Revista ALCONPAT
www.revistaalconpat.org
eISSN 2007-6835
Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

Análisis experimental del comportamiento a tracción del hormigón armado con tejido de vidrio brasileño.

J. Rizzo[1]*, E. S. Bastos[2], L. A. Reginato[1], P. M. Lazzari[1], L. C. P. da Silva Filho[1]
*Autor de Contacto: joirizzo@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v14i3.760

Recibido: 01/06/2024 | Correcciones recibidas: 02/08/2024 | Aceptado: 07/08/2024 | Publicado: 01/09/2024

RESUMEN

En este estudio se verificó el comportamiento mecánico de estructuras de hormigón armado con una y dos capas del tejido de vidrio brasileño "AR-360", mediante ensayos de tracción directa. El análisis del comportamiento mecánico de las estructuras se realizó mediante gráficas de tensión versus deformación, evaluando los puntos de transición de las etapas formadas, modo de ruptura, tensión y deformación de ruptura, así como un análisis comparando resultados experimentales con analítica. Respecto a los resultados se encontró una incapacidad estructural de las piezas reforzadas con una capa de tejido de vidrio. En las muestras en las que se evaluó el refuerzo con dos capas del material antes mencionado, se identificaron correctamente las tres etapas presentes en las curvas de tensión-deformación, tal como lo predice la literatura para las estructuras evaluadas.

Palabras clave: hormigón textil; tracción directa; textil de vidrio; comportamiento mecánico.

Citar como: Rizzo, J., Bastos, E. S., Reginato, L. A., Lazzari, P. M., Silva Filho, L. C. P. da (2024), "*Análisis experimental del comportamiento a tracción del hormigón armado con tejido de vidrio brasileño*", Revista ALCONPAT, 14 (3), pp. 275 – 287, DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v14i3.760

[1] Postgraduate Program in Civil Engineering (PPGEC), Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.
[2] Postgraduate Program in Mining, Metallurgical and Materials Engineering (PPGE3M), Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

Contribución de cada autor
En este trabajo, el autor J. Rizzo se encargó de definir el tema, el análisis bibliográfico, la metodología, las pruebas de laboratorio (80%), el procesamiento de los datos (80%) y el análisis de los resultados. E. S. Bastos contribuyó con los métodos de prueba, el procesamiento de datos (20%) y el proceso de revisión. L. A. Reginato supervisó este trabajo (50%), realizó pruebas de laboratorio (20%) y discutió los resultados; P. M. Lazzari y L. C. P. da Silva Filho supervisaron y guiaron esta investigación en porcentajes iguales.

Licencia Creative Commons
Los derechos de autor (2024) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación
Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2025 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2025.

© 2024 ALCONPAT Internacional

Experimental analysis of the tensile behavior of concrete reinforced with Brazilian glass textile.

ABSTRACT

In this study, the mechanical behavior of concrete structures reinforced with one and two layers of the Brazilian glass textile "AR-360" was verified through direct tensile tests. The analysis of the mechanical behavior of the structures was performed with stress-strain curves, evaluating the transition points of the formed stages, rupture mode, rupture stress and strain, as well as an analysis comparing experimental results with analytics. Regarding the results, there was a structural inability of the pieces reinforced with a layer of glass textile. In the samples in which reinforcement with two layers of the aforementioned material was evaluated, the three stages present in the stress-strain curves were correctly identified, as predicted in the literature for the structures evaluated.

Keywords: textile concrete; direct traction; glass textile; mechanical behavior.

Análise experimental do comportamento à tração do concreto reforçado com têxtil de vidro brasileiro.

RESUMO

Neste estudo verificou-se o comportamento mecânico de estruturas de concreto reforçadas com uma e duas camadas do têxtil de vidro brasileiro "AR-360", através de ensaios de tração direta. A análise do comportamento mecânico das estruturas foi realizada por meio dos gráficos de tensão versus deformação, avaliando-se os pontos de transição dos estágios formados, modo de ruptura, tensão e deformação de ruptura, além também, de uma análise comparando-se resultados experimentais com analíticos. Sobre os resultados, verificou-se incapacidade estrutural das peças reforçadas com uma camada do têxtil de vidro. Já nas amostras em que se avaliou o reforço com duas camadas do referido material, identificou-se corretamente os três estágios presentes nas curvas de tensão-deformação, conforme previsto na literatura para as estruturas avaliadas.

Palavras-chave: concreto têxtil; tração direta; têxtil de vidro; comportamento mecânico.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón textil, o simplemente TRC (Textile Reinforcede Concrete), está formado por una matriz cementosa de granos finos y tejidos textiles de alta resistencia a la tracción. (Hegger et. al., 2007; Spelter et. al., 2019; Adán et. al., 2020). Según Kulas (2013) y Spelter et al. (2019), los tejidos más comunes que se utilizan con los textiles son el vidrio, resistente a los álcalis y los tejidos de carbono.

Al ser el tejido textil un material polimérico, no produce corrosión en las estructuras, lo que ayuda a reducir las manifestaciones patológicas de las construcciones y a aumentar significativamente la vida útil de las estructuras (Spelter et. al., 2019; Adán et. al., 2020). Junto a esta ventaja, al tener una alta resistencia a la tracción, las estructuras reforzadas con este elemento pueden tener menos recubrimiento de hormigón y, en consecuencia, ser más ligeras, delgadas y económicas (Hegger y Voss, 2008).

