

**MEJORA DE LAS CONDICIONES DE DURABILIDAD DE LA FIBRA DE FIQUE
COMO ELEMENTO REFORZANTE DEL CONCRETO**

PABLO JARAMILLO BONILLA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DE ARQUITECTURA

PDT

MEDELLIN

2017

**MEJORA DE LAS CONDICIONES DE DURABILIDAD DE LA FIBRA DE FIQUE
COMO ELEMENTO REFORZANTE DEL CONCRETO**

PABLO JARAMILLO BONILLA

Trabajo de grado para optar al título de arquitectura

Asesor

LUIS FELIPE LALINDE CASTRILLÓN

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DE ARQUITECTURA

PDT

MEDELLIN

2017



(31 de mayo del 2017)

(Pablo Jaramillo Bonilla)

“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

ID: 000237748

Pablo Jaramillo Bonilla



DEDICATORIA

Dedico esta monografía a mis padres quienes siempre han sido un gran ejemplo para mí, me han llevado por un buen camino y me han convertido en lo que soy hoy en día.

RESUMEN

Básicamente lo que se plantea en la investigación es el desarrollo de un material compuesto, por medio de la utilización de una matriz de cemento portland y fibras de fique de fácil acceso en el valle de aburra como agente reforzante, con el fin de que compita comercialmente con el GRC (concreto reforzado con fibra de vidrio), presente actualmente en el mercado.

A pesar de que hay otros materiales compuestos con matriz cementante y fibras vegetales como agente reforzante, el principal problema que se presenta es la durabilidad, ya que las fibras vegetales comienzan a descomponerse cuando los componentes orgánicos de las fibras reaccionan con los alcalinos presentes en el concreto¹, por lo cual la investigación plantea la exploración de diferentes tratamientos que se le pueden aplicar a las fibras vegetales para evitar que sean afectadas por la alcalinidad y así permitan a su vez que el material compuesto tenga más durabilidad.

Lo que plantea la investigación es la exploración de diferentes procesos aplicados a fibras de fique, para resolver el problema de la reacción de compuestos orgánicos con la alcalinidad del concreto, para esto, se realizará un análisis previo de los diferentes procesos que podrían ser eficientes para resolver el problema, después de la etapa investigativa, se dará paso a la etapa práctica en la que se generaran los materiales compuestos con matriz cementante, con la utilización de una formaleta específica y con cantidades de la mezcla homogéneas agregando las fibras de fique con los respectivos procesos aplicados como agente reforzante.

Finalmente mediante el desarrollo experimental se realizarán varias pruebas a cada uno de los materiales compuestos resultantes para determinar cuál es el que mejor responde al problema de la durabilidad y determinar sus posibles usos.

Palabras clave: *fibra natural de fique, concreto, durabilidad*

ABSTRACT

Basically what is involved in this research is the development of a composite material. Through the use of a cementitious matrix of portland cement and easily accessible fibers in the valley of boring as a reinforcing agent, in order to compete commercially With the GRC (concrete reinforced with fiberglass), currently present on the market.

Although there are other composite materials with cementitious matrix and vegetable fibers as a reinforcing agent, the main problem is the durability, since the vegetal fibers begin to decompose when the organic components of the fibers react with the alkaline present concrete, So the research proposes the exploration of different treatments that can be applied to the plant fibers to avoid that they are affected by the alkalinity and thus allow in turn that the composite has more durability.

Raising the research is exploring different processes applied to fique fibers to solve the problem of the reaction of organic compounds with alkalinity of concrete, for this, a preliminary analysis of the different processes that could be efficient to be held will solve the problem, after the investigative stage, it will give way to the practical stage in which composite materials with cementitious matrix will be generated with the use of a specific formwork and quantities of homogeneous mix adding fique fibers with respective processes used as a reinforcing agent.

Finally through the several tests were carried out at each of the resulting composites to determine which is the best answer to the problem of durability and determine its possible uses.

Key words: *fique natural fiber, concrete, durability*

¹ Moreno Eric I. (2006).Determinación del pH de la solución de los poros de concreto después de un proceso acelerado de carbonatación. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 10-3, pp.5-12

CONTENIDO

1. MARCO INTRODUCTORIO.....	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2. ANTECEDENTES	13
1.3. ELEMENTOS O VARIABLES	15
1.3.1. Elemento o Variable 1	15
1.3.2. Elemento o Variable 2	15
1.3.3. Elemento o Variable 3	15
1.4. DELIMITACIÓN.....	16
1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.6. OBJETIVO GENERAL	17
1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.7.1. Objetivo Específico 1	17
1.7.2. Objetivo Específico 2.....	17
1.7.3. Objetivo Específico 3.....	17
1.8. JUSTIFICACIÓN	18
1.9. METODOLOGÍA.....	19
2. MARCO CONTEXTUAL.....	21
3. MARCO TEORICO	25
4. MARCO CONCEPTUAL	28
5. MARCO PRÁCTICO	32
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
7. CONCLUSIONES	67
8. RECOMENDACIONES	69
9. BIBLIOGRAFIA	70

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 - ilustración material isotrópico	29
Imagen 2 - ilustración material anisotrópico	30
Imagen 3 - rollo de cabuya compuesto de fique.....	32
Imagen 4 - hisopo de fique.....	33
Imagen 5 - cara superior del material.....	35
Imagen 6 - cara inferior del material.....	35
Imagen 7 - máquina de vibrado.....	36
Imagen 8 - cara superior del material.....	37
Imagen 9 - cara inferior del material.....	37
Imagen 10 -Muestra 1 - 30 segundos de espera previo a retirar el tubo	38
Imagen 11 - muestra 1 (plastificante naftaleno superplastificante de la marca Superaplica)	38
Imagen 12 - dispersión de la muestra 1	38
Imagen 13 - Muestra 2 (plastificante sika plast rm 100)	39
Imagen 14 - Muestra 2. 30 segundos de espera previo a retirar el tubo	39
Imagen 15 - dispersión de la muestra 2	39
Imagen 16 - fibra de vidrio tipo E.....	41
Imagen 17 - fibra de fique	41
Imagen 18 - aceite de canola	41
Imagen 19 - super hidrofóbico never wet	41
Imagen 20 - agave de penca.....	41
Imagen 21 - termómetro utilizado para mantener la temperatura estable	43
Imagen 22 - proceso de envejecimiento a 55 C	43
Imagen 23 - maquina Instron 5582.....	44
Imagen 24 - probetas marcadas en los apoyos.....	44
Imagen 25 - características físicas de la probeta	44
Imagen 26 - probetas de fibra de fique 14 días	46
Imagen 27 - fisura expuesta a exceso de carga.....	46
Imagen 28 - fisura	46
Imagen 29 - probetas fibra de vidrio 14 días	48
Imagen 30 - fisura expuesta a exceso de carga.....	48

Imagen 31 - fisura	48
Imagen 32 - probetas fibra de fique + agave 14 días + 2 horas	50
Imagen 33 - fisura expuesta a exceso de carga.....	50
Imagen 34 - fisura	50
Imagen 35 - probetas fibra de fique + aceite 14 días + 1 hora	52
Imagen 36 - fisura expuesta a exceso de carga.....	52
Imagen 37 - fisura	52
Imagen 38 - probetas fibra de fique + hidrofóbico 14 días + 6 horas	54
Imagen 39 - fisura expuesta a exceso de carga.....	54
Imagen 40 - fisura	54
Imagen 41 - estructura utilizada para la realización	58

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1 - grafica metodología	20
Grafica 2 - resistencia a flexión fibra de fique.....	45
Grafica 3 - resistencia a la flexión fibra de vidrio	47
Grafica 4 - resistencia a flexión fibra de fique + agave.....	49
Grafica 5 - resistencia a la flexión fibra de fique + aceite	51
Grafica 6 - resistencia a la flexión fibra de fique + hidrofóbico	53
Grafica 7 - comparación resistencia a flexión entre tableros 14 días	55
Grafica 8 - comparación resistencia a flexión entre tableros 14 días + 1 hora	55
Grafica 9 - comparación resistencia a flexión entre tableros 14 días + 6 horas	56
Grafica 10 - resistencia a flexión de promedios modificados en todas las edades	57
Grafica 11 - resistencia a impacto fibra de fique a todas las edades	59
Grafica 12 - resistencia a impacto fibra de vidrio a todas las edades.....	60
Grafica 13 - resistencia a impacto fibra de fique + agave a todas las edades.....	61
Grafica 14 - resistencia a impacto fibra de fique + aceite a todas las edades.....	62
Grafica 15 - resistencia a impacto fibra de fique + hidrofóbico a todas las edades	63
Grafica 16 - comparación de resistencia a impacto de los tableros a los 14 días .	64
Grafica 17 - comparación de resistencia a impacto de los tableros a los 14 días + 1 hora de envejecimiento	64
Grafica 18 - comparación de resistencia a impacto de los tableros a los 14 días + 6 hora de envejecimiento	65
Grafica 19 - comparación de resistencia a impacto de los tableros en todas las edades	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - dosificaciones GRC.....	34
Tabla 2 – resistencia a flexión fibra de fique	45
Tabla 3 - resistencia a la flexión fibra de vidrio.....	47
Tabla 4 - resistencia a flexión fibra de fique + agave	49
Tabla 5 - resistencia a la flexión fibra de fique + aceite.....	51
Tabla 6 - resistencia a la flexión fibra de fique + hidrofóbico.....	53
Tabla 7 - resistencia a impacto fibra de fique a todas las edades.....	59
Tabla 8 - resistencia a impacto fibra de vidrio a todas las edades	60
Tabla 9 - resistencia a impacto fibra de fique + agave a todas las edades	61
Tabla 10 - resistencia a impacto fibra de fique + aceite a todas las edades	62
Tabla 11 - resistencia a impacto fibra de fique + hidrofóbico a todas las edades .	63

1. MARCO INTRODUCTORIO

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El desarrollo de materiales compuestos con matriz de cemento portland y fibras vegetales como agente reforzante permite una disminución en la huella ecológica generada por el auge constructivo de los últimos años en el valle de aburra, esto debido a que las mismas son un bien renovable, el cual estaría remplazando a muchos recursos no renovables que se utilizan como agentes reforzantes con la matriz cementante en la construcción tradicional, además si se utiliza un recurso local en lugar de un recurso importado, se disminuiría la huella de carbono del material final a su vez el producto también contribuirá a un beneficio económico, ya que los costos del material serían menores, gracias a los sencillos procesos de la extracción de las fibras vegetales, y a su fácil acceso, lo que disminuye en costos de transporte.

Teniendo esto en cuenta y según la Federación Nacional de Cultivadores de Fique, “Fedefique con 30.000 toneladas anuales, Colombia se coloca como el mayor productor de mundial de fibras de fique, El departamento de Antioquia después de Nariño y Cauca es el tercer mayor productor de fique de país, con una producción de 854 toneladas anuales que representan el 70% de la producción en fibras del departamento, el principal productor del departamento es el municipio de San Vicente, con una producción anual promedio de 408tn durante el periodo 2002-2009; después se encuentra, en orden, Barbosa con una producción de 164tn anual promedio; estos dos municipios representan el 52% de la producción del departamento durante el periodo mencionado. Aprovechando esta gran producción de esta fibra en el país y en especial en el departamento”², la fibra escogida para la realización de la investigación, sin embargo el principal problema para la investigación en la unión de una matriz cementante y fibras vegetales como agente reforzante, es la durabilidad del material final, por lo que este trabajo se centró en el tratamiento de las fibras con sustancias hidrófobas que

² Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. *Con ganancias del fique llenan el marranito* (en línea). <<http://periodico.sena.edu.co/productividad/noticia.php?t=con-ganancias-del-fique-llenar-undefineddel-marranitoundefined&i=302>>. Citado el 15 de mayo del 2017

imposibiliten el contacto de los componentes orgánicos de las fibras y los alcalinos del concreto.

Logrando una durabilidad mayor en el material final este podría ser utilizado en muchos países subdesarrollados y en vía de desarrollo en los que se necesita economizar en costos de producción y no se puede suplir la demanda de otros agentes reforzantes.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar

Se preparó un material compuesto de fibra de bagazo de caña y concreto, donde las fibras presentaron una distribución aleatoria dentro del compuesto. Se estudió la influencia del tamaño y de la adición de fibras expresadas en porcentaje del peso total, en la resistencia a compresión y en la densidad del material. Este estudio encontró que el compuesto con las fibras retenidas por el tamiz N° 6, y con una adición entre el 0,5 y 2,5% de fibras en relación al peso total del agregado grueso, presentó una resistencia de 16,88 MPa, y una densidad de 141 y 336kg/m³ comparado con la de un concreto pesado de 2400 kg/m³.

1.2.2. Propuesta de material de construcción para obras turísticas.

El uso de fibras vegetales, para reforzar matrices a partir de cemento, ha sido objeto de varios estudios, con el propósito de aumentar su uso. En la mayoría de los materiales producidos, la zona de transición, por ser bastante porosa y rica en hidróxido de calcio, se muestra como elemento a ser modificado, para que se consiga mejor desempeño mecánico. Entre las soluciones, está la protección de las fibras con sustancias hidrófobas. Se propone la protección de las fibras vegetales, con las sustancias hidrófobas presentes en subproductos industriales, como mezcla cera/resina de caña de azúcar. Se utiliza la experiencia de la provincia de Matanzas de producción del fibrequén, impregnando las fibras de henequén con una mezcla de 10 gramos de cera y 90 gramos de resina. Se determinan la resistencia a compresión y a flexión de morteros de cemento Portland reforzados con fibras protegidas⁴.

³ Osorio Saraz, Jairo Alexander; Varón Aristizabal, Fredy; Herrera Mejía, Jhonny Alexander. *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*. dyna, [s.l.], v. 74, n. 153, p. 69-79, sep. 2007. ISSN 2346-2183. disponible en: <<http://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/943/11634>>. fecha de acceso: 25 mayo 2017

⁴ Torres Fuentes, Magali, Macías Mesa, José A, Fernández Urquiza, Fernando. *Propuesta de material de construcción para obras turísticas*, Universidad de Matanzas Cuba (en línea). <<http://biblat.unam.mx/es/revista/retos-turisticos/articulo/propuesta-de-material-de-construccion-para-obras-turisticas>>. Fecha de access 25 mayo 2017

1.2.3. Evaluación del jugo de fique como aditivo oclisor de aire y su influencia en la durabilidad y resistencia del concreto.

Básicamente se estudia la influencia de la adición de jugo de fique a una matriz cementante y las influencias del mismo en la durabilidad del material compuesto, en este trabajo se demostró que el aditivo aumenta la plasticidad y reduce el contenido de agua de la mezcla hasta en un 25%. En los morteros y hormigones endurecidos, se reduce la absorción capilar y la densidad; las resistencias mecánicas se ven disminuidas por efecto de la inclusión de las burbujas de aire, pero pueden obtenerse valores por encima del 90% de la muestra control, límite establecido por las normas ASTM y NTC. Se logran resistencias adecuadas hasta con el 5% de jugo en la mezcla y se obtienen parámetros recomendados de la estructura de poros que favorecen la durabilidad del concreto.

Se lograron encontrar investigaciones que se limitan a la realización de estudios mecánicos de compresión, tracción, etc. Dejando a un lado un factor importante como es la durabilidad del material compuesto (matriz cementante y fibras vegetales como agente reforzante), además tampoco se da un estudio específico en el proceso de tratado de las fibras para evitar que sean atacadas por la alcalinidad del concreto. Por último no hay un interés específico que se centre en el estudio de las propiedades de las fibras vegetales encontradas en el valle de aburra con un uso final como agentes reforzantes de un material compuesto con matriz cementante⁵.

1.2.4. Evaluación del jugo de fique como aditivo oclisor de aire y su influencia en la durabilidad y resistencia del concreto.

En la investigación se produjeron prismas y finalmente tableros de concreto de 400x400x10 mm para determinar procesos y mezclas que permitieran la incorporación de fibras naturales de fique, que se convierten en residuos producidos en grandes cantidades por las industrias y el comercio colombiano, para reforzar la matriz cementante de los tableros y disminuir el uso de otras materias primas más costosas; y finalmente establecer por medio de pruebas de flexión e impacto si los tableros son estables y cumplen con las condiciones necesarias para su funcionamiento como elemento no estructural.

Con los resultados experimentales obtenidos se deduce que los tableros con adición de fibras de fique son estables a flexión e impacto para elementos no estructurales; Los tableros con adiciones presentan una mayor resistencia que los tableros sin adiciones y algunos resultados de los tableros con fibra de fique y adición de nanosilice son comparables con los obtenidos por los tableros con fibra de vidrio⁶

⁵ Jaramillo Zapata, Leyla Yamile (2009) *Evaluación del jugo de fique como aditivo oclisor de aire y su influencia en la durabilidad y resistencia del concreto*. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

⁶ Santana Osorio, Isis Dalila (2013) *Concreto y fique durabilidad y resistencia*. Monografía de grado de arquitectura, Universidad Pontificia Bolivariana.

