



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

**DISEÑO DE MODULOS PARA EL ARMADO DE
PANELES A PARTIR DE MATERIAL COMPUESTO
CONCRETO – FIBRA DE VIDRIO**

Tesis Profesional para la obtención del Título de Ingeniero en Diseño

Presenta:

Silvia Patricia Paredes Hernández

Asesor de tesis:

Dr. Roberto Suárez Orduña

LOMA BONITA, OAXACA, ABRIL 2015.

Dedicatoria.

Son muchas las personas especiales en diferentes etapas de mi vida a las que me gustaría dedicar éste trabajo y agradecer su apoyo, su tiempo; algunas están conmigo y otras tantas en mis recuerdos, algunas están cerca y otras muy lejos, pero siempre y en todo momento en mis pensamientos y en mi corazón. Quiero darles las gracias por formar parte de mí, por darme lecciones de vida y por todas sus bendiciones.

Dios

Gracias Señor, por dejarme culminar uno de mis más grandes sueños, por guiarme y nunca soltarme de tu mano. Por todo el amor con el que me rodeas, mil gracias.

Gracias César Julio Martínez Castro por ser mi gran compañero, mi soporte en todo momento, por darme ánimos cuando los necesitaba y por ser el que provoca sonrisas en mí, gracias por tu apoyo incondicional y por todo el amor que me tienes.

Ximena, Santi y Gael mis tres bendiciones, gracias por comprender cuando tenía que dejar de ser mamá para volverme estudiante, gracias por todo ese tiempo regalado que sé, fue perdido para ustedes para ser recompensado después, gracias por ser los amores de mi vida, mis motores y mi mayor motivación, infinitamente agradecida con Dios y la vida por estos grandes regalos. Los amo.

Papás, sé que desde lejos su apoyo ha sido incondicional y sus bendiciones siempre están presentes, mil gracias por todo su cariño. Mami, siempre dándome ánimos y al pendiente de todo a mi alrededor, te amo.

Abuela, gracias por enseñarme a ser una guerrera, a ser fuerte y valiente, tú mi mejor ejemplo. Gracias por tú gran amor, que aquí es multiplicado para ti.

Familia Luna Flores, mi segunda familia, mil gracias por ser mi apoyo durante éste proceso, por regalarme esta hermosa familia, por ser parte de mi vida y por todo el cariño que es inmensamente correspondido. Gracias Kary y Conchita, las quiero un montón.

Hermanos, gracias por ser parte de mi vida, especialmente a Mónica, por ser mi apoyo y por ser quien en gran parte provocó que esto sucediera, agradecida eternamente contigo, Te adoro hermana.

Familia Martínez Castro, por todo su apoyo, sus bendiciones y su cariño, mil gracias.

A mis tíos Lupita y Manuel, mis primos Alejandro, Luis y Fernanda; en general, a toda mi familia que aun estando lejos, siempre están dándome ánimos y su cariño incondicional.

A mis amigos y amigas, que me han brindado su amistad desinteresadamente, por ser la sal y pimienta de mi vida, particularmente a Vianney Zamora Sánchez.

A todos y cada uno de mis maestros, especialmente a la M. Arch. Nidia Pérez, M. Arch. Gustavo D'Ávila, M.C Maritza Torres, M.C. Jesús Medina, Dr. Julián Hernández, M. A. Alejandro Bravo, M.C. Edwin Aquino, M.C. Elí Castellanos, M. Arch. José Hugo Tlachi y D.I. Alejandro Dávila Palmieri, mil gracias por sus enseñanzas y el tiempo dedicado, miles de bendiciones para ustedes.

Agradecimientos

A la **Universidad del Papaloapan** por el apoyo brindado durante la carrera y la culminación de mis estudios, gracias MI UNIVERSIDAD.

Agradezco al fondo sectorial CONAVI-CONACYT a través del proyecto CONAVI-2011-2-168189 por apoyarme como becario, para la culminación de ésta tesis.

Mil gracias **Dr. Roberto Suárez Orduña**, por ser mi asesor de tesis, por su tiempo, dedicación, paciencia y enseñanzas, por sus grandes aportaciones para la realización de éste trabajo.

A mis revisores de tesis, Dr. Axel Villavicencio, M.C. Arturo Estrada, Dra. Laura Patricia Rivas, M.C. Ricardo Acevedo, muchas gracias por todo su apoyo y recomendaciones para la elaboración de ésta tesis.

Resumen

El objetivo general de este trabajo fue diseñar módulos para el armado de paneles para interiores de casa habitación, fabricados con concreto translúcido que beneficiará las condiciones de confort y comodidad de los usuarios debido a las cualidades del material. Al diseñar este tipo de concreto, se buscó mejorar las características de un concreto convencional, es decir, que las propiedades térmicas debieron ser óptimas y además obtener un costo de producción bajo, ya que actualmente existen patentes de concretos translúcidos que para su fabricación superan hasta seis veces el valor de un concreto convencional.

Se explican a detalle los cálculos para la preparación de la mezcla y las pruebas a las que fueron sometidos cada uno de los especímenes. La parte experimental se llevó a cabo mediante las variaciones de la mezcla del material compuesto de cemento blanco con fibra de vidrio, donde se observaba el comportamiento del mismo y los resultados después de fraguado.

Las pruebas a las que fue sometido el material son las siguientes: a) Prueba de resistencia a la compresión, donde el material presentó una resistencia de 20.56 MPa; b) Prueba de ultrasonido usando placas de material compuesto de 15 x 15 x 0.5 cm y 0.5 cm de espesor, donde se obtuvo una velocidad de onda longitudinal de 5556 m/s; c) Prueba de conductividad térmica utilizando una placa de 10 cm de diámetro por 5 mm de espesor, en ésta prueba la conductividad térmica del material es de 0.13 W/mK y; d) Prueba de propiedades ópticas requiriéndose placas de 15 x 15 x 0.5 cm donde se utilizó una linterna manual para verificar el paso de luz obteniendo un resultado favorable.

Una vez realizadas las pruebas, se planteó la necesidad de verificar la manera de compactado debido a que la fibra de vidrio tiende a extenderse mientras más espacio le sea otorgado.

También se consideró el diseño módulo para el armado de paneles, tomando en cuenta que fuera ensamblable para facilitar su manejo y con dimensiones ajustables

a las necesidades del usuario. Para ello, se trabajó con una lluvia de ideas de la cual se obtuvieron cinco propuestas para finalmente elegir aquella que aprovechara de mejor manera las cualidades obtenidas en el material.

Una vez obtenido el diseño del elemento modular se fabricaron tres diferentes moldes, el primero en acero inoxidable que fue el que presentó mejor compactado, el segundo con láminas y cinchos los cuales no lograban una buena sujeción, y por último se fundió aluminio para realizar el último molde sin presentar resultados favorables, todo esto buscando la mejor manera para el compactado del elemento.

Finalmente se vació la mezcla del material compuesto en cada uno de los moldes para verificar cual ayudaría de mejor manera al compactado del módulo. Cada uno de los moldes se supervisó sin que ninguno llegara a compactar debidamente el material.

Abstract

The overall objective of this study was to design panels for interior walls of homes. The walls were fabricated with translucent concrete, benefiting the conditions of comfort and convenience for families. This type of concrete, was designed to improve the characteristics of conventional concrete, thermal properties were optimal and production cost was low. Currently there are specific translucent patents manufactured exceeding up to six times the value of conventional concrete.

Details of the calculations for the preparation of the mixture and tests that each specimen was subjected to are shown below.

- a) Compression resistance testing was done in intervals of 7, 14, 21 and 28 days;
- b) Composite plate Ultrasound testing was done using 15 * 15 * 0.5 cm;
- c) Thermal conductivity testing was done using a 10 cm plate diameter by 5mm thick;
- d) Finally, optical properties requiring proof plates were tested using 15 * 15 * 0.5 cm.

The experimental part of this study was carried out using variations in the mixture to produce a composite element that shows the same behavior and results after curing.

After all testing was completed, the question of how to compact the material was raised, because fiberglass tends to expand the more space given.

The design of the panel was also taken into consideration, this was a bayed modular adjustable form designed for easier handling. To do this, we came up with a brainstorm which consisted of five proposals. We chose the one that best took advantage of the qualities obtained in the material.

Once the modular design element was obtained, three different molds were fabricated. The first of stainless steel, the second of sheets of aluminum and iron hoops and finally the third of cast aluminum seeking the best way for compacting the element.

Finally several compaction tests were performed without achieving the expected results of uniformity in thickness, which was mainly due to the lack of appropriate equipment for compacting an element with dimensions of 30 * 30 * 0.5 cm. Opting to reduce the size of the element to 15 * 15 * 0.5 cm., the material properties were verified.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 PRESENTACIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	1
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	1
1.2.2 OBJETIVO PARTICULAR.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.5 METODOLOGÍA.....	3
1.6 CONTRIBUCIONES.....	4
1.7 ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	4
CAPÍTULO 2	6
ANTECEDENTES	6
2.1 EL CEMENTO COMO BASE DEL CONCRETO.....	6
2.2 EL PROBLEMA DE LA DURABILIDAD DEL CONCRETO	7
2.3 LA PREFABRICACIÓN COMO ALTERNATIVA CONSTRUCTIVA	9
2.4 MATERIALES COMPUESTOS.....	10
2.5 EL USO DE FIBRAS COMO REFUERZO DEL CONCRETO	11
2.6 LA FIBRA DE VIDRIO.	14
2.7 PANELES PREFABRICADOS.....	16
2.8 PANELES EXTERIORES.....	18
2.9 PANELES INTERIORES	19
2.10 PANELES INTERIORES EN LA ACTUALIDAD	19
2.11 LA FIBRA DE VIDRIO Y LOS PANELES DE CONCRETO PREFABRICADOS	20
2.12 ESTUDIOS PREVIOS DE MATERIALES CONCRETO-FIBRA DE VIDRIO	22
CAPÍTULO 3	24
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	24
3.1 EXPERIMENTACIÓN DEL COMPUESTO CONCRETO-FIBRA DE VIDRIO.....	24
CAPÍTULO 4	30

DESARROLLO EXPERIMENTAL	30
4.1 DISEÑO DE MEZCLA DEL MATERIAL	30
4.2 CARACTERIZACIÓN	36
4.2.1 PRUEBA DE RESISTENCIA AL ESFUERZO DE COMPRESIÓN.....	36
4.2.2 PRUEBA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	38
4.2.3 PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	40
4.2.4 PRUEBA DE ULTRASONIDO	42
4.2.5 PROPIEDADES ÓPTICAS	45
 CAPÍTULO 5	 46
 DISEÑO	 46
5.1 DISEÑO DE MÓDULO.....	46
5.2 PROPUESTAS	47
5.2 MODELO DIGITAL DE PANEL	54
5.3 DISEÑO DEL MOLDE.....	55
5.4 DISEÑO EXPERIMENTAL (VALIDACIÓN DE PRUEBAS)	58
5.4 APLICACIONES	61
 CAPÍTULO 6	 67
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 67
6.1 CONCLUSIONES.....	67
6.2 RECOMENDACIONES	68
 BIBLIOGRAFÍA.....	 69
 ANEXO I	 73

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1. CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.....	8
FIG. 2 FISURACIÓN DEL CONCRETO.....	8
FIG. 3 FIBRAS DE POLIPROPILENO.....	12
FIG. 4 FIBRAS DE ACERO.....	13
FIG. 5 FIBRAS DE POLIETILENO.....	13
FIG. 6 OBTENCIÓN DE LOS HILOS DE FIBRA DE VIDRIO.....	14
FIG. 7 PANELES EN INTERIORES.....	19
FIG. 8 PANEL UTILIZADO EN DISEÑO INTERIOR.....	20
FIG. 9 ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.....	24
FIG. 10 MEZCLA CONCRETO – FIBRA DE VIDRIO.....	25
FIG. 11 FIBRA DE VIDRIO EN MOLDE.....	26
FIG. 12 MEZCLA DE MATERIAL.....	26
FIG. 13 MALLA DE FIBRA DE VIDRIO.....	27
FIG. 14 MALLA DE FIBRA DE VIDRIO SUMERGIDA EN CEMENTO BLANCO Y AGUA.....	27
FIG. 15 MALLA DE FIBRA DE VIDRIO COLOCADA EN EL MOLDE.....	28
FIG. 16 MOLDES CON EL MATERIAL COMPUESTO.....	33
FIG. 17 FRAGUADO EN AGUA DE LOS ESPÉCIMENES.....	33
FIG. 18 ESPÉCIMEN OBTENIDO DE LA PRIMERA PRUEBA.....	34
FIG. 19 ESPÉCIMEN OBTENIDO DE LA SEGUNDA PRUEBA.....	35
FIG. 20 ESPÉCIMEN OBTENIDO DE LA TERCERA PRUEBA.....	35
FIG. 21 PRENSA HIDRÁULICA PARA CONCRETOS.....	36
FIG. 22 DIAGRAMA DEL PASO DE CARGAS ELÉCTRICAS.....	38
FIG. 23 RESULTADO DE LA PRUEBA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA APLICADA AL MATERIAL.....	39
FIG. 24 PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	40
FIG. 25 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	41
FIG. 26 PRUEBA ULTRASÓNICA REALIZADA A UNA PIEZA DE CONCRETO CONVENCIONAL.....	43
FIG. 27 RESULTADOS DE PRUEBA ULTRASÓNICA AL CONCRETO CONVENCIONAL.....	43
FIG. 28 PRUEBA ULTRASÓNICA REALIZADA A UNA PIEZA DE MATERIAL COMPUESTO CONCRETO-FIBRA DE VIDRIO.....	44
FIG. 29 RESULTADOS DE PRUEBA ULTRASÓNICA AL MATERIAL COMPUESTO CONCRETO – FIBRA DE VIDRIO.....	44
FIG. 30 LÁMPARA REALIZADA CON MATERIAL COMPUESTO CONCRETO-FIBRA DE VIDRIO.....	45
FIG. 31 BOCETO Y MODELADO VIRTUAL DE LA PROPUESTA DE DISEÑO NÚMERO 1.....	48
FIG. 32 BOCETO Y MODELADO VIRTUAL DE LA PROPUESTA DE DISEÑO NÚMERO 2.....	49
FIG. 33 BOCETO Y MODELADO VIRTUAL DE LA PROPUESTA DE DISEÑO NÚMERO 3.....	50
FIG. 34 BOCETO Y MODELADO VIRTUAL DE LA PROPUESTA DE DISEÑO NÚMERO 4.....	51
FIG. 35 BOCETO Y MODELADO VIRTUAL DE LA PROPUESTA DE DISEÑO NÚMERO 5.....	51
FIG. 36 VISTA FRONTAL.....	52
FIG. 37 VISTA LATERAL.....	52
FIG. 38 VISTA SUPERIOR E INFERIOR.....	53
FIG. 39 MODELADO VIRTUAL DEL PANEL MODULAR.....	54
FIG. 40 MODELADO VIRTUAL DEL PANEL MODULAR.....	55
FIG. 41 FABRICACIÓN DEL MOLDE CON LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE Y CINCHOS.....	56
FIG. 42 FUNDICIÓN DEL MOLDE EN ALUMINIO.....	56
FIG. 43 MOLDEO A PRESIÓN.....	57

FIG. 44 PRUEBA CON FIBRA DE VIDRIO EN MALLA	58
FIG. 45 PRUEBA CON FIBRA DE VIDRIO EN DESHILADA DE 10MM DE ESPESOR	59
FIG. 46 PRUEBA CON FIBRA DE VIDRIO DESHILADA Y CINCO MILÍMETROS DE ESPESOR.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 EQUIVALENCIA COMPARATIVA DE LA FIBRA DE VIDRIO CON OTROS MATERIALES.....	15
TABLA 2 TABLA DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ENSAYO A COMPRESIÓN.....	37
TABLA 3 CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO POR MEDIO DE LA VELOCIDAD DE ONDA SEGÚN LESLIE Y CHEESMAN.....	42

1.1 Presentación

El concreto es uno de los materiales más utilizados en los diferentes tipos de construcción a nivel mundial, principalmente por la resistencia mecánica y el poco mantenimiento que requiere, lo que convierte a este material en el más competitivo entre todos los materiales para aplicaciones en construcción, sin embargo, en ambientes muy agresivos su durabilidad se reduce (Torres y Martínez, 2001). Por tal motivo se ha buscado la combinación del concreto con otros materiales que incorporen características como ligereza, flexibilidad, resistencia al impacto, corrosión y desgaste, propiedades que por sí solo el concreto no podría tener (Morales, 2008).