En este sentido, Alemania, que se destaca por ser el líder mundial en investigación sobre hormigón textil (Scheerer et. al., 2015), ha venido construyendo estructuras que engloban conceptos de diseño audaces y modernos de este material compuesto, tales como: estructuras en forma de concha (Hegger et. al., 2018); puentes (Michler, 2013) y fachadas (Raupach y Cruz, 2016). De acuerdo con Brameshuber et al. (2016), a partir de los ensayos de tracción directa es posible identificar con mayor claridad el potencial del hormigón reforzado con textiles, a través de su comportamiento mecánico. De acuerdo con Jesse (2005), Molter (2005), Voss (2008) y Kulas (2013), el comportamiento mecánico de este material se puede explicar a través del gráfico de tensiones versus deformación, estando compuesto por tres etapas: I, IIa y IIb.

Santis et al. (2017), identificaron puntos de transición entre las etapas que apoyan la comprensión del comportamiento del material analizado. Según los autores, tensión (σ_I) y deformación (ε_I) corresponden a los puntos de transición entre las etapas I y IIa. Aún en la etapa I, se identifica el módulo de elasticidad (EI) del concreto textil. Entre el final de la etapa IIa y el inicio de la etapa IIb, se encuentra la tensión (σ_{II}) y deformación (ε_{II}). En el pico del gráfico, es posible identificar la tensión y deformación de ruptura, identificadas como (f_t) y (ε_t).

En Brasil, existen pocas investigaciones científicas sobre el concreto textil. Investigaciones como Giese (2019), Reginato (2020), Silva e Silva (2020), Dalazen (2021) y Ortolan (2021), son ejemplos de estudios brasileños sobre este material. En este sentido, es importante realizar más investigaciones sobre el comportamiento mecánico de los tejidos textiles disponibles en Brasil, adaptados a los insumos brasileños que componen el hormigón, con el fin de avanzar científicamente en la comprensión de este material en el país.

Así, esta investigación corresponde a un análisis del comportamiento mecánico del hormigón reforzado con el textil de vidrio brasileño resistente a los álcalis, de la empresa Texiglass, denominado "AR-360", donde a través de ensayos de tracción directa de las muestras reforzadas con una y dos capas del tejido textil, se generaron las gráficas de tensión versus deformación del material, y a partir de ellos, se realizó un análisis detallado del material compuesto. Además, también se verificaron los resultados obtenidos experimentalmente con cálculos analíticos.

2. METODOLOGIA

La metodología de este trabajo constó de tres etapas, a saber: elaboración de la matriz cementicia; Muestras reforzadas con tejido textil y ensayos directos de tracción. A continuación, se presenta un breve resumen de cada uno de los pasos indicados anteriormente.

2.1 Elaboración de la matriz cementante.

Un reto para el uso de refuerzo textil junto al hormigón es que debe ser fluido y autocompactante,

para que el hormigón pueda penetrar libremente entre las fibras del tejido, sin necesidad de vibración. Aunado a estas características, es necesario que el hormigón presente altas resistencias a la compresión y a la tracción, con el fin de promover una mayor capacidad mecánica al material compuesto.

Con el fin de utilizar un hormigón que cumpliera con las características anteriores, sin pérdidas excesivas durante los ensayos de traza, se aplicó la metodología de dosificación para hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC), propuesta por Christ (2019). En este método se calculó la curva teórica de empaquetamiento de los materiales, a través de la ecuación de Funk y Dinger. Luego de seleccionar los insumos constituyentes de la matriz cementante, se utilizó el programa desarrollado por Christ (2019), en el software Excel, para comparar las curvas teóricas de empaquetamiento y la mezcla elegida, donde a través de la iteración de la cantidad de insumos, se logró elegir el rasgo con menor índice de desviación de empaquetamiento (IED), el cual es igual a 114.2.

En la Tabla 1 se muestra el traza y consumo de los materiales que componen la matriz cementosa de esta investigación. A través de la aplicación de este método de dosificación, fue posible producir un concreto fluido, cohesivo y autocompactante, con una resistencia a la compresión promedio a los 28 días igual a 80.07 MPa y una resistencia a la tracción promedio igual a 4.5 MPa. En la Figura 1, es posible observar la fluidez de este hormigón (a) y su dispersión (b) sin problemas de exudación y segregación.

Tabla 1. Composición de los materiales utilizados en el hormigón.

Materiales	Trazo Unitario	Consumo (Kg/m³)
Cemento	1	471.26
Sílica	0.24	113.1
Ceniza Volante	0.76	358.16
Carbonato de Calcio	0.71	334.59
Arena	2.05	966.08
Agua/Aglomerante	0.28	263.9
Aditivo Superplastificante	3%	28.28
Aditivo Mod.	1%	9.43
Aditivo Desincorporador de aire	1%	9.43

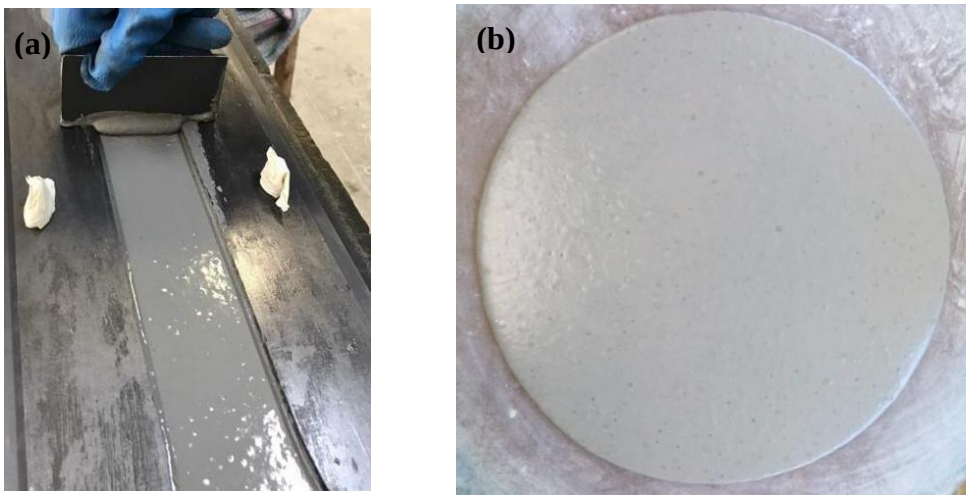

Figura 1. Aspecto del concreto (a) y fluidez del concreto (b).

