

# Comportamiento del concreto ante la fibra y ceniza volcánica

## Concrete behavior towards fiber and volcanic ash

\*Ender José Barrientos-Monsalve

 Ingeniero Civil, Doctor en Ciencias Gerenciales, Ender.barrientos@ustsbuca.edu.co, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia

**Recibido:** Julio 16 de 2019 **Aceptado:** Noviembre 22 de 2019

**Forma de citar:** E.J. Barrientos-Monsalve, "Comportamiento del concreto ante la fibra y ceniza volcánica", *Mundo Fesc* vol. 10, no. 19, pp. 202-214, 2020

### Resumen

El concreto siendo uno de los materiales más usados y que ha brindado oportunidades de desarrollo a todos los países es fundamental el seguimiento de los aportes de este producto, es por ello que el propósito de esta investigación fue Analizar y comparar los ensayos y estudios que se han realizado con el concreto y el uso de materiales en la mezcla como fibras de vidrio, fibras metálicas y ceniza volcánica, el método utilizado fue el descriptivo interpretativo con apoyo de la investigación documental de bases de datos como la de Scopus. Los resultados de este trabajo se basaron que los estudios realizados fueron positivos cuando combinaron las fibras con la mezcla de concreto ya que mejoró resistencia a la tracción y disminución al agrietamiento aportando valor a las diferentes estructuras a realizar, esto conlleva y concluye que estos elementos estructurales ya tienen comprobación por diferentes medios científicos para ser usados en las diferentes obras civiles aportando un valor agregado a sus elementos estructurales para su vida útil.

**Palabras clave:** Concreto, Mezcla, Fibras, propiedades.

### Abstract

Concrete being one of the most used materials and that has provided development opportunities to all countries, it is essential to monitor the contributions of this product, that is why the purpose of this research was to analyze and compare the trials and studies that are have been carried out with concrete and the use of materials in the mixture such as glass fibers, metallic fibers and volcanic ash, the method used was the descriptive interpretive with the support of documentary research from databases such as Scopus. The results of this work were based on the fact that the studies carried out were positive when they combined the fibers with the concrete mixture since it improved tensile strength and decreased cracking, adding value to the different structures to be made, this entails and concludes that these structural elements They are already verified by different scientific means to be used in different civil works, providing added value to their structural elements for their useful life.

**Keywords:** Concrete, Mix, Fibers, properties.

---

Autor para correspondencia:

\*Correo electrónico: Ender.barrientos@ustsbuca.edu.co



## Introducción

Desde la creación de las primeras obras civiles, la humanidad necesitó de una gran diversidad de materias primas para poder desarrollar y mejorar dichas construcciones con respecto a sus necesidades, a medida que se evoluciono apareció en el año 1824 el cemento portland la cual es una mezcla que es generada por agregados y agua siendo hasta hoy en día uno de los mejores materiales en la construcción.

El concreto es un elemento fundamental en la ejecución de las construcciones existentes, por ende, siempre se quiere optimizar al máximo para que tenga un buen comportamiento y desarrollo. El comportamiento del concreto a nivel general, es una mezcla homogénea que genera una piedra artificial rígida, capaz de soportar cargas axiales fuertes a compresión, aunque su resistencia a la flexión y al cortante son relativamente bajas. Soporta altas temperaturas, resistente a la corrosión, erosión y abrasión [1] [2].

Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
- La calidad propia de los agregados, en el sentido más amplio.
- La afinidad del matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto [3].

Sin embargo, a pesar de su gran invención, con el transcurso de los años se van generando problemáticas, a las cuales hay que brindarles nuevas y eficaces soluciones,

ya bien sean del tipo de: resistencia al fuego, a la abrasión, a la corrosión, rendimiento, permeabilidad, durabilidad, elasticidad, entre otras, es por ello que el objetivo de este trabajo fue la realización de una revisión acerca de las investigaciones por medio de pruebas sobre la resistencia del concreto con diferentes materiales.

## Concreto y materiales reciclados

Siendo el concreto como uno de los materiales más usados en las construcciones, el cual posee una proporción de agregados entre el 60-80% de su volumen, por lo cual representa una gran demanda de materiales naturales [4], una de sus grandes ventajas, es su naturaleza homogénea, pero su aporte más significativo es que estas materias primas no son ilimitadas y la forma en ser explotadas afectan exponencialmente la fauna y la flora. [5].

Este material ha tenido un lugar privilegiado ya que ha sido el reflejo del desarrollo de grandes ciudades, por consecuencia ha generado un aumento de la producción de concreto, sin embargo, el alto costo de los materiales donde todos no pueden acceder y las situaciones en desechos de materiales aportan a la contaminación en el mundo, materializado la idea de reciclar los materiales y desechos de otros procesos [6].

