

# Fibra de vidrio y sus diferentes aplicaciones en el sector constructivo de la ingeniería civil.

Alvarado T. María Paula, Álvarez H. Laura Vanessa  
Pinzón G. José Luis, Becerra B. Javier Eduardo

Facultad Ingeniería Civil  
Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia  
Correo-e: maria.alvarado@usantoto.edu.co

**Resumen:**

El presente artículo se realiza con la finalidad de recopilar información acerca de la aplicación de las fibras de vidrio en obras de ingeniería civil y la manera como se comportan las propiedades mecánicas de los diferentes materiales de construcción al incluir este material compuesto como un refuerzo, además de ser relativamente menos costoso que otros tipos de fibra y algunos materiales convencionales. Esto ha permitido que cada vez más se incluya este material en el mundo de la construcción con diversas aplicaciones como: mampostería, concreto, tuberías, puentes entre otras. De igual manera se analiza cada una de las características específicamente la durabilidad y tipos de fibra de vidrio existentes, pues es de saber que para obtener un mejor aprovechamiento de este material fabricado a base de Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) es importante llevar a cabo una buena elección del tipo del mismo, según la estructura o material a realizar.

Palabras clave: Fibra de Vidrio, resistencia, propiedades mecánicas de GFRP.

Para citar este artículo: Alvarado, M.P., Álvarez, L.V., Pinzón, J.L., Becerra, J.E. "Fibra de vidrio y sus diferentes aplicaciones en el sector constructivo de la ingeniería civil." In *L'Esprit Ingenieux*. Vol. 10-1, pp. 86 a 144.

**Abstract:**

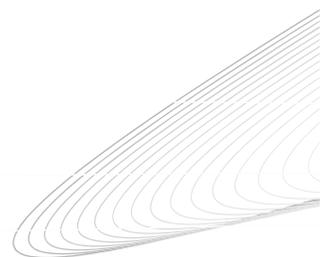
This article is carried out in order to collect information about the application of glass fibers in civil engineering works and the manner in which the mechanical properties of the different construction materials behave by including this composite material as a reinforcement, in addition to being relatively less expensive than other types of fiber and some conventional materials. This has allowed more and more to include this material in the world of construction with various applications such as: masonry, concrete, pipes, bridges among others. In the same way we analyze each of the characteristics specifically the durability and types of fiberglass existing, because it is to know that to obtain a better use of this material made with Silica-based ( $\text{SiO}_2$ ). It is important to make a good choice of the type of the same, depending on the structure or material to be carried out.

Keywords: Fiberglass, strength, mechanical properties of GFRP.

**Resumo:**

Este artigo é feito com o objetivo de coletar informações sobre a aplicação de fibras de vidro em obras de engenharia civil e a forma como as propriedades mecânicas dos diferentes materiais de construção se comportam ao incluir este material compósito como reforço, além de ser relativamente menos dispendioso do que outros tipos de fibras e alguns materiais convencionais. Isto tem permitido que cada vez mais este material seja incluído no mundo da construção com diversas aplicações como: alvenaria, concreto, tubos, pontes, entre outras. Da mesma forma, cada uma das características é analisada, especificamente a durabilidade e os tipos de fibra de vidro existentes, partindo do fato que para obter uma melhor utilização deste material feito de Sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é importante realizar uma boa escolha do tipo de sílica, em concordância com a estrutura ou material a ser realizado.

Palavras-chave: Fibra de vidro, resistência, propriedades mecânicas da GFRP



## GLOSARIO

**GFRP:** Polímeros reforzados con fibra de vidrio

**Pultrusión:** Es un proceso productivo donde se obtienen perfiles de fibra de vidrio reforzada o cualquier otro material plástico, de forma continua donde se somete al material a un proceso de alargamiento mediante operaciones de impregnaciones, curado y corte.

**Ductilidad:** Es la capacidad que tiene un material para deformarse de forma permanente, por ejemplo, estirar, doblar o extender como una respuesta al estrés.

**Polímero:** Es un compuesto químico en el que las moléculas están formadas por cadenas largas en las que se repite una unidad básica también llamada esta unidad como monómero.

**Higrometría:** Capacidad de una sustancia de absorber o ceder humedad al medio ambiente.

**Fractografía:** Es un método por el cual se realiza el análisis de las características de la fractura de un material para conocer sus causas y mecanismos, cuando este es fallado o sometido a grandes esfuerzos. Se puede llegar a predecir la iniciación de la grieta, crecimiento de la grieta y el crack que produjo la fractura.

**Monómero:** Es la representación de la unidad básica de un polímero a través de una molécula de pequeña masa molecular que está unida a otros monómeros, a veces cientos o miles de estas moléculas, por medio de enlaces químicos generalmente covalentes.

**Resina:** Son sustancias orgánicas segregadas por plantas, en especial por árboles de tipo conífera, que sufren un proceso de polimerización o secado dando lugar a productos líquido que funciona como matriz o material adherente entre materiales poliméricos.

**Red amorfa:** Las partículas que conforman el sólido carecen de una estructura ordenada.

**Enlace covalente:** Cuando dos átomos se comparten electrones para cumplir la ley del octeto.

**Material isotrópico:** Materiales con estructuras homogéneas o no, y sus propiedades mecánicas y térmicas son las mismas en todas las direcciones.

**Microscopio electrónico de barrido:** Es un instrumento tecnológico donde a través de la utilización de electrones en lugar de luz para formar una imagen, refleja las características superficiales del material en estudio por la imagen y proporciona información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes.

**Osmosis:** Es un fenómeno de difusión de agua por medio de una membrana semipermeable, esta es aquella que posee poros, parecido a cualquier filtro de tamaño molecular.

**Método de elementos finitos (FEA):** es un análisis por un método computarizado para predecir cómo reaccionará un producto o material ante las fuerzas, la vibración, el calor, el flujo de fluidos y otros efectos físicos del mundo real. El análisis de elementos finitos muestra si un producto se romperá, desgastará o funcionará como se espera. Se denomina análisis, pero en el proceso de desarrollo de productos, se utiliza para predecir qué ocurrirá cuando se utilice un producto.

**Hidrolisis:** La hidrólisis implica la reacción de un producto químico orgánico utilizando el agua para poder formar dos o más sustancias nuevas, quiere decir destrucción, descomposición o alteración que sufre una determinada sustancia química por el agua. Es la formación de un ácido y una base a partir de una sal por interacción con el agua.

**Transición vítrea Tg:** Es la temperatura en el cual un polímero cambia de un estado rígido y quebradizo a otro blando y maleable cuando es sometido a condiciones extremas como fuego y humedad. Está presente sólo en polímeros amorfos y es diferente para cada polímero.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un creciente interés en cuanto a innovar se refiere, y esto se puede ver reflejado en la inclusión de materiales en el concreto, para el mejoramiento de la calidad y seguridad de las construcciones civiles. Mejorar las propiedades del concreto común implica adicionar componentes en este caso fibras de vidrio, que contribuyen a evitar que ocurran problemas de fisuración es decir pequeñas grietas por retracción a causa de cambios de temperatura. Las fibras de vidrio se pueden encontrar de diferentes tipos siendo la fibra AR la más promovida según estudios experimentales para refuerzo del concreto ofreciendo mejora en la resistencia entre otras ventajas. Una de las soluciones más conocidas y tradicionales es la de reforzar el concreto con barras de acero sin embargo esto incrementa los tiempos de construcción, mano de obra, el peso de los elementos, y los costos. Es por esto que el uso de fibras de vidrio se convierte en un material alternativo que presenta una mejor relación costo-beneficio y que además brinda una vida útil mucho más duradera, eficiente, segura, y de resistencia tal como los materiales convencionales. De esta manera la fibra de vidrio es considerado como uno de los nuevos materiales con mayor potencial entre la ingeniería civil como sustituto del acero; además, es utilizada como agregado que permita el refuerzo en otros materiales de construcción, como acabados, tuberías, y elementos estructurales.

Según Cordero (2015): “El uso de la fibra de vidrio en la industria empezó por encontrar un material que sustituyera al asbesto, debido a que este, contenía un alto potencial cancerígeno, haciendo peligroso su uso en estructuras tanto para los obreros como los habitantes de la estructura pues el asbesto libera partículas con alta toxicidad al ser manipulado y al ser usado, de aquí la importancia de sustituirlo”. Por otra parte, Toapanta (2016) dice: “los primeros estudios realizados con polímeros de fibra reforzada (FRP) en estructuras, se llevaron a cabo en el centro de investigación como “Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research” en Suiza donde la primera aplicación de una estructura reforzada con FRP, ocurre en un puente en Alemania en 1986.”