1.3. ELEMENTOS O VARIABLES

1.3.1. Elemento o Variable 1

Agente reforzante (fibras de fique): encontrar un agente reforzante de origen vegetal, de alta oferta en el departamento de Antioquia y que cumpla con características mínimas para su uso en el material compuesto

Sub-variables:

- Cualidades de las fibras: estas se pueden presentar como tiras longitudinales o pequeños trozos de fibra.
- Cantidad de fibra por formaleta: se puede medir en gramos, en unidad de fibra o en metros longitudinales.
- Organización de las fibras en el material compuesto.

1.3.2. Elemento o Variable 2

Tratamientos aplicados a la fibra: se debe hacer la aplicación de tratamientos a la fibra vegetal para reducir o nulificar por completo la reacción de los alcalinos de la matriz cementante con los componentes orgánicos de la fibra.

Sub-variables:

- Cantidad de sustancia utilizada para el tratamiento
- Tiempo en que se deja la fibra con el proceso aplicado antes de agregarla a la matriz cementante

1.3.3. Elemento o Variable 3

Matriz cementante: se debe establecer una matriz cementante eficiente que se homogenice con la fibra vegetal

Sub-variables:

- Dosificaciones
- Tiempos de mezclado

1.4. DELIMITACIÓN

El proyecto se divide en dos etapas una investigativa y la etapa práctica, la etapa investigativa se centra principalmente en:

- La búsqueda de una fibra vegetal de fácil acceso en el valle de aburra, que presente buenas características mecánicas para trabajar como agente reforzante junto con una matriz cementante para formación de un material compuesto.
- Determinar una organización de las fibras en el material compuesto
- Encontrar tres tratamientos de tratado de las fibras que posiblemente incrementen la durabilidad del material compuesto
- Determinar unas cantidades de mezcla ideales para la formulación del material compuesto y a su vez una formaleta eficiente para la realización de los estudios mecánicos del material compuesto.

Toda la etapa investigativa es posible de realizar en Medellín y está planificada para terminarse el 28 de septiembre del año 2016.

La etapa práctica se concentra básicamente en la realización del material compuesto con la fibra de fique con cada uno de los 3 tratamientos aplicados a la fibra, para esto se producirán 10 tableros de 40 x 40 x 1 cm de los que se obtendrán 3 probetas para flexión y 3 probetas para impacto, para cada uno de los tratamientos aplicados a la fibra así como también para la fibra sin procesar y la fibra de vidrio tipo E para obtener muestras que permitan establecer una comparación, además se generaran probetas en 3 edades diferentes en por cada uno de los materiales compuestos con el fin de determinar cuál de los 3 materiales compuestos responde mejor al problema de durabilidad. Esta etapa se puede realizar en los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana y está planificada para terminarse el 15 de mayo del 2017.

1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Cuál de los tres tratamientos aplicados a las fibras de fique que actúan como agente reforzante en un material compuesto con una matriz cementante, en un molde de GRC, aumenta la durabilidad del material compuesto mediante la evolución de sus propiedades mecánicas?

1.6. OBJETIVO GENERAL

Lograr mediante la mezcla de una matriz cementante y el uso de fibras de fique tratadas con una sustancia hidrofóbica, reducir la reacción de los alcalinos del concreto con los componentes orgánicos de las fibras con el fin de aumentar la durabilidad del material compuesto, y encontrarle un uso eficiente como material de construcción.

1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.7.1. Objetivo Específico 1

Determinar 3 diferentes tratamientos aplicables a la fibra de fique con el fin de disminuir la reacción de los alcalinos del concreto con los compuestos orgánicos de las fibras.

1.7.2. Objetivo Específico 2

Caracterizar físicamente una fibra de fique disponible comercialmente, determinando sus principales características, medidas de longitud y grosor, y si se trata de un material que se desecha en la industria.

1.7.3. Objetivo Específico 3

Definir una dosificación y una formaleta eficientes para las muestras que se van a utilizar en la etapa práctica, que permitan la conformación de prototipos para las pruebas mecánicas ajustados a la norma.

1.8. JUSTIFICACIÓN

Con la generación de un material compuesto de una matriz cementante y la fibra de fique como agente reforzante y que responda correctamente al problema de durabilidad, permitiendo su uso en el medio constructivo, se generan muchos beneficios, como lo son las ventajas de la utilización de una materia prima regional, que a su vez es un recurso renovable, como sustituto de otros agregados o agentes reforzantes, creando así que no se gasten recursos no renovables en el desarrollo del producto final y a su vez se disminuya la huella de carbono, además de generar una ayuda y un beneficio ambiental, el producto también contribuirá a un beneficio económico, ya que los costos del material serían menores, gracias a los sencillos procesos de la extracción de las fibras vegetales, y a su fácil acceso, lo que disminuye en costos de transporte. El material podría ser utilizado en muchos países subdesarrollados y en vía de desarrollo en los que se necesita economizar en costos de producción y no se puede suplir la demanda de otros agentes reforzantes por lo que se podría recurrir a las fibras vegetales para el desarrollo del material compuesto.

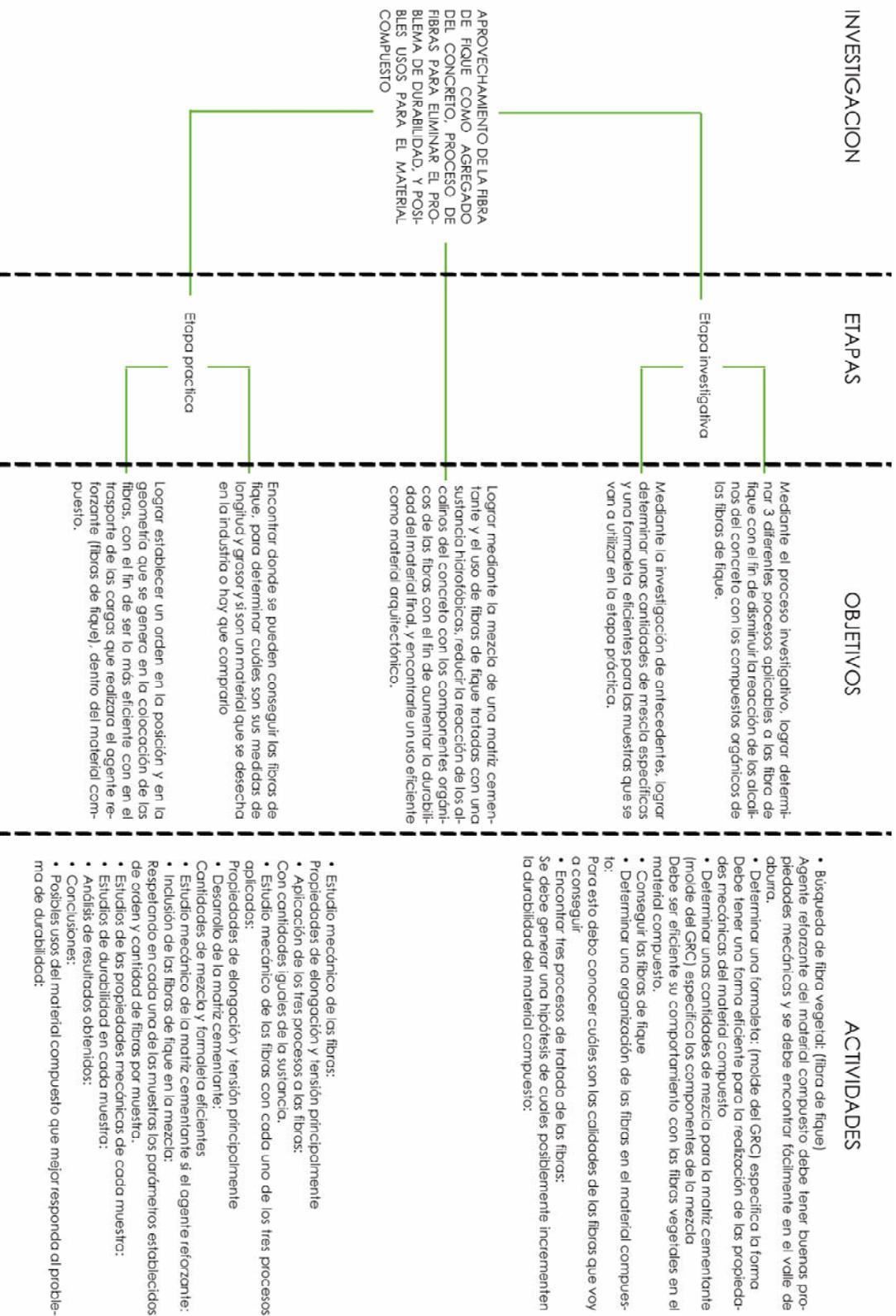
1.9. METODOLOGÍA

Básicamente el trabajo se realizara en dos etapas, una etapa de investigación, la cual se va a centrar en la exploración de varias fibras vegetales y la escogencia de una fibra específica que sea de fácil acceso en el valle de aburra y que cumpla con notables propiedades mecánicas y en la investigación de un tratamiento aplicable a dichas fibras que permita protegerlas contra los alcalinos de la matriz cementante, para la escogencia del tratamiento se debe tener en cuenta los resultados que arroje la investigación en cuanto a la efectividad para anular las reacciones de los alcalinos con los componentes orgánicos de las fibras, como la afectación a las propiedades mecánicas de las fibras, como también la facilidad de conseguir los elementos y materiales necesarios para generar y aplicar el tratamiento.

La segunda etapa será la etapa práctica, en la cual se debe en principio resolver la composición mezcla que dará forma a la matriz cementante con componentes homogéneos para cada una de las muestras con las que se va a hacer el estudio, así como también se debe establecer una formaleta específica que no altere el resultado de las características mecánicas del material compuesto debido a la forma.

También en esta etapa se debe resolver el orden, cantidad y la posición de cada una de las fibras en el material compuesto, para que esto no afecte directamente con el resultado de las propiedades mecánicas del material.

Por último se realizaran pruebas a cada una de las muestras, para la realización del análisis estadístico que determinara cual es el material compuesto que mejor responde al problema de durabilidad junto con sus propiedades mecánicas, y así determinar su posible uso en el campo arquitectónico.



Grafica 1 - grafica metodología

2. MARCO CONTEXTUAL

2.1 NORMATIVAS

Para la investigación y las pruebas específicas del material fue necesario tener en cuenta normas estandarizadas con el fin de obtener resultados pertinentes que estén apoyados en criterios de formulación de normativas internacionales, o que se acerquen lo más posible a las cualidades y cantidades provistas por estas normas.

2.1.1 Normativas relacionadas

- NORMA NTC COLOMBIANA 3459 del 2001-10-31

Esta norma determina si el agua utilizada para la mezcla de concretos es adecuada para su elaboración, describiendo las cualidades específicas del agua y sus posibles fuentes de obtención.

- NORMA ESPAÑOLA UNE-EN 1170-4 1998

Esta norma europea especifica un método de ensayo, aplicable a hormigón armado con fibra de vidrio, para verificar la conformidad con la especificación de resistencia a flexión, con el fin de evaluar la uniformidad de producción y para comprobar la homogeneidad de compactación}

Esta norma está restringida a una máquina de ensayo de cuatro puntos, en el laboratorio a disposición solo se encuentra una máquina de tres puntos

2.1.2 Normativas utilizadas

- NORMA D790 – 15 FEBRUARY 2016.

Esta norma especifica un método de ensayo para aplicable para materiales compuestos reforzados y no reforzados con fibras mediante el ensayo a 3 puntos, especificando las medidas en las que deben de ir los apoyos con respecto al centro que es donde se generara el punto de carga, además especificara la cantidad de carga y la velocidad a la que esta se aplica, todo esto con respecto al grosor dela probeta.

- NORMA UNE-EN 15422. 2009

Esta norma establece los cuales son los requerimientos de las fibras de vidrio que se utilizan para la conformación de paneles de hormigón con propósitos no estructurales, resumiendo que la fibra debe ser de tipo AR la cual debe ser resistente a ambientes alcalinos, debido a la alcalinidad propia de una matriz cementante, estableciendo un contenido de circona mínimo de 16% una densidad entre $2.68 \pm 0.3 \text{ g/cm}^3$, una resistencia a la tracción de 1000 MPa - 1700 MPa, diámetro de filamento de 8 a 30 micrones, una longitud de corte de $\pm 3 \text{ mm}$ del valor nominal y una pérdida de ignición (materia combustible) $\pm 20\%$ del valor nominal $0 \pm 0.3\%$, el que sea mayor, sujeto a un límite superior del 3% por peso. A pesar de ser cantidades establecidas para fibra de vidrio, permiten un acercamiento a las cualidades de la fibra que actualmente utilizan materiales comerciales como el GRC, y a los parámetros que deberían ser cumplidos por otros materiales compuestos reforzados con fibras.

- ASTM C-305 - 12 standard practice for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency.

Esta norma establece un procedimiento de mezclado hidráulico para la elaboración del concreto, en primer lugar se necesita un recipiente y la paleta de mezclado completamente secas y listas para su uso, después se procede a introducir el agua a la mezcla, a continuación se agrega el cemento y se deja reposar por 15 segundos y luego se mezcla a velocidad 1 por 30 segundos, después se adiciona agregado fino, y paralelamente se adiciona el plastificante, en un periodo de 30 segundos mezclando a velocidad 1, después se le adiciona la arena y el plastificante, se mezcla a velocidad 2 por 30 segundos, luego se detiene la mezcladora, y se raspan los bordes de recipiente por 15 segundos, para incorporar a la mezcla el residuo alojado allí, y finalmente se mezcla a velocidad 2 por 60 segundos.

- ASTM C-452-75 Método de ensayo patrón para medir lo expansión potencial de morteros de cemento Portland.

Esta norma establece como es posible medir la fluidez de una mezcla de cemento portland, estableciendo los parámetros a seguir y las herramientas necesarias para el proceso.

2.2 CONTEXTO A NIVEL NACIONAL

2.2.1 GRC

Actualmente en el mercado departamental se oferta concreto reforzado con fibra de vidrio, para la investigación es importante denotar las empresas que lo comercializan con el fin de conocer sus características, ya que este material sería una competencia directa del material compuesto que plantea la investigación.

- **CIMBRADOS**

Actualmente la empresa Cimbrados está trabajando con GRC, que es un material compuesto de matriz cementante y utiliza como agente reforzante fibras de vidrio, las principales ventajas de este material son.

- Alta resistencia a la compresión
- -Elevada resistencia a flexión y tracción, aportada por la fibra de vidrio de manera semejante al aporte del acero en el hormigón armado
- Dureza (resistencia a la rotura por impacto)
- Deformación aparente inexistente
- Inalterable por abrasión
- Impermeabilidad al agua
- Reducido movimiento reversible con la humedad
- Comportamiento excelente en envejecimiento o en ciclo hielo/deshielo
- Resistencia a agresiones químicas, fuego y carbonatación
- Eflorescencia reducida

Esta empresa utiliza paneles de GRC tipo stud frame, tipo sándwich y tipo cascara los cuales tienen unos diámetros de entre 3.00m x 3.00m hasta 6.50 m x 4.00 m y un peso entre 45 kg/m² hasta 65kg/m² dependiendo del tipo de panel.

El GRC con un 5% de adición de fibras, tiene una resistencia a la flexión de 10 – 14 3-5 MPa, una resistencia a la tracción de 8 -113-5 MPa y una resistencia a la deformación de 3-5 MPa⁷.

- **SUMIGLAS**

La empresa Sumiglas es una empresa es una empresa dedicada a la comercialización de materia prima y productos complementarios, en los que se encuentran diferentes refuerzos para su uso en materiales de matriz cementantes.

En la empresa se manejan refuerzos de fibra de carbón y kevlar así como también de fibra de vidrio. La fibra de vidrio como agente reforzante, es comercializada en diferentes telas como:

-Tela mat

-Tela tejida woven roving

-Tela tejida volan

-Manta RTM

Además la fibra de vidrio como agente reforzante también es comercializada como fibra cortada, teniendo 2 tipos de fibra:

-Fibra tipo E

-Fibra tipo AR (alcalino resistente)

Las cuales viene en medidas de 1 pulgada y ½ pulgada⁸.

⁷ Cimbrados. *GRC* (en línea). < <http://www.cimbrados.com/grc.html/>>. Citado el 25 de mayo del 2017.

⁸ Sumiglas. *Fibra de vidrio* (en línea). < <https://www.sumiglas.com/productos/refuerzos/fibra-de-vidrio/>>. Citado el 25 de mayo del 2017.

3. MARCO TEORICO

Se busca la conformación de un material compuesto de una matriz cementante y fibras de fique como agente reforzante, aplicándole tres procesos a las fibras para disminuir la reacción de los alcalinos del concreto con los compuestos orgánicos de las fibras dando una mayor durabilidad al material, esto con el fin de generar un compuesto con cualidades físicas y mecánicas específicas que le permitan ser usado en proyectos arquitectónicos, siendo un material con una menor huella ecológica, teniendo un menor precio gracias a la abundancia de las fibras vegetales y con prestaciones características de un material compuesto como resistencia mecánica a la flexión.

Es esencial para la investigación comprender que un material compuesto es un material que está formado por dos o más materiales con diferentes propiedades físicas, lo que le permite a la composición, reunir las propiedades de los materiales que lo componen en un solo material, este conjunto de propiedades no se obtendrían de los materiales originales.

