16. Velásquez, R., Acosta, M., Gaona, C., Almeraya, F., & Martínez, A. (2004). Efectos de los aditivos en la corrosión de estructuras de concreto reforzado, *19*, 103–108.
17. Villanueva, N. E. (2016). *Influencia de la adición de fibra de coco en la resistencia del concreto*. Universidad Privada del Norte. Tomado de:
[http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3547/TESIS Viscosidad %28Bibliotecas UNAM%29.pdf?sequence=2](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3547/TESIS%20Viscosidad%20Bibliotecas%20UNAM%29.pdf?sequence=2)

10. ANEXOS

Anexo 1: Imágenes del proceso de fabricación de las probetas

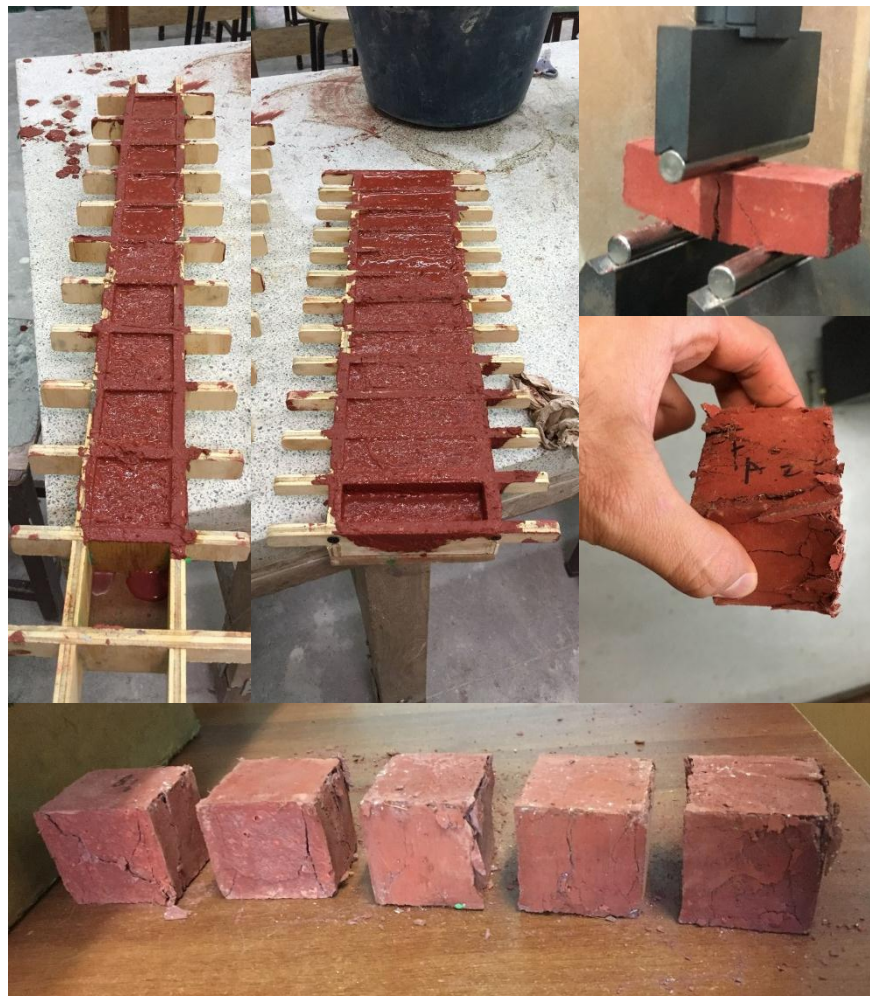
Preparación serie de concreto puro. Preparación de materiales.



Serie de probetas con concreto y fibra de coco



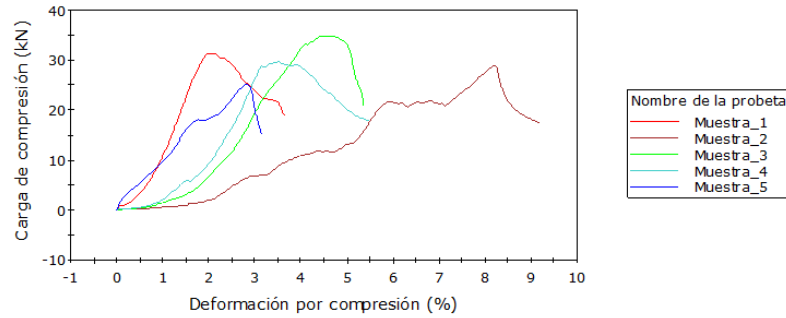
Serie de probetas con concreto, fibra de coco y óxido de hierro



Anexo 2: Gráficos con resultados de compresión y flexión

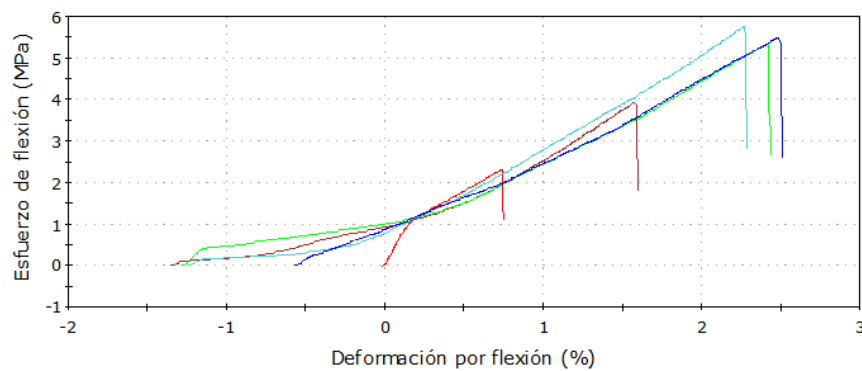
Gráficos con las curvas de resistencia a compresión y flexión.