Uno de los principales usos en la construcción que se le da a la fibra de vidrio y que mayormente es analizada e investigada es como material sustituto del acero, siendo este uso el más evidente en diversas construcciones donde el acero no funciona de una manera eficiente como por ejemplo en aquellas estructuras sometidas a ambientes agresivos donde suele presentar algunos inconvenientes que la hacen débil y obligan a su sustitución. El uso de los refuerzos de FRP ha sido incursionado en estructuras marinas, anclajes de terreno, depósitos, refuerzos de estructuras, túneles y como armaduras. Si se analiza, los FRP son usados en situaciones donde en gran parte hay presencia de agua y humedad, es decir donde el acero es más vulnerable a ser atacado por la corrosión, esta ha sido una de las principales causas de sustitución del material convencional por uno compuesto como el caso de la fibra de vidrio, por lo tanto, se han llevado estudios e investigaciones a lo largo del tiempo, para comprobar

si este material, puede llegar a tener la misma eficiencia frente al acero, con el fin de que se obtengan beneficios en la obra.

Para Carvalho (2011): El uso de hormigón reforzado con acero, está sufriendo una gran degradación por el cambio de pH, cuando esta es usada en ambientes extremos como los industriales y las costas generando así que el acero sea deteriorado por acción de la carbonatación. El proceso de carbonatación genera una acidificación de la armadura en el hormigón perdiendo importantes propiedades como la resistencia y su capacidad protectora contra la oxidación, lo que reduce la seguridad de la estructura y por lo tanto una inversión monetaria mayor para reparar los daños. (p.10) Por la anterior situación es que se ha generado una viabilidad técnica en la fibra de vidrio al usarla como una alternativa de refuerzo a la tracción en estructuras de hormigón armado.

Almerich (2010) afirma: “el interés internacional en la investigación del uso de los refuerzos de FRP aumentó de forma vertiginosa, lo que conllevó obviamente, el aumento en el número de publicaciones sobre los cientos de estudios y ensayos realizados en este campo. El fruto de gran parte de los trabajos realizados en esta época y en la actualidad han ocurrido en Europa, Estados Unidos y Japón, donde al día de hoy son los únicos países que presentan una norma que regulan y establecen las características y propiedades que debe tener la fibra de vidrio para reforzamiento del hormigón.”

Actualmente en Colombia no hay una norma que permita el uso de la fibra de vidrio en materiales de construcción, ni se ha logrado un uso generalizado en este tipo de adición. En investigaciones realizadas a lo largo de la historia, se han logrado muy buenos resultados en cuanto a la mejora de las propiedades mecánicas, de tensión del concreto. (Arango y Zapata, 2013)

## 1.1 FIBRA DE VIDRIO

Sarrión (2018) define la fibra de vidrio como un material compuesto por filamentos poliméricos extremadamente finos basados en dióxido de silicio ( $SiO_2$ ), los cuales están embebidos en una matriz plástica, este material es producido en gran cantidad por diferentes empresas de fibra de vidrio por su bajo costo de fabricación, ya que las materias primas son de fácil acceso, su ejecución y producción tiene una menor complejidad con respecto a la producción de otras fibras como la de carbono, además de esto es comúnmente utilizada como material aislante y agente de refuerzo para materiales compuestos. La fibra de vidrio posee una red amorfa de  $-Si-O$  como elemento estructural; la sílice  $SiO_2$ , es el óxido más deseable en el vidrio por sus capacidades térmicas; sin embargo, su alta viscosidad y temperatura de fusión dificultan su procesamiento para lograr las fibras. Por lo tanto, es necesaria la adición de óxidos como: el óxido de Aluminio ( $Al_2O_3$ ) para mejorar el comportamiento mecánico y químico, óxido de Boro ( $B_2O_3$ ) para prevenir la desvitrificación durante el procesamiento y óxidos alcalinos como el de Sodio ( $Na_2O$ ), óxido de Potasio ( $K_2O$ ) o el óxido de litio ( $Li_2O$ ), para mejorar su fluidez y disminuir su temperatura de fusión (Mora, 2016).

## 1.2 TIPOS DE FIBRA DE VIDRIO

Los nueve tipos de fibra de vidrio más importantes son: el Vidrio eléctrico, el vidrio de alto contenido en álcali, el vidrio de alto desempeño mecánico, el vidrio dieléctrico, el vidrio álcali resistente (AR), el vidrio químico, el vidrio de Boro y el vidrio X. (Gutiérrez, 2016, p.21)

**Vidrio E (eléctrico):** “Es el tipo de fibra de vidrio más utilizado en el mercado especialmente en la industria textil. Es reconocido por sus propiedades dieléctricas ya que permite el aislamiento de conductores eléctricos sometidos a temperaturas altas.” (Gutiérrez, 2015, p. 21). Para Cordero (2015): “mejora las propiedades fisicoquímicas de unión con el polímero, de tal forma que el compuesto satisface los requerimientos físicos, es decir, son usados donde se requiere una alta resistividad eléctrica, junto con una buena resistencia mecánica” (p.48). La fibra de vidrio E tiene una composición de calcio, aluminio y borosilicato con bajo contenido de componentes alcalinos. Es la fibra más utilizada en materiales reforzados. Posee razonable resistencia mecánica y rigidez, buen aislamiento eléctrico y costo relativamente bajo, pero su resistencia al impacto es baja. (Barros, 2008, p.38)

**Vidrio A:** “Presenta un alto contenido de álcalis es por esto que no es utilizado en los FRP, posee una buena resistencia eléctrica y es utilizado comúnmente como impermeabilizante” (Cordero,2015, p.48). Gutiérrez 2016 afirma: “el vidrio de Alto contenido en álcali o tipo A, está conformado por gran parte de sílice debido a la formación química de  $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2\text{-CaO}$ . Aunque tiene una gran resistencia química presenta menos resistencia que el tipo E y tiene un módulo más bajo. (p.21)

**Vidrio AR:** Sarrión (2018) afirma: “Es el único tipo de vidrio capaz de combinarse con el hormigón o cemento ya que cualquier otro sería atacado por los álcalis liberados en la hidratación” (p.56). El Vidrio tipo AR, el cual es especial para hormigones o morteros debido a su alto módulo y su resistencia a la tracción. Su composición química de óxido de zirconio asegura una alta resistencia ante los elementos alcalinos presentes en la hidratación del cemento. (Gutiérrez, 2016, p.21)

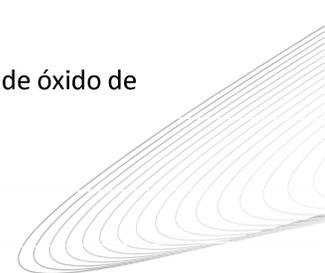
**Vidrio C (Químico):** “Es una fibra que presenta una gran resistencia química, es utilizado en capas superficiales de las estructuras o tubos como agente anticorrosión” (Sarrion, 2018, p.56).

**Vidrio R (Resistencia):** Es un material usado en estructuras de elevadas características mecánicas y en sectores como la aviación y en la producción de armamento ya que posee un buen comportamiento a tracción y un módulo de elasticidad mayor que otros tipos de fibra de vidrio, además de esto responde a los requerimientos en el campo de los materiales resistentes a fatiga, temperatura y humedad. (Cordero, 2015, p.48) “Caracterizado por su alta resistencia y módulo de elasticidad, se caracteriza por su composición de aluminio sin óxido de magnesio ni óxido de calcio” (Gutiérrez, 2016, p.22).

**Vidrio D (dieléctrico):** Por su constante dieléctrica alta que implica una cantidad baja de pérdidas eléctricas, lo cual lo hace perfecto para ser usado en aplicaciones donde se requiere una permeabilidad relacionada con las ondas electromagnéticas como por ejemplo en los radares. (Gutiérrez, 2016, p.22)

**Vidrio B (Boro):** Cuenta con excelentes capacidades eléctricas y gran durabilidad, tiene un excelente uso en el equipamiento de laboratorios de química y biología además de ser utilizado en la cocina, decoración, iluminación y en algunos casos en ventanas. (Cordero,2015, p.) Gutiérrez (2016) afirma: “La fibra de vidrio de Boro o tipo B que resalta por su durabilidad y resistencia, está compuesto por boro silicato de calcio” (p.22).

**Vidrio X:** “Su principal característica es la transparencia a rayos x por su contenido de óxido de litio ( $\text{Li}_2\text{O}$ )” (Cordero, 2015, p.48).