Uno de los materiales con los que se ha combinado el concreto es la fibra de vidrio, lo cual, según el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, incrementa significativamente la resistencia. Otras características que añade la fibra de vidrio al concreto es la ligereza, excelente comportamiento a la corrosión y absoluta flexibilidad que brinda en cuanto a formas, diseños y acabados (texturas, colores, luminosidad), baja conductividad eléctrica, incombustibilidad, estabilidad dimensional, compatibilidad con matrices orgánicas, no se pudre, permeabilidad de dieléctricos y alta resistencia a agentes químicos (Miravete y Chiminelli, 2005; Criado *et al.*, 2005).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Obtener un material compuesto concreto-fibra de vidrio y evaluar sus propiedades físicas (mecánicas y térmicas) y químicas (durabilidad).

1.2.2 Objetivo particular

Elaborar módulos prefabricados con propiedades físicas y químicas mejoradas, respecto al concreto convencional para la aplicación en diseño de espacios.

1.3 Justificación

Obtener un material con propiedades físicas y químicas superiores a las del concreto convencional, que permita lograr mejoras estéticas, además de reducir los costos de fabricación para ponerlo a la venta a un precio competitivo con respecto a los materiales similares que actualmente se encuentran en el mercado y que dificultan su adquisición.

1.4 Planteamiento del problema

Las condiciones climatológicas que se presentan en la ciudad de Loma Bonita, Oaxaca, con elevados indicadores de precipitación que oscila entre los 1,845 y los 2,018 mm al año, temperaturas superiores a los 25 °C (INEGI, 2005), humedad relativa superior al 70% (Abad, 2012), alta radiación solar, así como la falta de mantenimiento y el uso de acero, afectan directamente la durabilidad de los materiales de construcción para exteriores e interiores a base de concreto convencional; manifestándose en agrietamientos, corrosión, filtraciones, desgastes, dilataciones, contracciones. Este tipo de aspectos nos llevó a buscar materiales que proporcionen aislamiento térmico, además el alto grado de humedad disminuye la durabilidad del material de construcción, pensando en esto, se estableció como uno de los problemas a eliminar encontrando un material durable ante los agentes ambientales presentes en la ciudad antes mencionada, debido a que las condiciones son diferentes en otras partes del país y los materiales suelen comportarse de diferente forma de un lugar a otro.

Considerando lo anterior, se utilizó la fibra de vidrio como aislante térmico del concreto, buscando que con la adición de este material se mejoren las características térmicas, además de agregar propiedades mejoradas que un concreto convencional.

De igual manera, se realizó un material translúcido que reducirá el consumo de energía eléctrica y su aplicación modular podrá ser utilizada por el usuario dependiendo de las dimensiones deseadas y formará parte de la estética del lugar.

1.5 Metodología

En base a los objetivos, se desarrollaron muestras de un material compuesto con concreto - fibra de vidrio, se utilizó cemento blanco para evitar interferencias de color con la translucidez, la fibra de vidrio se empleó de dos formas diferentes, la primera donde las fibras fueron utilizadas aleatoriamente, es decir, sólo se mezclaron con el cemento y agua, y en la segunda donde se cortaron cuadros de fibra de vidrio.

Las muestras realizadas procedieron de una variación en las proporciones de cemento, agua y fibra de vidrio para encontrar las mejores condiciones y características de la mezcla.

A partir de estas muestras se realizaron cinco diferentes pruebas, donde se determinó la resistencia al esfuerzo de compresión, la resistividad eléctrica, la conductividad térmica, la densidad en una prueba de ultrasonido y las propiedades ópticas del material compuesto.

Todas estas pruebas en base a sus resultados nos indicaron la mejor manera de aplicación del material, es así como se llegó a determinar que contaba con características para ser empleado en paneles.

Posteriormente se realizó la etapa de diseño, donde mediante bocetaje se obtuvieron varias propuestas, se analizó cada una de ellas y se eligió la que mejor se adaptaba a las características del material.

Finalmente se realizaron planos, vistas, ambientación y fotomontaje—ambientación para presentar el elemento terminado.

1.6 Contribuciones

La principal contribución de este trabajo es realizar un material con propiedades mejoradas a un concreto convencional, con cualidades estéticas y térmicas que pueda ser empleado tanto en interiores como en exteriores.

Este material también puede ser empleado para fabricar formas orgánicas que en un concreto convencional sería difícil realizar, por lo tanto lo hace flexible y resistente.

1.7 Estructura de la tesis

El trabajo está formado por seis capítulos, los cuales se mencionan brevemente a continuación:

En el capítulo uno se muestra la introducción a éste trabajo, donde se hace una breve mención acerca del concreto y su uso, de igual manera se mencionan los objetivos a alcanzar, la principal motivación para realizar dicho trabajo, el planteamiento del problema donde se delimita el área geográfica, la metodología a utilizar y las contribuciones de ésta investigación.

En el capítulo dos, se menciona la base teórica en la que está fundamentada ésta tesis, los antecedentes del cemento, la durabilidad del concreto la prefabricación como nueva alternativa en la construcción, el uso de fibras en los concretos así como estudios previos de materiales realizados con concreto y fibra de vidrio.

En el capítulo tres se encuentra la base experimental para la realización de éste trabajo.

En el capítulo cuatro se detalla la realización de la mezcla, de igual manera se describen cada una de las cinco pruebas a las que fue sometido el material diseñado. La prueba de resistencia a la compresión, la prueba de resistividad eléctrica, la prueba de conductividad térmica, la prueba de ultrasonido y la prueba de propiedades ópticas.

En el capítulo cinco, se explica las etapas de diseño que fueron necesarias llevar a cabo la realización del módulo para el armado del panel. Se mencionan cada una de las propuestas y finalmente se detalla la propuesta elegida.

Para terminar en el capítulo seis se mencionan las conclusiones del trabajo, donde se detallan los resultados de éste trabajo y las futuras recomendaciones para posibles estudios posteriores.

2.1 El cemento como base del concreto

Los orígenes del cemento se remontan 400 años a. C., cuando los romanos utilizaban como cementante natural una ceniza volcánica llamada puzolana, sin embargo, no fue hasta el 21 de octubre de 1824 cuando Joseph Aspdin patentó la fórmula del cemento más conocido actualmente en el mundo denominado cemento Portland, ya que su color grisáceo le recordaba el de la piedra de la isla Portland del canal inglés (CANACEM, 2007; Vidaud, 2013). Actualmente este tipo de cemento es utilizado en cerca del 90% en las obras de la industria de construcción en todo el mundo (Enfadaque, 2008).

El cemento (un aglomerante) tal y como lo conocemos hoy en día es un material inorgánico finamente pulverizado, que al añadirle agua se hidrata provocando complejas reacciones químicas que permiten obtener una pasta moldeable con buenas propiedades adherentes, de fraguado y endurecimiento hasta adquirir una consistencia pétreas (CANACEM, 2007; Vidaud, 2013). Estas características han permitido que este material sea el conglomerante más económico y versátil empleado en la industria de la construcción (Vidaud, 2013).

El cemento al combinarse con materiales como grava, arena y otros aditivos permite obtener el concreto y aunque este sólo representa el 15% en la mezcla su presencia es indispensable (Holcim, 2013), para lograr el fraguado y endurecimiento del concreto.

2.2 El problema de la durabilidad del concreto

El concreto es uno de los materiales más utilizados en los diferentes tipos de construcción a nivel mundial, principalmente por la resistencia mecánica y el poco mantenimiento que requiere, lo que convierte a este material en el más competitivo entre todos los materiales para aplicaciones en construcción. Sin embargo, en ambientes muy agresivos su durabilidad se reduce (Torres y Martínez, 2001).

La durabilidad del concreto se refiere a la capacidad de resistir la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro que le permita mantener su forma original, su calidad y su servicio, cuando el concreto se exponga a su medio ambiente (ACI-201, 2001).

Existen dos grupos de agentes que afectan la durabilidad del concreto: externos e internos. Los agentes externos se encuentran en el medio ambiente o se dan en condiciones de servicio, algunos ejemplos incluyen iones de cloruro, dióxido de carbono, sulfatos, bacterias, abrasión, y ciclos de congelamiento y deshielo.

Mientras que los agentes internos se encuentran dentro del mismo concreto, como los iones del cloruro incorporados en determinados aditivos y los álcalis del cemento que reaccionan con agregados potencialmente reactivos (Hernández y Mendoza, 2006).

De acuerdo con Hernández y Mendoza (2006) y Vitervo (2008), los agentes anteriores se pueden clasificar por su origen en:

1. Agentes químicos. Entre estos se consideran: la corrosión del acero embebido en el concreto, la lixiviación de la pasta del cemento, las reacciones expansivas que incluyen el ataque de sulfato y la reacción álcali-agregado. La corrosión del acero de refuerzo (Fig. 1) es el problema más serio que se presenta en las estructuras de construcción.



Fig. 1. *Corrosión del acero de refuerzo.*

Fuente: <http://www.arqhys.com/arquitectura/corrosion-contacto-hormigon.html>

2. Agentes físicos. Los más comunes son: el agrietamiento debido a la presión de la cristalización de las sales en los poros, la exposición a temperaturas extremas como son las heladas o el fuego y el desgaste de la superficie.

3. Agentes mecánicos. En estos se incluyen: La fisuración, las cargas, impactos y vibraciones. La fisuración (Fig. 2) es un fenómeno indeseable (Sika, 2010) y es la acción físico-química que más afecta la estructura del concreto armado y que requiere de estudios más detallados.



Fig. 2. *Fisuración del concreto.*

Fuente: <http://www.imcyc.com/boletinimcyc/2013/febrero13.html>

4. Agentes biológicos. Son generadas por microorganismos, hongos y bacterias.

La durabilidad del concreto también se puede ver afectada por las acciones efectuadas durante la realización del proyecto, la calidad de los materiales componentes, forma de dosificación, fabricación, y su mantenimiento (Vitervo, 2008). En este sentido el IMCYC (2000), menciona que la poca importancia que se le da a la durabilidad del concreto en las diferentes construcciones durante su diseño, así como la carencia de evaluación de las condiciones a las cuales se expone, se traduce en un deterioro acelerado de las estructuras, que a su vez acarrea problemas operativos de mantenimiento, costos de reparación y reducción de la vida útil.

Considerando lo expuesto anteriormente, se han buscado nuevas alternativas que permitan incrementar la durabilidad del concreto, entre ellas la prefabricación de paneles de concreto en combinación con otros materiales que incorporen características como ligereza, flexibilidad, resistencia al impacto, corrosión y desgaste, propiedades que por sí solo el concreto no podría tener (Morales, 2008).

2.3 La prefabricación como alternativa constructiva

La prefabricación es definida como la tecnología que hace posible la utilización de elementos (funcionales, constructivos, componentes), de grandes dimensiones, que pueden ser elaborados ya sea fuera de la obra o dentro de la misma (Huete, 1987).

La respuesta a las necesidades de la industria de la construcción en los últimos años en nuestro país tanto de edificios como de otras obras, ha sido por medio de la prefabricación de estructuras de concreto por las ventajas que ofrece en cuanto a rapidez, mejoramiento de la calidad, incluso por ser amigable con el medio ambiente, en relación a otros tipos de estructuras (Rodríguez y Torres, 2012).

Pérez y Ochoa (2006), mencionan que debido a las ventajas que tiene la prefabricación en sus productos finales como el bajo costo general y de

mantenimiento, calidad en los acabados y una gran rapidez de construcción, permite una eficiente y pronta optimización de capital invertido en las obras constructivas.

A pesar de que en nuestro país la utilización de estructuras prefabricadas comenzó a tener auge durante los años sesentas (Cervantes, 2003), aún siguen siendo poco empleadas en comparación a las estructuras coladas en sitio, lo que hace que la industria a pesar de las ventajas que ofrece no sea una actividad muy importante en México haciendo necesario una mayor difusión que incluya el apoyo a investigaciones sobre estructuras prefabricadas (Rodríguez y Blandón, 2003) y su combinación con otros materiales.

2.4 Materiales compuestos

Los materiales compuestos son aquellos obtenidos artificialmente, además las partes que lo forman deben ser distintas químicamente y separables. Éstos materiales son creados para mejorar las propiedades mecánicas del material resultante.

La mayoría de los materiales compuestos son formados por dos componentes: uno es la matriz, que es continua y rodea al otro componente, llamado disperso. Las propiedades del material compuesto son en función de las propiedades de los componentes que lo constituyen.

Los materiales compuestos se dividen en 3 diferentes:

- Compuestos reforzados con partículas, estos se dividen en partículas grandes y consolidadas por dispersión. La mejora del comportamiento mecánico depende de la fuerza de cohesión en la interfaz matriz-partícula.
- Compuestos estructurales, están formados por materiales compuestos y homogéneos, la propiedad de este material compuesto no sólo depende de los materiales de los que está formado sino también de la geometría del diseño del elemento estructural.

- Compuestos reforzados con fibra. Éste tipo de material compuesto es el más importante, usualmente se fabrican con compuestos y fibras que tienen resistencias elevadas. Las características mecánicas de la fibra dependen de su longitud y del grado en que la carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz. La orientación de las fibras también juega un papel importante ya que influyen radicalmente en la resistencia y en otras propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras.

2.5 El uso de fibras como refuerzo del concreto

Las fibras pueden ser clasificadas de acuerdo con su origen, en fibras naturales y fibras artificiales. Las primeras provienen principalmente de plantas o bien son de origen animal como el caballo, cerdo, o conejo, incluso del hombre. Las fibras artificiales provienen en su mayoría de minerales (IMCYC, 2008a; González, 2010).

Se considera que el uso de fibras en materiales para la construcción, se remontan incluso antes de la aparición del cemento portland y del concreto, donde se utilizaban fibras de origen natural como pastos, finque, junco y pelo animal, con la finalidad de disminuir la tendencia a la fisuración y mejorar el desempeño del material a esfuerzos de tensión (IMCYC, 2008a).

Como refuerzo del concreto el uso de fibras se desarrolló paralelamente a la aparición del concreto armado, para ello se utilizaron diferentes tipos de fibras como pelo animal, fibra de sisal, cáñamo, celulosa, entre otras (Barros *et al.*, 1983).

Hoy en día, las fibras que más se utilizan en la industria de la construcción son de tipo artificial entre las que destacan de acuerdo con el IMCYC (2008a), las siguientes:

1. Fibras de polipropileno, vidrio y nylon. Este tipo de fibras (Fig. 3) se utilizan para prevenir principalmente la fisuración del concreto en estado fresco o durante edades tempranas debido a la retracción plástica. Los diseños deben ser compatibles con el ambiente altamente alcalino de la matriz de concreto y en el caso particular de las fibras de vidrio deben ser resistentes a los álcalis.