Por lo tanto, al tener en cuenta la disminución cada más mas abrupta de los recursos naturales, se genera la necesidad de reducir el uso de estos y al mismo tiempo existe la obligación de eliminar las cantidades de desechos generados por demolición, por lo tanto, usar áridos reciclados, encaja perfectamente en un concepto de sostenibilidad. [7]

Ante esto, al reciclar los residuos de construcción y demolición, se está generando una solución sostenible para reducir la tasa

de consumo en los lugares de depósito y de recursos naturales [8], de la misma otras situaciones como la explotación de canteras generando vibraciones, contaminación del aire, las fuentes de agua y deslizamientos de tierra, por lo tanto, se requiere la adopción de gestión de tecnologías de construcción ambientales y el uso de materiales artificiales o de materiales reciclados [9]

### **Fibra de vidrio en el concreto**

Este material se compone de diversos filamentos de materiales polímeros con base al en dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y son muy finos. Estos productos llamados fibras de vidrio son compuestos por filamentos de vidrio entretejidos, y los tipos de tejidos son de varios tipologías componiendo así una malla o tipo de tela con este material, teniendo como resultado un material flexible resistente, y aislante eléctrico, además que es muy económico. [10], Este material es utilizado como refuerzo en otros materiales compuestos y se comprende de varios tipos, donde el tipo E es uno de los más comunes y se usan en las industrias textiles en sus primeros procesos, el tipo R es de alto desempeño en situaciones mecánicas con respecto a la fatiga, la temperatura y la humedad, el tipo D se usa dentro los materiales permeables por medio de ondas de electromagnetismo, y el C tiene propiedades anticorrosión y se usan cuando colocan capas en materiales que las necesiten, y el tipo AR, el cual fue diseñado para uso especialmente en el concreto por cuanto tiene una excelente resistencia en compuestos alcalinos durante el secado del material [11] [12].

Entre los aspectos que hay que tener en cuenta con las fibras es el tamaño de esta ya que cuando el concreto va ser bombeado la medida no debe superar  $2/3$  del diámetro interior del tubo. Y además otro condicionante es la separación entre las barras de acero armado ya que en este sentido las fibras no

deben superar la distancia mínima entre las barras [13]

Dentro de las ventajas de este tipo de vidrio en la utilización con concreto se tiene una mayor relación resistencia peso, mayor facilidad en la fabricación en formas complejas, buena resistencia de impacto en edades tempranas facilitando el manejo del producto, buena combinación con otros materiales [14].

Dentro de los usos de este tipo de material en el concreto es ayudar a las mallas electrosoldadas para mejorar los esfuerzos secundarios en losas de piso y pavimentos previniendo la aparición de fisuras a larga edad y más aun mejorando su desempeño en el tiempo.

Las mallas electrosoldadas se han usado para ayudar a tratar situaciones en pisos y pavimentos. Pero una de las situaciones más considerables de este material es su transporte y colocación ya que dificulta su manejo en las obras, teniendo perdida de mano de obra y tiempo, es por ello que ante esta situación el manejo de las fibras logran reemplazar el efecto de la malla y logrando a minimizar estos efectos. Además una de las situaciones más considerables de estas fibras es el tratamiento en las grietas en las estructuras logrando una vida útil mucho mayor en las estructuras, este hecho multiplica la vida útil de la estructura.

### **Concreto con fibras metálicas**

Las fibras metálicas son reconocidas a nivel mundial por su buen comportamiento con el concreto debido a su resistencia a la tracción, estas fibras fueron creadas por Porter (1910) y Ficklen (1914) en el Reino Unido, aunque hasta 1963 fue que se pudo demostrar su funcionamiento con el concreto como elementos que impiden el agrietamiento. [15], El concreto reforzado con fibras metálicas

brinda unas características fisicoquímicas distinta a los elementos que están hechos de concreto convencional, varía en cuanto a su módulo de rotura el agrietamiento por temperatura, mecanismo de colapso y el comportamiento esfuerzo-deformación. [16].

Este sería otro material material que ayuda a las estructuras que se ven afectadas por sismos, aumentos de carga, deficiencia de acero en la estructura principal, mal diseño de secciones y deterioro de la estructura al pasar el tiempo, serían unas de las razones por la cual una estructura puede presentar fallas, teniendo así que recibir modificaciones en su diseño hecho inicialmente, realizándose unos cambios en la estructura con materiales compuestos como por ejemplo los FRP (materiales polímeros reforzados con fibra) que ayuda a que esta no pierda su flexibilidad, resistencia y ductilidad, [17]. Por esta razón la utilización de sistemas de refuerzo estructural y la rehabilitación de elementos estructurales con materiales de FRP se ha convertido en uno de los materiales más comunes para la fabricación en el mundo de la ingeniería, por su buena resistencia a la corrosión, al peso, a la tracción, por su baja densidad, alta conductividad térmica, entre otros, [18], [19].