2.2 Muestras reforzadas con el textil de vidrio "AR-360"

El textil de vidrio seleccionado para esta investigación es resistente a los álcalis, y se denomina "AR-360", de 2400 tex, de la empresa Texiglass, como se muestra en la Figura 2 (a). La dirección principal elegida para los fines del análisis en los ensayos de tracción fue la dirección de deformación. De acuerdo con la caracterización realizada por Dalazen (2021), el área de la sección transversal de la dirección de urdimbre es igual a 1,80 mm², con una distancia de 10 mm entre las barandillas de la malla textil. Según ensayos mecánicos realizados anteriormente (Rizzo, 2023), la tensión media del hilo de fibra de este material en la dirección de la urdimbre es igual a 566,72 MPa.

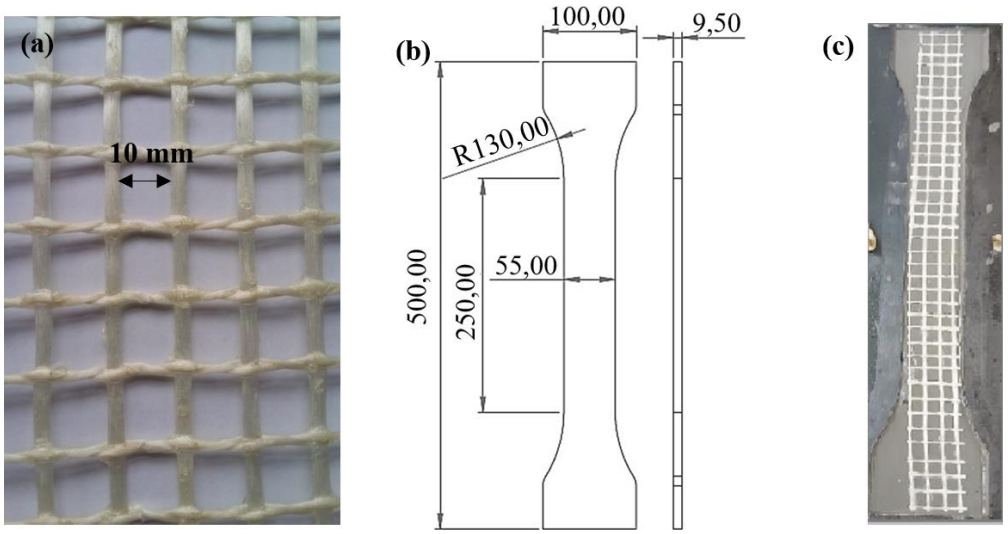

Figura 2. Textil de vidro (a) Dimensiones de la muestra (b) e Demostración de la capa de textil (c).

2.3 Desarrollo de muestras con armadura

Se analizaron siete muestras reforzadas con el tejido textil. Las estructuras llamadas CTV11; CTV12 y CTV13 corresponden a muestras que tienen un refuerzo textil de una sola capa, o el 1,38% de la tasa de refuerzo textil (ρ). El CTV21; CTV22; CTV23 y CTV24 tienen dos capas de refuerzo de tejido textil, lo que corresponde a un total de ρ = 2,77%. En cuanto a su construcción, se optó por estructuras en forma de "hueso", como se muestra en la Figura 2 (b).

Las formas seleccionadas fueron construidas en acero. En cuanto a la preparación de las muestras, el refuerzo textil se insertó utilizando la técnica de laminación, según lo especificado por Brameshuber et al. (2016). A través de él, las muestras se realizaron en capas, primero añadiendo la primera capa de hormigón al encofrado, luego el refuerzo textil (Figura 2 (c)) y finalmente, la última capa de hormigón. Este procedimiento se repitió hasta que todas las capas quedaron dispuestas en la forma. Cabe mencionar que la altura del concreto se controló por medio de una regla de medición, como se muestra en la Figura 1 (a), donde, en las muestras con una capa de refuerzo textil, el tejido textil se dispuso en la mitad del espesor de la muestra, y en el caso de dos capas, se insertaron con una equidistancia igual a 3.16 mm.

2.4 Ensaios de tração direta

Ensayos directos de tracción

Los ensayos de tracción directa se realizaron con una edad de curado del hormigón de 28 días, en una prensa con una capacidad de 100 kN y una velocidad de desplazamiento igual a 1 mm/min. Se diseñó un sistema de pinzas de acero para que la transmisión de fuerzas de la prensa a la parte estructural se realizara mediante placas de acero, situadas en el chaflán de las muestras. En este mismo lugar se insertaron gomas de 1 mm de espesor para reducir la concentración de tensiones

en la pieza.
También con el fin de reducir las concentraciones de cargas excesivas en la zona de la pinza, ayudando así a que la rotura se produjera realmente en la zona medible de las piezas, se dispusieron dos capas de manta de carbono, donde a través de la resina sikadur, se pegaron a los extremos de la estructura. La Figura 3 (a) muestra la ruptura de la probeta reforzada con textil de vidrio en el área medible, además de la manta de carbono ubicada en los extremos de la pieza.
Para verificar el desplazamiento de los especímenes, se utilizó un LVDT con un cursor de 10 mm fijado a una de las caras de la muestra, como se muestra en la Figura 3 (b).