**Tabla 1.** Composición química de los tipos de fibra de vidrio.

Oxido	Vidrio E	Vidrio C	Vidrio S	Vidrio A	Vidrio D	Vidrio R	Vidrio ECR	Basalto
SiO <sub>2</sub>	55,0	66,0	65,0	67,5	74,0	60,0	61,0	52,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,0	4,0	25,0	3,5	-	24,0	13,0	17,2
TiO <sub>2</sub>	0,2	-	-	-	-	-	-	1,0
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,0	5,0	-	1,5	22,5	-	-	-
CaO	22,0	14,0	-	6,5	-	9,0	22,0	8,6
MgO	1,0	3,0	10,0	4,5	-	6,0	3,0	5,2
Na <sub>2</sub> O	0,5	7,5	-	13,5	1,5	0,5	-	5,0
K <sub>2</sub> O	0,3	5,0	-	3,0	2,0	0,1	0,5	1,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	5,0
Punto de ablandamiento	840°C	750°C	950°C	700°C	720°C	950°C	840°C	-

Fuente: Sarrion, h. (2018). Propiedades y aplicaciones de los polímeros sintéticos en la construcción. Valencia, España

### 1.3 PROPIEDADES DE LA FIBRA DE VIDRIO

Gutiérrez (2016) afirma: “Las fibras de vidrio presentan una serie de ventajas sobre otro tipo de fibras usadas en los fibrocementos, como lo son la ligereza y la resistencia a la corrosión” (p.21).

- Resistencia mecánica

A través de varias investigaciones, la fibra de vidrio ha demostrado tener una mayor resistencia a la tracción y otras mejoras en algunas propiedades mecánicas, a diferencia del acero. Estas características son la principal razón para el uso de la fibra de vidrio en la producción de compuestos y materiales de alto rendimiento. Las fibras delgadas recién fabricadas son las que presentan una mayor resistencia debido a su ductilidad. (Sarrion, 2018, p.55) De igual manera las propiedades mecánicas de este material dependen de otros factores como el tipo y cantidad de fibra de vidrio a usar, la longitud y forma; también influyen las propiedades mecánicas que tenga el material adherente a usar como es el caso de las resinas, en este caso la más usada y recomendada por sus excelentes propiedades son las resinas termoestables.

**Tabla 2.** Propiedades de los diferentes tipos de fibra de vidrio.

	E-glass	S-glass	C-glass	AR-glass
Resistencia a tracción, GPa	3.45	4.3	3.03	2.5
Módulo de Elasticidad, GPa	72.4	86.9	69.0	70.0
Deformación de ruptura %	4.8	5.0	4.8	3.6
Coefficiente de Poisson	0.2	0.22	--	--
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.54	2.49	2.49	2.78
Diámetro (μm)	10.0	10.0	4.5	--
CTE longitudinal (10 <sup>-6</sup> /°C)	5.0	2.9	7.2	--

Fuente: Almerich, a. (2010). Diseño, según estados límites, de estructuras de hormigón armado con redondos de fibra de vidrio gfrp (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

- Conductividad Térmica

La fibra de vidrio tiene una muy baja conductividad térmica que está relacionada al ser un material de baja densidad, esta ligereza del material suele estar producida por poros que se

forman en su interior (la fibra no se considera un material homogéneo), dichos poros son ocupados por aire que hacen que el material no permita el paso del calor. Tiene una conductividad térmica del orden de 0,04 W/Km; su uso en estructuras hace que estas en su interior sean frías y no resguarden calor.

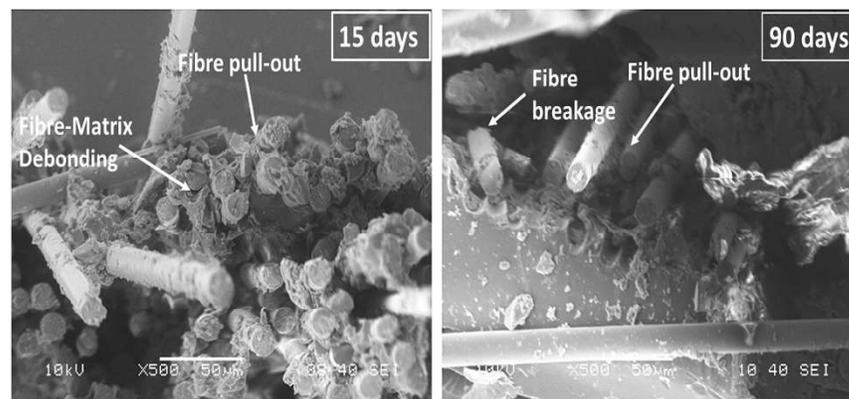
- Aislamiento

Es un material totalmente aislante, ya que la fibra de vidrio no es un material compacto, con la ocupación de aire presentes en los poros, el paso del calor es totalmente nulo.

- Envejecimiento

Es una propiedad característica de la fibra de vidrio, donde el material presenta un deterioro a lo largo de su tiempo de uso causado cuando este es expuesto a condiciones climáticas, a la humedad o rayos ultravioleta, factores que aceleran el envejecimiento y deterioro de la fibra de vidrio. Con la aparición del envejecimiento en el material las propiedades mecánicas comienzan a disminuir poniendo en riesgo la seguridad de la estructura.

**Figura 1.** Imágenes fractográficas a través del microscopio electrónico de barrido, se observa el envejecimiento de láminas de fibra de vidrio expuestas a condiciones de laboratorio (60°C y 95% de humedad relativa).



Fuente: Swain, S., Beura, S., Thatoi, D., Chakraverty, A., y Mohanty, U. (2019). Durability of GFRP composite exposed to outdoors weathering.

- Resistencia a la corrosión

La fibra de vidrio protege a los materiales complementarios como el hormigón o PVC y lo hace resistente a la corrosión, siendo esta causada por agentes químicos (como aceites y disolventes) o agua salada. Por eso se recomienda su uso en la mayor parte de las áreas industriales y como un sustituto del acero.

- Resistencia al fuego

La fibra de vidrio tiene un rendimiento deficiente cuando es sometido a altas temperaturas, en el caso del fuego, presente una sensibilidad que hace que las propiedades mecánicas de la barra de fibra disminuyan. Según la composición de la fibra de vidrio, la sílice no es inflamable y para que este llegue a comportarse de una manera plástica debe estar sometido a

temperaturas de hasta 600°C, al ser formado por minerales de rocas ígneas, compuestas por magma, su composición interna es resistente al fuego. Sin embargo, estas fibras contienen otros aditivos como las resinas, los polímeros y químicos que generan la combustión y afectan el material como tal llevándolo a una transición vítrea. Para Morgano, Silvestre y Correia (2019), para temperaturas entre 60-140°C, la fibra de vidrio se distorsiona y empieza a pasar a un estado donde se suaviza, para temperaturas elevadas entre 300-500 °C temperatura donde el vidrio se emblandece y se comporta de una manera plástica, la fibra de vidrio libera calor y humo debido a la descomposición de la matriz polimérica.

- Durabilidad

Una de las grandes debilidades de la fibra de vidrio en consideración con su durabilidad es que, al estar expuesto al medio ambiente, puede experimentar reducciones de resistencia y tenacidad. Esta debilidad de la fibra de vidrio a efectos ambientales se debe a que la matriz polimérica de las fibras presenta una gran porosidad que permite el ingreso de humedad a través de capilaridad, y variaciones térmicas por el proceso de hidrólisis, este fenómeno ocurre cuando el material tiene contacto en el agua, formando un ácido y una base, algunas de estas consecuencias es que afecta la estabilidad del material al degradarlo, afecta la temperatura de trabajo segura del material pasando de transición vítrea a goma. Es importante recalcar que las moléculas de agua pueden generarse como humedad o directamente si la fibra de vidrio entra en contacto con agua dulce o salada.

Sawpan (2019) refiere que el deterioro de la matriz del polímero se produce a través de una reacción hidrolítica entre las moléculas de agua y los grupos éster del polímero (por ejemplo, resina de poliéster), causando un cambio químico irreversible que reduce la tenacidad y la tensión de la fibra de vidrio. Cuando una estructura entra en contacto con una solución salina como el agua de mar, los iones del hidrólisis se acumulan en el acero de fibra de vidrio y deterioran el refuerzo.

Para (Swan, Beura, Thatoi, Chakraverty y Mohantya, 2019): “La ingesta de humedad aumenta con el tiempo, sin embargo, la tasa de ingreso no es la misma durante todo el período de exposición en ninguno de los casos. En la exposición prolongada, las fibras de vidrio se lixivian de los óxidos alcalinos (sodio y potasio) formando una piel de agua. Por lo tanto, los concentradores de tensión en forma de micro fisuras inducidas por lixiviación en la superficie de las fibras dañan la fibra de vidrio. Este proceso puede crear más sitios de difusión de humedad”.

Es importante realizar un adecuado seguimiento a las estructuras de fibra de vidrio, ya que su alta vulnerabilidad de degradación ante efectos climáticos o condiciones extremas pueden llegar a comprometer la durabilidad tanto del material como de la estructura.