### **Concreto con ceniza volcánica**

De la misma manera en los últimos años se ha señalado que el uso de materiales cementosos suplementarios (SCM) como cenizas volantes, cenizas de cáscara de huevo, cenizas de cascarilla de arroz escoria de alto horno, humo de sílice, metacaolín, cenizas de cáscara de arroz, entre otros; se pueden manejar con el fin de mejorar las diversas propiedades del hormigón en los estados fresco y endurecido, así como también frenar el aumento de los costos de construcción, siendo un aporte en constante evolución para mejorar su comportamiento en sus estados fresco y endurecido por el

aporte innovador de la ciencia y de las nuevas tecnologías [20] [21].

Este tipo de producto que es la ceniza ya se viene utilizando en diferentes contextos como por ejemplo en el reciclaje de materias primas y ahorro de energía como también en la protección del ambiente, y en la contemporaneidad se viene utilizando en los contextos de la construcción de manera innovadora. [21]. La ceniza volante es un subproducto industrial contaminante que resulta de la industria carboeléctrica y se obtiene al calcinar carbones con impurezas [22-23]. La ceniza volante (FA) es el residuo recogido de la combustión del humo, este consiste en mucho  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sin fijar, y por lo tanto posee una actividad potencial relativamente alta; siendo uno de los materiales utilizados en el cemento y hormigón. [24]. Este material también se le conoce como ceniza de combustible pulverizado, que es cuando se precipita electrónicamente a través de los humos escapados de las estaciones de fuerza motriz que trabajan con base al carbón, y es la puzolana artificial más habitual y en sus mecanismos predominan compendios minerales. De esta manera el uso de este tipo de ceniza presenta en el concreto un sin número de beneficios que hasta los momentos se está empezando a descubrir, desde el punto de vista teórico práctico en esto se usa menor cantidad de agua en las mezclas, menor concentración de calor en la hidratación y un mejor control en las fisuras en edades muy tempranas. Por lo tanto, su empleo como adición resulta ser una de la mejor tipo para su uso por la gran cantidad de beneficios ante las condiciones de las propiedades del concreto y su desempeño en las estructuras. [25], [26].

### **Materiales y métodos**

La metodología utilizada para la investigación fue la revisión de documentos de la base de

Scopus, siendo una de las mayores bases de investigación que existen actualmente, y con ello se apoyó en la investigación descriptiva para el análisis de los diferentes resultados de los estudios descritos, buscando con esto un cambio beneficioso para alguna propiedad del concreto, cuando a este se le adicionaba otro tipo de material a su mezcla homogénea.

### Resultados y análisis

Según lo que se ha observado en otros estudios, la capacidad de absorción de los agregados reciclados, es mayor capacidad de absorción (ver tabla 1), por lo tanto, para llegar a un punto de equilibrio, solo debería agregar una cantidad adicional de agua en estos

[27]. Ya que las posibilidades de reciclar los desechos y demoliciones de concreto, podemos notar que existen diferentes campos en los que se puede aplicar estas materias primas y así generar un impacto positivo y amigable con el ambiente [28]. De forma general, el uso de áridos reciclados para la generación de concreto aumenta la contracción al secado, la fluencia, la tasa de carbonatación y lo que soporta el agua, así como disminuye la tasa de compresión, resistencia, módulo de elasticidad y resistencia a la congelación en comparación al hormigón con áridos naturales. Sin embargo, con el uso de un diseño apropiado de mezcla y minerales, todos estos inconvenientes pueden ser mitigados. [20].

Tabla 1. Capacidad de absorción agregados y porosidad

Mezcla	Cemento kg/m <sup>3</sup>	Agua kg/m <sup>3</sup>	Agregados		Porosidad	
			Roca natural	Roca reciclada	Esperada	Obtenida
NA	359	125	1300	0	20	18.75- 20.86
RCA20	359	125	1040	296	20	18.41- 22.08
RCA40	359	125	780	593	20	17.71- 21.60
RCA60	359	125	520	890	20	17.99- 21.65
RCA80	359	125	260	1187	20	17.58- 22.20
RCA100	359	125	0	1484	20	17.86- 22.51

Fuente [30]

En la tabla 1, se observa que la mezcla con agregados naturales (NA) y las diferentes dosificaciones de agregados reciclados (RCA) en sus diferentes dosificaciones del 20%, 40%, 60%, 80% y 100% de agregado. Continuamos viendo las dosificaciones de pasta, y por último la porosidad esperada y obtenida.

El figura 1, se muestra la capacidad de resistencia en MPa con respecto a la edad del concreto en días, con las mismas dosificaciones anteriores, notando así que el concreto reciclado no tiene un buen comportamiento estructural. Ya que, al agregar más granulometría reciclada, este pierde su capacidad a la compresión.