Los materiales compuestos se pueden clasificar según sus componentes y las cualidades de los materiales que lo componen, según esto existen materiales compuestos endurecidos por dispersión, reforzados con fibras y reforzados con partículas⁹.

Para el caso de la investigación interesa la composición de los materiales compuestos reforzados con fibras, los cuales están compuestos básicamente de dos elementos generales que son, la matriz y el agente reforzante.

Las propiedades del material están determinadas por las cualidades específicas de cada uno de los componentes del compuesto, de la forma geométrica de los componentes así como de la estructura resultante del sistema compuesto y de la manera en que los componentes interactúan entre sí.

El primer componente, es la matriz que se identifica fácilmente debido a que tiene una fase continua, sus funciones principales son tomar la forma que se desea obtener en el material compuesto definiendo sus propiedades físicas y químicas,

⁹ Instituto tecnológico del plástico. *Tipos de materiales compuestos* (en línea). <<http://www.aimplas.es/blog/tipos-de-materiales-compuestos>>. Citado el 25 de mayo del 2017

trasferir las cargas hacia el agente reforzante, encargarse de la cohesión del material final, proteger al agente reforzante de deterioro mecánico y químico y mantener un orden establecido en las fibras del agente reforzante. La matriz responde bien a las cargas compresivas, cuando se le aplican este tipo de cargas al material compuesto, es la matriz la que realiza el esfuerzo debido a su cualidad de fase continua.¹⁰

El segundo componente, es el agente reforzante, que se identifica gracias a que es de fase discontinua. Es el encargado de transferir los esfuerzos mecánicos homogéneamente en todo el material y proporcionar resistencia a la tracción al material compuesto. El agente reforzante responde adecuadamente a las cargas por tracción, cuando un material compuesto experimenta este tipo de cargas la matriz transfiere la carga a cada uno de los componentes del agente reforzante los cuales son llamados fibras, de manera que estos sean los encargados de soportar el esfuerzo.

Las fibras se clasifican según el material del cual están compuestas, las más utilizadas como agentes reforzantes de materiales compuestos son las fibras orgánicas como la fibra de carbono, fibras cerámicas, fibras de vidrio, fibras compuestas de polímeros y las fibras vegetales, estas últimas son de gran interés debido a su bajo costo y fácil acceso.

Las fibras vegetales son las fibras naturales extraídas del reino vegetal y en todas sus formas como semillas, tallos, hojas, frutos y raíces, las cuales son procesadas de manera que permitan obtener productos para diferentes aplicaciones, estas fibras despertaron el interés en los últimos años como agentes reforzantes de materiales compuestos ya que permiten disminuir la huella ecológica del material final y tienen un precio menor al de las otras fibras.

A parte del material que compone las fibras una de las características esenciales que determina como el material compuesto va a reaccionar a los esfuerzos mecánicos es la forma en que están dispuestas en el material compuesto, estas pueden estar de dos maneras ya sea como hilos o como tejidos.

Los hilos, son un conjunto de fibras asociadas en unas dispuestas en forma de cilindro con una longitud específica, estos a su vez y dependiendo de su longitud se encuentran en el material compuesto, ya sea de forma homogénea (con longitudes pequeñas) dispersos en pequeños trozos en todo el material integrándose a la

¹⁰ Naval composites. *materiales compuestos* (en línea). <<http://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos/>>. Citado el 25 de mayo del 2017.

mezcla u ordenados como elementos ajenos a la mezcla de forma unidireccional (con fibras de mayor longitud).

Los tejidos son redes de hilos los cuales están organizados generando una trama entre ellos, según el tipo de trama que se genere entre los hilos, el tejido obtendrá diferentes cualidades físicas y mecánicas.

Además de las características del agente reforzante y de la matriz, las propiedades de los materiales compuestos dependerán de la interface entre sus componentes, la interface es la región de contacto entre el agente reforzante y la matriz, si la interface es débil, las transferencias de cargas de la matriz hacia el agente reforzante no serán eficientes, generando que la matriz sea la única que realice los esfuerzos, según la interface entre los dos componentes las fibras pueden actuar de tres maneras diferentes al aplicarle una carga al material compuesto, ya sea rompiéndose (debido a la buena interfaz y que las fibras seden ante la carga), estirándose (existe una buena interfaz y las fibras no seden directamente ante la carga) y deslizándose (la interfaz entre la matriz y la fibras no es muy fuerte y no permite que las fibras actúen eficientemente frente a las cargas en el material compuesto)¹¹, este es un factor importante a tener en cuenta cuando se le apliquen tratamientos al agente reforzante del material compuesto.

¹¹ F.L. Matthews, R.D. Rawlings. Fracture mechanics and toughening mechanisms. Composite materials: engineering and science. London UK: Chapman & hall. 1994. p. 326 – 352.

4. MARCO CONCEPTUAL

El objetivo de la investigación es la conformación de un material compuesto, a partir de una matriz cementante y de fibras vegetales de fique como agente reforzante, uno de los principales problemas de los materiales compuestos con matriz cementante y reforzados con fibras de origen vegetal es la poca durabilidad del material compuesto, esto es debido a ya que las fibras vegetales comienzan a descomponerse cuando los constituyentes, principalmente la lignina y las hemicelulosas presentes en la lámina media, reaccionan con el agua con pH alcalino contenida en los poros del hormigón, rompiendo la unión entre las células individuales de las fibras, por lo que surge la necesidad de un recubrimiento a estas fibras para en cierta medida anular o disminuir esta reacción creando una mayor durabilidad del material compuesto.

La matriz del material compuesto estará en su mayor parte constituida por concreto y algún agregado que incremente la resistencia del mismo. En general el pH del concreto se encuentra entre 11 y 12, lo que lo convierte en una sustancia básica¹², por sus características básicas es muy dado a descomponer fácilmente compuestos orgánicos, lo que representa un problema para la investigación ya que en el material compuesto, el concreto reaccionara con fibras de fique que son un compuesto orgánico, una de las respuestas que le da la investigación a este problema es la aplicación de diferentes recubrimientos a las fibras, esto con el fin de disminuir la reacción y lograr una mayor durabilidad del material compuesto.

El agente reforzante del material compuesto son las fibras de fique, las cuales son fibras de origen vegetal provenientes específicamente de las hojas de la planta de conocida comúnmente como fique cuyo nombre científico es *Furcraea andina*, por lo cual son fibras clasificadas como fibras vegetales provenientes de hojas. Estas fibras están básicamente compuestas de celulosa que es un polisacárido compuesto de una gran cantidad de moléculas de β -glucosa, lo que las convierte en un compuesto orgánico que reaccionara con los alcalinos del concreto.

Las fibras de fique pueden comportarse mecánicamente diferente según sus características físicas y criterio de ordenamiento en el material compuesto, según

¹² Moreno Eric I. (2006). Determinación del pH de la solución de los poros de concreto después de un proceso acelerado de carbonatación. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 10-3, pp.5-12

esto las fibras de fique se pueden integrar a la matriz cementante de varias maneras.

- Como hilos de manera homogénea, siendo hilos de muy poca longitud que se integran a la mezcla, y se reparten a lo largo de toda la matriz alojándose en diferentes direcciones y comportándose en el material compuesto isotrópicamente, lo que quiere decir que sus características físicas no dependen de la dirección en la que se encuentren dispuestas en el material compuesto, por lo que sus prestaciones mecánicas no están ligadas y como se distribuyeron en la mezcla.

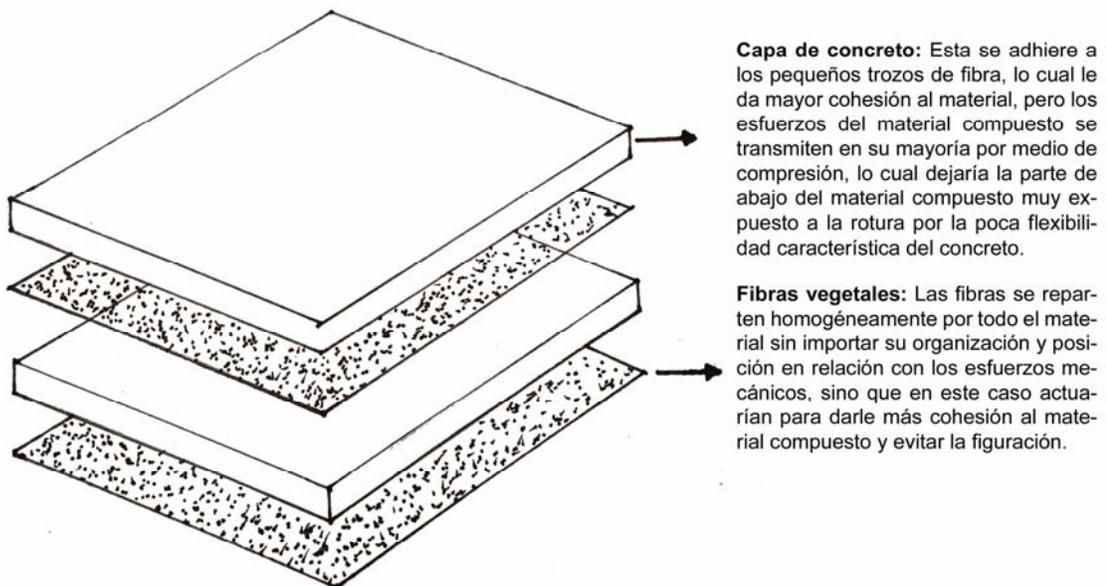


Imagen 1 - ilustración material isotrópico

En este caso los dos componentes del material tienen una mayor cohesión y la mezcla sería mucho más homogénea pero no respondería bien a la flexión en la parte de abajo, una de las fallas más importantes en las cualidades físicas del concreto, por lo que estaría muy expuesto a la rotura en esta zona.

Las fibras actuarían ayudando más a la cohesión del material disminuyendo el agrietamiento que como ayuda a la flexión del material compuesto.

- Como hilos ubicados unidireccionalmente, utilizando fibras de mayor longitud, teniendo una longitud igual a uno de los lados de la formaleta utilizada para el vaciado del concreto. En este caso las fibras actuarían de manera anisotropía lo que quiere decir que las cualidades físicas del material están ligadas a la dirección en que se encuentran dispuestas en el material compuesto.

En este caso las fibras ayudarían a la flexión del material sin embargo no reciben ni reparten muy bien las fuerzas a lo largo de todo el material compuesto debido que están orientadas en una sola dirección generando espacios vacíos en los que la matriz únicamente recibiría las fuerzas.

- Como un tejido, en este caso las fibras se ubican en el material a modo de retícula ortogonal en las dos direcciones, las fibras son de una longitud igual al lado paralelo de la formaleta utilizada para el vaciado del concreto donde están ubicadas.

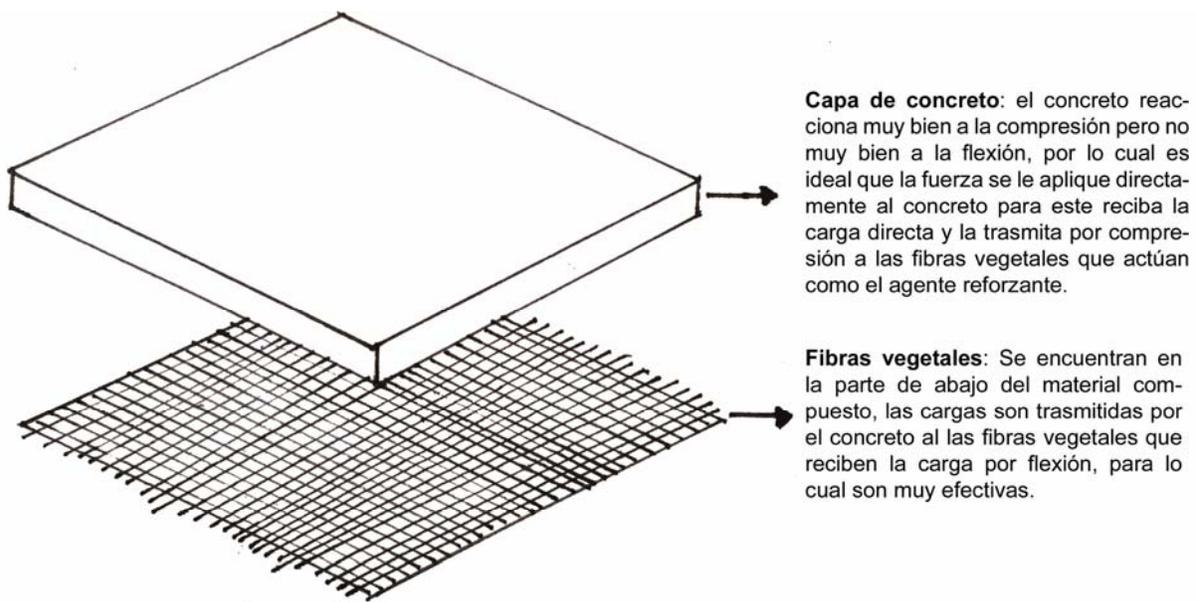


Imagen 2 - ilustración material anisotrópico

Las fibras están ubicadas en los dos sentidos formando una retícula ortogonal. Como las fibras están actuando de forma anisotropía estas transmiten los esfuerzos de en las dos direcciones y se cubre una mayor área del material. Cuando se genera una fuerza de compresión en el material compuesto, la matriz recibe este esfuerzo de compresión y el cemento reacciona bien a este tipo de fuerzas, sin embargo la parte de

abajo del material se ve expuesto a la flexión para lo cual el concreto es propenso a ceder fácilmente, es por esto que agente reforzante se ubica en la parte de abajo, ayudando al material compuesto a responder a la flexión y evitando que se deforme.

Los tratamientos aplicados a las fibras previos a su integración al material compuesto también son un factor importante en el rendimiento del material compuesto, ya que deben influir en la reacción de los alcalinos de la matriz cementante con los compuestos orgánicos de las fibras del agente reforzante, con el fin de aumentar la durabilidad del material.

Se constara de 3 tratamientos aplicables las fibras de fique, con cada uno de ellos se desarrollara un material compuesto y se comparara cual presenta mejor desempeño en términos de durabilidad. Los tres tratamientos aplicados son.

Aceite vegetal, es una sustancia hidrofóbica, la cual se espera que disminuya la relación del agua y alcalinos de pH básico con los compuestos orgánicos.

El agave que es una sustancia proveniente del fique, por sus características de estar en constante contacto con las fibras puede presentar alguna ventaja y en cierto modo disminuir la reacción del agua y alcalinos de pH básico con los compuestos orgánicos.

Con un spray hidrofóbico, tendría una repercusión parecida a la del aceite vegetal siendo una sustancia hidrofóbica que no reacciona con el agua con alcalinos del concreto, sin embargo el spray es mucho más hidrofóbico que el aceite y tiene características físicas y químicas diferentes por lo cual puede arrojar un resultado diferente.

En cuanto al funcionamiento del material, se optó por desarrollar un material en el que su agente reforzante actúa de forma isotrópica esto debido a la facilidad de obtención de las fibras de esta forma, permitiendo que el material se haga practico a la hora de su incorporación en el medio constructivo, y se produzca de forma eficiente para suplir la demanda del mercado.

Uno de los factores a tener en cuenta a la hora de aplicar los tratamientos a las fibras es la si la interface, que es la superficie de contacto entre los dos elementos del material compuesto, esto afectara directamente las transferencias de las cargas mecánicas a través del material compuesto lo que puede ocasionar que solo sea la matriz la que hace los esfuerzos.

5. MARCO PRÁCTICO

En el marco práctico se describe a detalle el proceso de elaboración de los tableros, y la conformación de las probetas de los diferentes materiales compuestos, para permitir la realización de pruebas mecánicas, con el fin de definir la durabilidad y características de cada material compuesto.

5.1 Caracterización de la fibra

Para generar el material compuesto se utilizó como ejemplo la guía establecida para la conformación de GRC (concreto reforzado con fibra de vidrio), que parte de la conformación de una matriz cementante estable con propiedades específicas, para después continuar con el proceso e incorporación de las fibras al material compuesto. Para la conformación de GRC se utilizan dos porcentajes de fibra 3% y el 5% y se utilizan 2 longitudes de fibra que son 12mm y 24mm.

Para conseguir la fibra de fique inicialmente se optó por la utilización de cabuya, realizando un procedimiento en el cual se despegaban las fibras por medio de rotación y se procedía a cortarlas, sin embargo se dieron dos principales problemas, el primero fue la dispersión de las fibras una vez cortadas, debido a que todavía tenían algo de pega y se formaban grumos en la mezcla, el segundo problema fue la eficiencia del proceso, debido a que el proceso era muy lento para llegar a la obtención de un resultado de un 3% de fibra.



Imagen 3 - rollo de cabuya compuesto de fique

Por lo que se optó por la utilización de hisopo de fique para conseguir la fibra debido a sus características, teniendo hilos de 40 cm y además este no viene con las fibras pegadas teniendo un grosor mayor por lo que se obtienen más fibras en cada corte haciendo el proceso más eficiente.