#### 1.4 ETAPAS DE FABRICACIÓN Y PRODUCCIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio puede usarse varias veces y en distintas estructuras, como piscinas o equipos náuticos. En la construcción, para tejidos de decoración en locales públicos y en usos industriales. Entre las ventajas se encuentra la facilidad de instalación, manejo y transporte. La fibra de vidrio se caracteriza por su transparencia, su alta dureza, su flexibilidad y por ser un buen aislante térmico. Cuando se encuentra en estado de fundición, es fácilmente maleable o manuable y puede soportar temperaturas muy altas. A continuación, se presenta el proceso para obtener este material, que con el pasar del tiempo ha ido tomando fuerza gracias a todas

sus ventajas como agregado de materiales compuestos, además se ha de mejorar con cada nueva investigación.

La fibra de vidrio pasa por las siguientes etapas para su fabricación y producción Arango & Zapata (como se citó en Aguilar, 2010):

- **Fusión.**

Primero se muelen y se mezclan las materias primas, que son arena, carbonato de sodio, piedra caliza y cristal reciclado; esta mezcla se llama vitrificante y es introducida en un horno a una temperatura alrededor de 1550°C.

- **Fibrado**

Al salir por el horno el vidrio queda en estado líquido, es allí donde se hace pasar por los agujeros un elemento hecho de aleaciones de platino llamado hilera, que le dan la forma de fibra. La fibra se mantiene en la hilera a unos 1250°C, hasta que la gravedad hace que la fibra pase a diámetros menores del milímetro. Luego de estar fibrado se produce un rápido enfriamiento del vidrio por radiación y por pulverización de agua fría, como resultado se obtienen filamentos con diámetros entre 14 micras y 20 micras, dependiendo de la orientación de las fibras y del requerimiento de éstas.

- **Ensimado**

Es necesario agregar a los filamentos desnudos un revestimiento de un material compuesto por agentes químicos llamado Ensimaje, el cual se aplica a los filamentos al salir de la hilera a una temperatura entre los 60°C y los 120°C, en cantidades entre el 0.5% y el 5% para su aplicación.

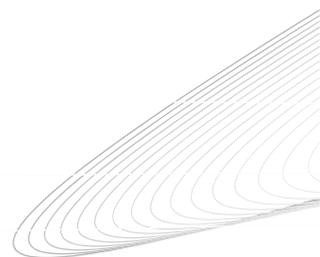
Luego de este ensimaje se unen los filamentos convirtiéndose en fibras de presentación comercial mediante unos peines con gargantas especiales. Este proceso fuera de unir los filamentos proporciona a la fibra resistencia contra la abrasión, elimina las cargas electrostáticas de la unión de los filamentos, facilita la trabajabilidad de los filamentos y rigidiza la fibra.

- **Bobinado**

Este proceso consiste simplemente en estirar la fibra controlando la velocidad de la bobinadora, bobinando la fibra y acumulándola para su disposición comercial.

- **Secado**

Luego del bobinado, la fibra pasa por diferentes tipos de secado para retirar el exceso de agua, lo que conlleva a terminar el proceso de ensimaje al aplicarle un tratamiento térmico necesario para obtener sus propiedades y características.



- Transformación final

En este proceso se realizan las operaciones necesarias para dejar la fibra en el formato adecuado para su etapa comercial, según sus especificaciones y lista para ser usada en concretos y morteros.

## 2. USOS DE LA FIBRA DE VIDRIO

### 2.1 USO DE LA FIBRA DE VIDRIO (GFRP) EN EL HORMIGÓN.

La utilización del GFRP en el hormigón, tiene varias ramas de investigación que aportan información acerca de su comportamiento mecánico con el concreto, algunos autores aportan metodologías y ensayos, que permiten evaluar las características de este material como refuerzo. Para Almerich (2010) el estudio del comportamiento de las varillas de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) en estructuras de hormigón, ha ido evolucionando desde que Brandt Goldsworthy hablara de su gran potencial en ciertas aplicaciones de la construcción.

Desde ese momento muchos investigadores tomaron la iniciativa de sacar sus propias conclusiones y efectuar pequeños estudios para analizar la viabilidad de usar fibra de vidrio en las estructuras. Según Cordero (2015) a partir de ensayos de flexión y envejecimiento acelerado, las barras son sometidas a altas temperaturas para observar su deterioro a corto y largo plazo. Además, se pueden estudiar los cambios y alteraciones que produce el GFRP en la mezcla de hormigón, determinando así que la mezcla presente un excelente rendimiento mecánico en términos de resistencia, ductilidad y durabilidad.

Las barras de refuerzo de polímero reforzado con fibra de vidrio tienen propiedades no corrosivas, no conductoras y de alta resistencia a la tracción que las hacen adecuadas como material de refuerzo para aplicaciones en hormigón de ingeniería civil. Las barras reforzadas GFRP se han convertido en una alternativa prometedora al acero para usos en entornos corrosivos con el fin de aumentar el rendimiento del ciclo de vida de las estructuras. Además, la alta rigidez de la barra de refuerzo GFRP y la ventaja de bajo costo para el rendimiento, se está impulsando su uso y aceptación mundial. (Sawpan, 2019, p.2)

Las fibras que se incluyen el concreto son materiales fibrosos o poliméricos, que aportan a estas propiedades mecánicas tales como resistencia a la tensión, figuración por retracción y permeabilidad estas, inciden en las características de la mezcla. Águila (2010) encontró que, para incrementar la resistencia a la tensión del concreto, el tipo de fibra de vidrio AR es el más efectivo, ya que esta fibra ofrece una resistencia a componentes alcalinos, debido al alto contenido de óxido de zirconio, pues se caracteriza por su dureza, por este motivo se aplica en situaciones donde los elementos están sometidos a abrasión y/o desgaste por impacto y así como a altas temperaturas.

La adición al hormigón de fibras de vidrio supone una mejora de las propiedades mecánicas, como el aumento de la resistencia a tracción y compresión. Dado el aumento considerable de la resistencia a tracción, las fibras pueden contribuir significativamente a la resistencia a cortante de vigas de hormigón armado, y llegar, incluso, a sustituir la armadura transversal, dándole mejor ductilidad y durabilidad a la armadura de fibra de vidrio. (Valentí, 2014, p.15)

La resistencia a la compresión se ve afectada al aumentar el porcentaje de fibras en la mezcla, alcanzando un 53% menos en resistencia en comparación a muestras con menos contenidos de fibras. De acuerdo a Arango y Zapata (2013), mezclas con porcentajes de fibra del 2% y 2,5% con un curado mayor de 28 días, se puede notar una caída importante en la resistencia a la compresión, en cambio, en la resistencia a la tensión presento el comportamiento esperado, aumentando su resistencia a medida que se iba adicionando la fibra, tanto a los 7 como a los 28 días.

Con lo anterior se puede concluir que la fibra de vidrio ocasiona un efecto inversamente proporcional entre la resistencia a la compresión y la tensión, generando un campo de investigación que permite dar solución o encontrar un equilibrio entre estas dos resistencias, para que la fibra de vidrio de un comportamiento óptimo de la mezcla.

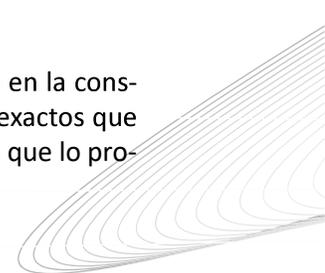
Por lo anterior, no debe haber un enfoque centrado en las propiedades mecánicas que la fibra de vidrio le pueda ofrecer al hormigón, si no también hay que tener en cuenta sus características físicas, ya que el manejo que se le da a la fibra de vidrio es de gran importancia en el comportamiento mecánico. Muñoz (2007) afirma: “teniendo fibras de vidrio con una longitud mayor a 12 cm, se observa un mejor comportamiento a flexo-tracción teniendo una ganancia de resistencia debido al posicionamiento de las fibras, si estas se colocan de una manera continua y alineadas”.