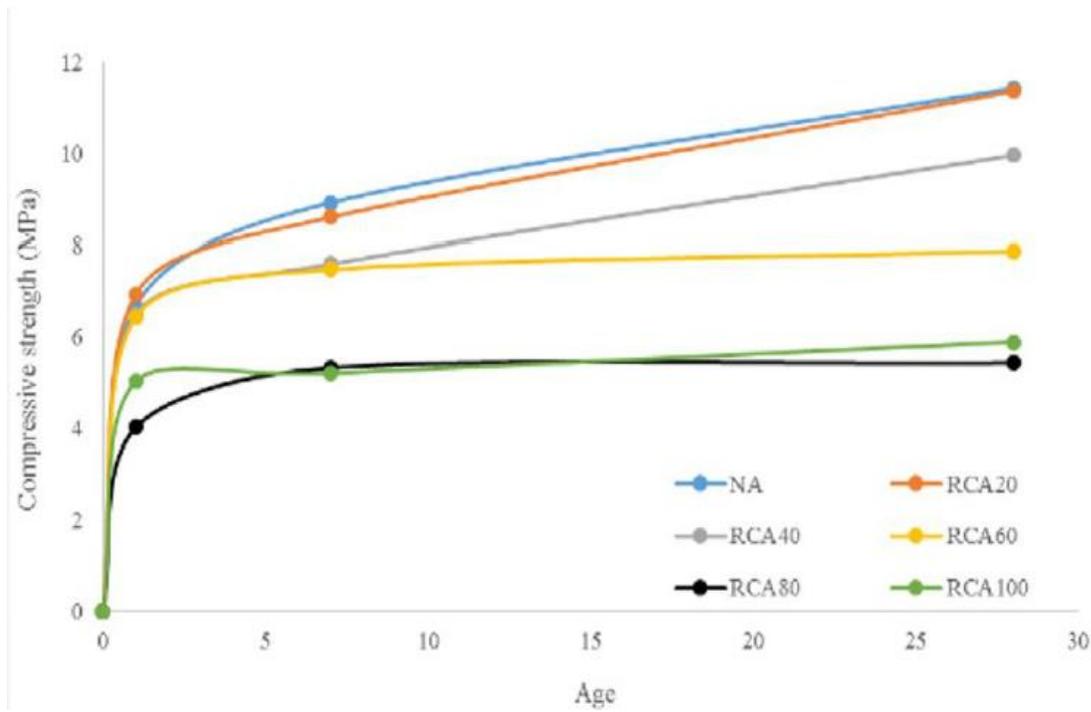


Figura 1. Capacidad de resistencia en MPa, Fuente: [31]

De la misma manera en la figura 2, los ensayos con fibra de vidrio se determinaron con las cantidades para 1 m<sup>3</sup>; en consideración de aspectos de un concreto común de 28MPa.

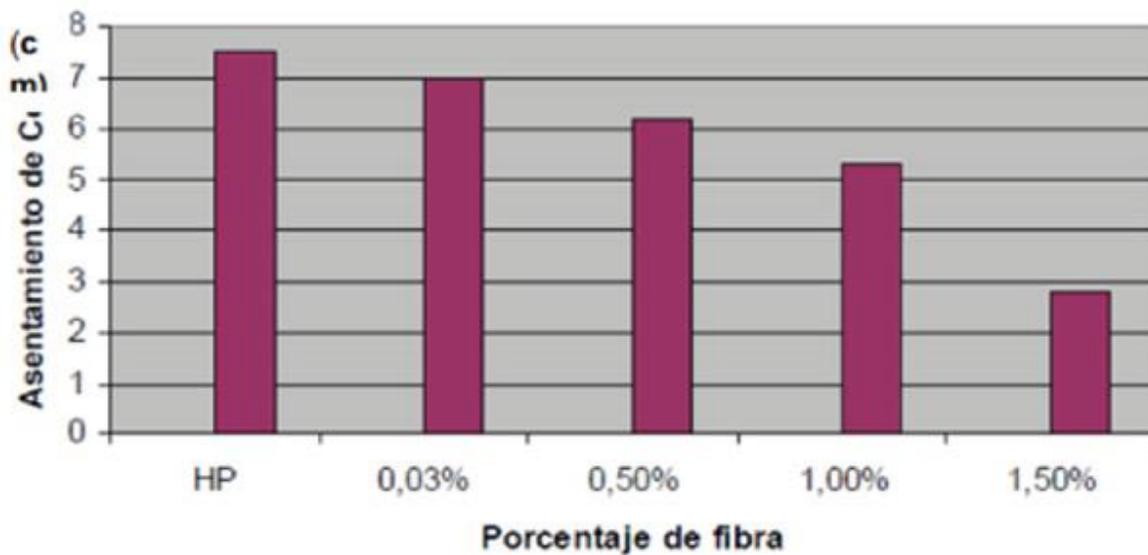


Figura 2. Trabajabilidad de concreto con adición de fibra [26]

Considerando los comportamientos mecánicos del suelo, se asume que existen fallas, por este motivo se evalúa la relación del porcentaje de fibra con respecto al asentamiento, se determina que la fibra de vidrio ayuda a evitar de manera considerable frente a este.