Imagen 4 - hisopo de fique

Para la realización del material compuesto se utilizó un porcentaje de fibra de fique del 1.11% para cada una de las mezclas, esto es debido a que el volumen ocupado por la fibra de fique es notablemente mayor al de la fibra de vidrio, esto debido a su menor peso, por lo que si se fabrica el material, con un 3 % como lo establece la guía para producción de GRC, esto podría afectar las propiedades mecánicas debido a que la proporción entre matriz y fibras hace ineficiente el proceso de adición de las fibras a la matriz cementante en el proceso de mezclado. A su vez, la longitud de la fibra será de 24mm, debido a que si se tiene una mayor superficie de fibra por cada unidad en contacto con la matriz cementante es posible que el resultado del esfuerzo mecánico que realiza el agente reforzante sea mayor y por lo cual se podrían obtener mejores resultados.

5.2 PROCESO DE MEZCLADO PARA LA CONFORMACION DE TABLEROS

Para la fabricacion de el GRC es esencial la conformacion de una matriz cementante estable que sea lo suficientemente fluida para la integracion de las fibras en su totalidad y para permitir su dispersion.

Se recurren a las siguientes dosificaciones de la matriz cementante especificas para la conformacion del tablero de 40x40x1 cm.

Materiales	Dosificación
Cemento	1692 g
Árido	1128.7 g
Agua	582.78 g
Fibra de fique	1.11% 37 g
Plastificante	15 g

Tabla 1 - dosificaciones GRC¹³

5.3 TABLEROS DE PRUEBA

Previo a la producción de los tableros definitivos, fue necesario un conocimiento previo a la manejabilidad de cada uno de los elementos que conforman las dosificaciones del material compuesto, con el fin de entender sus cualidades y cómo reaccionan entre si en el proceso de mezclado y de fraguado, esto con el fin de desarrollar tableros eficientes que permitan la obtención de probetas y la realización de las pruebas mecánicas.

Para esto, se realizaron varias mezclas con el fin de determinar unas dosificaciones óptimas y unas condiciones eficientes para la producción de los tableros finales.

¹³ Isis Dalila Santa Osorio, *concreto y fique: durabilidad y resistencia de tableros aglomerados*. Medellín 2013. Pag 36. Monografía de grado arquitectura. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de arquitectura y diseño.

5.3.1 Producción de tableros de prueba

- **Mezcla 1**

Procedimiento

- Se humedecieron los 37g de fibra de fique en los 582,78g de agua y de dejaron reposar durante 30 segundos
- Se agregaron los 1692 g de cemento marca ultracem y se dejó reposar por otros 30 segundos
- Se procede al mezclado del compuesto por 30 segundos a velocidad 1
- Se adicionan los 1128.7 g de arena de revoque y se mezcla a velocidad 1 durante 30 segundos
- Se deja reposar la mezcla durante 15 segundos
- Se mezcla todo manualmente 1 minuto y a su vez se agregan los 15 g de plastificante naftaleno superplastificante de la marca Superaplica.
- Se le adicionan los 37g de fibra a la mezcla y se mezcla 2 minutos.
- Se procede al vaciado de la mezcla en la formaleta de 40 x 40 x 1 cm



Imagen 6 - cara inferior del material



Imagen 5 - cara superior del material

Problema 1: el acabado superior del material quedó con diferentes huecos, lo que genera varias hipótesis.

- la falta de la homogenización del material a la hora del vaciado en la formaleta
- se pudo dar una pérdida de humedad y aire en el proceso de fraguado (no se dio un proceso de vibrado adecuado), y debido a la presión que supone la cara superior de la formaleta se pudieron generar estos espacios de aire que se convirtieron en huecos una después del proceso de fraguado.

Problema 2: debido a la gran cantidad de solidos que contienen los elementos que se van a mesclar la batidora falla en su funcionamiento, y no permite un mezclado con tiempos controlados.

- **Mezcla 2**

Procedimiento

Nota: para este procedimiento no se utilizó la batidora sino que se optó por realizar el mezclado de forma manual.

- Se agregan los 1692 g de cemento marca ultracem y los 582,78 g de agua (se agregan de a poco con el fin de lograr una mezclahomogenea y de hacer mas facil el proceso de mezclado)
- Se procede al mezclado manual 1 minuto, se deja reposar la mezcla durante 30 segundos.
- Se adicionan los 1128.7 g de arena de revoque y se mezcla y se mezcla manualmente durante 1 minuto
- Se deja reposar la mescla durante 15 segundos
- Se agregan los 15 g de plastificante (se utilizo plastificante naftaleno superplastificante de la marca Superaplica) y se mescla durante 1 minuto
- Se le adicionan los 37g de fibra a la mezcla y se mezcla 2 minutos.
- Se prosede al vaciado de la mezcla en la formaleta de 40 x 40 x 1 cm
- Se procede a vibrar la mezcla durante 30 segundos (utilizando la maquina vibradora)



Imagen 7 - máquina de vibrado

- Se procede a cubrir la formaleta con una bolsa (lo que permitiera que en el proceso de fraguado la mezcla no se vea sometida a presión en su parte superior y que no exista pérdida de humedad)



Imagen 9 - cara inferior del material



Imagen 8 - cara superior del material

- **Mezcla experimental**

Surgió la necesidad de experimentar entre dos tipos de plastificante de los que se tenía disposición con el fin de generar una matriz cementante más adecuada, para esto se realizó una prueba para determinar la fluidez de que cada uno de los plastificantes generaba en la mezcla de concreto utilizada.

Para esto se utilizó igual cantidad de plastificante 15g en cada una de las muestras.

Procedimiento

- Se agregan los 1692 g de cemento marca ultracem y los 582,78 g de agua (se agregan de a poco con el fin de lograr una mezcla homogénea y de hacer más fácil el proceso de mezclado)
- Se procede al mezclado manual 1 minuto, se deja reposar la mezcla durante 30 segundos.
- Se adicionan los 1128.7 g de arena de revoque y se mezcla y se mezcla manualmente durante 1 minuto
- Se deja reposar la mezcla durante 15 segundos
- Se agregan los 15 g de plastificante (muestra 1 se utilizó plastificante naftaleno superplastificante de la marca Superaplica y muestra 2 plastificante sika plast rm 100) y se mezcla durante 1 minuto.

- Muestra 1 se aísla parte de la mezcla, y se procede a rellenar el tubo hasta el borde, después se deja reposar durante 30 segundos y se procede a retirar el tubo permitiendo que la mezcla se expanda sobre la superficie horizontal.



Imagen 11 - muestra 1 (plastificante naftaleno superplastificante de la marca Superaplica)



Imagen 10 -Muestra 1 - 30 segundos de espera previo a retirar el tubo



Imagen 12 - dispersión de la muestra 1

Muestra 1

Se dio una dispersión de 15 cm en su longitud mayor, al utilizarse 15g de plastificante naftaleno superplastificante

- Muestra 2 se aísla parte de la mezcla, y se procede a rellenar el tubo hasta el borde, después se deja reposar durante 30 segundos y se procede a retirar el tubo permitiendo que la mezcla se expanda sobre la superficie horizontal.



Imagen 13 - Muestra 2 (plastificante plastificante sika plast rm 100)



Imagen 14 - Muestra 2. 30 segundos de espera previo a retirar el tubo



Imagen 15 - dispersión de la muestra 2

Muestra 2

Se dio una dispersión de 32cm en su longitud mayor, al utilizarse 15g de plastificante sika plast rm 100, sin embargo no es una mezcla completamente homogénea ya que tiene pequeños grumos.

Se realizara una mezcla (mezcla 4) utilizando el plastificante sika plast rm 100 para observar los resultados

- **Mezcla 3**

Para esta mezcla se utilizara el mismo procedimiento y con las mismas cantidades de cada uno de los materiales ya mencionados en la mezcla 2, solo se optó por utilizar plastificante sika plast rm 100 para observar los resultados después del fraguado.

Procedimiento:

- Se agregan los 1692 g de cemento y los 582,78 g de agua (se agregan de a poco con el fin de lograr una mezcla homogénea y de hacer más fácil el proceso de mezclado)
- Se procede al mezclado manual 1 minuto, se deja reposar la mezcla durante 30 segundos.
- Se adicionan los 1128.7 g de arena de revoque y se mezcla y se mezcla manualmente durante 1 minuto
- Se deja reposar la mezcla durante 15 segundos
- Se agregan los 15 g de plastificante (se utilizó plastificante sika plast rm 100) y se mezcla durante 1 minuto
- Se le adicionan los 37g de fibra a la mezcla y se mezcla 2 minutos.
- Se procede al vaciado de la mezcla en la formaleta de 40 x 40 x 1 cm
- Se procede a vibrar la mezcla durante 30 segundos (utilizando la máquina vibradora)
- Se procede a cubrir la formaleta para evitar la pérdida de humedad

Problema: una vez desmoldada la formaleta, se encontraron en la cara superior del tablero rastros sólidos de algunos materiales de menor densidad, que posiblemente gracias a la fluidez de la mezcla y las diferencias de densidades entre los materiales que la conforman, terminaron llegando a la parte superior haciendo que la mezcla no sea completamente homogénea.

Reflexión:

Para el desarrollo de la etapa práctica se utilizara la mezcla 2 para la conformación de cada una de los tableros, debido a que fue la mezcla con las mejores características para la incorporación de la fibra tanto en el proceso de mezclado como el proceso de fraguado.

5.4 Producción de tableros:

Para la realización de la etapa práctica se produjeron 10 tableros de 40 x 40 x 1 cm, cada uno cumpliendo con las dosificaciones establecidas para la mezcla 2 y teniendo el mismo proceso de mezclado, sin embargo, se les adicionaron diferentes fibras con diferentes tratamientos como se especifica a continuación:

- 2 tableros con fibra de vidrio
- 2 tableros con fibra de fique
- 2 tableros con fibra de fique + proceso con aceite de canola
- 2 tableros con fibra de fique + proceso con agave de penca
- 2 tableros con fibra de fique + proceso con super hidrofóbico "never wet"

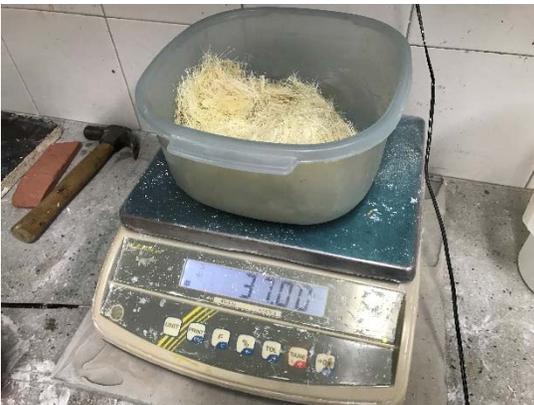


Imagen 17 - fibra de fique



Imagen 16 - fibra de vidrio tipo E



Imagen 20 - agave de penca



Imagen 19 - super hidrofóbico never wet



Imagen 18 - aceite de canola

- **Fibras utilizadas y características**

- **Fibra de fique:** Se utilizará 1.11% de fibras de fique para incorporar a la matriz de cemento portland, cada fibra tendrá una longitud de 24 mm, y se utilizará un proceso de dispersión manual en continuo mezclado durante 2 minutos para garantizar su incorporación eficiente a la mezcla.

- **Fibra de vidrio:** Se utilizarán 1.11% de fibras de vidrio tipo E para incorporar a la matriz de cemento portland, cada fibra tendrá una longitud de 24 mm y se utilizará un proceso de dispersión manual en continuo mezclado durante 2 minutos para garantizar su incorporación eficiente a la mezcla.

Se utilizarán fibras de vidrio tipo E, debido a que el precio de las fibras tipo AR (alcalino resistentes) es muy elevado, lo que hace el material compuesto muy costoso por lo que no representa una competencia directa en el mercado para el material compuesto que plantea la investigación. Tratamientos.

- **Tratamientos aplicados a la fibra**

- **Agave:** para la obtención del agave, se realizó un proceso de pelado de las hojas de penca savila, en el que se desechó el tejido externo y se conservó la pulpa trasparentosa, posteriormente se procedió a licuar la pulpa durante 1 minuto.

- **Aceite de canola:** En el caso de esta investigación se utilizó aceite de canola de la marca canola life.

- **Super hidrofóbico:** En el caso de esta investigación se utilizó el superhidrofóbico Never wet Fabric water repelling treatment.

5.4.1 Aplicación del tratamiento

Se le agregaron 100 ml de sustancia a las fibras de cada uno de los tratamientos y se dejaron en reposo 2 horas previas a la adición a la mezcla.

Cada 1 de los tableros se dividió en 5 probetas de 25 x 5 cm (para la realización de los ensayos de flexión a 3 puntos) y 5 probetas de 9.5 x 9.5 cm (para la realización de los ensayos de impacto).

Se realizaran pruebas a las probetas en tres edades específicas después del vaciado de la mezcla:

- 14 días
- 14 días + 1 hora de envejecimiento
- 14 días + 6 horas de envejecimiento

Para cada una de las edades se destinaran 3 probetas para flexión y 3 probetas para impacto.

5.4.2 Proceso de envejecimiento

Para generar el envejecimiento de las probetas se mantuvo una temperatura constante de 55 C durante el tiempo especificado:

- 1 hora
- 6 horas



Imagen 22 - proceso de envejecimiento a 55 C



Imagen 21 - termómetro utilizado para mantener la temperatura estable

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 ENSAYOS DE FLEXIÓN A TRES PUNTOS

Para la realización de las pruebas de flexión se utilizaron las instalaciones de laboratorios de materiales de la Universidad Pontificia Bolivariana específicamente la maquina Instron 5582.



Imagen 23 - maquina Instron 5582

Para la realización de estos ensayos se tomó como referencia la norma D790 -15, que especifica su utilidad en pruebas de flexión a tres puntos para materiales compuestos reforzados y no reforzados.



Imagen 24 - probetas marcadas en los apoyos

Para preparar las probetas para la prueba, fue necesario marcarlas en el centro (punto donde se aplicara la fuerza) y a los 72mm del centro para cada uno de los lados (que son los puntos donde se generaran los apoyos)

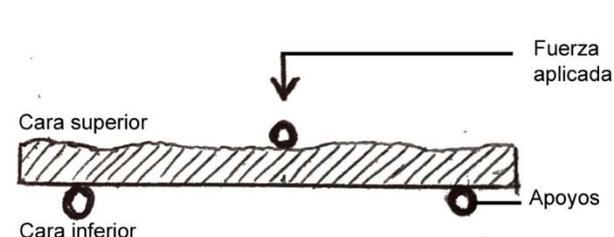


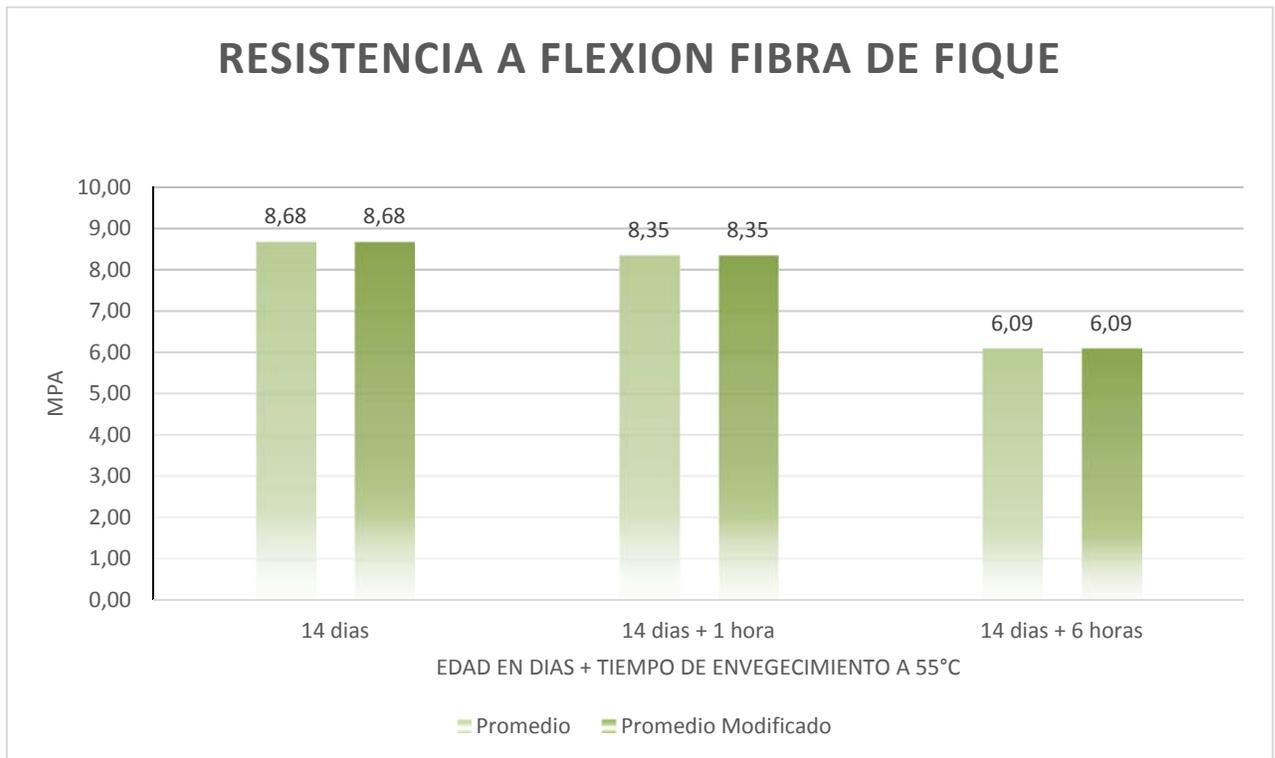
Imagen 25 - características físicas de la probeta

El punto de caga se realizara en la cara superior de las probetas, mientras que los apoyos se generaran en la cara inferior, debido a que esta, era más uniforme permitiendo que la probeta estuviese recta a la hora de aplicar la fuerza.