Fig. 3. *Fibras de polipropileno.*

Fuente: <http://www.imcyc.com/boletinimcyc/2013/febrero13.html>

2. Fibras de acero. Existen fibras de diferente tamaño, secciones, rugosidad superficial y formas, según el sistema de producción (Fig. 4). Las formas pueden ser rectas, onduladas o con aplastamientos. Generalmente tienen deformaciones a lo largo de la fibra o en sus extremos lo que les permite adherirse mejor al concreto.



Fig. 4. Fibras de acero.

Fuente: <http://lazarushn.com/category/materiales-para-concreto/fibras-para-refuerzo-del-concreto/>

- 3. Fibras sintéticas.** Entre estas podemos encontrar fibras de polietileno (Fig. 5), polipropilenos densos, cuya función principal dentro del concreto es asegurar una tenacidad acorde a las necesidades del diseño estructural.



Fig. 5. Fibras de polietileno.

Fuente: <http://rumersl.com/servicios/construccion-e-industria/aditivos-para-hormigones-y-morteros/>

De manera general, las dos principales funciones de este tipo de fibras como refuerzo del concreto son: lograr un control de las fisuras en un material en estado de servicio, reduciendo la apertura de las fisuras, y la transformación del comportamiento de frágil a dúctil de un material (IMCYC, 2008a).

2.6 La fibra de vidrio.

Las fibras de vidrio son producidas estirando monofilamentos de vidrio provenientes de un horno que contiene vidrio fundido y reuniendo un gran número de estos filamentos para formar un cordón de fibras de vidrio como se muestra (Fig. 6) (Smith, 2004 citado por Ossa, 2007).

Se obtienen principalmente en estado vítreo de la sílica (SiO_2) y los silicatos, del óxido bórico (B_2O_3) y los boratos, del pentóxido de fósforo (P_2O_5) y los fósforos (González, 2010).



Fig. 6. Obtención de los hilos de fibra de vidrio.

Fuente: http://www.hormigonespecial.com/~documentacion/P.Comino-%20JC.Romero_El_GRC.pdf

La fibra de vidrio es un material incombustible, no absorbe y con estabilidad química. Es una fibra resistente a agentes ambientales, utilizada como aislante térmico y acústico. Las fibras que son utilizadas en el campo eléctrico se fabrican con vidrio ausente de óxidos de metales alcalinos. Además de contar con estas propiedades, es una fibra imputrescible, ligera y de fácil colocación. En el Libro de

Materiales para la Construcción de la Enciclopedia CEAC (2007) se muestra la tabla de equivalencias (Tabla 1), donde se compara el poder aislante térmico de 3 cm de fibra de vidrio con diferentes materiales de construcción.

3 cm de fibra de vidrio	15 cm de madera
	32 cm de ladrillo
	78 cm de ladrillo cerámico normal
	117 cm de hormigón de gravilla
	138 cm de hormigón armado

Tabla 1 *Equivalencia comparativa de la fibra de vidrio con otros materiales.*

La fibra de vidrio se clasifica dependiendo del espaciamiento y la orientación de las fibras en:

-Mat: Éste tipo de fibra es de hilos cortados, enlazados al azar, aglomerados y prensados, formando una manta con excelente absorción. Su presentación es en rollos de 1 m a 1.2 m de ancho y en diferentes gramajes.

-Tejidos: Grupos de un número elevado de hilos que se cruzan perpendicularmente, se empela como material de refuerzo y es colocado entre dos capas de MAT.

-Mechas: Conjunto de hilos paralelos largos que forman un grupo enrollado en forma de carrete, se emplea para la fabricación de cilindros o tuberías.

-Vendas de tejido: De diferentes gramajes y anchos, se emplea en el recubrimiento de tuberías.

-Hilos cortados: Empleados para preparar resina con hilos, principalmente se utiliza en la fabricación de piezas moldeadas mediante prensa caliente.

Debido a que la fibra de vidrio tiene un costo relativamente bajo, su fácil obtención y fabricación es el reforzamiento más utilizado. Durante mucho tiempo la

fibra de vidrio ha sido utilizada para la fabricación de botes, canoas, claustros para tina y regadera, partes de carrocería para automóviles, contracubiertas para baño y lavabos, actualmente se utiliza también como refuerzo en materiales compuestos.

2.7 Paneles prefabricados

La industrialización ha evolucionado de manera agigantada en los elementos constructivos, cada vez es más recurrente la utilización de este tipo de componentes en la construcción.

Existe una gran diferencia entre el proceso de industrialización y en una obra en construcción, ya que en la primera resulta rentable invertir en una cadena de producción estandarizada y no así en construcción *in situ*. Los componentes prefabricados generalmente son realizados con materiales de alta tecnología, con requerimientos de alto nivel de calidad, en ocasiones son colocados por operarios sin ningún tipo de capacitación o formación, encareciendo la eficiencia de los elementos a un coste mayor, esto ha traído consigo el rechazo por parte de la industria de la construcción.

Este tipo de elementos tienen ventajas significativas, como el ahorro de tiempo en obra, debido a esto se trabaja con una programación minuciosa. Otra gran ventaja es la economía de materiales, la utilización de estos se hace de una manera racional y se reduce en gran medida la generación de escombros. La reducción en el transporte también se ve favorecida, ya que se evitan grandes volúmenes de material y sólo son transportadas piezas acabadas. De igual manera, se ve reducida la mano de obra, ya que sólo se necesitaría personal para colocar las piezas y no para realizar la construcción por completo. El peso propio de los elementos se ve reducido y la calidad ya no depende de las pericias en construcción, éstas se solucionan directamente desde fábrica.

Desafortunadamente existen numerosas situaciones o razones en las que es imposible utilizar un sistema constructivo prefabricado, aunque siempre existe una pequeña posibilidad a la industrialización.

Al hablar de la industrialización en las edificaciones, el componente prefabricado se puede clasificar de dos formas, que sea el edificio completo o algunas partes. En el primero estaríamos manejando el método de modelos y en el segundo el método de elementos.

- Método de modelos: Se caracteriza porque los elementos que lo forman no pueden intercambiarse o ensamblarse con elementos procedentes de otras marcas o modelos, parecido a la fabricación de un automóvil.
- Método de elementos: Contrario al anterior, su característica principal es la intercambiabilidad, con uniones sencillas y cada vez más universales.

Este método se basa en la construcción mediante paneles. Existen sistemas actuales de grandes paneles que tienen sus precedentes en experimentaciones realizadas con diferentes tipos de concreto desde mediados del siglo XIX.

Para construir paneles tipo lámina se necesita un material, donde las condiciones de trabajo no dependan de la direccionalidad. Las ventajas de estos elementos es que son funcionalmente resistentes a esfuerzos verticales, divisoria, ya sea vertical u horizontal y del espacio ya se interior o exterior.

Dependiendo de su función, estos elementos pueden ser clasificados como:

- Paneles exteriores portantes o no.
- Paneles interiores portantes o paneles no portantes de tabiquería.
- Paneles de forjados.
- Elementos específicos (bloques técnicos, escaleras).

2.8 Paneles exteriores

Además de sus propiedades como la estanqueidad al aire y el agua, aislante térmico o aislante acústico, también tendrán otras como la resistencia en caso de ser portantes. La clasificación de estos elementos se puede dar por diferentes causas:

- Por su forma. Los elementos cerrados, cubren desde el suelo hasta el techo de la construcción y suelen incorporar carpintería y los elementos abiertos, éstos adoptan formas muy variadas.
- Por su composición se clasifican en:
 - Paneles multicapa de concreto o GRC con aislamiento en la capa intermedia.
 - Paneles mixtos de concreto y cerámica.
 - Paneles homogéneos (hormigones ligeros).
 - Paneles de cáscara que necesitan trasdosado en obra.
- Por su peso. Se clasifican en pesados si pesan más de 200 k/m^2 o ligeros si pesan menos.
- Por su función. Se clasifican debido a dos situaciones diferentes:
 - Paneles portantes (fachada + muro de carga).
 - Paneles de fachadas auto portantes para fijar a una estructura existente.

2.9 Paneles interiores

La función básica de este tipo de paneles es aislar y en muchas ocasiones adicionalmente deben contar con características acústicas, térmicas, impermeables, resistencia a la fricción o impactos y servir de aislante, no soportan cargas estructurales (Fig. 7), su función únicamente es separar los espacios. Según sus materiales pueden clasificarse en dos tipos, los primeros son los paneles estructurales que son recubiertos de diversos productos y los paneles de mampostería y aglutinantes, de constitución ligera, que también deberán contar con cualidades dependiendo de las necesidades y actuar ya sea interna o externamente en diferentes espacios.

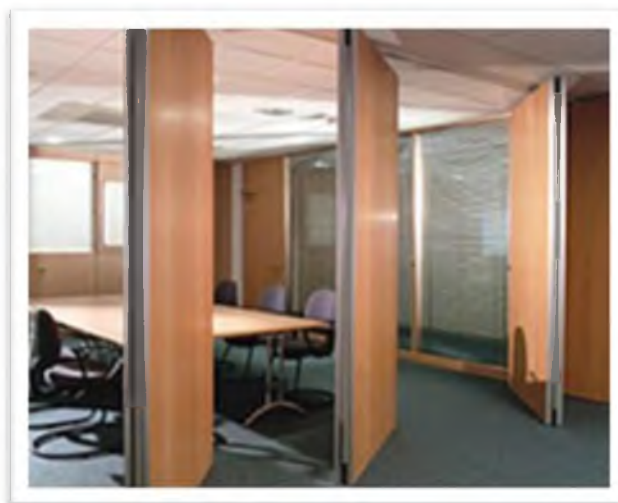


Fig. 7. Paneles en interiores.
Fuente: <http://interiores.com/page/295/>

2.10 Paneles interiores en la actualidad

En la actualidad, los paneles interiores son utilizados de muy variadas maneras, además de separar o aislar espacios, también deben poseer características especiales dependiendo las necesidades requeridas. Debido a que son auto soportables minimizan o eliminan el uso de perfiles complementarios para su estructuración. Son especialmente ideados para construcciones modulares y particiones en interiores. Cuentan con características funcionales, permiten montajes

rápidos e igualmente desmontajes con la recuperación casi total de materiales. Algunos son utilizados, además de aislantes de espacios, como decoración en interiores (Fig. 8).



Fig. 8. Panel utilizado en diseño interior.

Fuente: <http://meqadomus.com/catalogo/item2999/?photoid=16307>

2.11 La fibra de vidrio y los paneles de concreto prefabricados

Los orígenes de la incorporación de fibras de vidrio como refuerzo del concreto se remontan a la década de los 40's con experimentos llevados a cabo en Rusia, los cuales no brindaron buenos resultados, ya que las fibras se deterioraban rápidamente debido a la reactividad con los álcalis presentes en el cemento (Gómez, 2013), del cual se utilizó principalmente el tipo portland por ser el más barato y utilizado (Barros *et al.*, 1983).

A finales de la década de los 60's se iniciaron investigaciones a cargo del Dr. Majumdar del Bulding Research Establishment con vidrios con alto contenido en circonio muy resistentes al ataque alcalino del cemento portland [3; 9], con lo cual se dio origen al concreto reforzado con fibra de vidrio alcalíresistente o Glass Fibre Reinforced Concrete (GRC o GFRC, por sus siglas en inglés), esenciales actualmente en la industria de la prefabricación (IMCYC, 2008b).

Se puede definir el GRC o GFRC como una resina compuesta mineral con base cemento, caracterizado por su gran ductilidad siendo normal un límite elástico de 10

MPa, cuando la rotura alcanza los 17 MPa (IMCYC, 2008b). En la industria de la construcción destaca la elaboración de paneles prefabricados con GRC los cuales muestran diferentes ventajas frente a los refuerzos metálicos como lo son resistencia al fuego, a la corrosión, al ataque de agentes ambientales y químicos, baja conductividad eléctrica, así como la flexibilidad para desarrollar formas, diseños y acabados (texturas, colores, luminosidad) (Sánchez y Sánchez, 1991; Criado *et al.*, 2005; Miravete y Chiminelli, 2005; IMCYC, 2008a; IMCYC, 2009). En este sentido Del Águila (1988) destaca las siguientes ventajas de los paneles prefabricados de concreto reforzados con fibra de vidrio:

- a) Elevadas resistencias a compresión, a flexión y a tracción, gracias a la colaboración de la fibra.
- b) Gran resistencia al impacto, debido a la absorción de la energía por medio de la fibra.
- c) Incombustible, por la naturaleza de sus componentes, clasificado como MO (protección contra el fuego superior a cuatro horas).
- d) Resistencia al ataque de insectos y el desarrollo de microorganismos.
- e) Impermeabilidad al agua, incluso en espesores mínimos de 3-8 mm, por su gran compacidad.
- f) Buena resistencia a los agentes atmosféricos.
- g) Ligereza (entre 20 y 50 kg/m², según la tipología del panel) por pequeños espesores utilizados, lo que repercute en economías de los medios de transporte y elevación.
- h) Importante resistencia a la abrasión.

2.12 Estudios previos de materiales concreto-fibra de vidrio

Según Bravo (2003), la incorporación de fibras de vidrio, tienen una serie de repercusiones sobre las propiedades del concreto en estado fresco, destacando entre ellas la reducción de la trabajabilidad. A medida que aumenta el porcentaje de fibra de vidrio adicionado al concreto la docilidad de la mezcla disminuye.

La utilización de fibras de vidrio para el reforzamiento de cementos y hormigones es considerado con creciente interés. Sin embargo, la extensión de su uso ha sido limitada ya que la resistencia mecánica inicial va decreciendo con el tiempo, y después de algunos años se presentan problemas de fractura. Esto debido a que el medio fuertemente alcalino del cemento Portland ataca lentamente las fibras hasta degradarlas por completo (Nieto *et al.*, 1990).

En realidad las fibras se incluyen en el concreto para aumentar la tenacidad del material, es decir, para hacer las estructuras, incluso después del agrietamiento de la matriz, pueden seguir siendo cargadas. El concreto reforzado con fibras tiene una tenacidad muy superior al mismo concreto sin fibras. Sin embargo, ambas matrices tienen la misma resistencia para ser más tenaz, al concreto reforzado con fibras no le queda más alternativa que deformarse antes de la falla. Una vez la matriz del concreto se ha fisurado, el concreto sin fibra simplemente falla, colapsa (y la estructura también) es decir, no hay continuidad en la estructura y los pedazos pueden caer.

En un concreto no fibroreforzado la falla y colapso ocurren con la primera fisura principal, mientras que en el concreto fibroreforzado, la falla y colapso de la estructura tienen lugar mucho después de la fisura principal, debido a que le permite a la estructura después de la fisuración continuar absorbiendo carga sin colapsar, le permite a la estructura seguir funcionando IMCYC (2009).

La mayor parte de las ventajas que presenta el concreto reforzado con fibra de vidrio es su alta resistencia mecánica, sobre todo a la flexión y al impacto. Esto permite crear piezas de reducido peso con las mismas o superiores prestaciones.

Esta ventaja de ligereza va a repercutir positivamente sobre diferentes factores de diseño e instalaciones de las piezas y/o estructuras que soporten el concreto reforzado y de las mismas instalaciones de las piezas realizadas en este material.

Por sus características de ligereza se pueden transportar del orden de tres a cinco veces más piezas de un concreto reforzado que de un concreto convencional, lo cual abarata una partida importante como es la del transporte de los elementos prefabricados a obra.

Se ha de tener en cuenta el ligero peso que presentan las piezas de concreto reforzado a la hora del diseño de la estructura y sus cimentaciones, lográndose grandes ahorros de material. El poco peso lo hace ideal para su uso en edificios de gran altura (Comino y Romero, 2009).