Este porcentaje de fibra en el mortero no afecta negativamente al desarrollo resistente a flexotracción y compresión. Tampoco afecta a su resistencia al impacto y tenacidad [31] y otros Aspectos a mejorar como la tracción, fisura o agrietamiento, rigidez, asentamiento, entre otros, pueden ser mejorados en gran medida gracias a que la fibra de vidrio puede ser empleada y adjuntada en la mezcla del concreto para compensar estas falencias.

### Otros estudios con fibras metálicas

**Tabla 2** Equivalencia entre contenidos de fibra de acero

Muestra	Porcentaje de volumen (%)
Muestra de control	0,00%
S 20 kg / m <sup>3</sup>	0,25%
S 40 kg / m <sup>3</sup>	0,50%
S 80 kg / m <sup>3</sup>	1,00%

Fuente: [32]

Según los resultados mostrados en la tabla donde muestra la equivalencia de contenidos de fibra de metal en kg/m<sup>3</sup> y porcentajes de volúmenes, de lo anterior se puede observar que en este estudio se comprueba el efecto de agregar fibras metálicas en la vida de fatiga de la mezcla, así involucra mejores rendimientos en cargas cíclicas de acuerdo al contenido de fibras de más de 40 kg/m<sup>3</sup>.

Otro estudio dice que la sustitución parcial o total de fibras metálicas en el revestimiento de los anillos de un túnel resulta bastante favorable ya que las condiciones que presenta la combinación de los momentos flectores y de fuerzas normales que se aplican en dirección tangencial es muy útil al uso del concreto reforzado con este tipo de fibras metálicas sustituyendo en su armadura tradicional, teniendo una buena ductilidad con relación al agrietamiento y permite controlar los posibles desprendimientos que puede ocasionar el revestimiento. [33].

Continuando con los ensayos, de la misma manera se realizó un estudio para determinar las características del concreto en estado endurecido en donde fueron: resistencia a la compresión para lo cual se elaboraron seis cilindros de 15cm x 30cm para ensayar por pares a 14, 28 y 56 días de edad; el módulo de elasticidad se determinó en cada caso sobre dos cilindros de 15cm x 30cm a las edades de 28 y 56 días. Todos los cilindros fueron desmoldados a las 24 horas de elaborados y almacenados en un cuarto de curado con humedad y temperatura controladas hasta la respectiva edad de ensayo [24].

**Tabla 3.** Resultados promedios de ensayos realizados al concreto sin adición, con sustitución de cemento por ceniza volante, y con sustitución de arena por ceniza volante

MEZCLAS	CONCRETO FRESCO		CONCRETO ENDURECIDO				
	Fluidiez (cm)	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )			Módulo elástico (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			14 días	28 días	56 días	28 días	56 días
<b>DP:</b> 0% CV + 100% C	8,7	2340	316	321	345	169827	193613
<b>D1:</b> 10% CV + 90% C	5,4	2334	303	344	356	177637	201165
<b>D2:</b> 20% CV + 80% C	5,3	2321	267	300	320	174204	195697
<b>D3:</b> 30% CV + 70% C	4,7	2313	195	247	279	160171	179170
<b>D4:</b> 10% CV + 90% AT	4,9	2337	332	367	405	183033	195280
<b>D5:</b> 20% CV + 80% AT	3,8	2321	357	401	452	184413	201967
<b>D6:</b> 30% CV + 70% AT	3,5	2310	353	395	448	183536	203425

Fuente: [24].

Acorde con la tabla 3, el diseño patrón (DP) sin ningún porcentaje de adición, muestra mayor fluidez respecto a las otras mezclas con agua constante y sustitución de ceniza, por ende, a mayor cantidad de ceniza menor será su fluidez. Este mismo patrón presenta la mayor densidad, la cual va disminuyendo con el aumento del porcentaje adicionado de ceniza volante. A la edad de 28 y 56 días la resistencia a la compresión en las mezclas (D1, D2, D3, D4, D5, D6) es superior al diseño patrón cuando estas se reemplazan en un 10% de ceniza volante por cada uno de sus materiales.