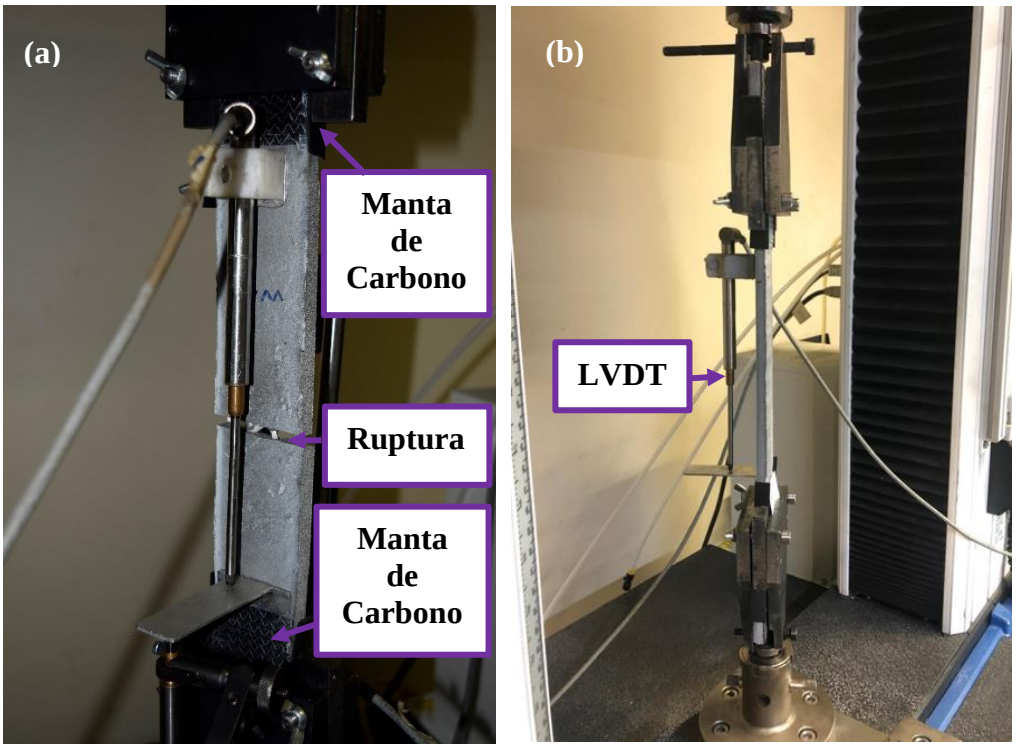

Figure 3. Ruptura de la muestra em el area medible (a) y Demostración del sistema de pinzas y LVDT (b).

3. RESULTADOS

Los resultados de esta investigación se expresaron por medio de gráficos de tensión versus deformación. Los puntos de transición entre las etapas se describieron en las Tablas, así como el modo de fallo, además de la tensión y deformación máxima de falla. Como indican Santis et al. (2017), con el fin de prevenir posibles errores derivados de la variación en el espesor del hormigón, se realizó un análisis de tensiones a través de las Tablas y descripción de los resultados, considerando la tensión del hilo de fibra de las muestras, obtenida dividiendo la fuerza por el área total de la sección transversal de los hilos de fibra textil (Atex, n). Sin embargo, las tensiones del material compuesto también se representaron en el lado derecho, del eje "y" en los gráficos, con el fin de ayudar a comprender el comportamiento mecánico de las muestras.

3.1 Concreto reforzado con una capa de textil de vidrio

En las tres muestras analizadas con el refuerzo de una capa de textil de vidrio, se verificó correctamente la formación de la etapa I, tal como lo predice la literatura, siendo la misma lineal, sin formación de grietas. La Figura 4 (a), (b) y (c) muestra los gráficos de tensión frente a deformación de estas muestras.

En cuanto al tipo de ruptura, todas ellas presentaron ruptura en la zona medible de las piezas, y se pueden clasificar como una ruptura tipo "B", según lo determinado por Santis et al. (2017). La Figura 5 (a) y (b) muestra la ruptura en el área medible de las muestras CTV11 y CTV13, respectivamente.