3.1 Experimentación del compuesto concreto-fibra de vidrio

En ésta etapa, se llevó a cabo el diseño de mezclas para la preparación de diferentes proporciones del compuesto concreto-fibra de vidrio. A continuación se detalla el proceso en el siguiente esquema (Fig. 9).

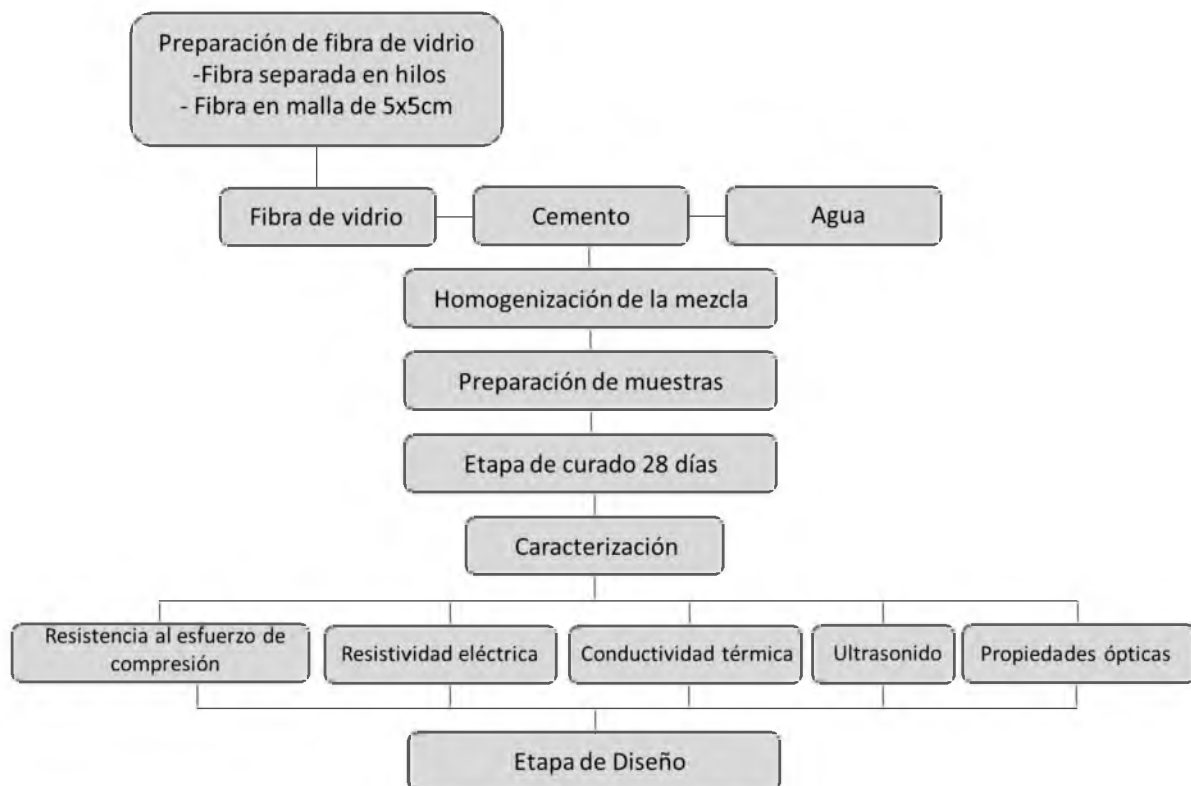


Fig. 9. Esquema de la metodología empleada.

Fuente: Propia.

Como se observa anteriormente, los materiales utilizados fueron cemento blanco, fibra de vidrio y agua.

Se comenzó por preparar la fibra de vidrio debido a que sería utilizada de dos maneras diferentes. En la primera, la malla de fibra de vidrio fue separada en hilos independientes y la segunda la mallas fue seccionada en cuadros de 5 x 5 cm.

La manera de empleo de la fibra de vidrio fue de tres diferentes formas, la primera en hilos independientes mezclando directamente con el cemento blanco y agua, la segunda en mallas de 5 x 5 cm y la última en hilos independientes pero compactados en el molde.

En la primera etapa, donde la fibra de vidrio se ocupó en hilos independientes, estos se colocaron en un recipiente, posteriormente se le agregó cemento blanco y poco a poco se le fue agregando agua, se revolvieron con una cuchara metálica hasta formar una mezcla como se muestra en la Fig. 10 y se vaciaron en un molde de 5 x 5 x 5 cm, se dejaron reposar durante 24 horas hasta que adquirieron una consistencia sólida.



Fig. 10. Mezcla concreto – fibra de vidrio.
Fuente: Propia.

En la segunda etapa los hilos independientes se colocaron en el molde de 5 x 5 x 5 cm (Fig. 11).



Fig. 11. *Fibra de vidrio en molde.*
Fuente: Propia.

Se vertió la mezcla realizada con cemento – agua (Fig. 12) y se dejó reposar durante 24 horas hasta que adquirió una consistencia sólida.



Fig. 12. *Mezcla de material.*
Fuente: Propia.

En la tercera y última etapa se sacaron mallas de fibra de vidrio con medidas de 5 x 5 cm (Fig. 13).



Fig. 13. *Malla de fibra de vidrio.*
Fuente: Propia.

Se sumergieron en una mezcla realizada con cemento blanco y agua (Fig. 14).



Fig. 14. *Malla de fibra de vidrio sumergida en cemento blanco y agua.*
Fuente: Propia.

Una vez cubiertas con la mezcla se colocaron en el molde e 5 x 5 x 5 cm y se compactaron según se iban apilando (Fig. 15).

Obtenidos los especímenes se hicieron cinco pruebas después de 28 días, tiempo que dura el proceso de curado requerido para que el concreto tome su máxima resistencia.

La primera prueba fue la de resistencia al esfuerzo de compresión, se colocaron los especímenes de 5 x 5 x 5 cm en una prensa hidráulica para determinar la resistencia que tenía el material compuesto.



Fig. 15. *Malla de fibra de vidrio colocada en el molde.*
Fuente: Propia.

La segunda prueba fue la de densidad, se utilizó una placa de 15 x 15 x 0.5 cm, con ayuda de un equipo de prueba ultrasónica se logró determinar la porosidad del material.

La tercera prueba fue la de propiedades ópticas, ésta se realizó a simple vista donde se colocó una lámpara manual por un lado de la placa y se observó la transmisión de la luz del otro extremo.

La cuarta prueba fue la de conductividad térmica, se utilizó una placa circular de 0.5 cm de espesor por 5 cm de radio, se colocó en un equipo para medición de conductividad térmica, una vez que se obtuvieron los datos se ingresaron al software del equipo y se obtuvieron los resultados.

La quinta y última prueba fue la de resistividad eléctrica donde con ayuda de un resistímetro superficial con cuatro puntas se realizó la prueba a un espécimen 5 cm de ancho por 15 cm de largo.

Ya obtenidas las características del material se llevó a cabo el proceso de diseño, se comenzó por realizar bocetos y obtener la forma que aprovecharía de mejor manera las cualidades del material. Una vez que se tenían diferentes opciones se seleccionó la que se adecuaba mejor a las características obtenidas en las

pruebas. Posteriormente se realizaron los planos de la pieza con vistas e isométrico. Se realizó una posible ambientación y se hizo el fotomontaje del producto a un escenario.

Después de haber realizado ésta etapa, se llevó a cabo el diseño del molde, que fue utilizado para realizar las pruebas de compactado del material.

4.1 Diseño de mezcla del material

Para obtener las cantidades necesarias del cemento, agua y fibra de vidrio se tomaron en cuenta las proporciones establecidas por la ACI (American Concrete Institute). El cemento blanco fue utilizado por cuestiones estéticas, para facilitar la translucidez del material. La resistencia a la compresión que debe alcanzar es de $F'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Para poder realizar ésta mezcla se espera obtener, de acuerdo a la norma, una desviación estándar de 0.14 de la resistencia media (f_m). Los datos con los que se realizaron los cálculos fueron obtenidos de la metodología ACI, de donde se obtuvieron las siguientes cantidades mediante los cálculos que a continuación se describen.

En función a la desviación estándar, se obtiene que la resistencia promedio para un valor de resistencia a compresión requerida F_{cr} , $F'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

$$F_{cr} = F'c + 95 \quad (1)$$

$$F_{cr} = 250 + 95$$

$$F_{cr} = 345 \text{ kg/cm}^2 \quad (2)$$

Relación agua-cemento. Para establecer la cantidad de agua requerida para este trabajo, está en función de la resistencia, la ecuación que a continuación se utiliza es una ecuación teórica sobre la mejor relación de agua para obtener la resistencia deseada. Con los datos de resistencia a la compresión requerida F_{cr} obtenidos, se calculó la relación agua-cemento.

$$\alpha = 3.147 - 1.065 \log(Fcr) \quad (3)$$

$$\alpha = 3.147 - 1.065 \log(345)$$

$$\alpha = 0.44 \quad (4)$$

K_A = factor para corregir por tipo de agregado, donde para un agregado semitriturado como lo es la fibra de vidrio es de 1.10.

K_r = factor para corregir α por tamaño máximo, donde para un factor K_a de 1.10 es de 1.30.

$$\alpha = \alpha * K_r * K_a \quad (5)$$

$$\alpha_c = 0.44 * 1.10 * 1.30$$

$$\alpha_c = 0.63 \quad (6)$$

Se compara con datos de durabilidad y se selecciona el valor de la relación agua/cemento, mínimo. En Loma Bonita, se presenta alta humedad relativa y para estas condiciones ambientales el valor de $\alpha_c = 0.55$.

Se determina el revenimiento en base al asentamiento del cono de Abrams, donde se estableció un límite menor para obtener una mezcla manejable que no presente demasiada fluidez. (T), donde para muros $T = 6.5$.

Con la relación agua/cemento y el revenimiento, se calcula la cantidad de cemento en kg/m^3 .

$$C = 117.2 * \frac{T^{0.16}}{\alpha_c^{1.3}} \quad (7)$$

$$C = 117.2 * \frac{(6.5)^{0.16}}{0.55^{1.3}}$$

$$C = 117.2 * \frac{1.35}{0.46}$$

$$\text{Cemento} = 343.95 \text{ kg/m}^3 \quad (8)$$

Se compara con la dosis mínima recomendada y se utiliza el máximo, donde para un ambiente agresivo, marino o con concretos sometidos al desgaste es = 350.

$$Agua = ac * C \quad (9)$$

$$Agua = 0.55 * 350 \text{ kg/m}^3$$

$$Agua = 192.5 \text{ kg/m}^3 \quad (10)$$

Teniendo estos resultados, se sacó la proporción para un cubo de 125 cm³ y estas fueron las cantidades que se obtuvieron: 24.0625 ml de agua, 43.57 gr de cemento y 23.76 gr de fibra de vidrio.

Una vez obtenidos los volúmenes requeridos se realizaron algunas pruebas, sin embargo, la fibra de vidrio al entrar en contacto con el agua y el cemento blanco comenzó a aglomerarse, necesitaba mayor proporción de agua para mantenerla hidratada sin perder la proporción con el cemento y no afectar la resistencia. Estas proporciones se hicieron tomando en cuenta las condiciones adecuadas además de permitir la translucidez que era uno de los objetivos principales en este trabajo.

A las mezclas siguientes se les adicionó mayor contenido de agua debido a que las muestras eran demasiado porosas y se observa una mayor absorción de líquido, lo que limitó la reacción de fraguado. De tal manera que se agregaron 54.0625 ml de agua, 43.57 gr de cemento y 23.76 gr de fibra de vidrio.

Sin embargo, la muestra obtenida presentó baja resistencia debido a la modificación en la relación agua-cemento, por lo cual se optó por aumentar proporcionalmente, la cantidad de cemento y fibra de vidrio, para un cubo de 125 cm³ y se manejaron 51.66 ml de agua, 46.96 gr de cemento y 60 gr de fibra de vidrio. De cada una de estas mezclas se hicieron 3 cubos para obtener un valor promedio.

Una vez realizadas las mezclas se vaciaron en moldes de 125 cm³ (Fig. 16) y se dejaron 24 horas, tiempo recomendable para que el concreto adquiriera la consistencia necesaria para tolerar el desmolde.



Fig. 16. *Moldes con el material compuesto.*
Fuente: Propia.

Desmoldados los especímenes, se colocaron en un recipiente con agua por 28 días, a esto se le llama proceso de curado (Fig. 17). Éste proceso es muy importante debido a que se utiliza para mantener la humedad y la temperatura en concreto fresco por período prolongado para que el concreto desarrolle su máxima resistencia. El concreto que es curado correctamente es más resistente al daño y menos susceptible a la generación de polvo, grietas o fisuras en los cantos.



Fig. 17. *Fraguado en agua de los especímenes.*
Fuente: Propia.

Obtenidas las proporciones de la mezcla se realizaron tres diferentes pruebas en cuanto al acomodo de la fibra de vidrio. A la fibra se le aplicaron dos procesos diferentes, el de deshilado, es decir, se separó en hilos individuales y además se cortó en mallas de 5 x 5 cm.

La primera prueba consistió en combinar los hilos individuales de fibra de vidrio con cemento y agua. En un recipiente se pusieron los hilos individuales, posteriormente se agregó el cemento blanco y finalmente se agregó el agua poco a poco, se revolvió con una cuchara metálica hasta obtener una mezcla y se vaciaron en moldes de 5 x 5 x 5 cm. Después de dejarlos 24 horas en el proceso de fraguado, se obtuvieron especímenes definidos y sólidos (Fig.18).



Fig. 18. *Especimen obtenido de la primera prueba.*
Fuente: Propia.

En la segunda prueba, se ocuparon las mallas de 5 x 5 cm de fibra de vidrio. Primero se hizo la mezcla de cemento blanco con agua, posteriormente las mallas se sumergían en dicha mezcla y se iban colocando en el molde una a una. Ya que se encontraban dentro del molde se comprimían para obtener una forma definida. Se dejaron 24 horas en el proceso de fraguado y se obtuvo que la mezcla de cemento blanco y agua bajara al fondo del molde dejando las mallas superiores sin mezcla, además de obtener especímenes que carecían de consistencia sólida y uniformidad (Fig. 19).



Fig. 19. *Espécimen obtenido de la segunda prueba.*
Fuente: Propia.

En la tercera y última prueba, los hilos independientes de fibra de vidrio se metieron en el molde bien compactados, posteriormente se vertió la mezcla de cemento blanco y agua. El resultado que se obtuvo después de las 24 horas de fraguado fue que la mezcla de cemento y agua no pudo llegar hasta el fondo del molde y los hilos de la parte inferior quedaron sin mezcla (Fig. 20), por tal motivo quedó descartada esta opción como modo de empleo.



Fig. 20. *Espécimen obtenido de la tercera prueba.*
Fuente: Propia.

4.2 Caracterización

4.2.1 Prueba de resistencia al esfuerzo de compresión

Después de someter los especímenes a 28 días de curado, se evaluó una de las primeras pruebas a realizar en este trabajo, la prueba de resistencia al esfuerzo de compresión.

La resistencia a la compresión es el esfuerzo máximo que presenta un material a la compresión sin romperse, la forma de evaluarla es mediante pruebas mecánicas destructivas, que permiten probar rápidamente la muestra de manera que se pueda estudiar alguna variación en la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Ésta prueba se mide tronando los especímenes en una prensa hidráulica para concretos con capacidad de 120 Ton (Fig. 21).