- **Fibra de fique**

Tabla 2 – resistencia a flexión fibra de fique

Probeta	Edad	Resistencia Flexión	Promedio	Promedio Modificado
PFF14	14 días	9,24	8,68	8,68
		8,23		
		8,57		
PFF14+1	14 días + 1 hora	8,13	8,35	8,35
		8,24		
		8,67		
PFF14+6	14 días + 6 horas	6,31	6,09	6,09
		5,86		
		6,11		



Grafica 2 - resistencia a flexión fibra de fique

Se aprecia una continua disminución en la resistencia a la flexión de las probetas con fibra de fique (utilizado como agente reforzante) a medida que transcurren las

diferentes edades, es decir la edad afecta directamente la durabilidad de las probetas, posiblemente por el proceso de reacción de los alcalinos del concreto con los componentes orgánicos de las fibras de fique.

Es notable que el cambio mas drástico se presenta en la edad de los 14 días + 6 horas de envejecimiento, teniendo una resistencia a la flexión de 6,9 MPa.



Imagen 26 - probetas de fibra de fique 14 días

En este caso se nota que las fisuras que se generaron debido a la carga de flexión son apenas visibles, además se observó que previo al punto de esfuerzo máximo, el agente reforzante en este caso las fibras de fique no permiten una rotura completa del material y le dan características dúctiles.



Imagen 28 - fisura

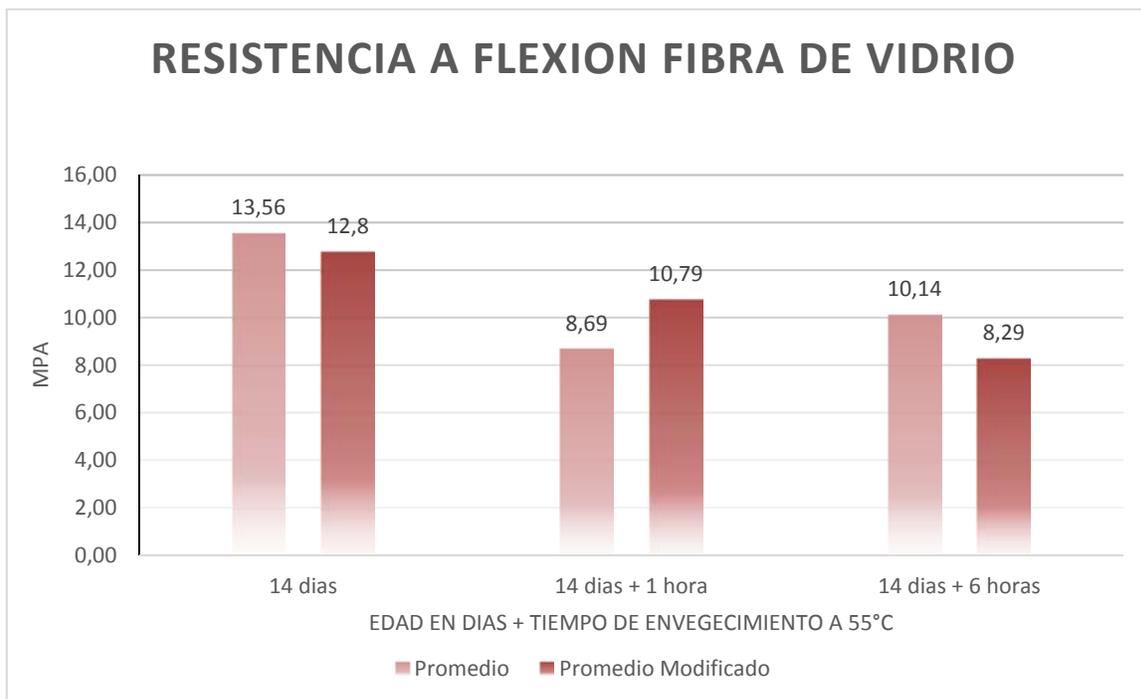


Imagen 27 - fisura expuesta a exceso de carga

- **Fibra de vidrio tipo E**

Tabla 3 - resistencia a la flexión fibra de vidrio

Probeta	Edad	Resistencia Flexión	Promedio	Promedio Modificado
PFV14	14 días	13,46	13,56	12,795
		12,13		
		15,1		
PFV14+1	14 días + 1 hora	11,62	8,69	10,79
		9,96		
		4,5		
PFV14+6	14 días + 6 horas	9,5	10,14	8,29
		7,08		
		13,84		



Grafica 3 - resistencia a la flexión fibra de vidrio

Es notable que los esfuerzos de flexión realizados por la fibra de vidrio (utilizado como agente reforzante) son mayores a los realizados por la fibra de fique. También se encuentra una disminución en la resistencia en relación con la edad de la probeta, sin embargo se observa que a la edad de 14 días y 1 hora de envejecimiento se da el cambio mas drástico teniendo una resistencia a la flexión de 8,69 MPa.



Imagen 29 - probetas fibra de vidrio 14 días

En este caso se nota que las fisuras que se generaron debido a la carga de flexión son más visibles, además se observó que previo al punto de esfuerzo máximo, el esfuerzo cae muy por debajo y no se mantiene estable sino que continua cayendo rápidamente, por lo que el material responde de forma frágil a la carga.



Imagen 31 - fisura

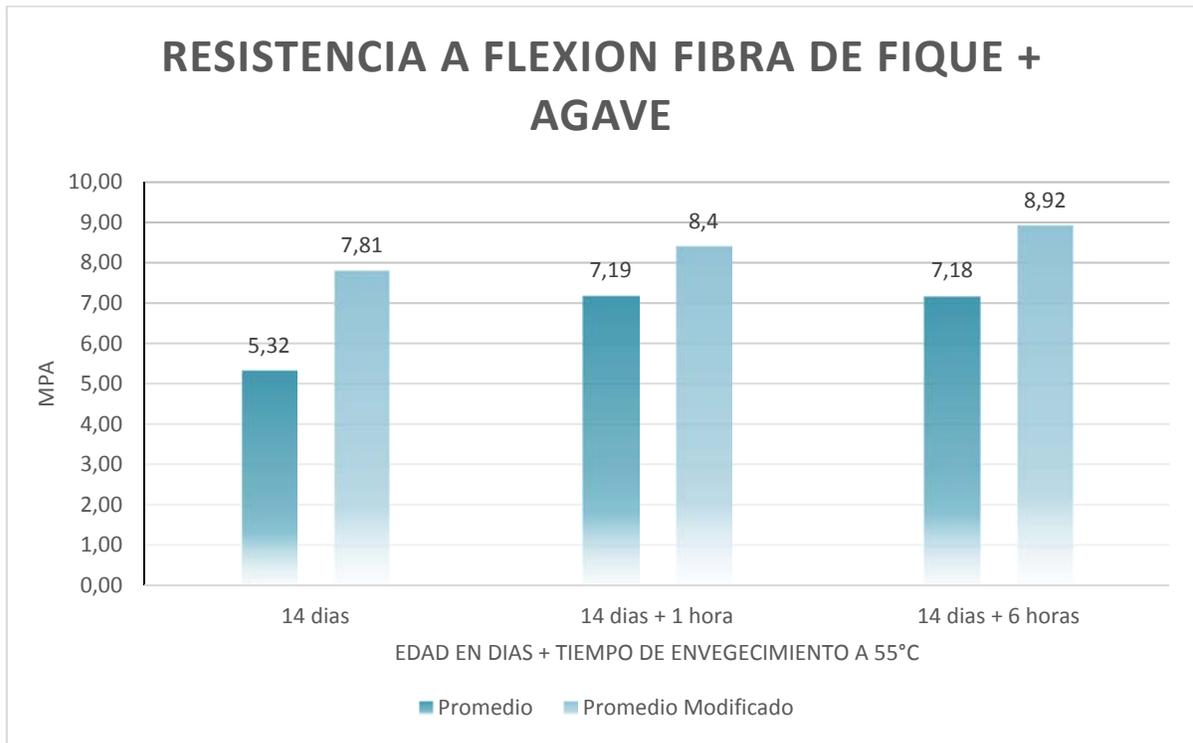


Imagen 30 - fisura expuesta a exceso de carga

- **Fibra de fique + agave**

Tabla 4 - resistencia a flexión fibra de fique + agave

Probeta	Edad	Resistencia Flexión	Promedio	Promedio Modificado
PFFAG14	14 días	4,12	6,58	5,32
		6,51		
		9,1		
PFFAG14+1	14 días + 1 hora	7,5	7,19	8,405
		4,77		
		9,31		
PFFAG14+6	14 días + 6 horas	9,26	7,18	8,915
		8,57		
		3,7		



Grafica 4 - resistencia a flexión fibra de fique + agave

Se notan unos esfuerzos a flexión menores por parte de las probetas con fibras de fique + agave (como agente reforsante) a los dos anteriores tableros, sin embargo se aprecia que no hay una relación entre la edad de la probeta y la disminución o aumento de el esfuerzo a la flexión, debido a que los esfuerzos se mantienen en valores muy iguales, posiblemente al efecto de oclusion de aire ocasionado por el agave en el material compuesto mejore la durabilidad.¹⁴



Imagen 32 - probetas fibra de fique + agave 14 días + 2 horas

En este caso se nota que las fisuras que se generaron debido a la carga de flexión son visibles, además se observó que previo al punto de esfuerzo máximo, el esfuerzo disminuye pero después se mantiene constante, por lo que el agave no afecta las cualidades elásticas dadas por la fibra de fique.



Imagen 34 - fisura



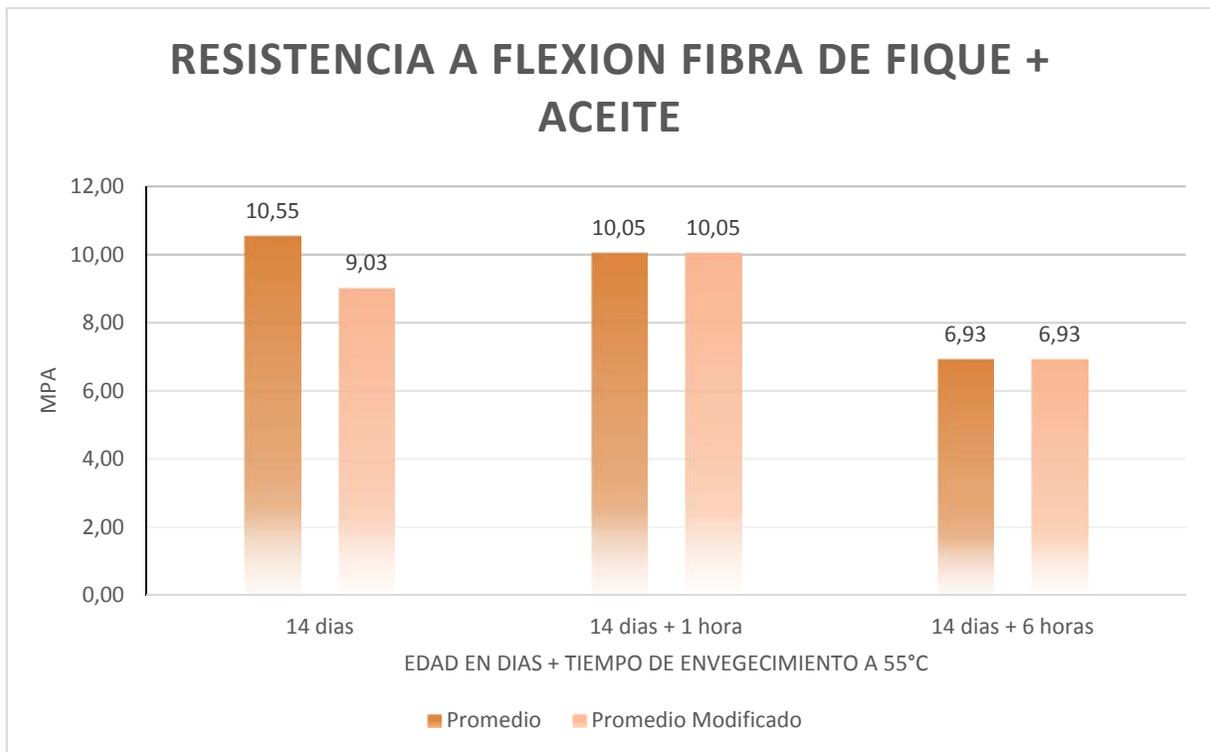
Imagen 33 - fisura expuesta a exceso de carga

¹⁴ Jaramillo Zapata, Leyla Yamile (2009) *Evaluación del jugo de fique como aditivo ocluser de aire y su influencia en la durabilidad y resistencia del concreto*. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

- **Fibra de fique + aceite**

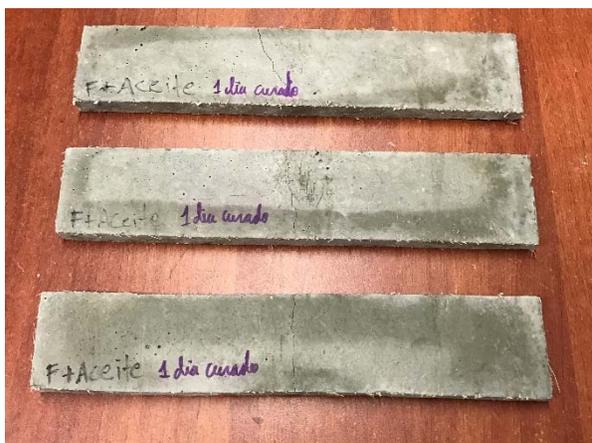
Tabla 5 - resistencia a la flexión fibra de fique + aceite

Probeta	Edad	Resistencia Flexión	Promedio	Promedio Modificado
PFFAC14	14 días	8,59	10,55	9,035
		9,48		
		13,59		
PFFAC14+1	14 días + 1 hora	9,7	10,05	10,05
		10,68		
		9,77		
PFFAC14+6	14 días + 6 horas	6,35	6,93	6,93
		6,5		
		7,94		



Grafica 5 - resistencia a la flexión fibra de fique + aceite

Se aprecia una continua disminución en la resistencia a la flexión de las probetas con fibra de fique + aceite (utilizado como agente reforzante) a medida que transcurren las diferentes edades, es decir la edad afecta directamente la durabilidad de las probetas, a pesar de que la disminución de esfuerzo a la flexión entre los 14 días y los 14 días + 1 hora de envejecimiento no es muy notable, el cambio mas drástico se presenta en la edad de los 14 días + 6 horas de envejecimiento, teniendo una resistencia a la flexión de 6,93 MPa.



En este caso se nota que las fisuras que se generaron debido a la carga de flexión son visibles, además se observó que previo al punto de esfuerzo máximo, el esfuerzo disminuye pero después se mantiene constante, por lo que el aceite no afecta las cualidades dúctiles dadas por la fibra de fique.