Los diseños (D1 y D2) con 10% y 20% de ceniza volante en relev del cemento aumentan su módulo de elasticidad con respecto al diseño patrón (DP) excepto el diseño con 30% de ceniza volante (D3). Mientras que todas las mezclas (D4, D5 y D6) con adiciones de cenizas (CV) en reemplazo de arena triturada (AT) presentan un módulo de elasticidad mayor al diseño patrón [24] [34] [36-37]

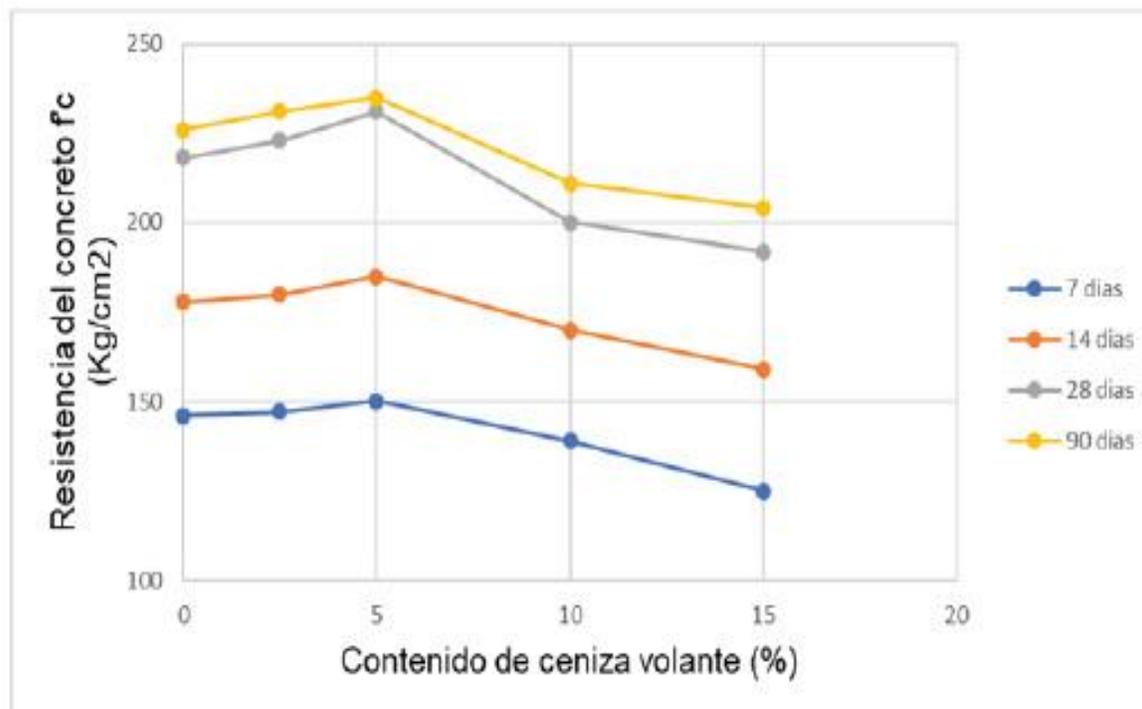


Figura 3. Resistencia del concreto según porcentaje de ceniza volante, [36].

Esta resistencia con base a la función del concreto en consideración a la ceniza volante y según los días que transcurren aumenta hasta un punto máximo y disminuye a medida que la ceniza aumenta y así se refleja en la figura 02, El porcentaje óptimo está dentro del rango aproximado del 3% al 6% de contenido de ceniza, siendo un valor medio el más óptimo. [36].

En la puesta en obra del hormigón con cenizas se deben tener en cuenta las mismas reglas de buena práctica que se manejan para el caso de hormigones sin ceniza, enfocándose en aspectos como el curado y desencofrado. El curado del hormigón con cenizas solicita una atención especial. Debe iniciarse inmediatamente y prolongarse durante un tiempo mayor al previsto para el hormigón sin adición. Referente al desencofrado es necesario estudiar cómo afectan a las resistencias mecánicas a corto plazo, la sustitución de una determinada cantidad de cemento por cenizas para poder determinar el plazo del desencofrado [22]. [37] [38]

## Conclusiones

Para el trabajo de investigación realizado se obtuvieron las siguientes conclusiones. El comportamiento de la combinación de fibras metálicas con el concreto es bastante positivo con respecto a un concreto convencional, debido a que estas proporcionan una gran resistencia a la tracción, al agrietamiento lo que hace que los elementos estructurales de las edificaciones sean más duraderos y tengan buena ductilidad.

De la misma manera Según los estudios que se han analizado ha mostrado que las fibras metálicas es un material que ayuda a evitar el desprendimiento del concreto en los anillos

estructurales de túneles debido al soporte que le da este material al reducir las fuerzas que actúan sobre él. También el reemplazo de la ceniza por cemento disminuye la masa unitaria de las mezclas en menor proporción que la adición de ceniza por arena triturada. Por consiguiente, las cenizas volantes favorecen a la reducción de la masa por metro cúbico de concreto fresco, haciéndolas más livianas en comparación con el concreto patrón.