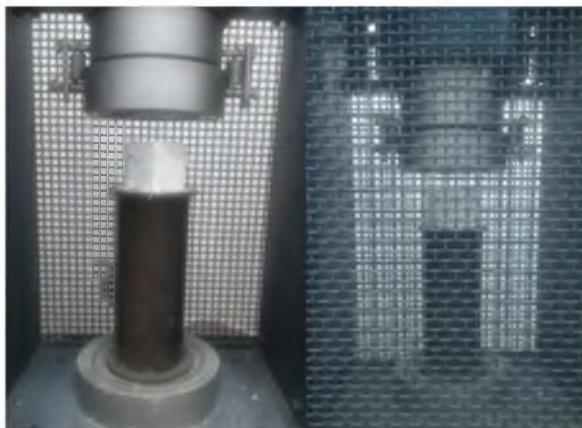


Fig. 21. Prensa hidráulica para concretos.
Fuente: Propia.

Cada espécimen fue sometido a dicha prueba, se tomaron tres muestras por cada proporción y se obtuvo un resultado promedio. En la siguiente tabla se describen los resultados.

Una vez realizada la prueba de resistencia a la compresión de cada uno de los especímenes, se obtuvieron los resultados descritos a detalle (Tabla 2).

Proporciones de materiales	Resultados
24.0625ml agua 43.57gr cemento 23.76gr fibra de vidrio	16.16 MPa
54.0625ml agua 43.57gr cemento 23.76gr fibra de vidrio	2.74 MPa
51.66ml agua 46.96gr cemento 60gr fibra de vidrio	20.56 MPa

Tabla 2. *Tabla de resultados de la prueba de ensayo a compresión.*

La proporción que obtuvo los resultados favorables para las condiciones requeridas de este proyecto fue la mezcla de 51.66 ml (33 %) de agua, 46.96 gr (30 %) de cemento y 60 gr (37 %) de fibra de vidrio, debido a que obtuvo la mayor resistencia en la prueba.

4.2.2 Prueba de Resistividad eléctrica

La ley de Ohm menciona que la resistividad es una propiedad volumétrica de algún material que indica su resistencia al paso de las cargas eléctricas. Cuanto mayor es la resistividad en el material, menor es la porosidad que presenta y mayor su resistencia mecánica, debido a que cuenta con más fases sólidas por volumen. De igual manera es un indicador del grado de saturación, por lo tanto, la resistividad es un indicador de la calidad del material al indicar su porosidad (Fig 22).

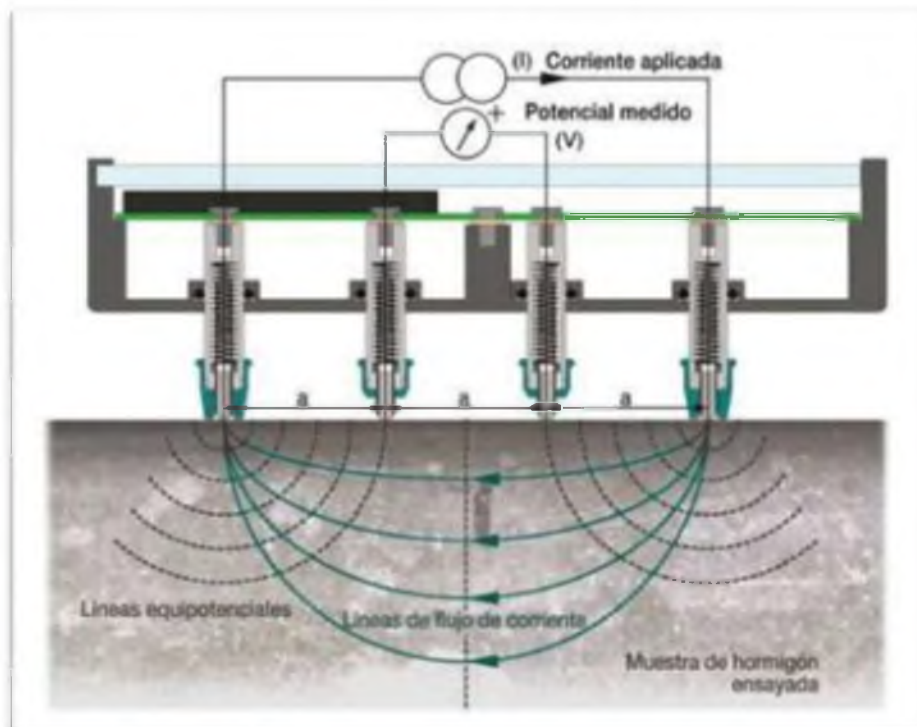


Fig. 22. Diagrama del paso de cargas eléctricas.
Fuente: <http://www.humboldtmg.com/resipod.php>

Para realizar ésta prueba se utilizó un resistivímetro superficial marca proceq, modelo resipod el cual utiliza el principio de cuatro zonas de Wenner con capacidad de 0-100 k Ω cm.

En este método se utilizan cuatro sondas con una separación igual entre cada una, con la finalidad de aplicar una corriente entre las sondas externas midiendo la

diferencia de potencial de las sondas interiores. La corriente al interior de la muestra es transportada por iones presentes en los poros que deben estar en presencia de líquido, debido a esto, esta prueba se realiza con muestras húmedas. La resistividad (ρ) se calcula dependiendo del espaciamiento entre las sondas (α) y el voltaje (V) y la corriente (I).

$$\rho = \frac{2\pi\alpha V}{I}$$

En dicha prueba aplicada a un espécimen realizado con medidas de 5 cm de ancho por 15 cm de largo, se obtuvo una resistencia de 3.9 k Ω cm (Fig. 23). De igual manera, aplicada a un concreto convencional arroja como resultados una resistividad eléctrica que varía de 5 a 20 k Ω cm, esto quiere decir que el concreto con fibra de vidrio tiene una porosidad relativamente baja comparada con un concreto convencional y por ende mayor resistencia.



Fig. 23. Resultado de la prueba de resistividad eléctrica aplicada al material.
Fuente: Propia.

4.2.3 Prueba de conductividad térmica

Se le llama conductividad térmica a la cantidad de calor que transmite un material por contacto directo sin intercambio de materia. Estas características son estudiadas en la Ley de Fourier donde dice que la potencia calorífica que se transfiere por conducción es proporcional al gradiente de temperatura y al área a través de la cual se transfiere el calor. Su unidad de medición es $W/m.K$. De igual manera, es un coeficiente de proporcionalidad entre el flujo de calor, la diferencia de temperatura y el espesor. Cuanto más baja sea la conductividad térmica mejor será el aislamiento térmico del material.

Para realizar dicha prueba se realizaron muestras del material concreto-fibra de vidrio en forma circular con un diámetro de 10 cm, y se utilizó un equipo para medición de conductividad térmica marca Anter, modelo DSC-25 que utiliza el método de flujo térmico el cual consiste en colocar una muestra de un espesor determinado entre dos superficies que contiene la muestra a una presión de 20 psi, con la finalidad de mantener un contacto homogéneo entre la muestra y las dos superficies metálicas del dispositivo. La placa metálica se mantiene a una temperatura controlada de $45^{\circ}C$, mientras que la placa inferior está unida a un enfriador de temperatura que se mantiene en $20^{\circ}C$ (Fig. 24).

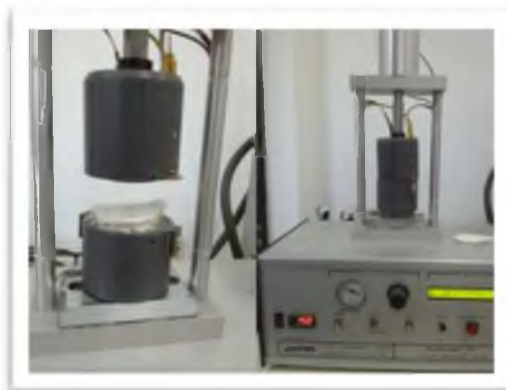


Fig. 24. Prueba de conductividad térmica.
Fuente: Propia.

El concreto convencional presentó una conductividad térmica es de $1.40 W/mK$, a diferencia del material compuesto concreto-fibra de vidrio de $0.13 W/mK$ (Fig. 25),

esto nos indica que el material compuesto presenta una conductividad térmica muy baja, lo cual lo hace idóneo para la aplicación que se requiere debido a que funciona de mejor manera como aislante térmico que un concreto convencional.

```

Archivo Edicion Formato Ver Ayuda

MODEL QuickLine-10 DATA ANALYSIS SOFTWARE
Program QL10 - Version 5.0
Anter Corporation 2003 (C)

QuickLine-10 Conductivity Test

Run Id:
File Name: 1
Test Number:
Operator:
Date: Fri Oct 10 10:41:54 2014

Calibration
Run Id: QL-10 Calibration
File: CALUNPA01

Segment Setpoint Stack HFM Calibration Interfacial Rmin Rmax
. (C) delta Factor Resistance m²K/w m²K/w
1 23.62 13.19 1.6287e-003 -3.4207e-003 4.3195e-004 1.6683e-002

Sensor DVM Reading Temperature (C)
Reference 1.2490
Upper 1.4230 41.55
Lower 1.5940 29.51
Heat sink 1.6020 28.95

delta T sample/delta T reference: 21.37
delta T sample: 12.04 (C)
delta T reference: 0.56 (C)
delta T stack: 12.61 (C)>

Thickness: 0.1969 (inches)
0.5000 (cm)

Mean Sample Temperature: 35.53 (C)

Sample Thermal Resistance: 3.82e-002 (m²K/w)
warning: sample resistance is outside calibration range
Sample Thermal Conductivity: 0.13 (w/mK)

```

Fig. 25. Resultados obtenidos de la prueba de conductividad térmica.

4.2.4 Prueba de ultrasonido

En una muestra de cinco milímetros de espesor del material realizado concreto-fibra de vidrio se realizó la prueba de ultrasonido. Para ésta prueba se utilizó un equipo de prueba ultrasónica Pundit Lab, marca Proceq, el cual utiliza el método de velocidad de pulso para informar la uniformidad del concreto, fisuras y defectos. La velocidad de pulso de un material depende de su densidad y sus propiedades elásticas las cuales están relacionadas a la resistencia a la compresión del material.

Para realizar esta prueba, se colocaron dos sensores con gel en cada pared del espécimen utilizado. El sistema envía una onda a través de la muestra de material compuesto. Uno de los sensores emite una onda ultrasónica la cual atraviesa el material y es recogida por el sensor del otro extremo. Se tomó en cuenta el tiempo de propagación de la onda, junto con la distancia de los sensores, esto nos ayudó a saber la velocidad del pulso. Se repitió en tres ocasiones la prueba para cada pieza y de ésta manera obtener un promedio. A continuación se muestra la clasificación de la calidad del concreto por medio de la velocidad de onda.

Clasificación de la calidad del concreto por medio de la velocidad de onda según Leslie y Cheesman	
Velocidad de la onda longitudinal m/seg	Condición del concreto
Más de 4570 De 3050 a 4570	Excelente a Buena
De 3050 a 3650	Regular a dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy pobre
Evaluación de calidad mediante la velocidad de pulso según Agraval y otros	
Velocidad de pulso m/seg	Condición del concreto
Más de 3000 De 2500 a 3000	Buena a Regular
Menos de 2130	Pobre
Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas	
Tipo de obra	Velocidad mínima de pulso para su aceptación
Selección de T de concreto reforzado. Unidades de	4570/4360
Marcos de edificios de concreto reforzado	4110
Losas de entre piso	4720

Tabla 3. Clasificación de la calidad del concreto por medio de la velocidad de onda según Leslie y Cheesman.

Esta prueba se realizó en un concreto convencional de 5 cm de espesor por 10 de diámetro (Fig. 26), para obtener un dato comparativo donde como resultado se

tiene una velocidad de onda longitudinal de 4118 m/s (Fig. 27) con una condición buena según la tabla (Tabla 3).

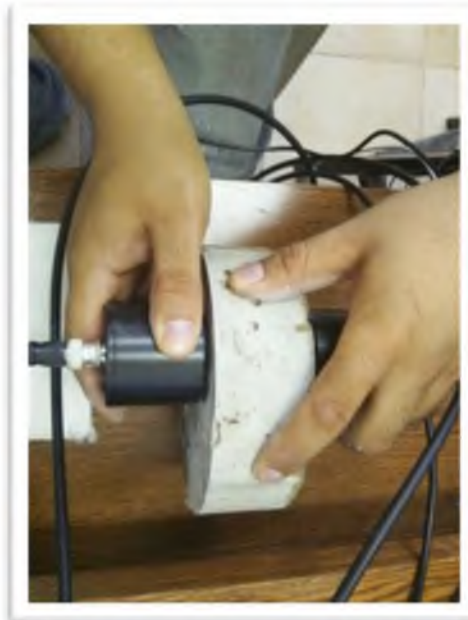


Fig. 26. Prueba ultrasónica realizada a una pieza de concreto convencional.
Fuente: Propia.

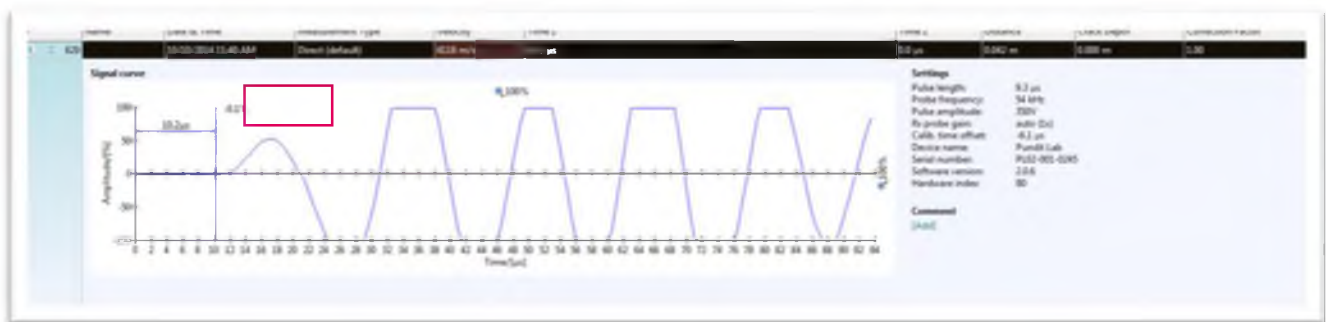


Fig. 27. Resultados de prueba ultrasónica al concreto convencional.

De igual manera se repitió la prueba para el material compuesto concreto-fibra de vidrio con una muestra de 15 x 15 cm y de 0.5 cm de espesor (Fig. 28), donde se obtuvo una velocidad de onda longitudinal de 5556 m/s (Fig. 29), mayor a la del concreto convencional y de calidad excelente según el cuadro de referencia.



Fig. 28. Prueba ultrasónica realizada a una pieza de material compuesto concreto-fibra de vidrio.
Fuente: Propia.

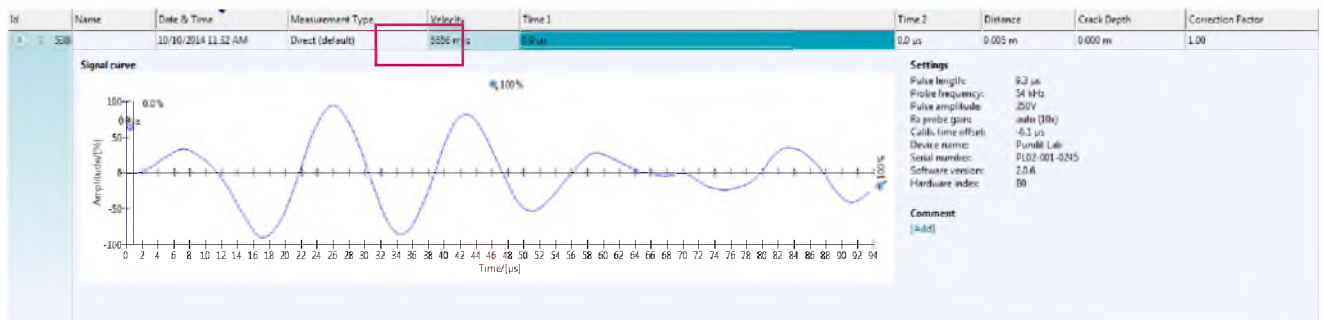


Fig. 29. Resultados de prueba ultrasónica al material compuesto concreto – fibra de vidrio.