Imagen 35 - probetas fibra de fique + aceite 14 días + 1 hora



Imagen 37 - fisura

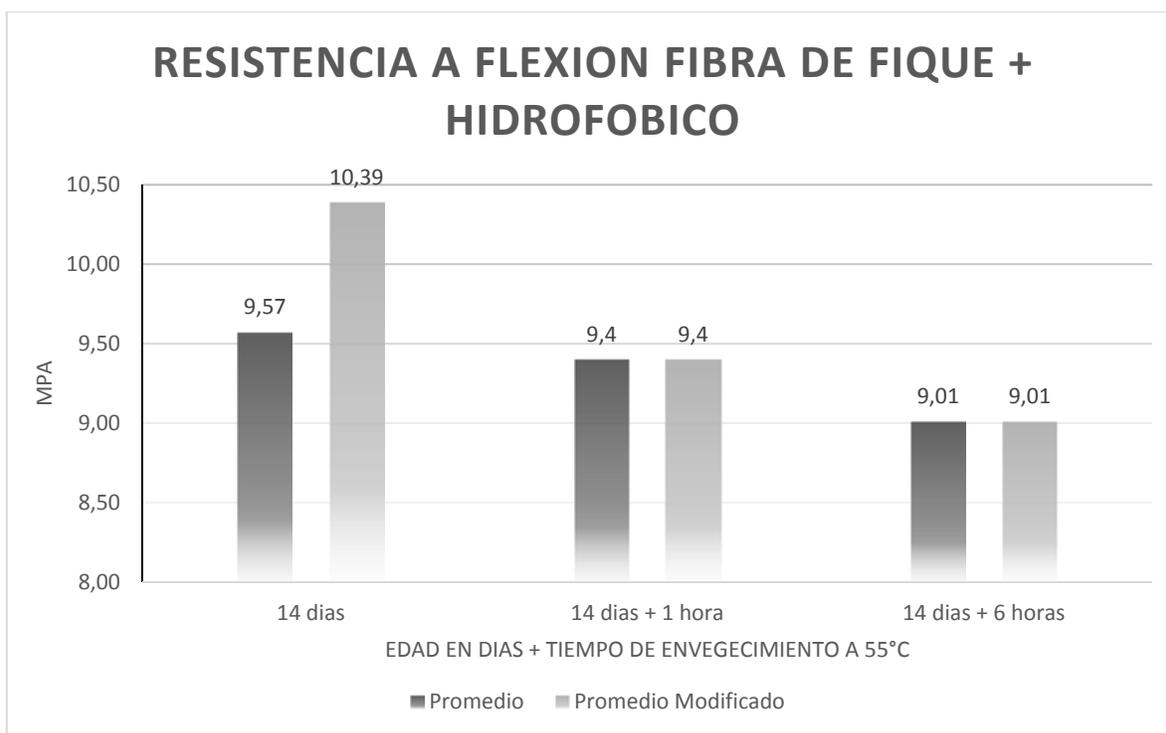


Imagen 36 - fisura expuesta a exceso de carga

- **Fibra de fique + hidrofóbico**

Tabla 6 - resistencia a la flexión fibra de fique + hidrofóbico

Probeta	Edad	Resistencia Flexión	Promedio	Promedio Modificado
PFFH14	14 días	10,52	9,57	10,39
		7,92		
		10,26		
PFFH14+1	14 días + 1 hora	8,34	9,40	9,4
		9,88		
		9,98		
PFFH14+6	14 días + 6 horas	9,25	9,01	9,01
		9,05		
		8,74		



Grafica 6 - resistencia a la flexión fibra de fique + hidrofóbico

Se notan unos esfuerzos a flexión un poco mayores por parte de las probetas con fibras de fique + hidrofóbico (como agente reforsante) comparados con los de fibra de fique sin procesar, sin embargo se aprecia que aunque hay una relación entre la edad de la probeta y la disminución del esfuerzo a la flexión, esta es apenas notable, debido a que los esfuerzos se mantienen en valores no muy alejados unos de otros, por lo que es posible que el hidrofóbico tenga un efecto que retrase la reacción de los alcalinos del concreto con los componentes orgánicos de la fibra.



En este caso se nota que las fisuras que se generaron debido a la carga de flexión son apenas visibles, además se observó que previo al punto de esfuerzo máximo, el esfuerzo disminuye pero después se mantiene constante, por lo que el hidrofóbico no afecta las cualidades dúctiles dadas por la fibra de fique.

Imagen 38 - probetas fibra de fique + hidrofóbico 14 días + 6 horas

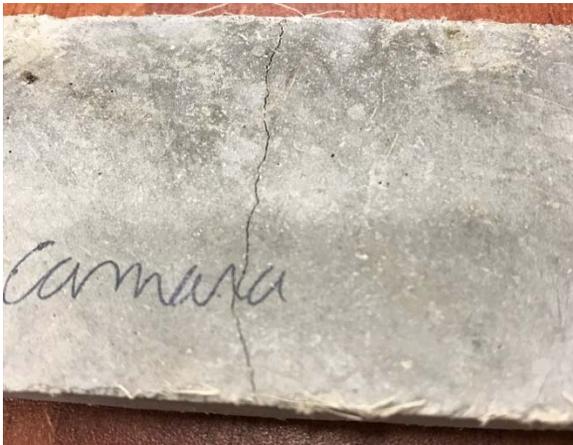


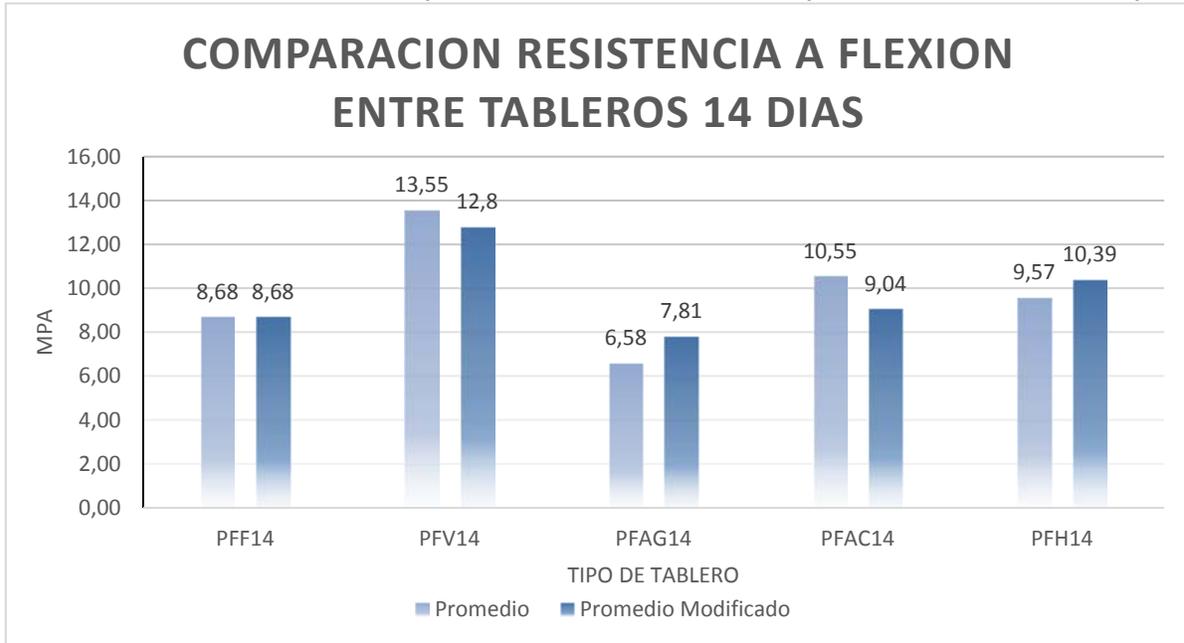
Imagen 40 - fisura



Imagen 39 - fisura expuesta a exceso de carga

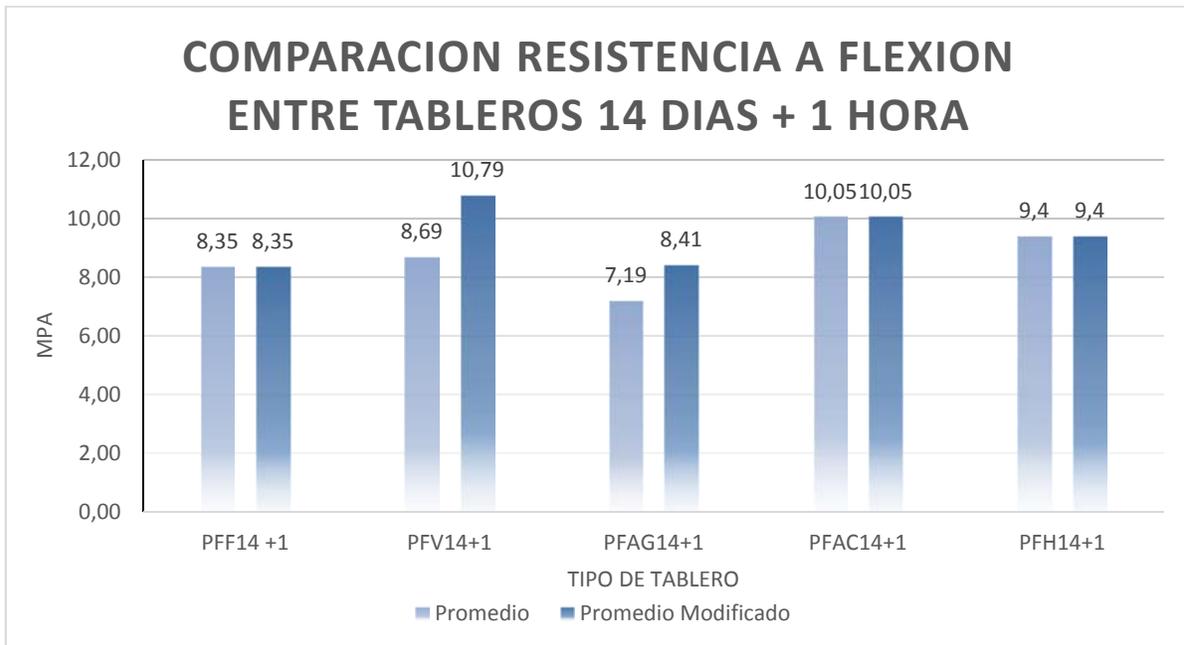
Este fue el tablero que mejores cualidades elásticas registro debido a que previo al punto máximo de esfuerzo y una vez generada la grieta, mantuvo un mayor esfuerzo constante durante un largo tiempo, se observa como las fibras están en

buen estado a pesar del el paso del tiempo.



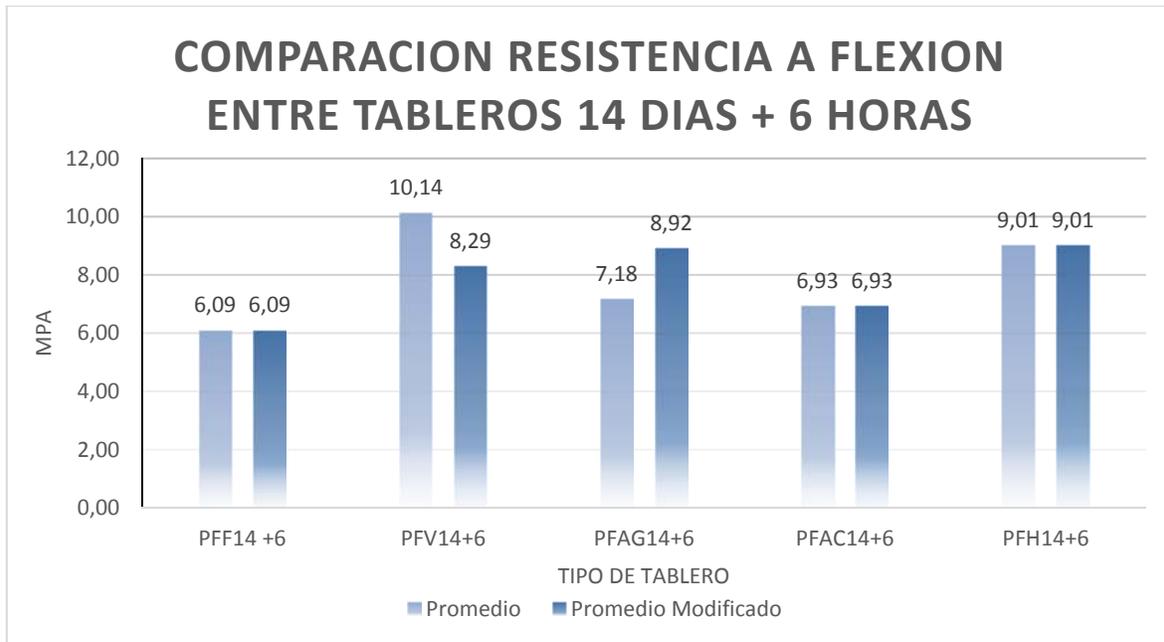
Grafica 7 - comparación resistencia a flexión entre tableros 14 días

A la edad de los 14 días las probetas de fibra de vidrio tipo E fueron las que alcanzaron mayores esfuerzos a flexión, seguidas por las probetas de fibra de fique + aceite y fibra de fique mas hidrográfico.



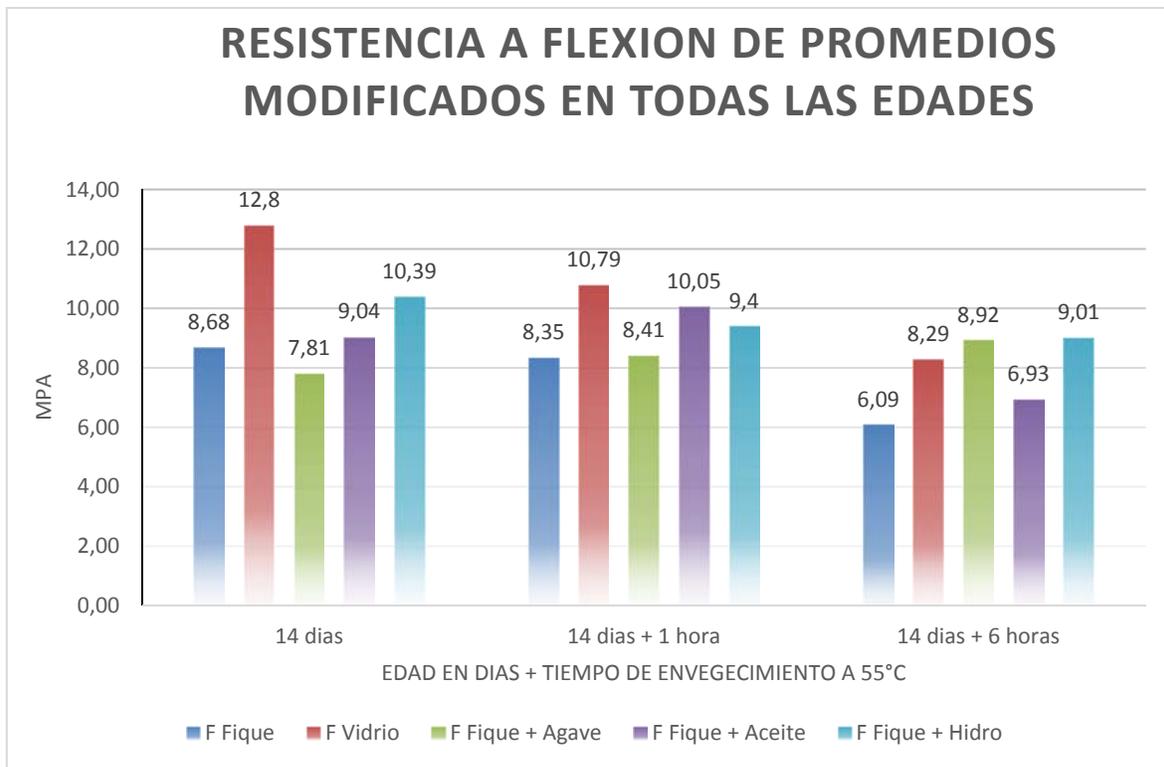
Grafica 8 - comparación resistencia a flexión entre tableros 14 días + 1 hora

A la edad de los 14 días + 1 hora de envejecimiento, las probetas de fibra de fique sin procesar y de fibra de fique + agave aumentaron su resistencia, sin embargo la de fibra de vidrio disminuyó dramáticamente y las de fibra de fique + aceite y fibra de fique + hidrofóbico se mantuvieron casi iguales.



Grafica 9 - comparación resistencia a flexión entre tableros 14 días + 6 horas

A la edad de los 14 días + 6 horas de envejecimiento, las probetas de fibra de fique + agave y de fibra de fique + hidrofóbico se mantuvieron casi constantes mientras que las demás tuvieron una disminución en su resistencia



Grafica 10 - resistencia a flexión de promedios modificados en todas las edades

Se observa como las probetas de fibra de vidrio tipo E alcanzan una mayor resistencia a la flexión sin embargo a pesar de no poseer componentes orgánicos también son afectadas por los alcalinos del concreto a través del tiempo, lo que no pasa con la fibra de fique + agave ya que esta presenta una resistencia a la flexión estable a pesar del paso del tiempo, al igual que lo hace la fibra de fique + hidrofóbico, sin embargo esta presenta mayores resultados en cada una de las edades.

6.2. ENSAYOS DE IMPACTO



La realización de las pruebas de impacto, se realizó desde una altura de 50cm, ubicando la probeta de 9.5 x 9.5 cm en la parte inferior y dejando caer por gravedad un balón metálico con un peso de 70g.