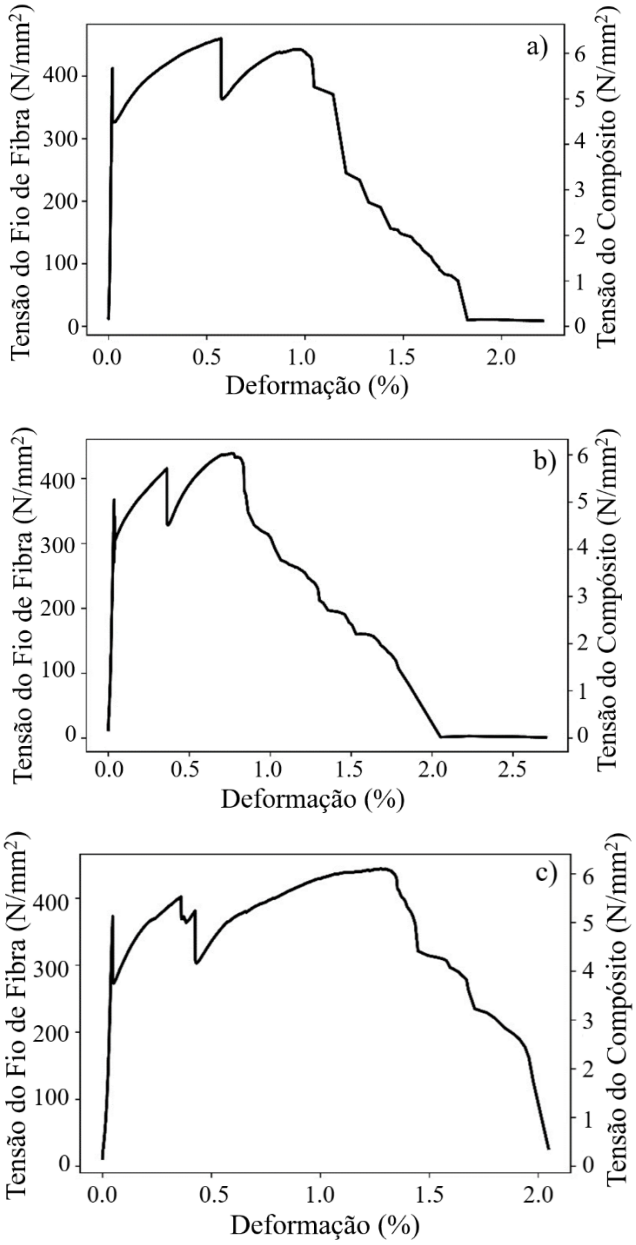

Figura 4. Comportamiento mecánico de las muestras CTV11 (a), CTV12 (b) y CTV13 (c).

Después de la formación de la primera grieta en el hormigón, comenzó la etapa IIa (Jesse, 2005). En esta etapa, la literatura indica la formación de múltiples fisuras. Sin embargo, este comportamiento no se observó en muestras reforzadas con una capa de tejido textil. En las muestras CTV11 y CTV12 solo se formaron dos grietas en esta etapa, sin una distinción clara entre las etapas IIa y IIb, caracterizándose esta última por presentar la terminación del agrietamiento y la respectiva ruptura del material. Cabe destacar que Ortolan (2021) tampoco identificó claramente la formación de las tres etapas en la curva de respuesta estrés-deformación de muestras reforzadas con una capa de textil de vidrio brasileño.

Sin embargo, en la muestra de CTV13, después de la formación de la tercera hendidura en el estadio IIa, se formó el estadio IIb, como se observa en la Figura 4 (c). En este caso, se sugiere que hubo una mayor unión entre el concreto y el tejido textil, resultando en un mayor valor de la deformación a la rotura (ε_t) = 1.32%, como se muestra en la Tabla 2.

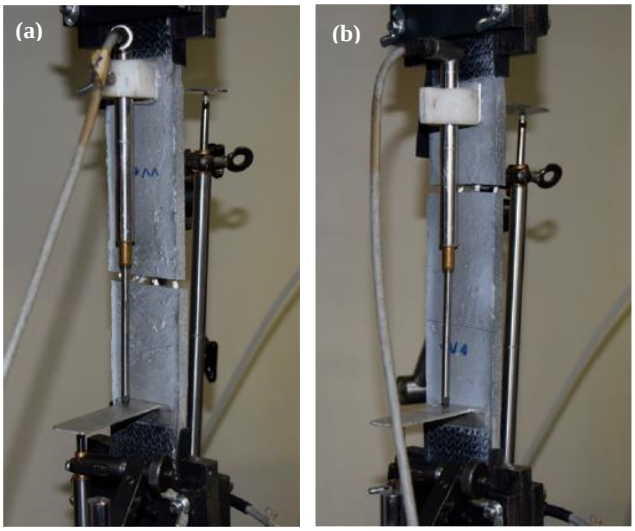

Figura 5. Ruptura de las muestras CTV11 (a) e CTV13 (b).
412

Dado que en CTV11 y CTV12 no había distinción entre los estadios IIa y IIb, se consideraron los mismos valores de los puntos de transición entre los estadios IIa y IIb, siendo σ_II y f_t, además de ε_II y ε_t, como se muestra en la Tabla 2.

Tabela 2. Resultados de las muestras CTV11, CTV12 y CTV13

CP	ε_I (%)	ε_{II} (%)	σ_I (N/mm²)	σ_{II} (N/mm²)	f_t (N/mm²)	ε_t (%)	E_I (N/mm²)	Ruptura
CTV11	0,019	0,977	412	443	443	0,977	2080,8	B
CTV12	0,036	0,761	367	439	439	0,761	1019,44	B
CTV13	0,047	0,639	372	377	441	1,32	791,49	B
Promedio	0,034	0,792	383,66	419,66	441	1,01	1297,24	
CV (%)	32,43	17,63	5,24	7,19	0,37	22,58	43,3	

3.2 Hormigón armado con dos capas de textil de vidrio

Las muestras que fueron reforzadas con dos capas de textil de vidrio presentaron correctamente las tres etapas presentes en la curva de respuesta tensión-deformación, según lo indicado en la literatura. En el estadio IIa, se formaron múltiples fisuras, con una clara distinción entre los estadios IIa y IIb.

En cuanto al tipo de ruptura, las muestras CTV21, CTV22 y CTV24 mostraron ruptura en el área medible, y pueden clasificarse como una ruptura tipo "B". En la muestra de CTV23, la ruptura ocurrió cerca del área de la garra, sin embargo, no hubo desprendimiento de concreto ni deslizamiento de tejido. Además, se observó que no hubo pérdida mecánica de esta pieza, ya que los valores de tensión y deformación por falla fueron aproximados a las muestras en las que se produjo la ruptura en el área medible. Por lo tanto, la muestra de CTV23 puede clasificarse como un desgarro tipo "A", según lo indicado por Santis et al. (2017)

La Figura 6 muestra los gráficos de tensión frente a deformación de estas muestras. En las muestras CTV21, CTV22 y CTV23 se observaron pequeñas caídas de carga en las estructuras durante el estadio IIb. Según Jesse (2005), estas caídas de carga se pueden clasificar como fisuras difusas.