En cuanto la utilización de la fibra de vidrio en la mezcla de concreto es una buena alternativa ya que se comporta de manera adecuada y reduce significativamente las condiciones del concreto que lo afectan. Manifiesta un desarrollo favorable refiriéndose a su comportamiento, La fibra de vidrio, proporciona una buena alternativa también en el aspecto económico ya que su precio es bastante reducido comparado con las condiciones que aporta.

## Referencias

- [1] B. González-Fonteboa, S. Seara-Paz, J. de Brito, I. González-Taboada, F. Martínez-Abella and R. Vasco-Silva, "Recycled concrete with coarse recycled aggregate. An overview and analysis", *Materiales de Construcción*, vol. 68, no. 330, 2018. doi: 10.3989/mc.2018.13317
- [2] Y. Haitao and T. Shizhu, "Preparation and properties of high-strength recycled concrete in cold areas", *Materiales de Construcción*, vol. 65, no. 318, 2015. doi: 10.3989/mc.2015.03214
- [3] J. Osorio Saraz, F. Varon Aristizabal y J. Herrera Mejia, "Comportamiento Mecánico del concreto reforzado con fibra de bagazo de caña de azúcar", *DYNA*, vol. 74, no. 153, pp. 69-79, 2007
- [4] D. Carro-López, B. González-Fonteboa, J. de Brito, F. Martínez-Abella, I. González-Taboada, and P. Silva, "Study of the rheology of self-compacting concrete with fine recycled concrete aggregates", *Construction and Building Materials*, vol. 96, pp. 491–501, 2015. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.091
- [5] S. Kox, G. Vanroelen, J. Van Herck, H. de Krem, B. Vandoren, "Experimental evaluation of the high-grade properties of recycled concrete aggregates and their application in concrete road pavement construction", *Case Studies in Construction Materials*, vol. 11, 2019, doi: 0.1016/j.cscm.2019.e00282
- [6] F. Kazemian, H. Rooholamini and A. Hassani, "Mechanical and fracture properties of concrete containing treated and untreated recycled concrete aggregates". *Construction and Building Materials*, 209, 690–700, 2019. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.179
- [7] N. Arabi, H. Meftah, H. Amara, O. Kebaïli and L. Berredjem, "Valorization of recycled materials in development of self-compacting concrete: Mixing recycled concrete aggregates – Windshield waste glass aggregates", *Construction and Building Materials*, vol. 209, pp. 364–376, 2019, doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.03.024
- [8] H. El-Hassan, P. Kianmehr, and S. Zouaoui, "Properties of pervious concrete incorporating recycled concrete aggregates and slag", *Construction and Building Materials*, vol. 212, pp. 164–175, 2019. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.325
- [9] J. Thomas, N.N. Thaickavil, and P.M. Wilson, "Strength and durability of concrete containing recycled concrete aggregates", *Journal of Building*

- Engineering*, vol. 19, pp. 349–365, 2018. doi: 10.1016/j.job.2018.05.007
- [10] M. Del Rio Merino, F. Hernández Olivares, “Escayola reforzada por la acción sinérgica entre aditivos del hormigón (superfluidificantes, fluidificantes y aireantes-plasticantes) y fibras de vidrio E”, *Mater Construcc*, vol. 50, no. 260, pp. 27-38, 2000
- [11] S. Arango y J. Zapata, “Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas de mezclas de concreto”, Tesis de Grado, Universidad Eafit, Medellín, Colombia, 2013
- [12] A. Muñoz, y J. Carolina, “Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio”, Tesis de grado, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2007
- [13] I. Vásquez, “Comportamiento mecánico del concreto con adición de fibra de acero para una resistencia de 500 Kg/cm<sup>2</sup>”, tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, 2015
- [14] A. Barros Llerena, J. Caballero y V. Zaldo, “Aplicaciones del cemento reforzado con fibra de vidrio (GRC)”, *Informes de la Construcción*, vol. 33, no. 333-334-335-336, pp. 73-81, 1981. doi: 10.3989/ic.1981.v33.i333-334-335-336.2196
- [15] W.J. Lao Odicio, “Utilización de fibras Metálicas para la construcción de concreto reforzado en la ciudad de Pucallpa”, trabajo de grado, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2007
- [16] A.N. Carro y J.L.R. Juárez, “Comportamiento de losas apoyadas en suelo utilizando concreto reforzado con fibras metálicas”, *Revista Ingeniería*, vol. 20, no. 1-2, pp. 67-80, 2010, doi: 10.15517/RING.V2011-2.7266
- [17] D. Carro-López, B. González-Fonteboa, J. de Brito, F. Martínez-Abella, I. González-Taboada and P. Silva, “Study of the rheology of self-compacting concrete with fine recycled concrete aggregates”, *Construction and Building Materials*, vol. 96, pp. 491–501, 2015
- [18] C. Zanuy, L. Albajar, and P. de la Fuente, “The fatigue process of concrete and its structural influence”, *Materiales de Construcción*, vol. 61, no. 303, pp. 385-399, 2011
- [19] S. Kou, and C. Poon, “Effect of the quality of parent concrete on the properties of high performance recycled aggregate concrete”, *Construction and Building Materials*, vol. 77, pp. 501–508, 2015
- [20] R. Robayo, P. Matthey S. Del Vasto, “Comportamiento mecánico de un concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y reforzado con fibras de acero”, *Revista de la construcción*, vol. 12, no. 2, pp. 139-151, 2013
- [21] J. Calleja, “Cenizas, cementos y hormigones con cenizas”, *Materiales de Construcción*, no. 187, pp-3-38, 1982
- [22] J. Rodríguez Santiago, “El empleo de las cenizas volantes en la fabricación de los hormigones”, *Revista de obras públicas*, pp. 663-676, 1988
- [23] P.L. Valdez-Tamez, A. Durán-Herrera, G. Fajardo-San-Miguel, C.A. Juárez-Alvarado, “Influencia de la carbonatación en morteros de cemento Portland y ceniza volante”, *RIIT*, vol. X, no. 1, pp. 31-41, 2009
- [24] L.E. Santaella Valencia, R. Salamanca Correa, “Comportamiento del concreto con bajos porcentajes de ceniza volante