En cuanto a aditivos estos pueden depender del porcentaje de fibra de vidrio que se le agregue a la mezcla, pues al estar en porcentajes de 0,03% y 1,5% no es necesario el uso de aditivos, lo que da una ventaja a este material convencional reduciendo la cantidad de materiales necesarios al concreto dando una relación de costo-beneficio. En general, las fibras de vidrio usados como refuerzo poseen propiedades mecánicas similares o superiores a las del acero, con un comportamiento ideal frente al hormigón, se implementan cada vez más en la construcción, con el fin de reducir costos ya que su producción es mucho más económica que la del acero. Sin embargo, es igual de vulnerable al deterioro frente a otros agentes que con el tiempo hacen que su efectividad se vea reducida y afecte a la estructura, también la manera en cómo se instala, se maneja, o el tipo de fibra de vidrio que se usa, son factores que aun generan inquietud entre los ingenieros. Carvalho (2011) afirma:

Es importante considerar que no todos los tipos de fibra de vidrio reaccionan de una manera adecuada con el alto contenido de alcalinidad que tiene la pasta del cemento portland, dicha reacción causa una desvitrificación en las fibras de vidrio cuando estos son utilizados si ninguna protección generando una degradación en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra de vidrio. A este obstáculo, el uso de las fibras de vidrio tipo AR es la más recomendada por su resistencia a la alcalinidad, sin embargo, por su alto costo de producción con la fibra de vidrio convencional, varios investigadores han desarrollado maneras de proteger los filamentos de vidrio con la impregnación de una película de PVC, o en la mayoría de los casos el uso de un hormigón con una alcalinidad más baja, a partir de la adición de humo sílice, cenizas volantes metacaolín o materiales con propiedades puzolánicas que permiten reducir o eliminar la formación de hidróxido de calcio y así proteger la fibra de vidrio convencional. (p.11)

## 2.2 USO DE LA FIBRA DE VIDRIO EN TUBERÍAS

El refuerzo que la fibra de vidrio les da a las tuberías ha sido un tema de estudio en la construcción debido a que no existe la suficiente información verídica y con ensayos exactos que validen cómo será el comportamiento y la duración de estas. Una de las causas es que lo pro-



veedores de tuberías con GFRP, solo se concentran en analizar las características mecánicas de las tuberías y los comportamientos que va a tener, pero no se analiza la composición química, la porción de aditivos agregados y hasta la misma cantidad de fibra de vidrio, información necesaria para poder validar tuberías con GFRP. Diferentes autores han aplicado algunos métodos estadísticos como regresiones para observar los comportamientos de estas tuberías, pero más allá de esto, la falta de algunos otros métodos más exactos son detenidos por la falta de información de los proveedores. Además, cuando los productos fallan, no se es capaz de entender o ir más allá de la simple falla por la falta de información. Affolter, Barbezat, Piskoty, Neuner y Terrasi (2018) afirman: “el material de tuberías compuestas por GFRP tiene una construcción en capas, dichas capas se basan en las especificaciones del fabricante, en donde a partir de estas se debe cumplir con los estándares del producto como rigidez y resistencia, dichos datos no son publicados, generando que no haya una especificación clara y disponible sobre la fabricación de las tuberías”.

Sin embargo, muchos de los ensayos a partir de regresiones, tardan hasta 10.000 horas, para proveer información de cómo será el comportamiento de las tuberías en un tiempo determinado. Para Farias y Guedes (2010), la falta de comprensión completa de mecanismos de falla de las tuberías y el rendimiento de los materiales a largo plazo conducen a un sobre diseño, evaluar prototipos que están en uso y reducen su utilización, pero lo largos periodos que tardan los ensayos impiden que se realicen pruebas de validación. Na, Sirong, Jianzhong y Xi (2015) también concuerdan con que esta área de la ingeniería requiere con urgencia pruebas más cortas y con mayor exactitud y validez que permitan un análisis detallado del comportamiento de las tuberías con GFRP, con el fin de que sean óptimas.

Aun así, el uso de estas tuberías continua, y aunque el tiempo de falla es muy corto y se desconocen las causas, los ingenieros se arriesgan a usarlo por su bajo costo y lo eficiente que es siendo anticorrosivo, ya que es en la hidráulica su principal campo en el que es implementado.

### 2.3 2.3 USO DE LA FIBRA DE VIDRIO EN MAMPOSTERÍA

“Los muros en fibra de vidrio usualmente son hechos para sustituir el trabajo de detallado de superficies por molduras que, unidas, recubren los muros originales de block o concreto” (AFIBRA, 2016).

Los muros en mampostería son elementos arquitectónicos que están presentes hace muchos años en la cavilación, y su construcción de forma tradicional con materiales convencionales no se ha ido mitigando con las nuevas generaciones. No obstante, algunos materiales sustitutos como la fibra de vidrio, el aluminio compuesto o paneles de yeso prefabricados han contribuido grandemente a obtener un trabajo en menor tiempo y con mejoras en la calidad del producto.

Los paneles o molduras de fibra de vidrio que forman muros simulando concreto, ladrillo, bloques de mampostería, roca, cantera u otros materiales que pueden ser costosos de adquirir o de transportar son usualmente replicados en fibra de vidrio con un costo estable y calidad de acabado de idéntica imagen, que solo se reconoce al tocar o por conoedores del medio. (AFIBRA, 2016, p.3)

Esta técnica es desarrollada por la empresa AFIBRA de la ciudad de México.

**Figura 2.** Acabado de muro con fibra de vidrio



Fuente: AFIBRA. (2010). Proyectos muros. [Imagen]. Recuperado de <http://www.afibra.com/es/empresa/fibra-vidrio-construccion.html>

En Tunja se cuenta con diferentes casos de aplicación resistente de fibra de vidrio en su fachada, este es el caso del terminal multimodal de transporte El Cacique, el cual cuenta con piezas livianas en fibra de vidrio de fácil manejabilidad a la hora de su instalación con las demás piezas de materiales convencionales.

Por otro lado se encontró un caso de estudio sobre “Muros de mampostería reforzados con láminas de fibra de vidrio sometido a esfuerzos fuera del plano” realizado por Bastidas y Molina como trabajo de grado para una maestría en la universidad de los Andes en Bogotá en el 2004, en el cual ellos realizaron ensayos a diferentes muros hechos a escala real reforzados al corte y a flexión con láminas de fibra de vidrio de diferentes dimensiones a lo ancho del refuerzo, esto con el fin de medir el aumento en la capacidad de resistencia de carga y ductilidad que sufren los muros.

“Uno de los ensayos realizados fue el ensayo de corte en la fibra de vidrio, para este ensayo la deformación medida se realizó con el actuador de la maquina MTS dado que lo que se requería medir era la carga última resistente al corte y no la correspondiente deformación” (Bastidas y Molina, 2004)

**Tabla 3.** Resultado ensayo resistencia al corte

# Ensayos	Resistencia al corte $f_v$ (kg.cm)
3	94.2

Fuente: Bastidas, E., Molina, L. (2004). Resistencia al corte. [Tabla]. Recuperado de “Muros de mampostería reforzados con láminas de fibra de vidrio, sometidos a esfuerzos fuera del plano.”

También se realizó el ensayo de tracción en la fibra de vidrio, con el fin de medir sus propiedades, este fue realizado en la maquina forney.

**Tabla 4.** resultado resistencia a la tensión

# Ensayos	Resistencia a tensión $f_t$ (kg.cm)
5	140

Fuente: Bastidas, E., Molina, L. (2004). Resistencia a la tensión fibra con matriz epóxica. [Tabla]. Recuperado de "Muros de mampostería reforzados con láminas de fibra de vidrio, sometidos a esfuerzos fuera del plano."

Los autores consideraron que este valor no era acertado debido a que el resultado del ensayo arrojó una resistencia a la tensión muy baja con respecto al estipulado en la ficha técnica de la fibra de vidrio, lo cual los llevó a la conclusión de que la fibra pudo tener una rotura en sus extremos donde era sujeta por las tenazas de la máquina y no por una verdadera falla a la tensión del material. Luego de realizar estos ensayos de caracterización del material se construyeron 4 muros a escala real, empleando las técnicas que actualmente se utilizan para la construcción de estos, simulando un muro típico de la ciudad de Bogotá. Tres de estos muros fueron sometidos a ensayos de flexión fuera del plano y el otro a ensayo de corte dentro y fuera del plano, posterior a esto fueron reforzados con marcos metálicos y de concreto anclados con las GFRP, finalmente se realizó la respectiva experimentación; para esto se amarró el marco de concreto al actuador de la máquina MTS y se realizó el ensayo de corte en el plano con deformación contralada, el ensayo de flexión fuera del plano se realizó mediante el volteo de los muros midiendo su ángulo de inclinación y las deformaciones que iba presentando, lo anterior se puede observar en las imágenes 2, 3 y 4.

**Figura 3.** Ensayo de corte dentro del plano para el muro confinado en concreto, con refuerzo externo de GFRP.



Fuente: Bastidas, E., Molina, L. (2004). Refuerzo externo con GFRP. [Tabla]. Recuperado de "Muros de mampostería reforzados con láminas de fibra de vidrio, sometidos a esfuerzos fuera del plano."

**Figura 4.** Ensayo de flexión fuera del plano para el muro confinado en concreto, con refuerzo externo de GFRP.



Fuente: Bastidas, E., Molina, L. (2004). Ensayo muro MCEDBG 01. [Tabla]. Recuperado de “Muros de mampostería reforzados con láminas de fibra de vidrio, sometidos a esfuerzos fuera del plano.”