4.2.5 Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas estudian el comportamiento de algunos materiales ante la luz. Un material translúcido deja pasar la luz pero no la visión, se pueden ver las siluetas que están del otro lado del material, pero no la forma detalladamente. Generalmente las superficies de este tipo de materiales no son lisas.

Para ésta prueba sólo fue necesario utilizar un placa de material compuesto concreto-fibra de vidrio de 15 x 15 cm por 0.5 cm de espesor, en uno de los extremos se colocó una linterna manual para verificar el paso de luz, cabe mencionar que para realizar el material, la fibra de vidrio no se utiliza de manera convencional, lo que se planeó en éste trabajo es la sustitución de los agregados por la fibra de vidrio debido a que contienen la misma composición química, la sílice.

Una vez colocada la luz en el extremo de la placa del material compuesto, se pudo verificar a simple vista el traspaso de luz, obteniendo resultados favorables para el material como se muestra en la Fig. 30.



Fig. 30. Lámpara realizada con material compuesto concreto-fibra de vidrio.
Fuente: Propia.

5.1 Diseño de módulo

Con anterioridad, la casa habitación funcionaba sólo como resguardo de las condiciones climáticas; actualmente, la vida moderna impone distintas necesidades en cuanto a habitabilidad del espacio, donde uno de los conceptos fundamentales y hasta ahora el más importante es el confort, es decir, que brinde comodidad y bienestar al usuario.

Por tal motivo fue necesario tomar en cuenta cada uno de estos elementos para desarrollar el diseño del panel para interiores. Uno de los aspectos más importantes fue la iluminación, debido a que el material nos otorga la cualidad de ser translúcido, debía ser utilizado de la mejor manera. La iluminación juega un papel importante en interiores, es el que determina la ambientación total al espacio y por ende el confort. De igual manera, al ser un panel que tendría esa cualidad se podía ver reducidos los costos en cuanto a energía eléctrica.

Otro de los aspectos a tomar en cuenta fue el dinamismo en la forma. Una de las cualidades importantes que resultaron al realizar el material, fue la flexibilidad del concreto. De tal manera que se requería una forma que aprovechara en su totalidad esta característica tan importante en este material y que difícilmente se podría realizar en un concreto convencional.

Finalmente, sabemos que el diseño basado en la modulación de espacios permite optimizar el tiempo en la construcción, así como realizar elementos transportables, desarmables y reorganizables, lo que lo hace un elemento totalmente funcional además de ser reutilizado recuperando la mayor parte del material y empleado para diversos fines.

Una vez analizadas las propiedades del material, se llevó a cabo el diseño del módulo para el armado del panel, tomando en cuenta que debía ser una pieza que pudiera unirse a otra con ensambles que no afectaran ninguna de sus propiedades. Esto con el fin de obtener un manejo práctico de piezas, longitudes personalizadas y un mejor desplazamiento del elemento de un lugar a otro. El diseño del módulo deberá cumplir con diferentes características, debe ser funcional, estético, dinámico.

5.2 Propuestas

Mediante una lluvia de ideas, se llevaron a cabo diferentes diseños para elegir la modulación que aprovechara de mejor manera las propiedades del material que se obtuvo en la fase experimental, de tal manera que a continuación se presentan cinco propuestas de las cuales se realizaron bocetos a mano y modelado virtual para observar su comportamiento en el acomodo y organización, de tal manera que permitió observar el armado final de panel y verificar si era recomendable el uso de la forma.

Propuesta 1.

En la Fig. 31 se muestra la primera propuesta, donde se manejan cinco piezas con diferentes formas y espesores que ensambladas entre sí formarían el panel, se fueron acomodando de tal forma que se integraban unas con otras y al tener diferentes espesores se obtendrían diferentes texturas. Esto daría un poco de versatilidad al diseño debido a que el usuario podría eliminar las piezas que deseara y dejar espacios vacíos a su imaginación.

Tendría una área total de 2966.50 cm^2 , un perímetro de 228.42 cm y un espesor que varía desde los tres hasta los cinco centímetros siendo su superficie totalmente plana.

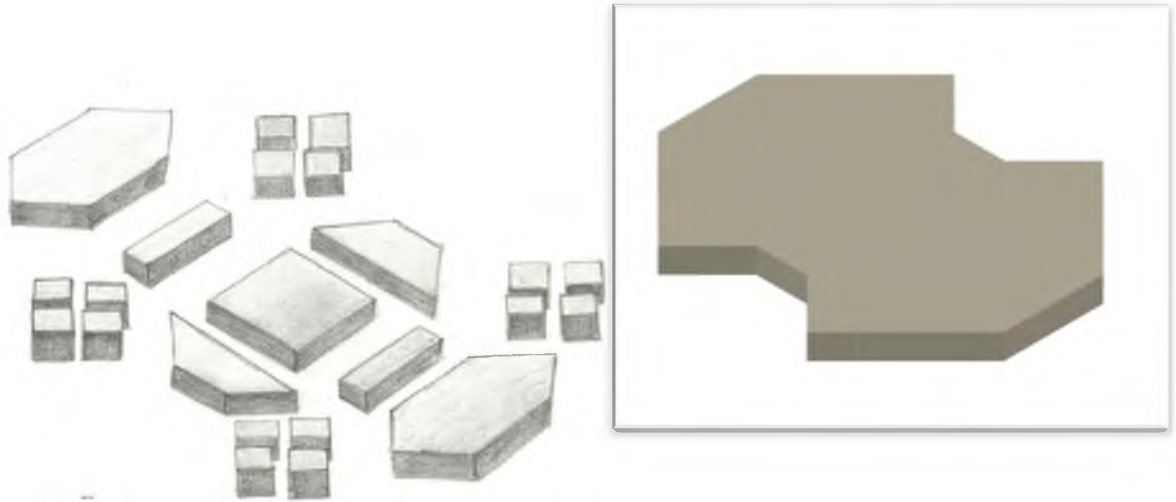


Fig. 31. *Boceto y modelado virtual de la propuesta de diseño número 1.*

Una vez realizado el modelo de éste módulo, se detectó que las piezas pequeñas son difíciles de ensamblar debido a que se encuentran diferentes elementos alrededor y se tienen que quitar para poder ensamblar los pequeños. Además, al ser piezas pequeñas corre el riesgo de fisuras en las esquinas y por ende su sustitución continua, el diseño en las formas no cumplía con las características requeridas, se necesitaba un diseño versátil y sencillo, para aprovechar las propiedades del material, así como utilizar un solo molde para realizar las piezas, se requería trabajar con formas dinámicas para darle una mejor vista al panel cuando sea armado.

Propuesta 2.

En la Fig. 32 se muestra la segunda propuesta, donde se están considerando solo dos piezas, una para los extremos y otra para el cuerpo del panel. Sus dimensiones son las siguientes: la primera pieza con un área de 650 cm^2 y un perímetro de 120 cm , la segunda pieza cubre un área de 700 cm^2 , un perímetro de 140 cm y cinco centímetros de espesor.

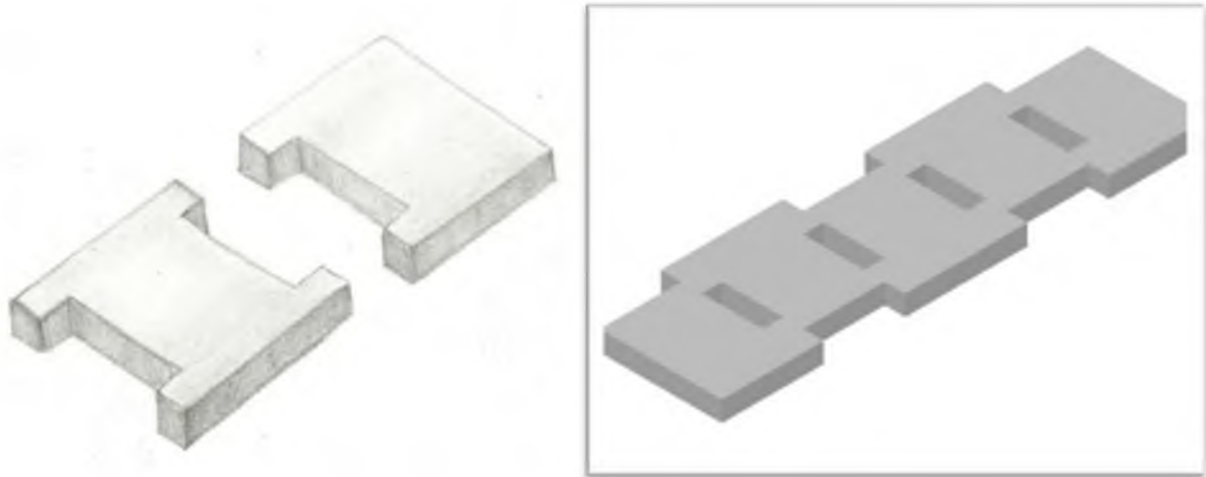


Fig. 32. *Boceto y modelado virtual de la propuesta de diseño número 2.*

Se realizó el modelado de ésta propuesta, su forma es totalmente plana y aunque se pudo realizar en diferentes grosores y texturas para obtener diferentes vistas, este diseño no fue viable debido a que al ensamblarse, quedaban grandes huecos lo que resta privacidad en interiores si se requiere ser empleado en lugares cerrados. De igual forma, no se aprovechan las características con las que cuenta el material, no existe flexibilidad ni versatilidad en la forma.

Propuesta 3.

En la Fig. 33 se muestra la tercera propuesta, una pieza con un área de 421.20 cm², un perímetro de 99.70 cm y cinco centímetros de espesor, ensamblada una con otra también serviría de soporte entre ellas, con ésta pieza no se podría manejar espesores debido a las características de la forma y en diferentes posiciones dejaría diversos huecos, funcionando así para espacios exteriores pero no igual para espacios interiores. Debiendo evitar esto, no fue una propuesta óptima además de ser un diseño que no necesitaría las características particulares del material, por tal motivo quedó descartado para ser utilizado en este trabajo.



Fig. 33. *Boceto y modelado virtual de la propuesta de diseño número 3.*

Propuesta 4.

La cuarta propuesta (Fig. 34) fue una sola pieza rectangular de 30 cm de largo por 20 cm de ancho y cinco centímetros de espesor, se manejó una curvatura de $r=30^\circ$ característica que proporciona el material al ser flexible. Se utilizaría en interiores y exteriores debido a la posición cóncava o convexa que se le dé al módulo, el panel podría ser completamente cerrado o con aberturas. De igual manera, no importando la forma en que sean colocados, debido a la curvatura, se pudo generar diferentes texturas en el panel. Estos módulos tendrían dos tornillos de resina transparente en cada lado, los que servirán para ensamblarse una a otra sin quitarle translucidez, desafortunadamente por su curvatura será difícil el ensamble con otra pieza debido a que los tornillos de resina son totalmente rectos, esto haría que se flexionen al entrar y le brindaría muy poca estabilidad a la estructura.

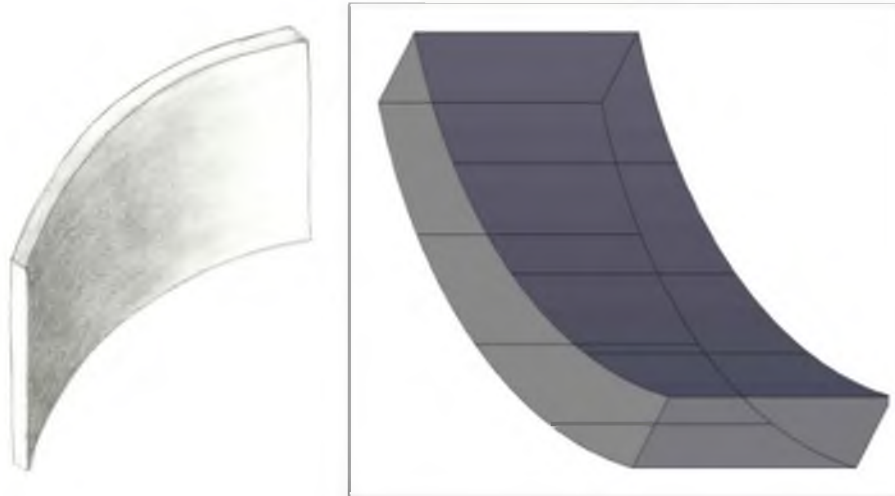


Fig. 34. *Boceto y modelado virtual de la propuesta de diseño número 4.*

Propuesta 5.

Teniendo en cuenta las propiedades de la propuesta de diseño número cuatro, se corrigió la forma en los extremos para poder ensamblar los módulos con tornillos de resina y evitar que el ensamble quede frágil, la nueva forma obtuvo la propiedad de flexibilidad y versatilidad, además de estabilidad en cuanto al ensamble. De igual forma se podría utilizar en espacios abiertos o cerrados, en forma cóncava o convexa dependiendo de la textura que se le quiera dar al panel (Fig. 35).

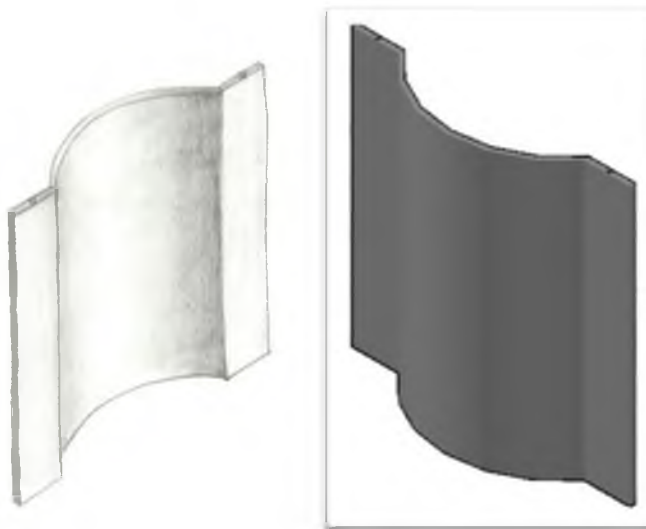


Fig. 35. *Boceto y modelado virtual de la propuesta de diseño número 5.*

La pieza tiene 30 cm de ancho por 30 cm de largo, con 12.5 cm de radio en su curvatura, cubriendo un área total de 1005 cm² y un volumen de 5025 cm³ (Fig. 36).

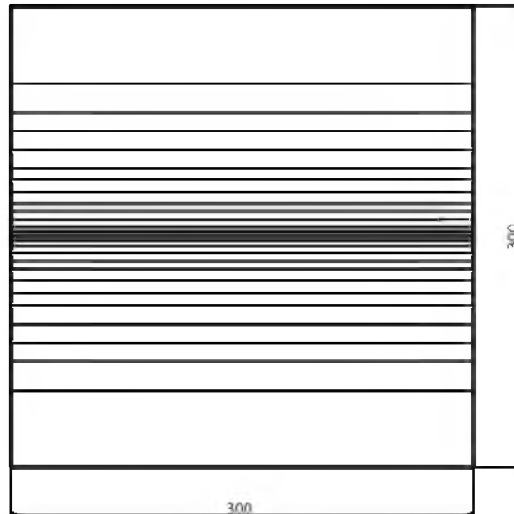


Fig. 36. Vista frontal.
Acotación: mm Escala: S/E.