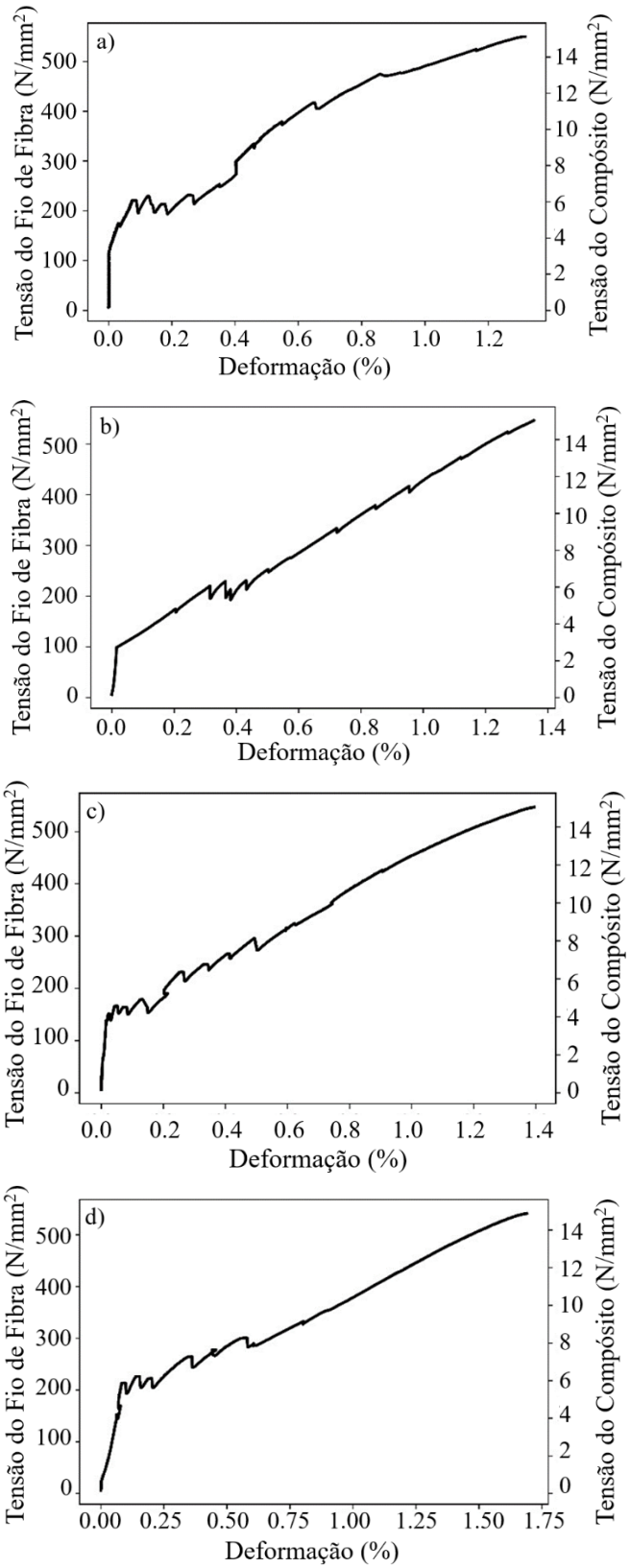

Figura 6. Comportamiento mecánico de las muestras CTV21 (a), CTV22 (b), CTV23 (c) y CTV24 (d).

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos con el análisis experimental de estas muestras. La muestra CTV21 fue la que se destacó en cuanto a ruptura máxima, f_t, alcanzando un valor máximo igual a 550N/mm². La muestra CTV24, por su parte, fue la que obtuvo los valores más altos entre los puntos de transición de los estadios I y IIa (ε_I y σ_I) y IIa y IIb (σ_II y ε_II). En este caso, se sugiere que hubo una mayor calidad de unión entre la matriz cementosa y el tejido textil, logrando así el mayor valor de deformación por ruptura, ε_t, entre las muestras analizadas, siendo igual a 1,7%.

Tabela 3. Resultados de las muestras CTV21, CTV22, CTV23 e CTV24

CP	ε_I (%)	ε_{II} (%)	σ_I (N/mm²)	σ_{II} (N/mm²)	f_t (N/mm²)	ε_t (%)	E_I (N/mm²)	Ruptura
CTV21	0,0309	0,412	172	304	550	1,32	556,63	B
CTV22	0,0502	0,672	106	306	530	1,37	211,15	B
CTV23	0,0552	0,6	153	315	545	1,39	277,17	A
CTV24	0,0827	0,806	214	329	541	1,7	258,76	B
Média	0,054	0,622	161,25	313,5	541,5	1,44	325,93	
CV (%)	33,81	22,85	24,05	3,14	1,36	10,34	41,53	

3.3 Comparación de los resultados experimentales y analíticos

El modelo elegido para el cálculo analítico de la tensión de rotura de elementos delgados de hormigón reforzado con textiles de vidrio fue el de Kulas (2013), como se indica en la expresión 1 a continuación:

$$F_{t,u} = A_{t,K} * f_{t,K} * k_v * \left(1 - \frac{\alpha}{90°}\right)^2 + A_{t,S} * f_{t,S} * k_v * \left(\frac{\alpha}{90°}\right)^2 \quad (1)$$

Donde:

$A_{t,K}$ e $A_{t,S}$ = Área de la sección transversal de la urdimbre y trama, respectivamente;

$f_{t,K}$ e $f_{t,S}$ = Resistencia a la tracción de la malla textil de la urdimbre y trama, respectivamente;

k_v = Factor reductor igual a 0,84 debido a la contracción lateral de las mechas;

α = Angulo entre la fuerza y la dirección del doblez.