**Figura 5.** Ensayo de flexión fuera del plano para el muro confinado en marco metálico, con refuerzo externo de GFRP.



Fuente: Bastidas, E., Molina, L. (2004). Ensayo muro MEDBG2 01. [Tabla]. Recuperado de “Muros de mampostería reforzados con láminas de fibra de vidrio, sometidos a esfuerzos fuera del plano.”

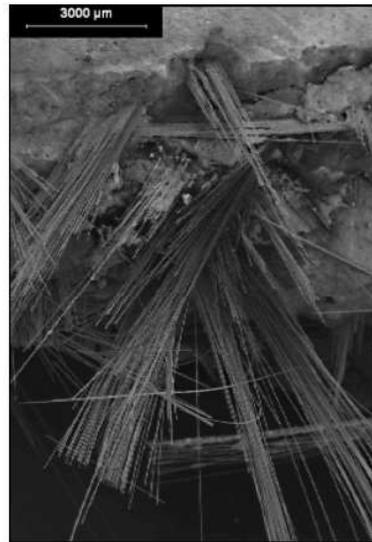
Los autores luego de realizar los análisis correspondientes a cada uno de los resultados obtenidos concluyeron que el mecanismo de falla predominante en este tipo de ensayos fue la falla por tensión en la zona de unión del muro con el marco (concreto o acero) y que el muro colapsa completo sin que se presenten fallas locales o presencia de agrietamientos, por otro lado, la fibra que está en contacto con la mampostería no presenta ningún tipo de falla (Adherencia o Tensión). (Bastida & Molina, 2004).

De acuerdo con la investigación que realizaron Bastidas y Molina, el uso de fibras de vidrio como refuerzo en muros de mampostería arrojó resultados favorables, lo que nos impulsa a realizar diferentes investigaciones sobre este tema pues podría ser una solución eficaz ante algunos problemas que presentan los muros.

## 2.4 USO DE LA FIBRA DE VIDRIO COMO REFUERZO EN EL MORTERO

El mortero, es uno de los materiales bases en la ingeniería civil, teniendo aplicaciones no solo en usos estructurales, sino que es un material con uso amplio en los demás aspectos y ramas que hacen parte de la ingeniería civil.

**Figura 6:** Enfendaque, Sánchez, Sánchez (2010) El efecto del humo de sílice y el metacaolin en el proceso de envejecimiento de morteros de cemento reforzados con fibra de vidrio (GRC)



Este material está fabricado a base de cemento, agua y agregados finos; en materia de investigación al buscar nuevos materiales, se plantea adicionar la fibra de vidrio como material de refuerzo al mortero para conocer el comportamiento de este al interactuar con la fibra, ya que la fibra en contacto con ambientes alcalinos puede presentar problemas de durabilidad y afectaciones a sus propiedades mecánicas. Es por esto que Enfendaque, Sánchez, Sánchez (2010) estudiaron las adiciones de puzolanas o metacaolin para la solución de estos problemas, encontrando que la adición de dichos materiales muestra una influencia positiva en cuanto a su comportamiento a tracción y la ductilidad. Esto obtenido con muestras sometidas a un envejecimiento acelerado.

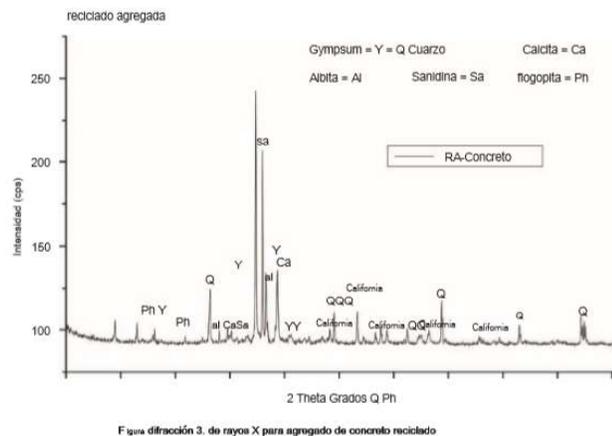
El proceso de envejecimiento acelerado consistió en sumergir las muestras en agua a 50°C durante periodos de 4,8 y 12 semanas este proceso basado en la hipótesis que afirma que “la inmersión del material en agua caliente durante cortos periodos de tiempo permite predecir las propiedades mecánicas del material al estar por largos periodos de tiempo expuesto a la intemperie “esto corroborado por medio de ensayos mecánicos realizados a material dejado a la intemperie y material que fue expuesto a envejecimiento acelerado.

Lastimosamente el precio del metacaolin es elevado, eso hace que la utilización en proporciones elevadas (25% respecto al peso del cemento) no sea económicamente rentable así presente mejoras de resistencia y durabilidad haciendo que su uso industrial sea minoritario.

De la misma manera la contracción en los morteros es un fenómeno comúnmente presentado durante el proceso de secado, esto a causa de diferentes factores como los agregados utilizados y el ambiente en el cual este expuesto el material.

Saiz, Ferrández, Morón, Payan (2018) realizaron estudios para ver cómo y de qué manera la adición de fibra de vidrio podría contrarrestar este fenómeno, este ensayo se realizó por medio de un dispositivo creado por los autores el cual mide la máxima corriente en el circuito para obtener la capacitancia del condensador, el cual depende de la humedad de la muestra, demostrando que la adición de fibra de vidrio y su dosificación tiene un papel importante en la disminución de la contracción; además de eso, con métodos de DRX Y FRX para caracterizar los agregados los cuales se pueden observar en la imagen 6 para de esta manera saber y medir que importancia presentan en la contracción del mortero y como con la fibra se puede contrarrestar .

**Imagen 7:** Saiz, Ferrández, Morón, Payan (2018) Comparative study of the influence of three types of fibre in the shrinkage of recycled mortar.



### 2.5 USOS DE LA FIBRA DE VIDRIO EN YESO

El yeso es un material empleado en la construcción civil en diversos usos en algunos casos se le adiciona agregados gruesos o finos para brindar mayor resistencia y durabilidad Su principal uso es en la rama de las estructuras, siendo un material acompañante del concreto o mortero, de esta manera se abarca la investigación de como un material como el yeso el cual también presenta usos en la ingeniería civil para los acabados se comportaría al ser reforzada con fibra de vidrio y la evaluación de que porcentajes y de que longitud tendría que ser el material para tener una mejora de propiedades mecánicas de esta manera, (Merino, Comino 2012) estudiaron las proporciones y las longitudes de fibra de vidrio tipo AR para ser adicionadas como refuerzo al yeso , realizando diferentes probetas de material para de esta manera someterlos a pruebas de resistencia a la flexión, compresión y tracción para comparar los resultados tanto de la muestra reforzada como de una muestra que no presenta ningún tipo de refuerzo.

**Imagen 7:** Merino, Comino (2012) Análisis de refuerzos mixtos de fibras de vidrio E y fibras AR en la escayola, como alternativa de los refuerzos monofibras.

Escayola/Plaster 0.8	R. Flexión/Flexion R. (MPa)	R. Compresión/Compres. S. (MPa)	Shore C
Media/Average 8E1+8E1	3.049	3.088	64.25

De esta manera encontrando que la muestra reforzada presentaba una ganancia de resistencia a la flexión y en la dureza, además de eso encontraron que para tener una

ganancia de resistencia a compresión era necesario tener un porcentaje mayor de adición de fibra y que las fibras adicionadas sean de una mayor longitud.

Figura 8: Merino, Comino (2012) Análisis de refuerzos mixtos de fibras de vidrio E y fibras AR en la escayola, como alternativa de los refuerzos monofibras.

Fibra Fiber	% adición % addition	R. Flexión/Flex. R. (MPa)		R. Comp./Compr. S. (MPa)		Shore C	
		25 mm	50 mm	25 mm	50 mm	25 mm	50 mm
E-60%	0.25	3	2.5	2.6	3.2	65	67
	0.5	3	2.4	2.8	3	64	69
	0.75	3.1	2.8	2.6	3.1	65	69
	1	3.4	4.3	2.7	3.2	64.5	69
	2	8	6.3	2.3	3.1	64	68
E-40%	0.25	2.9	3	3.8	3.2	70	67
	0.5	2.9	3.3	3.2	3	69.5	69
	0.75	3.1	3.4	3.4	3.1	70	69
	1	3.2	4	3.4	3.2	70	69
	2	3.2	4.5	3.2	3.1	67	68
E-10%	0.25	2.9	2.8	3.7	3.1	67	71
	0.5	3.3	3	3.6	3	68	67
	0.75	3.4	3.5	3.6	2.8	69	66
	1	4	4.1	3.5	3	69	67
	2	5	5.2	3.8	3.5	70	70
E-0%	0.25	2.9	3.2	3.7	3.3	69.5	68
	0.5	3.2	3.5	3.6	3.5	70	68
	0.75	4	4	4	3.1	70.5	68
	1	4.2	4.5	4	3.2	71	69
	2	5	5	3.9	3.5	71	70
AR	0.25	3	3.2	2.6	3.1	62	66
	0.5	3.2	3.6	2.9	3.1	66	68.6
	0.75	3.5	3.6	2.9	3.3	66	67.3
	1	3.6	3.7	3	3.5	67	68.3
	2	3.3	**	3	**	69	**

Es de gran importancia la evaluación del refuerzo de estos materiales que son comúnmente usados en la ingeniería civil para de esta manera tener un amplio margen de elección de estos al realizar una obra, así como un conocimiento un poco más profundo del comportamiento del material frente a los diferentes factores del medio que le puedan causar algún daño y garantizar obras que presenten buena duración y que sean seguras para la población.