Imagen 41 - estructura utilizada para la realización

Se tuvieron en cuenta para la prueba 3 condiciones a registrar:

- FI - Fisura en la cara inferior de la probeta
- FLI - Fisura de lado a lado de la cara inferior de la probeta
- FS - Fisura en la cara superior de la probeta

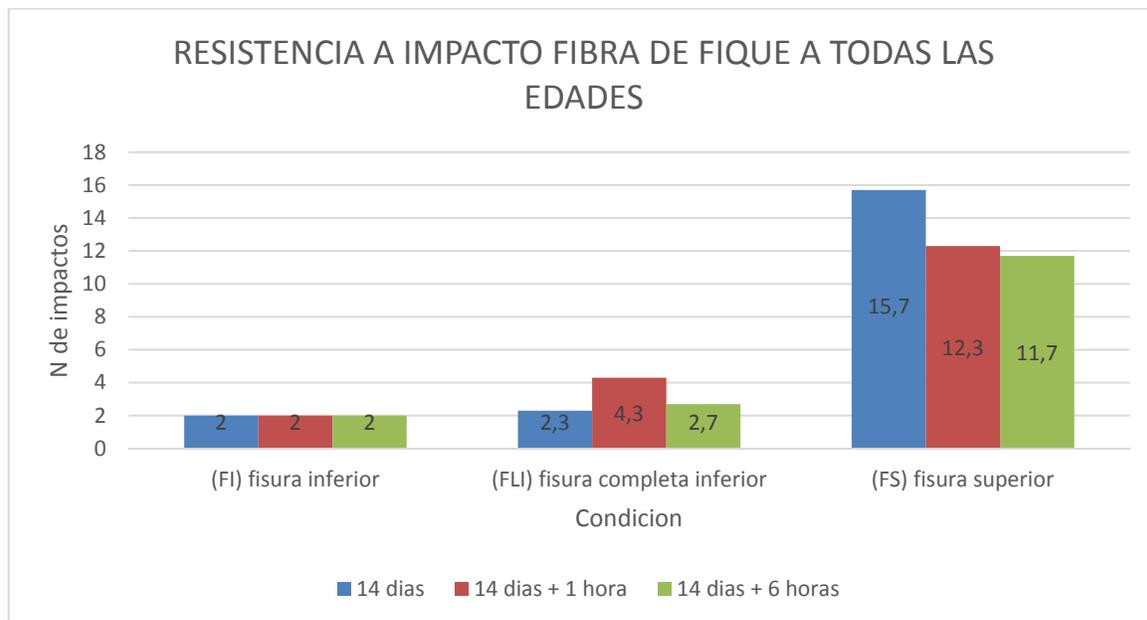
Se registra el numero de golpes que se necesitaron en cada probeta para alcanzar cada una de estas condiciones.

6.2.1 Resultados pruebas de impacto

- **Fibra de fique**

Tabla 7 - resistencia a impacto fibra de fique a todas las edades

Tableros	Condición	Edad	Probetas			Promedio
			1	2	3	
PFF14	FI	14 días	2	2	2	2,0
	FLI		3	2	2	2,3
	FS		13	18	16	15,7
PFF14+1	FI	14 días + 1 hora	3	2	1	2,0
	FLI		8	3	2	4,3
	FS		15	12	10	12,3
PFF14+6	FI	14 días + 6 horas	2	2	2	2,0
	FLI		3	2	3	2,7
	FS		11	10	14	11,7



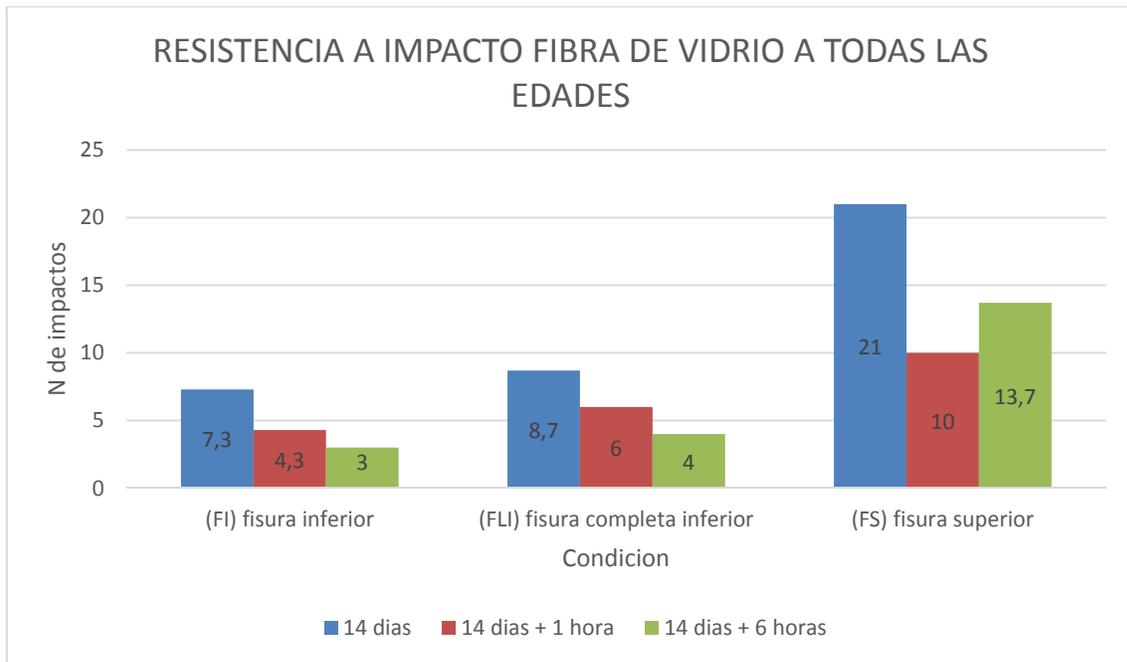
Grafica 11 - resistencia a impacto fibra de fique a todas las edades

Se observa como la resistencia al impacto es mayor a los 14 días y a medida que aumenta la edad esta disminuye debido a la reacción de los alcalinos del concreto con los componentes orgánicos de las fibras.

- **Fibra de vidrio**

Tabla 8 - resistencia a impacto fibra de vidrio a todas las edades

Tableros	Condición	Edad	Probetas			Promedio
			1	2	3	
PFV14	FI	14 días	4	11	7	7,3
	FLI		5	13	8	8,7
	FS		20	22	21	21,0
PFV14+1	FI	14 días + 1 hora	4	7	2	4,3
	FLI		5	10	3	6,0
	FS		11	15	4	10,0
PFV14+6	FI	14 días + 6 horas	4	2	3	3,0
	FLI		5	3	4	4,0
	FS		13	14	14	13,7



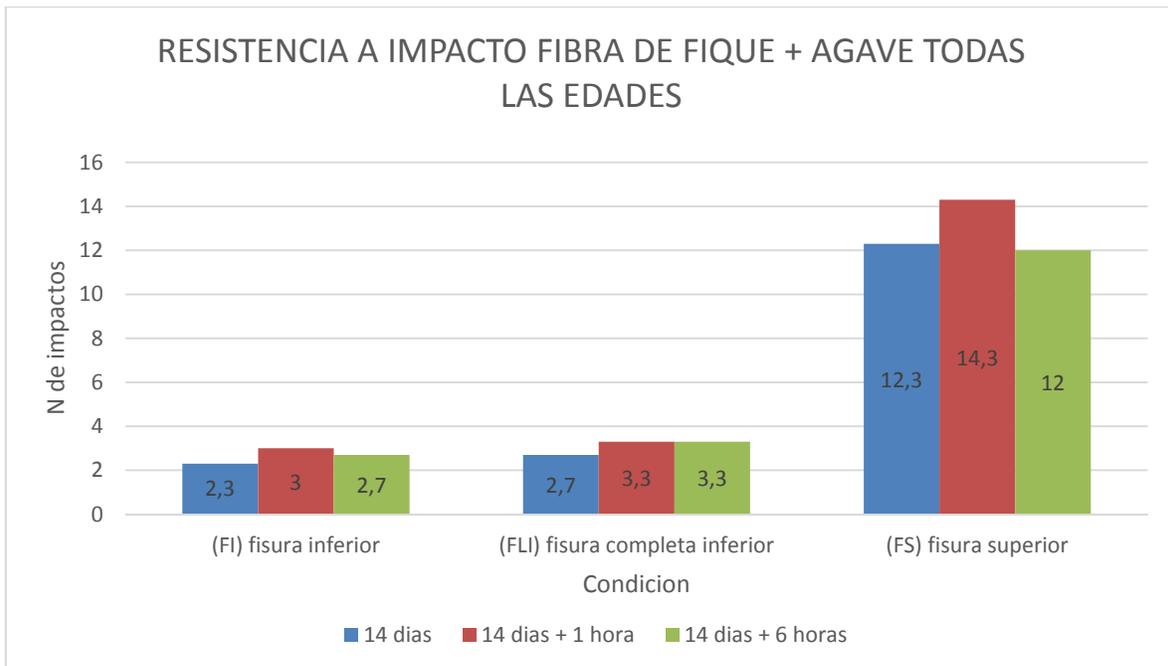
Grafica 12 - resistencia a impacto fibra de vidrio a todas las edades

Se observa como la resistencia al impacto es mayor a los 14 días y a medida que aumenta la edad esta disminuye, sin embargo en comparación con las fibras de fique, el material compuesto con fibra de vidrio como agente reforzante es más resistente al impacto en todas las edades.

- **Fibra de fique + agave**

Tabla 9 - resistencia a impacto fibra de fique + agave a todas las edades

Tableros	Condición	Edad	Probetas			Promedio
			1	2	3	
PFFAG14	FI	14 días	2	2	3	2,3
	FLI		2	3	3	2,7
	FS		10	10	17	12,3
PFFAG14+1	FI	14 días + 1 hora	3	3	3	3,0
	FLI		3	3	4	3,3
	FS		16	12	15	14,3
PFFAG14+6	FI	14 días + 6 horas	3	2	3	2,7
	FLI		4	3	3	3,3
	FS		14	13	9	12,0



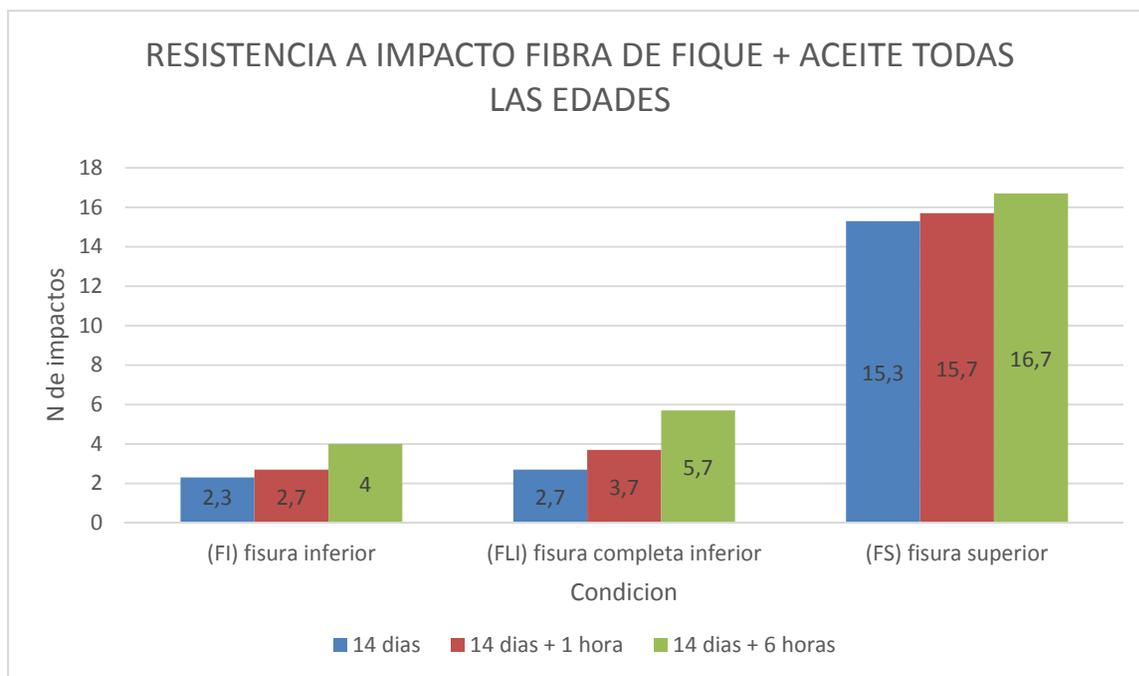
Grafica 13 - resistencia a impacto fibra de fique + agave a todas las edades

En las probetas de fibra de fique + agave se presentan resultados muy iguales en las tres edades analizadas, por lo que corresponde con los resultados de flexión obtenidos en la prueba realizada anteriormente, se nota que el agave retrasa la reacción de los alcalinos del concreto con los componentes orgánicos de las fibras.

- **Fibra de fique + aceite**

Tabla 10 - resistencia a impacto fibra de fique + aceite a todas las edades

Tableros	Condición	Edad	Probetas			Promedio
			1	2	3	
PFFAC14	FI	14 días	2	2	3	2,3
	FLI		2	2	4	2,7
	FS		8	15	23	15,3
PFFAC14+1	FI	14 días + 1 hora	4	2	2	2,7
	FLI		5	3	3	3,7
	FS		12	18	17	15,7
PFFAC14+6	FI	14 días + 6 horas	4	4	4	4,0
	FLI		8	4	5	5,7
	FS		17	18	15	16,7



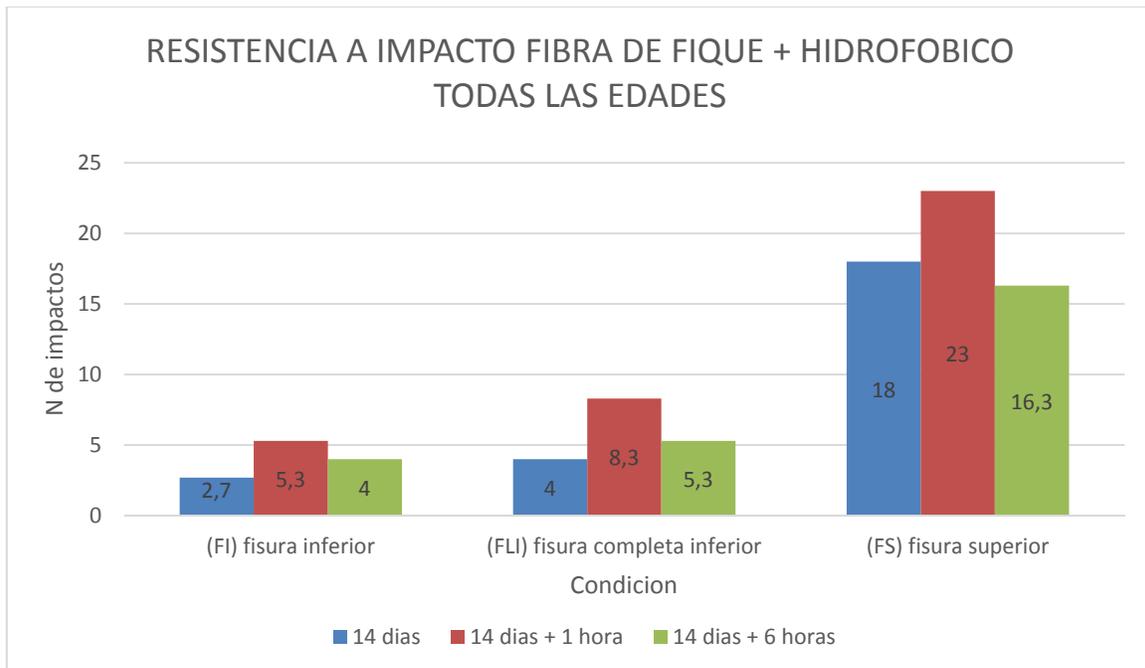
Grafica 14 - resistencia a impacto fibra de fique + aceite a todas las edades

En las probetas de fique + aceite se encuentran resultados parecidos a los ocurridos con la fibra de fique sin procesar sin embargo, se presentan valores menores en el numero de impactos para generar la condición de la fisura en la cara superior.