En este cálculo se consideró la primera parte de la ecuación 1, ya que la dirección principal elegida para las pruebas técnicas fue la dirección de urdimbre. Considerando la tensión promedio del textil vítreo igual a 566.72 N/mm², se encontró el esfuerzo de ruptura de las paredes analizadas. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos experimental y analíticamente, con el análisis de la diferencia entre ambos, en porcentaje.

Tabla 4. Resultados de las tensiones obtenidos experimental y analíticamente

CP	ft Experimental (N/mm²)	ft Analítico (N/mm²)	Direrencia (%)
CTV11	443	476,05	-6,94
CTV12	439	476,05	-7,78
CTV13	441	476,05	-7,36
CTV21	550	476,05	+15,53
CTV22	530	476,05	+11,33
CTV23	545	476,05	+14,48
CTV24	541	476,05	+13,64

A partir de los resultados listados, se observó que los muros reforzados con 1 capa de tejido textil fueron los que presentaron los menores valores de diferencia entre las tensiones obtenidas analítica y experimentalmente. Las tensiones obtenidas experimentalmente a partir de las muestras compuestas por dos capas del textil fueron superiores a las del cálculo analítico. En este caso, se sugiere que el factor reductor de resistencia (kv), igual a 0,84; se puede descartar para el cálculo analítico. En la muestra CTV21, sin tener en cuenta este factor, el valor analítico de ft resulta en 566,72 N/mm². En comparación con el valor experimental, la diferencia entre los dos métodos resulta en solo -2.95%.

3. Análisis comparativo de los resultados obtenidos a través de las diferentes tasas de refuerzo textil

La técnica utilizada en esta investigación para evaluar la respuesta mecánica del textil de vidrio brasileño "AR 360" presentó resultados consistentes con los verificados en la literatura. El cuidado en el uso de una matriz cementosa autocompactante, con altas resistencias mecánicas, promovió la capacidad mecánica del material estructural, logrando resultados consistentes con las matrices cementosas utilizadas por Brockmann (2006), Kulas (2013), Molter (2005), Hinzen (2014) y Voss (2008).

En cuanto a las propiedades mecánicas, las muestras con dos capas de refuerzo textil mostraron el comportamiento mecánico según la curva tensión-deformación para estructuras de hormigón textil, es decir, las etapas I, IIa y IIb se formaron correctamente, según lo descrito por Jesse (2005), Molter (2005), Voss (2008), Kulas (2013) y Santis et al., (2017). En las estructuras evaluadas con una tasa de refuerzo de una capa, se observó incapacidad estructural del elemento. Este patrón de respuesta mecánica también fue descrito por Colombo et al. (2013), donde en la muestra denominada "F1-1", reforzada con una capa de tejido textil de vidrio, no se formaron las etapas II y III, según la ley constitutiva del hormigón textil. Como enumeraron los autores, se formaron pocas grietas en esta muestra, y no había un patrón de grietas múltiples para elementos de concreto textil conocido en la literatura. En Brasil, este comportamiento de los textiles de vidrio también fue verificado por la investigación realizada por Ortolan (2021).

En general, se encontró que, con el aumento en el número de capas en la estructura, se produjo la formación de múltiples fisuras más delgadas, con menor espaciamiento entre ellas, comportamiento que se espera para estructuras reforzadas con tejido textil (Kulas, 2013; Hinzen, 2014). Además, en los muros con mayor tasa de refuerzo, se observaron ganancias en términos de tensión y deformación por rotura ((f_t) y (ε_t)) de 18.56% y 29.86%, respectivamente.

4. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, se verificó que las piezas de concreto reforzado con textil de vidrio presentan incapacidad estructural cuando se refuerzan con una sola capa. Sin embargo, con dos capas, las muestras presentaron correctamente el comportamiento mecánico de las piezas de hormigón textil, con múltiples fisuras en la etapa IIa, además de la correcta formación de las tres etapas en la curva de respuesta mecánica tensión-deformación.

En cuanto al patrón de grietas, se observó que cuanto mayor era la tasa de refuerzo textil, más grietas se formaban y con menos espaciamiento entre ellas. En las muestras con tasa de reforzamiento = 2.77%, se formó un promedio de siete fisuras, mientras que en la muestra con ρ = 1.38%, en promedio, solo se observaron dos fisuras en el estadio IIa.

Otro punto a destacar es que el sistema de garras elegido y la forma de "hueso" de las estructuras favorecieron las piezas reforzadas con textil de vidrio brasileño, ya que no se formaron grietas en la zona de la garra y desprendimiento del hormigón en esta región, donde la mayoría de las rupturas ocurrieron en la zona medible de los muros. Además, la tensión de ruptura alcanzada experimental

y analíticamente alcanzó valores cercanos, con un bajo porcentaje de diferencia, lo que también indica que la distribución de la tensión y el proceso técnico de la prueba ocurrieron de manera adecuada.

En este sentido, se concluye que el textil vidrio disponible en Brasil tiene un gran potencial para ser utilizado en futuras construcciones, ya que, en las piezas con una tasa de refuerzo igual al 2,77%, se observó el comportamiento mecánico de las piezas analizadas, según lo predicho por la literatura.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo financiero otorgado por la CAPES y la donación de material textil por parte de la empresa Texiglass.