## 2.6 USOS DE LA FIBRA DE VIDRIO EN PUENTES

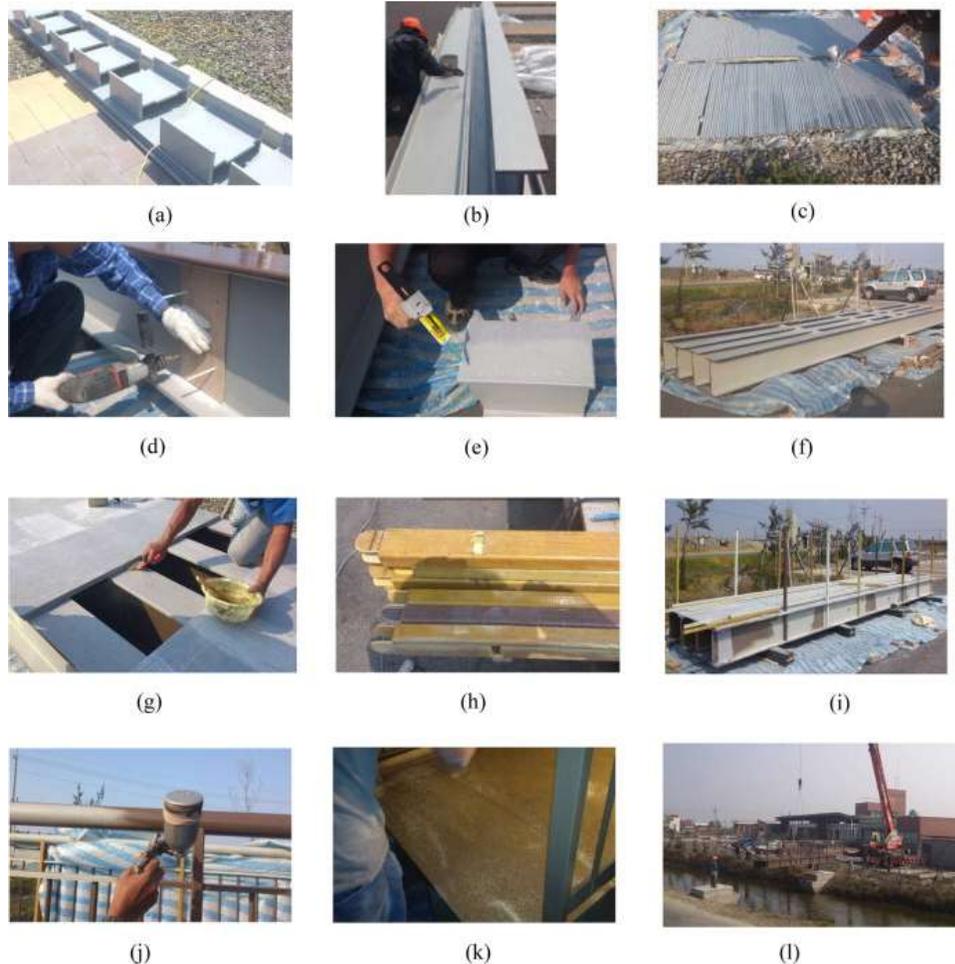
El tener una efectividad y sostenibilidad en las mallas viales, ha sido otros de los motivos de investigación en mejorar la calidad de los materiales, ya que son estas estructuras son las más deterioradas debido al aumento del tráfico, peso de los vehículos y que la mayor parte del tiempo siempre esta sometidos a esfuerzos, a lo anterior se le suma la exposición constante que tienen a factores ambientales, como agua, radiaciones UV, temperaturas, productos químicos entre otros, dejando como consecuencia que las estructuras o sus elementos se vean afectadas y no cumplan con su vida útil.

Hoy en día, la apertura que la ingeniería le ha dado a la utilización de nuevos materiales, la aplicación de tecnologías avanzadas y la entrada a técnicas mejoradas, ha permitido innovar y mejorar la calidad de las estructuras viales causando un efecto positivo en el área de la construcción. Drygala, Polak y Dulinska (2019), aseguran que la aplicación de materiales compuestos como la fibra de vidrio ha tenido un desarrollo significativo puesto que, por su alta resistencia, bajo peso y transparencia, este material tiene un potencial de uso en la infraestructura civil en la realización de puentes peatonales, pues se ha encontrado que este material compuesto es práctico y eficiente, sobre todo en la facilidad de instalación.

Para Kim (2019), Las agencias de transporte están ansiosas por materiales de construcción alternativos, lo que les permitirá extender la longevidad de los miembros estructurales existentes de manera económica. Los compuestos de polímero reforzado con fibra (FRP) son un

material prometedor y han demostrado un excelente rendimiento con numerosas ventajas, que incluyen una relación de resistencia-peso favorable, no corrosión, mano de obra razonable, ejecución rápida y costos de mantenimiento a largo plazo reducidos. En el caso de puentes, el refuerzo con los FRP ha sido bien recibido, aumentándole resistencia y peso a la estructura. En Taiwan la totalidad de elementos estructurales de un puente peatonal, fueron construidos a partir de las fibras de vidrio, ya que el ambiente contiene mucho cloro haciendo que otras estructuras estén deterioradas por la corrosión, como se ha descrito anteriormente, las fibras de vidrio son el material que ha tomado el liderazgo a sustituir estructuras metálicas, ya que su composición permite que no sea afectada o sometida a deterioros químicos como la corrosión. El puente peatonal está hecho de cuatro vigas continuas y plataformas de GFRP en su superestructura. Los diafragmas con agregados de fibra de vidrio en la configuración del sistema de plataforma ayudan a resistir la torsión. Todos los demás componentes del puente, incluidos los pasamanos, los pasadores y los componentes de las conexiones, también se fabricaron con compuestos GFRP. El diseño del puente adoptó la Guía de especificaciones de AASHTO para el diseño de puentes peatonales FRP (AASHTO, 2008) para los criterios de desviación (Li, Badjie, Chen y Chiu, 2014)

**Figura 9.** Cronología de la construcción del puente de fibra de vidrio pultruida en Taiwan.



Fuente: Li, Y., Badjie, S., Chen, W., y Chiu, Y. (2014). Case study of first all-GFRP pedestrian bridge in Taiwan.

**Figura 10.** Imagen calculada por una computadora usando nubes de puntos recopilados por el TLS (Escáner Laser 3D).



Fuente: Li, Y., Badjie, S., Chen, W., y Chiu, Y. (2014). Case study of first all-GFRP pedestrian bridge in Taiwan.

A partir de métodos como el de los elementos finitos y un análisis con escáner laser 3D, que registro el comportamiento mecánico del puente, se pudo afirmar que el puente cumple con todas las desviaciones y especificaciones de la norma usada, haciéndolo apto para su uso. Sin embargo, muchos autores aun desconfían del uso específicamente de las fibras de vidrio en algunos elementos pretensados para los puentes, debido a que la fibra de vidrio como refuerzo a lo largo del tiempo va presentando envejecimiento disminuyendo así su resistencia. Para García (2013), los tendones reforzados con fibra de vidrio para puentes son producidos en una amplia gama de fibras, resinas, formas y tamaños. Sin embargo, el ACI 440.4R-04, norma que establece los materiales para elementos pre-esforzados, solamente recomienda para la utilización en hormigones pretensados las fibras de aramida y carbón. La no recomendación de las fibras de vidrio se debe a que estas tienen poca resistencia a la fluencia lenta bajo cargas sostenidas y que son más susceptibles a la degradación alcalina que las fibras de aramida y carbono.

Aun así, la fibra de vidrio ha tenido una gran acogida en otros elementos estructurales para los puentes, que los ayudan a reducir peso, costos o ayudan a reforzar con materiales convencionales dándole un plus de refuerzo y resistencia a la estructura. Durante las últimas décadas, las cubiertas de puentes con fibra de vidrio se han empleado cada vez más en puentes para vehículos y peatones, tanto para construcción nueva como para fines de rehabilitación, debido a las características favorables en comparación con las cubiertas tradicionales de hormigón armado (RC). Las ventajas de las plataformas en cubiertas con fibra de vidrio incluyen una alta resistencia específica, resistencia a la corrosión, peso ligero (alrededor del 10-20% de la plataforma RC estructuralmente equivalente (Armas, Castro y Keller, 2016).