En los laterales de la pieza se realizaron orificios para introducir los pernos de ensamble, estos orificios tienen un radio de 0.25 cm y están ubicados en el centro de las superficies planas. La curvatura tiene un radio de 12.5 cm y el espesor de la pieza es de 0.5 cm (Fig. 37).

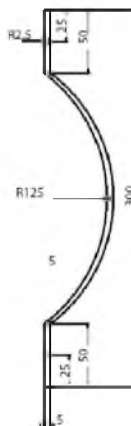


Fig. 37. Vista lateral.
Acotación: mm Escala: S/E.

En la parte superior e inferior de la pieza se realizaron dos orificios con un radio de 0.25 cm para introducir los pernos de ensamblaje y lograr una mayor sujeción (Fig. 38).

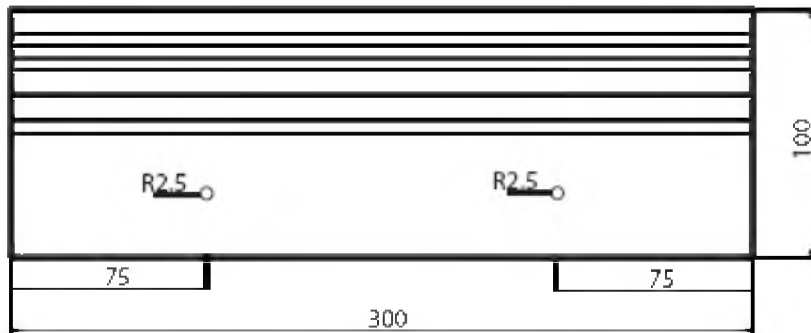


Fig. 38. Vista superior e inferior.
Acotación: mm Escala: S/E.

5.2 Modelo digital de panel

Los módulos ayudarán a que el panel pueda ensamblarse por piezas, tantas como el usuario requiera, esto hará que el panel quede sujeto al tamaño deseado.

La curvatura del módulo también es fundamental, el usuario tendrá la opción de ponerla del lado que crea conveniente, como se muestra en la Fig. 39, donde las curvaturas del módulo están colocadas para un solo lado.

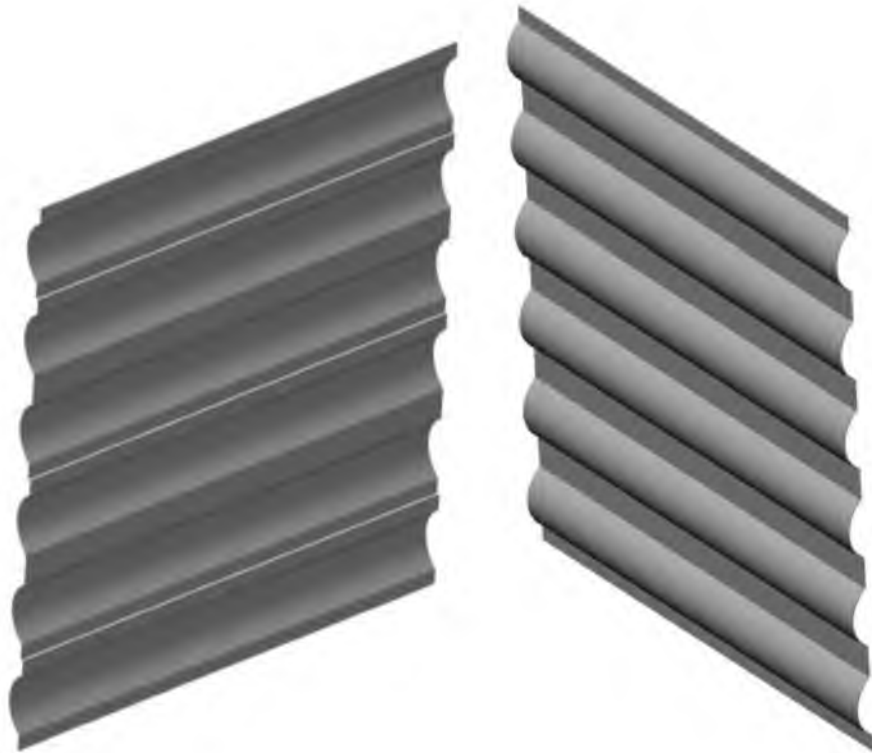


Fig. 39. *Modelado virtual del panel modular.*

A diferencia de la figura anterior, en la Fig. 40 la curvatura de los módulos va intercalada, haciendo que el panel tenga movimiento y otro aspecto a cuanto el diseño, de igual manera se podrá realizar al tamaño deseado.

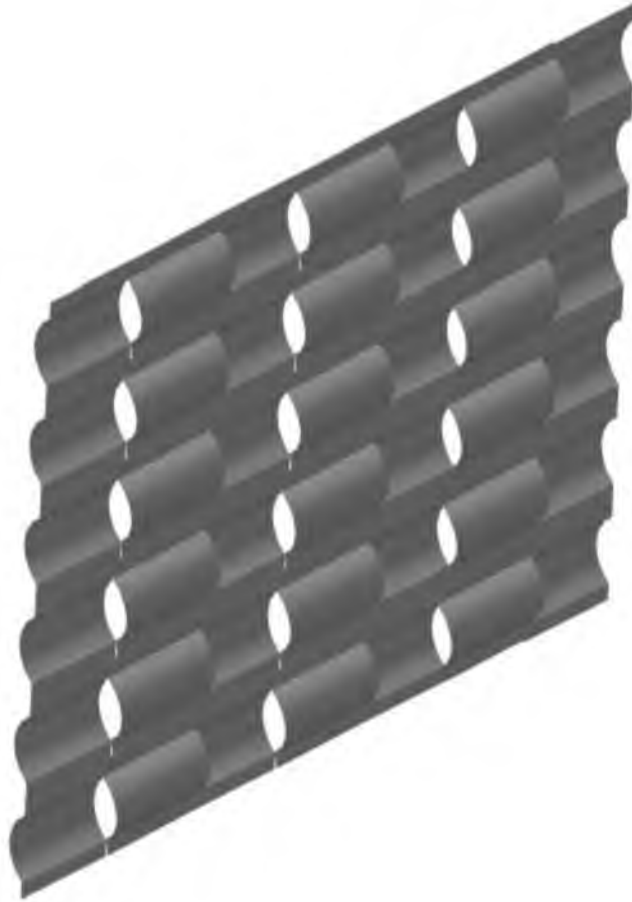


Fig. 40. *Modelado virtual del panel modular.*

5.3 Diseño del molde

Una vez obtenida la forma a emplear la fibra de vidrio y el diseño de la pieza, se realizó el diseño del molde.

Primero se realizó una pieza en acero inoxidable, con medidas de 30 x 30 cm y un radio de 30°, se le colocaron unos cinchos en los extremos y una lámina para hacer presión al material (Fig. 41) que estaría dentro debido a que la fibra de vidrio suele expandirse en el espacio que le sea proporcionado. A través de un proceso de forja en caliente se le fue dando la forma requerida.



Fig. 41. *Fabricación del molde con lámina de acero inoxidable y cinchos.*
Fuente: Propia.

Este molde no fue de utilidad debido a que la lámina se deformaba con la presión a la que fue sometida en la prensa hidráulica y no se obtuvieron piezas uniformes.

Tratando de resolver éste problema, se vació la pieza en aluminio para obtener un molde más grueso y que sometido a presión no se deformara (Fig. 42).



Fig. 42. *Fundición del molde en aluminio.*
Fuente: Propia.

Se utilizó un recipiente con tierra para evitar que la pieza patrón se moviera, se hizo un molde en yeso para vaciar el aluminio. Se fundió el aluminio y se vertió en el molde hasta llenarlo, una vez que se cubrió la totalidad del molde se dejó reposar por 24 horas hasta alcanzar la temperatura ambiente, con la finalidad de poder manejar el molde sin peligro de quemaduras.

Posteriormente se desmoldó y una vez obtenida la pieza en aluminio el molde quedó en condiciones para realizar el modelo.

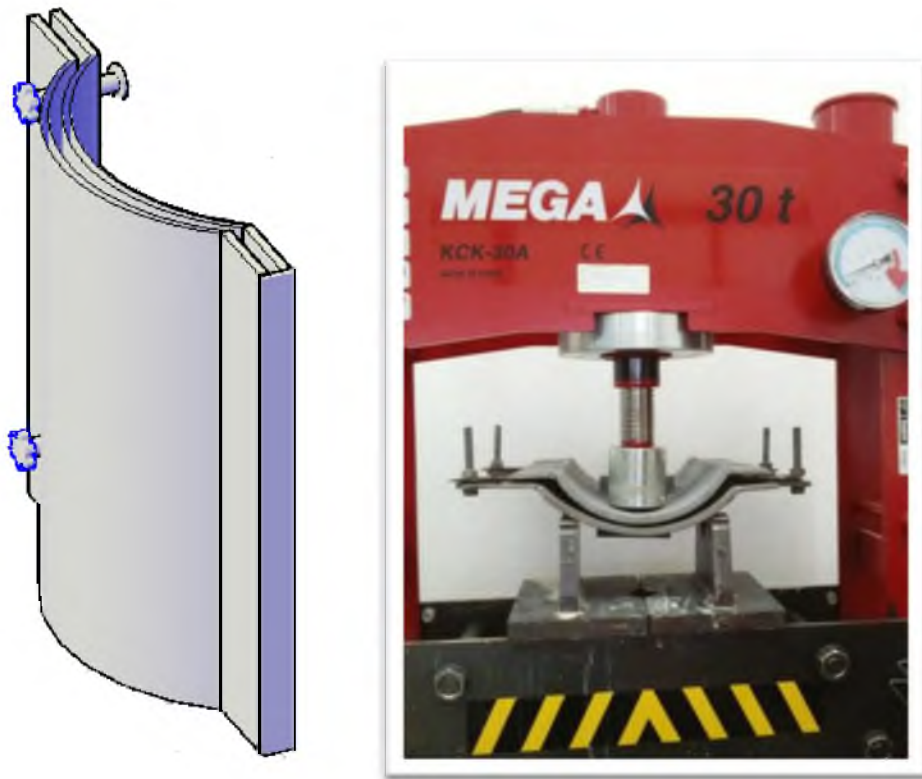


Fig. 43. Moldeo a presión.
Fuente: Propia.

Aunque el material ya presentaba ciertas características, al momento de realizar la pieza diseñada se tuvieron diversas complicaciones debido a que la pieza contaba con dimensiones grandes y era difícil llevar a cabo la compresión del material (Fig. 43). En un principio el molde no contaba con las características idóneas para realizar la pieza, por tal motivo, se fueron variando las proporciones para facilitar el moldeo,

evitar aglomerados de material y determinar si cumplió con las características deseadas.

5.4 Diseño experimental (Validación de pruebas)

Después de fabricar el molde, se realizaron varias pruebas con adición de fibra de vidrio, a pesar de que se conocían los resultados obtenidos anteriormente, se quiso verificar el comportamiento de éste material en el molde. La fibra se utilizó en malla y deshilada y los espesores variaron de cinco y diez milímetros.

En las pruebas donde se utilizó la fibra de vidrio en forma de malla, los modelos eran muy frágiles y al menor esfuerzo eran flexionados (Fig. 44) y aunque en apariencia el molde produjo piezas homogéneas, la resistencia se vio afectada. Otro de los factores importantes fue el espesor, se manejaron espesores de cinco y diez milímetros, en el de cinco la translucidez era evidente mientras que en el de diez, la translucidez fue nula.



Fig. 44. Prueba con fibra de vidrio en malla
Fuente: Propia.

Al ocupar la fibra deshilada se tomaron las proporciones para cinco y diez milímetros de espesor, en la de cinco milímetros el modelo quedo homogéneo pero los extremos no fueron del todo compactados, en cambio en la de diez milímetros al desmoldar la pieza, quedó seccionada en varios pedazos (Fig. 45).



Fig. 45. Prueba con fibra de vidrio en deshilada de 10mm de espesor.
Fuente: Propia.

El módulo que obtuvo los mejores resultados fue el que se realizó con fibra deshilada y cinco milímetros de espesor (Fig. 46). El prensado no fue el adecuado debido a que el cabezal de la prensa es muy pequeño y sólo compacta la parte del centro dejándola muy delgada a diferencia de los laterales que quedan gruesos debido a que ésta área queda mal compactada y frágil, esto impide que el espesor de la pieza sea homogéneo. De igual manera, esto evita que la translucidez sea observada solo en la parte central y no así en los bordes de la muestra.



Fig. 46. *Prueba con fibra de vidrio deshilada y cinco milímetros de espesor.*
Fuente: Propia.

5.4 Aplicaciones

Después de haber realizado las pruebas mencionadas en capítulos anteriores, se pudo obtener un material con características superiores a las del concreto convencional, por tal motivo, este tipo de material puede ocuparse en diversas aplicaciones, por ejemplo en diseño interior, diseño de mobiliario urbano y diseño industrial.

El material obtenido es térmico, flexible, translúcido y dinámico dándole gran utilidad en cualquier aplicación, además de ser resistente, orgánico y contar con la cualidad de ser modular (armado propio). Estéticamente cuenta con un diseño minimalista en color neutro.

Una característica importante de éste material es el bajo costo de fabricación, debido a que en los concretos translúcidos que se encuentran en el mercado son cinco veces más costosos que un concreto común debido a tres factores importantes:

- Costo de materiales: Al costo del concreto translúcido aparte de los materiales tradicionales se le suma el costo de la fibra óptica.
- Costo de producción: Éste nuevo concreto requiere maquinaria especializada para su producción y fabricación, como por ejemplo maquinaria que permita ubicar las fibras ópticas de manera óptima, para conseguir el efecto deseado con precisión. Es necesario contar con un equipo especializado de profesionales dentro del personal que estudia y desarrolla el producto, y dada su corta edad en el mercado, es necesaria mayor investigación.
- La denominación al valor agregado que posee un producto sólo por ser nuevo y exclusivo (www.todoarquitectura.com).

En la siguiente tabla se muestra un análisis de costos al realizar un módulo de material compuesto concreto – fibra de vidrio. El kilogramo de cemento blanco es de

\$10.00, para realizar el módulo solo se utilizó 169.05 gr con un costo de \$1.69. La fibra de vidrio utilizada tiene un precio de \$70.00 por kilogramo para realizar el módulo fue necesario utilizar 216 gr con un valor de \$15.12. El m³ de agua potable según la administración pública de ésta ciudad es de \$6.25, para éste módulo fue necesario utilizar 185.976 ml de agua con un costo de \$0.50. El sistema de prensado se cotizó en la empresa Resistencias y Servicios Industriales donde el precio por pieza fue de \$5.50. La mano de obra fue calculada con base al salario mínimo de la zona geográfica C donde se encuentra ubicado el estado de Oaxaca, el valor es de \$66.45 por jornada laboral de ocho horas, para realizar éste módulo es necesario emplear solo dos horas de jornada laboral con un costo de \$16.61.

El costo total de producción por pieza es de \$39.42. Actualmente en el mercado se vende este tipo de concreto translúcido donde el precio por una pieza con el volumen del módulo de 450 cm³ es de \$2,798.75, demostrando así el bajo costo de producción que se requiere para fabricar los módulos para el armado de paneles con material compuesto concreto – fibra de vidrio.