6. REFERENCIAS

Adam, V., Bielak, J., Dommes, C., Will, N., Hegger, J. (2020), *Flexural and shear tests on reinforced concrete bridge deck slab segments with a textile-reinforced concrete strengthening layer*. Materials, MDPI, v. 13, n. 18, p. 4210. https://doi.org/10.3390/ma13184210

Brameshuber, W., Hinzen, M., Dubey, A., Peled, A., Mobasher, B., Bentur, A., Aldea, C.; Silva, F., Hegger, J., Gries, T. et al. (2016), *Recommendation of rilem tc 232-tdt: test methods and design of textile reinforced concrete: Uniaxial tensile test: test method to determine the load bearing behavior of tensile specimens made of textile reinforced concrete.* Materials and Structures/Materiaux et Constructions, Springer Netherlands, v. 49, n. 12, p. 4923–4927. https://doi.org/10.1617/s11527-016-0839-z

Brockmann, T. (2006), "*Mechanical and fracture mechanical properties of fine grained concrete for textile reinforced composites*". Tese (Doutorado) — Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch.

Colombo, I. G., Magri, A., Zani, G., Colombo, M., Prisco, M. D. (2013), *Erratum to: Textile reinforced concrete: experimental investigation on design parameters*. Materials and structures, Springer, v. 46, p. 1953–1971. https://doi.org/10.1617/s11527-013-0017-5

Christ, R. (2019), "*Proposição de um método de dosagem para concretos de ultra alto desempenho (UHPC)".* Tese (Doutorado)—Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Dalazen, C. D. A. (2021), "*Reforço à flexão de vigas em concreto armado com a utiização e argamassa reforçada com texteis de carbono e de vidro"*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Giese, A. C. H. (2019), "*Utilização de argamassa reforçada com textil de fibra de vidro álcali resistente para reforço à flexão de vigas de concreto armado".* Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Hegger, J., Curbach, M., Stark, A., Wilhelm, S., Farwig, K**. (**2018), **"***Innovative design concepts: Application of textile reinforced concrete to shell structures".* Structural Concrete, Wiley Online Library, v. 19, n. 3, p. 637–646. https://doi.org/10.1002/suco.201700157

Hegger, J., Voss, S. (2008), *Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete*. Engineering Structures, v. 30, p. 2050–2056, 7. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.01.006

Hegger, J., Will, N., Rüberg, K, (2007) *Textile reinforced concrete—a new composite material***.** In: Advances in construction materials. [S.l.]: Springer, 2007. p. 147–156.

Hinzen, M. (2014), "*Einfluss von Kurzfasern auf die Frisch- und Festbeton-eigenschaften sowie das Tragverhalten von Textilbeton*". Tese (Doutorado) — Lehrstuhl und Institut für Massivbau RWTH Aachen.

Jesse, F. (2005), "*Tragverhalten von Filamentgarnen in zementgebundener Matrix"*. Tese

(Doutorado)—Dresden, Techn. Univ.
Kulas, C. H. (2013), "*Zum Tragverhalten getränkter textiler Bewehrungselemente für Betonbauteile"*. Tese (Doutorado) — Lehrstuhl und Institut für Massivbau RWTH Aachen.
Michler, H**. (**2013). *Segmentbrücke aus textilbewehrtem beton–rottachsteg kempten im allgäu*. Beton-und Stahlbetonbau, Wiley Online Library, v. 108, n. 5, p. 325–334, https://doi.org/10.1002/best.201300023
Molter, M. (2005), "*Zum Tragverhalten von textilbewehrtem Beton"*. Tese (Doutorado) — Aachen, Techn. Hochsch.
Ortolan, V. de K. (2021), "*Estudo de matriz cimentícia reeforçada com fibra textil para uso em painéis"*. Tese (Doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
Raupach, M., Cruz, C. M. (2016), *Textile-reinforced concrete: Selected case studies*. Textile Fibre Composites in Civil Engineering, Elsevier, p. 275–299. https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-446-8.00013-6
Reginato, L. A. (2020), "*Avaliação experimental dos efeitos da corrosão em concreto armado: diagnóstico e reabilitação com UHPFRC e concreto textil"***.** Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Rizzo, J. (2023), "*Comportamento Mecânico do Concreto Textil Submetido ao Esforço de Tração: Um Estudo Experimental"*. Dissertação (Mestrado)—Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Santis, S. D., Carozzi, F. G., Felice, G. de, Poggi, C. (2017), *Test methods for textile reinforced mortar systems*. Composites Part B: Engineering, Elsevier, v. 127, p. 121–132. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.03.016
Scheerer, S., Schladitz, F., Curbach, M. (2015), *Textile reinforced concrete–from the idea to a high performance material*. In: Proceedings of the FERRO-11—11th International Symposium on Ferrocement and 3rd ICTRC—International Conference on Textile Reinforced Concrete, Aachen, Germany. [S.l.: s.n.].
Silva, R. Mansur de C., Silva, F. de A. (2020), *Carbon textile reinforced concrete: materials and structural analysis*. Materials and Structures, Springer, v. 53, n. 1, p. 1–19. https://doi.org/10.1617/s11527-020-1448-4
Spelter, A., Bergmann, S., Bielak, J., Hegger, J. (2019), *Long-term durability of carbon-reinforced concrete: An overview and experimental investigations*. Applied Sciences, MDPI, v. 9, n. 8, p. 1651. https://doi.org/10.3390/app9081651
Voss, S. (2008), "*Ingenieurmodelle zum Tragverhalten von textilbewehrtem Beton"*. Tese (Doutorado) — Lehrstuhl und Institut für Massivbau RWTH Aachen.