En su mayoría existen muchos proyectos estructurales donde se están implementando el refuerzo de estos con fibras poliméricas, ya sean de carbono, aramida o fibra de vidrio, cada uno de estas son útiles en los diferentes elementos que los puentes requieran, pues los constructores estaban satisfechos con las fibras poliméricas en sus proyectos, aunque hubo algunos problemas menores (por ejemplo, un revestimiento superficial deteriorado). Varias

agencias tienen proyectos actuales y planificados que utilizan materiales compuestos de FRP; por ejemplo, vigas pretensadas con fibras de carbono, envoltura con fibras de carbono para columnas, cubiertas híbridas de fibra de vidrio, y pilas compuestas (Kim, 2019)

### 3. CONCLUSIONES

De acuerdo con la información recopilada anteriormente, se puede evidenciar que la fibra de vidrio es un excelente material sustituto en diferentes usos de construcción de ingeniería civil.

A partir de los diferentes casos de estudio analizados, se observa que la fibra de vidrio aporta positivamente a las propiedades mecánicas de materiales importantes como el concreto, la mampostería y morteros, su uso como agregado fue eficiente a tal punto que son estas tres áreas las más estudiadas.

Los tipos de vidrio más eficientes y recomendados a usar en ingeniería civil son los tipos AR, Tipo E, por su buen comportamiento en las propiedades mecánicas y la baja reactividad química frente a otros materiales.

Por otro lado, no es recomendable el uso de fibra de vidrio en acabados, fachadas, y demás elementos arquitectónicos, en zonas de clima frío, ya que, por su baja conductividad térmica, no permite que el calor se conserve haciendo que la estructura se mantenga a temperaturas muy bajas.

De igual manera, se recomienda no exponer la fibra de vidrio directamente a condiciones ambientales como calor, fuego, humedad, y rayos UV, pues esto produce un envejecimiento en el material, deteriorándolo y reduciendo la vida útil de trabajo seguro.

Para seguir aportando a la investigación en el contexto local y nacional, es recomendable que en las facultades de Ingeniería Civil se realice el análisis del comportamiento de la fibra de vidrio expuesto a diferentes condiciones climáticas ya que Colombia posee esta diversidad, y así determinar cuáles usos son más viables en cada tipo de clima o ambiente atmosférico.

Similar al anterior, se pueden realizar muchas investigaciones enfatizadas en la durabilidad de la fibra de vidrio, de manera que se caracterice y se pueda predecir cómo son afectadas las propiedades del material durante exposiciones a corto y largo plazo en diferentes entornos.

### 4. REFERENCIAS

- [1] Afibra, E. (2016). Muros en fibra de vidrio [*Mensaje en un blog*. Recuperado de <http://www.afibra.com/es/productos/interiores/muros-fibra-vidrio.html#>
- [2] Affolter, Ch., Barbezat, M., Piskoty, G., Neuner, O., y Terrasi, G. (2018). Failure of a sag water pipe triggered by again of the GFRP composite relining. *Engineering Failure Analysis*,84, 358-370. Doi: 10.1016/j.engfailanal.2017.09.017
- [3] Almerich, A. (2010). *Diseño, según estados límites, de estructuras de hormigón armado con redondos de fibra de vidrio gfrp* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.



- [4] Arango, S, & Zapata, J. (2013). *Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas de mezclas de concreto* (trabajo de grado). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- [5] Armas, S., Casto, J., y Keller, T. (2016). System transverse in plane shear stiffness of pultruded GFRP bridge decks. *Engineering Structures*.107, 34-46. doi: 10. 1016/j.engstruct.2015.11.003
- [6] Barros, M. (2008). *Compósitos de pvc reforçados com fibra de vidro: Uso de técnicas de processamento convencionais da Indústria brasileira* (Tesis de Maestría). Universidad de Sao Paulo, Brasil.
- [7] Bastidas, E, y Molina, L. (2004). *Muros de mampostería reforzados con láminas de fibra de vidrio sometido a esfuerzos fuera del plano* (tesis de maestría). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- [8] Carvalho, L. (2011). *Concreto con armadura de fibra de vidro* (Tesis de Maestría). Universidad Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.
- [9] Cordero, H. (2015). *Aplicación de hormigón de ultra alta resistencia con fibras de vidrio, Caracterización de hormigón de ultra alta resistencia con fibras de vidrio* (tesis de maestría). Universidad politécnica de valencia, España.
- [10] Drygala, I., Polak. M., y Dulinska, J. (2019). Vibration serviceability assessment of GFRP pedestrian bridges. *Engineering Structures*, 184, 176-185. Doi: 10.1016/j.engstruct.2019.01.072
- [11] Enfedaque, A., Sánchez, L., y Sánchez, V. (2010). El efecto del humo silice y el metacaolin en el proceso de envejecimiento de morteros de cemento reforzados con fibras de vidrio (GRC). *Materiales de construccion*, 60(300), 67-82. Doi: 10.3989./mc.2010.52009
- [12] Faria, H., y Guedes, R. (2010). Long-term behaviour of GFRP pipes: reducing the prediction test duration. *Polymer Testing*.29, 337-345. Doi: 10.1016/j.polymertesting.2009.12.008
- [13] García, J. (2013). *Estructuras de hormigón pretensado armadas con FRP* (Tesis especialización). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- [14] Gutiérrez, R. (2016). *Mitigación del envejecimiento de elementos de morteros reforzados con fibra de vidrio empleando adiciones de puzolanas y resinas acrílicas* (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- [15] Kim, Y. (2019). State of practice of FRP composites in highway bridges. *Engineering Structures*.179, 1-8. doi: 10.1016/j.engstruct.2018.10.067
- [16] Li, Y., Badjie, S., Chen, W., y Chiu, Y. (2014). Case study of first all-GFRP pedestrian bridge in Taiwan. *Case Studies in Construction Materials*.1, 83-95. Doi: 10.1016/j.cscm.2014.05.001

- [17] Merino, M. y Comino, P. (2012). Análisis de refuerzos mixtos de fibras de vidrio E y fibras AR en la escayola, como alternativa de los refuerzos monofibras, depto. de construcciones arquitectónicas y su control, UPM, Vetrotex servicio técnico comercial. *Materiales de construcción*, 52(258). <http://materconstrucc.revistas.csic.es>
- [18] Morgado, T., Silvestre, N., y Correia, J. (2019). Simulation of fire behaviour of pultruded GFRP columns. *Thin-Walled Structures*, 135, 521-536. doi: 10.1016/j.tws.2018.11.022
- [19] Mora, A. (2016). *Reciclaje de resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio* (Tesis pregrado). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- [20] Morales, S. (2008). *Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones*. (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México, D.F
- [21] Muñoz, C. (2007). *Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio* (Tesis Pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- [22] Na, L., Sirong, Z., Jianzhong, C., y Xi, F. (2015). Long-term behaviour of GFRP pipes: Optimizing the distribution of failure points during testing. *Polymer Testing*, 48, 7-11. Doi: 10.1016/j.polymertesting.2015.08.011
- [23] Ortiz, G. (2016). *Terminal multimodal de transporte el cacique Tunja – Boyacá* (Trabajo de grado). Universidad piloto de Colombia, facultad de arquitectura y artes, Bogotá D.C
- [24] Saiz, P., Ferrández, D., Morón, C., y Payán de Tejada, A. (2018). Comparative study of the influence of three types of fibre in the shrinkage of recycled mortar. *Materiales de construcción*, 68(332). Doi: 10.3989/mc.2018.07817
- [25] Sarrión, H. (2018). *Propiedades y aplicaciones de los polímeros sintéticos en la construcción* (trabajo de grado curso). Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Valencia, España.
- [26] Sawpan, M. (2019). Shear properties and durability of GFRP reinforcement bar aged in seawater. *Polymer Testing*, 75, 312-320. Doi: 10.1016/j.polymertesting.2019.02.033
- [27] Swain, S., Beura, S., Thatoi, D., Chakraverty, A., y Mohanty, U. (2019). Durability of GFRP composite exposed to outdoors weathering. *Composites Communications*, 13, 22-29. doi: 10.1016/j.coco.2019.02.003
- [28] Toapanta, J. (2016). *Análisis de las curvas de desempeño de una viga reforzada con fibras de carbono y fibras de vidrio* (Tesis pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

[29] Valenti, M. (2014). *Comportamiento a cortante de vigas de hormigón armadas longitudinal y transversalmente con barras FRP* (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Barcelona, Barcelona España.