Material/concepto	Cantidad	Costo		Costo por pieza
Cemento	169.05 gr	\$ 10.00	Kg	\$ 1.69
Fibra de vidrio	216 gr	\$ 70.00	Kg	\$ 15.12
Agua	185.976 ml	\$ 6.25	M ³	\$ 0.50
Prensado	1	\$ 5.50		\$ 5.50
Mano de obra	2 hrs	\$ 66.45	JL	\$ 16.61
Costo de producción por pieza				\$ 39.42

Tabla 4. Costo de producción de un módulo de material compuesto concreto – fibra de vidrio con medidas de 30 x 30 x 0.5 cm.

Para presentar las propuestas de las aplicaciones del panel modular, se utilizó el software de edición de imagen pixelmator para digitalizar el material en el módulo y fueron ambientadas con el software de edición photoshop, el cual nos permite observar una imagen real del módulo en diferentes espacios.

A continuación se muestran algunas posibles ambientaciones del módulo en armado de paneles, es factible tanto en interiores como en exteriores.

En la Fig. 47 se muestra una posible aplicación como muro divisorio en una sala de casa habitación. Los módulos se colocan con las curvaturas intercaladas dándole movimiento al panel, se podrán ensamblar con pernos de resina (Anexo I).

Sus cualidades térmicas y de translucidez hacen que este tipo de aplicaciones sea una manera viable para utilizar este material a un costo relativamente bajo comparado con otros materiales que actualmente se encuentran en el mercado.



Fig. 47. *Posible ambientación de panel modular aplicado a muro en casa habitación.*
Fuente: <http://www.preciolandia.com/ec/fabrica-muebles-de-sala-lineales-y-clasi-6mhmvb-a.html>. Software de ambientación: Photoshop.

El panel se puede utilizar del tamaño que el usuario crea conveniente, como división entre dos espacios o sólo en forma decorativa, dando versatilidad y movimiento en los muros. En la Fig. 48 se muestra la colocación de un panel con dimensiones que no cubren la totalidad de la habitación, éste muro solo será utilizado como decorativo y aun así permitirá el traspaso de luz. En la parte inferior lleva una base para sujetar el panel y darle más estabilidad.



Fig. 48 Posible ambientación de panel modular divisorio en casa habitación.
Fuente: <http://www.fondos7.net/wallpaper/9128/dise-os-de-hospedajes-de-lujo-hd-widescreen.html>. Software de ambientación: Photoshop.

También puede ser utilizado como biombo dividiendo el espacio deseado, debido a que es modular y se puede armar al tamaño que el usuario requiera. Por sus propiedades como alta resistencia al desgaste, utilizarlo en exteriores, también se convierte en opción para utilizar éste tipo de material. En la Fig. 49 se muestra una aplicación de este panel con dos vigas en los costados para dar mayor estabilidad al panel.



Fig. 49. Posible ambientación de panel modular utilizado como decoración en exteriores.
Fuente: <http://efesto-casa.net/10-divani-rattan?n=20>. Software de ambientación: Photoshop.

En la Fig. 50 se muestra la utilización del panel en la fachada y recubrimiento de una casa habitación, el elemento añade un toque decorativo, además de ser ligero y resistente a los agentes atmosféricos, además de permitir el paso de la luz natural. Sus cualidades térmicas permiten que la utilización de este material en recubrimientos exteriores, sea de gran utilidad ya que favorece en gran medida a mantener una temperatura ideal dentro de la casa habitación. De igual manera puede ser utilizado en espacios al aire libre como elemento decorativo.



Fig. 50. Posible ambientación de panel modular aplicado a fachada de casa habitación.

Fuente: http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-66085/casa-vultureni-tecon-architects&h=500&w=400&tbnid=AewIPyXSum2XbM&zoom=1&tbnh=251&tbnw=201&usg=__ANPmGJA-iW2be_W_g6-DDPV_tkg=&docid=4xfh7316U-EiIM. Software de ambientación: Photoshop.

6.1 Conclusiones

Durante el desarrollo de la tesis se observó el comportamiento del concreto con fibra de vidrio, expuesto a diferentes pruebas. Es así como se demostró la justificación de sustituir algunos agregados por fibra de vidrio. En busca de mejoras para el concreto se encuentra la utilización de nuevos materiales alternativos.

Mediante las pruebas realizadas, se pudo determinar que es un material altamente resistente, con una resistencia a la compresión de 20.56 MPa. Tiene una porosidad relativamente baja, con una resistividad eléctrica que varía de 5 a 20 kΩcm. Funciona como aislante térmico, teniendo una conductividad térmica de 0.13 W/mK. En la prueba de ultrasonido se determinó que el material cuenta con una calidad excelente registrando una velocidad de onda longitudinal de 5556 m/s. Además se pudo comprobar que se cuenta con un material translúcido.

En general, en cada una de las pruebas los resultados fueron favorables con relación al concreto convencional, es decir, el material compuesto concreto – fibra de vidrio presenta propiedades físicas y químicas mejoradas y adecuadas para la aplicación que se pretende realizar. Se puede garantizar la eficacia de estos resultados a un plazo no mayor de 15 años, debido a que pasado un tiempo la fibra de vidrio comienza a deteriorarse y por ende a deteriorar las cualidades del material compuesto. Otra de las características importantes es la compactación del material, debido a que la fibra de vidrio tiende a expandirse, fue necesario compactarlo de manera homogénea para obtener mejores resultados. Para obtener una mejor calidad en el acabado del material, es necesario pulirlo con una lija suave de preferencia de 240 a 400 de carburo de silicio.

Algunos beneficios que se ven al realizar paneles modulares para interiores con material compuesto concreto-fibra de vidrio es que cada pieza representa una

disminución en su peso, la flexibilidad del material debido a que pueden realizarse formas orgánicas sin perder propiedades. Además es un material altamente térmico, con cualidades de translucidez, económico y armable al gusto del usuario.

6.2 Recomendaciones

Debido a que se necesita un espesor de 0.5 cm para conservar la translucidez del material, su uso no es recomendado para elementos estructurales en casa habitación.

Otros usos que se le pueden dar a dicho material, es la fabricación de luminarias para exteriores e interiores, domos, plafones, mobiliario urbano y algunos otras aplicaciones que el usuario crea convenientes.

También es recomendable realizar pruebas in situ con el equipo adecuado para la compactación realizando piezas al tamaño sugerido en este trabajo.

Se debe efectuar un estudio a detalle sobre la degradación del material y la pérdida de propiedades a largo plazo.

Bibliografía

- Abad B. A. 2012. Efecto del período de almacenamiento en la germinación de la semilla *Panicum máximum* CV mombaza. Tesis profesional. Universidad del Papaloapan. 47 p.
- American Concrete Institute (ACI 201). 2001. Guía para la durabilidad del hormigón. ACI 201.2R-01.
- Barros L. A. Caballero J. M. y Zaldo V. 1983. Aplicaciones del cemento reforzado con fibra de vidrio (GRC). *Vialidad*. No. 86: 17-25.
- Bravo C. J. 2003. Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio: Influencia del porcentaje de fibra adicionado. Tesis profesional. Universidad de Chile. 77 p.
- Cámara Nacional del Cemento (CANACEM). 2007. ¿Qué es el cemento? Disponible en: <http://www.canacem.org.mx/> Fecha de consulta 27 de noviembre de 2013.
- Cervantes A. A. 2003. La influencia de la prefabricación en el diseño de vivienda de interés social. *Administración para el diseño*. Anuario 2003: 221-235.
- Comino P. I., y Romero J. C. 2009. El GRC material compuesto de matriz cementicia reforzado con fibra de vidrio AR. 14 p.
- Criado M. C., Vera C., Downey P., y Soto M. C. 2005. Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades físico-mecánicas del hormigón. *Revista Ingeniería de Construcción*. Vol. 20, No. 3: 201-210.
- Del Águila A. 1988. Paneles de fachada prefabricados de G.R.C. RE: *Revista de Edificación*. 2(2): 12-14.
- Enciclopedia CEAC, 2007. Nueva enciclopedia del encargado de obras. *Materiales de construcción*. 58.
- Enfedaque D. A. 2008. Resistencia a impacto de cementos reforzados con fibra de vidrio (GRC). Tesis doctoral. Departamento de ciencias de materiales. Escuela Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

- Gómez J. S. J. 2013. Avances en la prefabricación: Las fibras de vidrio como refuerzo del concreto en fachadas. Noticreto La revista de la técnica y la construcción. 119: 34-37.
- González S. L. O. 2010. Generalidades sobre las fibras artificiales. Módulo de Lectura para la Asignatura Análisis de Estructuras. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. pp. 1-26.
- Hernández C. O., y Mendoza E. C. J. 2006. Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico. INGENIERÍA Investigación y Tecnología. Vol. VII. No. 1: 57-70.
- Holcim 2013. El concreto. Disponible en: <http://www.holcim.com.mx/> Fecha de consulta 27 de noviembre de 2013.
- Huete F. R. 1987. El arquitecto y el diseño de paneles prefabricados de fachada. Revista de edificación. Vol. 1: 11-15.
- IMCYC. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 2000. Concreto durable el inicio del cambio. Revista Construcción y Tecnología.
Disponible en: <http://www.imcyc.com/revista/2000/feb2000/durable.html> Fecha de consulta 28 de noviembre de 2013.
- IMCYC. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 2008a. Explorando el concreto reforzado con fibras (CRF). Revista Construcción y Tecnología. Febrero. Sección material y producto.
- IMCYC. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 2008b. Tecnología y aplicaciones del concreto reforzado con fibra de vidrio Primera de dos partes. Revista Construcción y Tecnología. Enero. Sección tecnología.
- IMCYC. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. 2009. Concreto reforzado con fibras. Revista Construcción y tecnología. Sección Tecnología. No. 256.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Cuaderno estadístico municipal de Loma Bonita, Oax. Ed. 2005. Aguascalientes, México.
- Miravete A., y Chiminelli A. 2005. Una nueva fibra de características ideales para su uso en la construcción. Informes de la construcción. Vol. 57, No.498: 25-30

- Morales O. S. A. 2008. Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones. Tesis profesional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Unidad Culhuacán. Instituto Politécnico Nacional. 66 p.
- Nieto Ma. I., y Mari, E. A. 1990. Situación actual y perspectivas del uso de la fibra de vidrio para el refuerzo de materiales cementicios. 331 p.
- Pérez E. M., y Ochoa R. 2006. Prefabricación base del cambio en la construcción. Revista Construcción y tecnología. Sección Reportajes técnicos publicitarios. Abril: 36-48.
- Rodríguez M. E., y Blandón J. 2003. Ensayes ante cargas laterales cíclicas reversibles de un edificio prefabricado de concreto reforzado de dos niveles. Parte I: Descripción del estudio experimental. Revista de Ingeniería Sísmica. No. 68: 55-92.
- Rodríguez M., y Torres M. A. 2012. Evaluación del comportamiento sísmico de conexiones trabe-columna de concreto prefabricado con soldadura en las barras de refuerzo-cambios necesario en la normativa mexicana para el diseño sísmico de edificios de concreto. Revista de Ingeniería Sísmica No. 87: 95-114.
- Sánchez P. M. L., y Sánchez G. V. 1991. Comportamiento a tracción de cementos reforzados con fibras de vidrio. Informes de la construcción. 43(413): 77-89.
- Sika. 2010. Concreto reforzado con fibras. Construcción. Informaciones técnicas. 15 p.
- Smith W. F. 2004. Ciencia e ingeniería de Materiales. Mc Graw Hill/Interamericana de España, 3ª edición. Madrid. pp. 371-372. En Ossa H. E. A., Cano M. F. Arango M. J. y Montoya C. 2007. Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de fibras de vidrio y queratina. Scientia et Technica. XIII (36): 404-412.
- Torres A. A. A., y Martínez M. M. 2001. Diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad. Secretaría de Comunicaciones y Transportes – Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 181. 78 p.
- Vidaud E. 2013. De la historia del cemento. Revista de construcción y tecnología en concreto. Vol. 3. No. 8: 20-23.

Vitervo O´. R. 2008. Acerca de la durabilidad del concreto. Revista Construcción y Tecnología en Concreto. Marzo. Sección Especial.

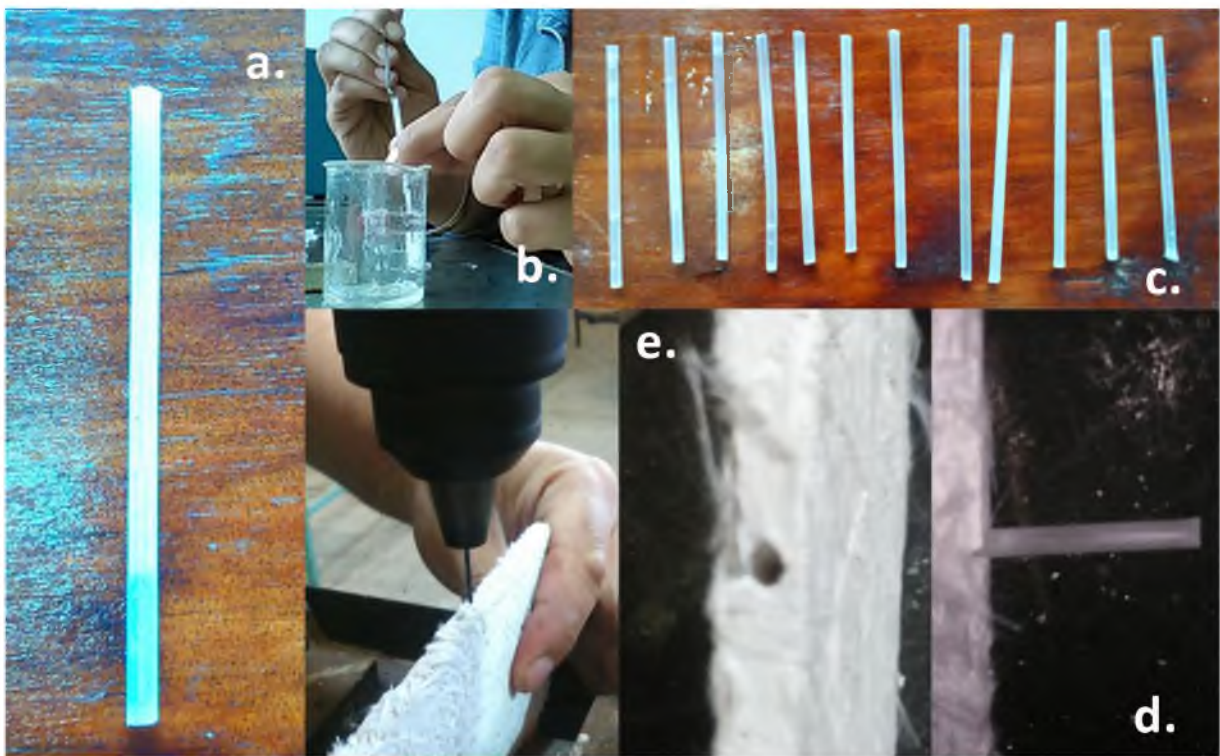
www.todoarquitectura.com Fecha de consulta 15 de febrero de 2015.

Anexo I

Debido a que el material es translúcido, es imposible utilizar remaches internos o algún tipo de sujeción ya que impediría el traspaso de luz.

Para ensamblar los módulos se realizaron pernos cilíndricos transparentes que ayudan a que la apariencia del material no se vea afectada. Es decir, al ser transparentes no afectan el traspaso de luz.

Para realizar dichos pernos se utilizaron cilindros de 3/32" de vinil que se rellenaron con resina epóxica marca comex, se dejaron secar por 48 horas tiempo en el que tomó la rigidez deseada. Posteriormente, se hicieron los orificios con un taladro a la pieza de material compuesto y se introdujo el perno.



De igual manera se le realizó un orificio a otra pieza y se metió en el perno, es así como quedaron unidas las dos piezas.