- **Fibra de fique + hidrofóbico**

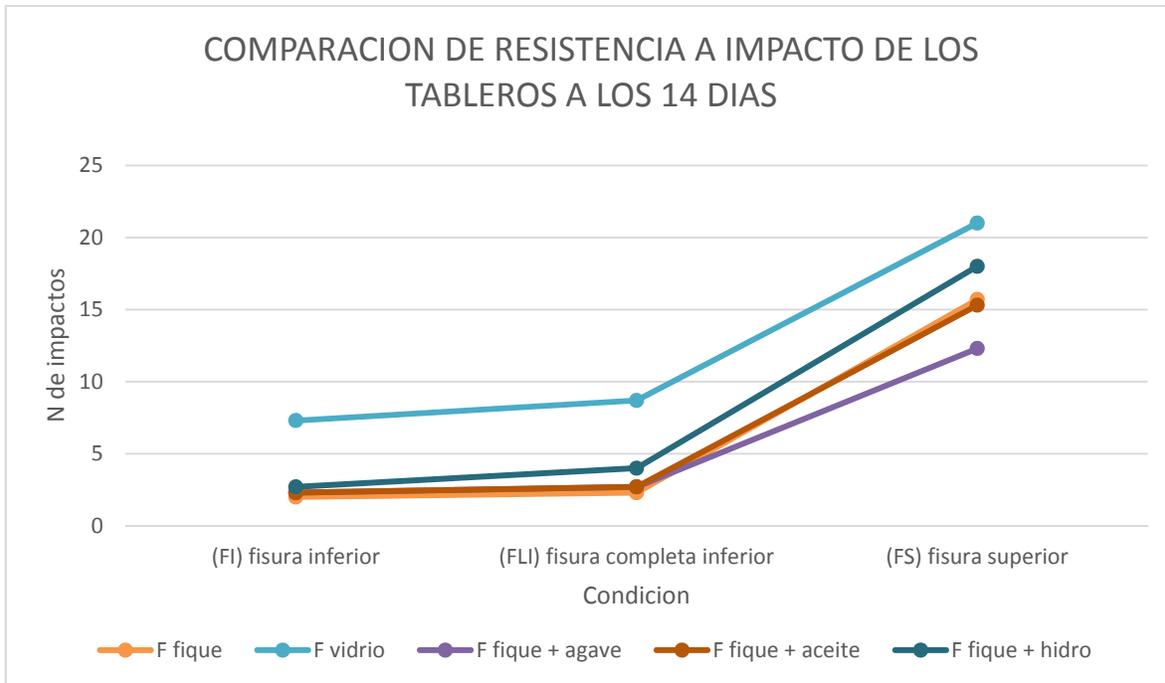
Tabla 11 - resistencia a impacto fibra de fique + hidrofóbico a todas las edades

Tableros	Condición	Edad	Probetas			Promedio
			1	2	3	
PFFAC14	FI	14 días	2	3	3	2,7
	FLI		3	4	5	4,0
	FS		18	17	19	18,0
PFFAC14+1	FI	14 días + 1 hora	4	4	8	5,3
	FLI		9	6	10	8,3
	FS		28	18	23	23,0
PFFAC14+6	FI	14 días + 6 horas	4	4	4	4,0
	FLI		5	5	6	5,3
	FS		16	15	18	16,3



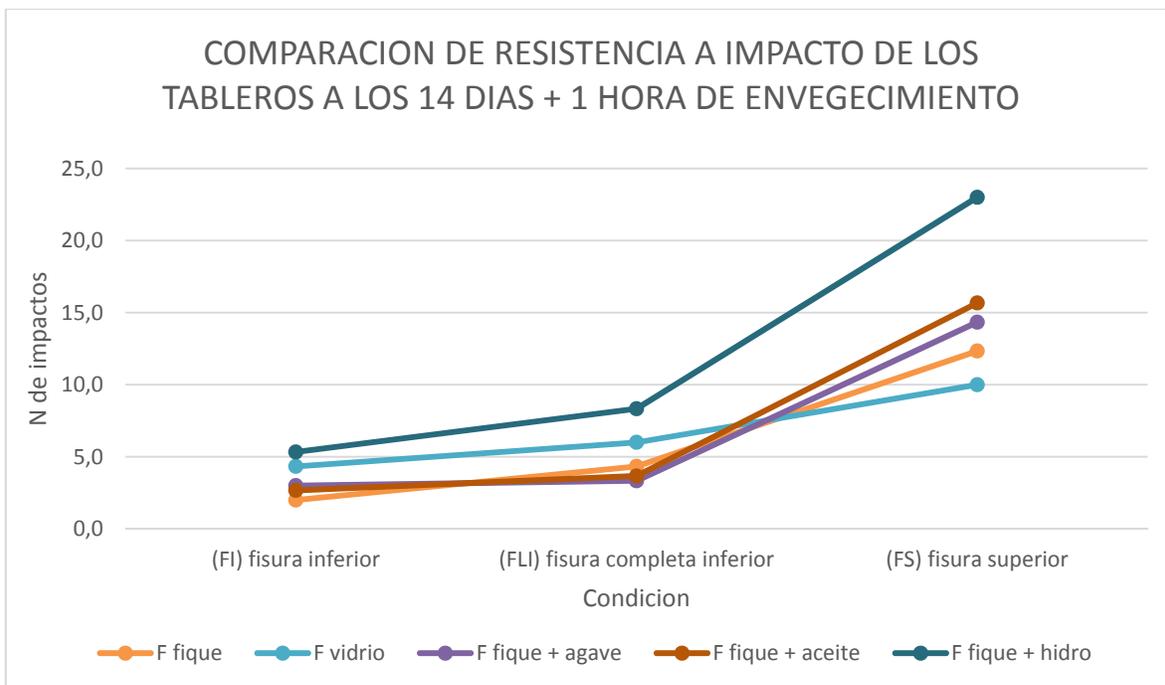
Grafica 15 - resistencia a impacto fibra de fique + hidrofóbico a todas las edades

En las probetas de fique + hidrofóbico se obtienen resultados de resistencia al impacto mayores en la edad de los 14 días + 1 hora de envejecimiento.



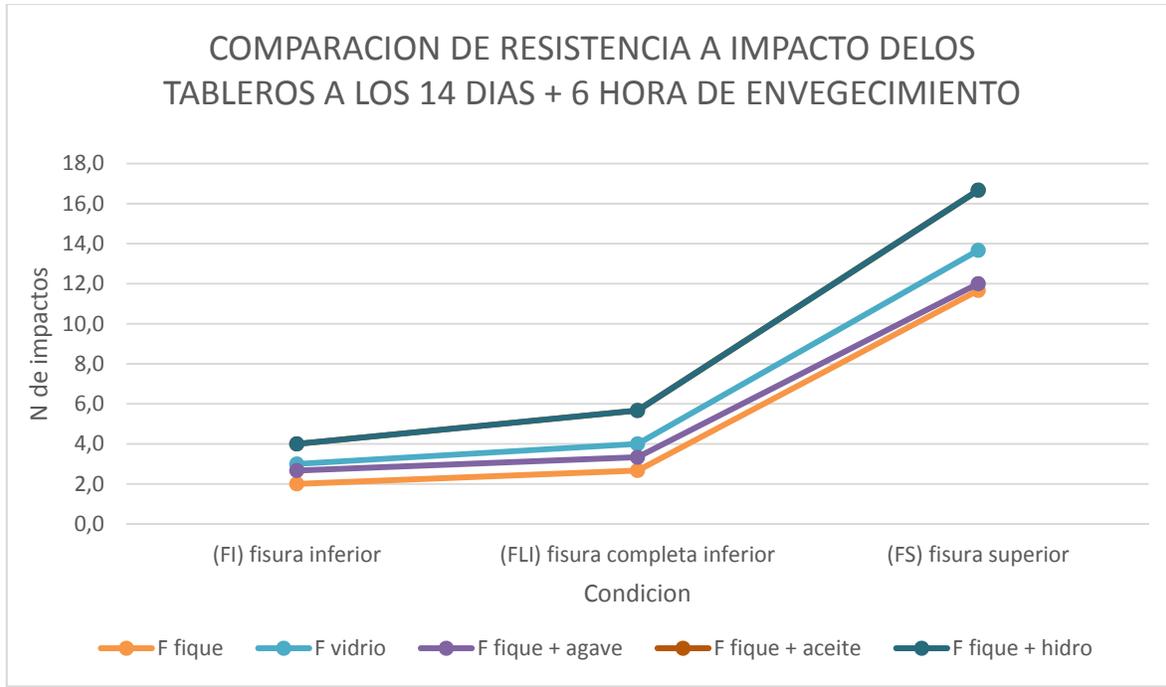
Grafica 16 - comparación de resistencia a impacto de los tableros a los 14 días

A los 14 días la fibra de vidrio fue la que obtuvo mejores resultados en cuanto a resistencia al impacto, seguida por la fibra de fique + hidrofobico.



Grafica 17 - comparación de resistencia a impacto de los tableros a los 14 días + 1 hora de envejecimiento

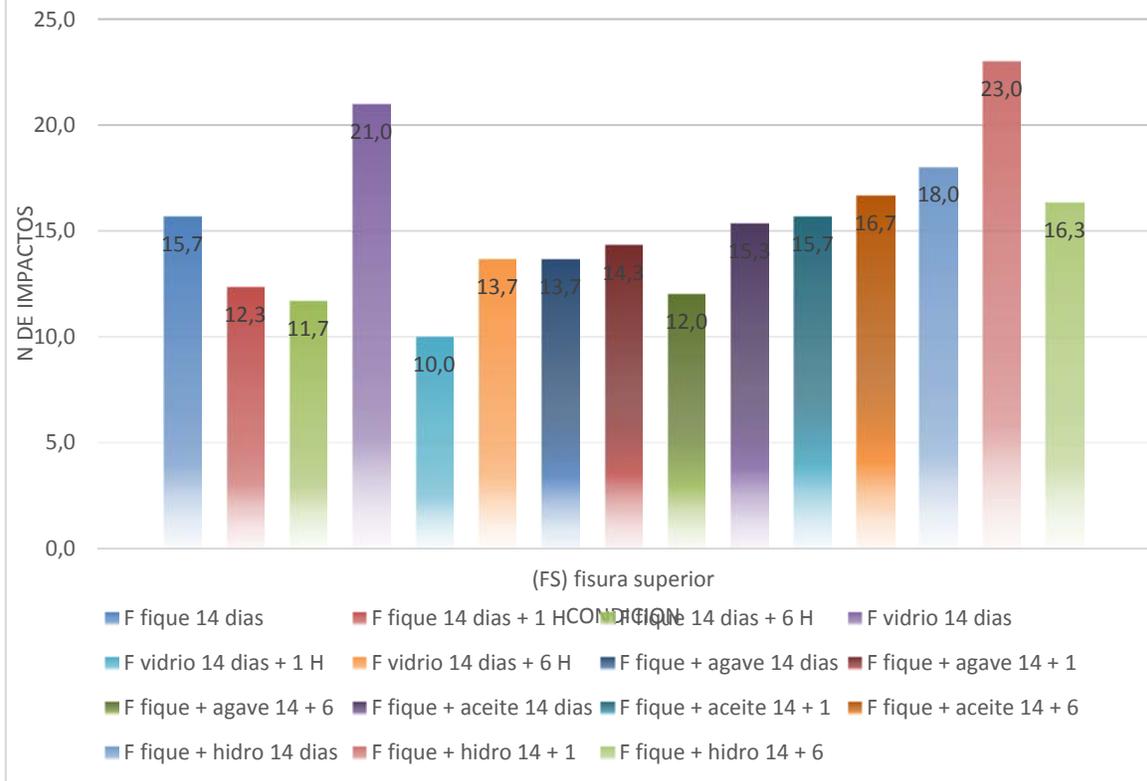
A los 14 días + 1 hora la fibra de fique + hidrofobico fue la que obtuvo mejores resultados en cuanto a resistencia al impacto superando incluso a la fibra de vidrio, por lo que es notable que en este punto no hay afectación de los alcalinos a las fibras de fique.



Grafica 18 - comparación de resistencia a impacto de los tableros a los 14 días + 6 hora de envejecimiento

A los 14 días + 6 horas la fibra de fique + hidrofobico fue la que obtuvo mejores resultados en cuanto a resistencia al impacto superando incluso a la fibra de vidrio, por lo que es notable que en este punto no hay afectación de los alcalinos a las fibras de fique, seguida por la fibra de vidrio y el agave.

COMPARACION DE RESISTENCIA A IMPACTO EN LA CARA SUPERIOR DE LOS TABLEROS EN TODAS LAS EDADES



Grafica 19 - comparación de resistencia a impacto de los tableros en todas las edades

Se observa como los mejores resultados obtenidos en cuanto a la resistencia la impacto fueron por parte de las probetas de fibra de fique + hidrofobico, estando por encima de las probetas de fibra de vidrio, ademas se observa que se obtuvo una estabilidad en la resistencia al impacto en las probetas de fibra de fique + agave que no se vio afectada por el paso del tiempo, aunque obteniendo resultados apenas por encima de la fibra de fique no procesada.

7. CONCLUSIONES

Gracias a la producción de cada uno de los tableros, a la obtención de las probetas y a la realización de pruebas de flexión e impacto, se lograron obtener diferentes datos que los cuales fueron debidamente analizados y permiten en este punto de la investigación concluir:

- Los tableros con matriz cementante y fibra de fique como agente reforzante, presentan una notable disminución en su resistencia proporcional a la edad de la muestra. A pesar de que a los 14 días cumple con una resistencia competitiva con respecto a la fibra de vidrio, la fibra de fique pierde durabilidad rápidamente. Estos tableros presentan características elásticas lo que quiere decir que aunque se generen fisuras en las pruebas de flexión e impacto, estos no se parten inmediatamente y siguen generando resistencia a la carga gracias al aporte de las fibras de fique en el material compuesto.
- Los tableros con matriz cementante y fibra de fique previamente tratada con agave de penca como agente reforzante, presentan una resistencia competitiva con respecto a la fibra de vidrio, además la durabilidad del material se mantiene estable con el paso del tiempo, además el agave no disminuye las características elásticas dadas por la fibra de fique al material compuesto, lo que hace que los tableros de este material sean eficientes para su uso en la construcción como elementos no estructurales.
- Los tableros con matriz cementante y fibra de fique previamente tratada con el hidrofóbico never wet como agente reforzante, presentan una resistencia superior con respecto a la fibra de vidrio, la resistencia del material en proporción al tiempo si disminuye, pero en una menor medida comparándola con la fibra de fique sin procesar, por lo que es posible determinar que la impregnación de las fibras con este agente hidrofóbico si

disminuye la reacción de los alcalinos del concreto con los componentes orgánicos de la fibra de fique, además el hidrofóbico no disminuye las características elásticas dadas por la fibra de fique al material compuesto, lo que hace que los tableros de este material sean eficientes para su uso en la construcción como elementos no estructurales.

- Los tableros con matriz cementante y fibra de vidrio tipo E como agente reforzante, presentan una buena resistencia inicial con respecto a las demás, sin embargo la resistencia del material en proporción al tiempo disminuyó considerablemente, esto era lo esperado debido a que se utilizó fibra de vidrio tipo E la cual es factible a reaccionar con los alcalinos del concreto y en consecuencia a perder durabilidad en el tiempo.
- Los tableros con matriz cementante y fibra de fique previamente tratada con el aceite de canola como agente reforzante, presentan una buena resistencia inicial con respecto a las demás, sin embargo la resistencia del material en proporción al tiempo disminuyó considerablemente, sobre todo en la última edad en la que disminuyó su resistencia a la carga considerablemente.

8. RECOMENDACIONES

8.1 Para la realización de investigaciones practicas con aspectos comunes

- Es de suma importancia al realizar un material compuesto por una matriz cementante, tener una mezcla de concreto lo suficientemente fluida para la adición del agente reforzante, pero también tener en cuenta que la mezcla después del proceso de fraguado se mantenga homogénea, la variable a tener en cuenta es el porcentaje de plastificante así como su referencia.
- Tener referenciado de donde se va a obtener la fibra de fique investigar diferentes formas de obtenerla y diferentes proveedores para obtenerla de la forma más eficientemente posible.

8.2 Para la continuación de la investigación

- En cuanto al tratamiento con agave y con súper hidrofóbico, es importante realizar pruebas a probetas con tiempos aún mayores para determinar el comportamiento del material en relación a tiempos mayores y su durabilidad.
- Se podría explorar el trabajo dela fibra de fique actuado de manera anisotropía, es decir por medio de la incorporación de fibras a modo de maya unidireccional y bidireccional, con el fin de obtener resultados comparativos.
- Se puede explorar cómo reaccionan los tratamientos con la fibra de fique si se les aplican más de 100ml de sustancia, y cómo será la reacción del material compuesto a las cargas mecánicas.

9. BIBLIOGRAFIA

- Moreno Eric I. (2006). Determinación del pH de la solución de los poros de concreto después de un proceso acelerado de carbonatación. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 10-3, pp.5-12
- Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. *Con ganancias del fique llenan el marranito* (en línea). <<http://periodico.sena.edu.co/productividad/noticia.php?t=con-ganancias-del-fique-llenar-undefineddel-marranitoundefined&i=302>>. Citado el 15 de mayo del 2017
- Osorio Saraz, Jairo Alexander; Varón Aristizabal, Fredy; Herrera Mejía, Jhonny Alexander. *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*. dyna, [s.l.], v. 74, n. 153, p. 69-79, sep. 2007. ISSN 2346-2183. disponible en: <<http://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/943/11634>>. fecha de acceso: 25 mayo 2017
- Torres Fuentes, Magali, Macías Mesa, José A, Fernández Urquiza, Fernando. *Propuesta de material de construcción para obras turísticas*, Universidad de Matanzas Cuba (en línea). <<http://biblat.unam.mx/es/revista/retos-turisticos/articulo/propuesta-de-material-de-construccion-para-obras-turisticas>>. Fecha de access 25 mayo 2017
- Jaramillo Zapata, Leyla Yamile (2009) *Evaluación del jugo de fique como aditivo oclisor de aire y su influencia en la durabilidad y resistencia del concreto*. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Santana Osorio, Isis Dalila (2013) *Concreto y fique durabilidad y resistencia*. Monografía de grado de arquitectura, Universidad Pontificia Bolivariana.
- Instituto tecnológico del plástico. *Tipos de materiales compuestos* (en línea). <<http://www.aimplas.es/blog/tipos-de-materiales-compuestos>>. Citado el 25 de mayo del 2017
- Naval composites. *materiales compuestos* (en línea). <<http://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos/>>. Citado el 25 de mayo del 2017.

- F.L. Matthews, R.D. Rawlings. Fracture mechanics and toughening mechanisms. Composite materials: engineering and science. London UK: Chapman & hall. 1994. p. 326 – 352.
- Cimbrados. *GRC* (en línea). < <http://www.cimbrados.com/grc.html/>>. Citado el 25 de mayo del 2017.
- Sumiglas. *Fibra de vidrio* (en línea). < https://www.sumiglas.com/productos/refuerzos/fibra-de-vidrio>. Citado el 25 de mayo del 2017.