Probetas concreto puro, compresión y flexión



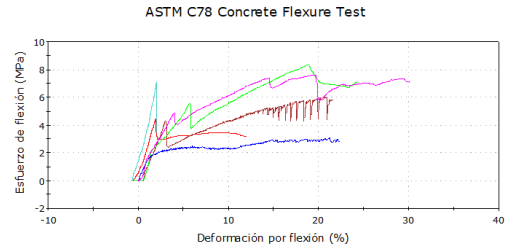
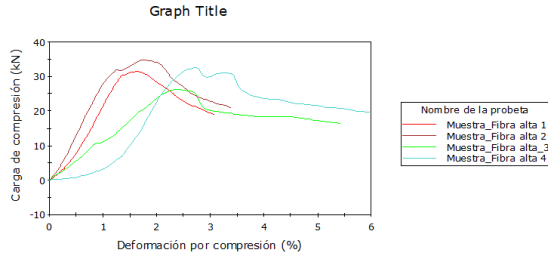
	Etiqueta de la probeta	Carga de compresión Maximum Comp. load (N)	Esfuerzo de compresión Maximum Comp. load (MPa)
1	Muestra_1	31395.08	12.56
2	Muestra_2	28856.85	11.54
3	Muestra_3	34879.80	13.95
4	Muestra_4	29694.32	11.88
5	Muestra_5	25102.43	10.04
Media		29985.69	11.99
Desviación estándar		3575.76	1.43

	Deformación por compresión Maximum Comp. load (%)
1	2.00
2	8.20
3	4.46
4	3.52
5	2.82
Media	4.20
Desviación estándar	2.41



	Rupture Modulus (Tension Failure) (MPa)	Max Load (N)	Módulo Modulus (Automatic) (MPa)	Energía al Break (Standard) (J)
1	1.54	834.26	700.64	0.05
2	2.62	1413.68	249.01	0.20
3	3.56	1921.72	221.40	0.39
4	3.84	2075.17	253.31	0.37
5	3.65	1972.11	224.19	0.39
Media	3.04	1643.39	329.71	0.28
Desviación estándar	0.96	519.47	207.85	0.15

Probetas concreto con fibra baja, compresión y flexión

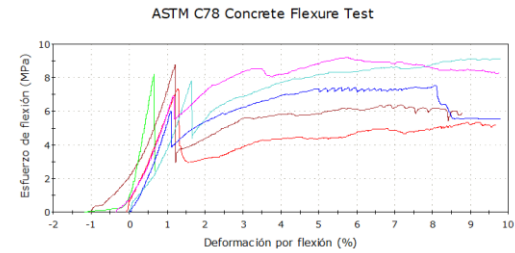
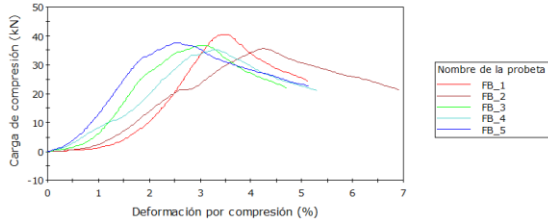


	Etiqueta de la probeta	Carga de compresión Maximum Comp. load (N)	Esfuerzo de compresión Maximum Comp. load (MPa)
1	Muestra_Fibra larga 1	31476.09	12.59
2	Muestra_Fibra larga 2	34875.04	13.95
3	Muestra_Fibra larga 3	26314.98	10.53
4	Muestra_Fibra alta 4	32596.83	13.00
Media		31293.23	12.52
Desviación estándar		3611.03	1.44

	Rupture Modulus (Tension Failure) (MPa)	Max Load (N)	MóduloElastic Modulus (Automatic) (MPa)	Energía al Break (Standard) (J)
1	2.95	1591.26	234.48	1.90
2	2.98	2150.58	115.99	4.45
3	5.57	3006.96	108.13	6.86
4	4.75	2566.65	348.80	0.43
5	2.06	1112.80	143.15	2.73
6	5.09	2749.32	133.05	9.03
Media	4.07	2196.26	180.60	4.23
Desviación estándar	1.35	726.95	94.11	3.23

	Deformación por compresión Maximum Comp. load (%)
1	1.62
2	1.75
3	2.37
4	2.75
Media	2.12
Desviación estándar	0.53

Probetas concreto con fibra baja y óxido de hierro, compresión y flexión



	Etiqueta de la probeta	Carga de compresión Maximum Comp. load (N)	Esfuerzo de compresión Maximum Comp. load (MPa)
1	FB_1	40493.18	16.20
2	FB_2	35624.47	14.25
3	FB_3	36710.71	14.68
4	FB_4	35145.78	14.06
5	FB_5	37577.60	15.03
Media		37110.35	14.84
Desviación estándar		2114.77	0.85

	Rupture Modulus (Tension Failure) (MPa)	Max Load (N)	MóduloElastic Modulus (Automatic) (MPa)	Energía al Break (Standard) (J)
1	4.88	1756.45	581.74	3.16
2	5.85	2106.28	725.27	3.73
3	5.47	1970.01	1265.10	0.22
4	6.09	2190.95	371.49	5.30
5	5.01	1802.37	449.09	4.43
6	6.13	2205.93	568.55	5.68
Media	5.57	2095.33	660.21	3.75
Desviación estándar	0.54	194.56	320.19	1.97

	Deformación por compresión Maximum Comp. load (%)
1	3.49
2	4.26
3	3.02
4	3.34
5	2.54
Media	3.33
Desviación estándar	0.64