- (termopaipa IV) y agua constante, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, No. 14, 2004
- [25] J. Cárdenas Pulido, J. Lizarazo-Marriaga, W. Aperador-Chaparro, "comportamiento mecánico de sistemas cementantes binarios (cemento portland - ceniza volante - escoria de alto horno)", *Rev. Latinam. Metal. Mat.*, vol. 36, no. 1, pp. 78-98, 2016
- [26] N. Shatarat, A.A. Alhaq, H. Katkhuda and M.A. Jaber, "Investigation of axial compressive behavior of reinforced concrete columns using Recycled Coarse Aggregate and Recycled Asphalt Pavement aggregate", *Construction and Building Materials*, vol. 217, pp. 384-393, 2019
- [27] R.B. Singh and B. Singh, "Rheological behaviour of different grades of self-compacting concrete containing recycled aggregates", *Construction and Building Materials*, vol. 161, pp. 354-364, 2018
- [28] S.P. Yap, P.Z.C. Chen, Y. Goh, H.A. Ibrahim, K.H. Mo and C.W. Yuen, "Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate and recycled concrete aggregates", *Journal of Cleaner Production*, vol. 181, pp. 155-165, 2018
- [29] Y. Zaetang, V. Sata, A. Wongsang and P. Chindaprasirt, "Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate", *Construction and Building Materials*, vol. 111, pp. 15-21, 2016
- [30] F. Puertas, T. Amat, y T. Vásquez, "Comportamiento de morteros de cementos alcalinos reforzados con fibras acrílicas y de polipropileno", *Mater. Construcc.*, vol. 50, no. 259, pp. 69-84, 2000
- [31] D. Ruiz-Valencia, F. Rodríguez, M. León-Neira, "Study of fatigue performance of a concrete mix for pavements reinforced with steel fibers", *Revista Ingeniería de la construcción*, vol. 32, no.2, 2017
- [32] G. Plizzari, L. Cominoli, G. Perri, R. Perri, "Revestimientos de túneles en concreto reforzado con fibras metálicas: Principios-Experiencias-Perspectivas", 2004. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Cominoli-Luca/publication/266073747\\_Revestimientos\\_de\\_tuneles\\_en\\_concreto\\_reforzado\\_con\\_fibras\\_metalicas\\_Principios\\_-\\_Experiencias\\_-\\_Perspectivas/links/569f443108ae21a5642552db/Revestimientos-de-tuneles-en-concreto-reforzado-con-fibras-metalicas-Principios-Experiencias-Perspectivas.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Cominoli-Luca/publication/266073747_Revestimientos_de_tuneles_en_concreto_reforzado_con_fibras_metalicas_Principios_-_Experiencias_-_Perspectivas/links/569f443108ae21a5642552db/Revestimientos-de-tuneles-en-concreto-reforzado-con-fibras-metalicas-Principios-Experiencias-Perspectivas.pdf)
- [33] O. Hurtado-Figueroa, J.A. Cardenas-Gutierrez, and J.P. Rojas-Suarez, "Performance of Nature Mortar Samples Subject to Compression Strength Tests", *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1126 012041, 2018
- [34] S. Huaquisto Cáceres, G. Belisario Quispe, "Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento", *Revista de investigaciones Altoandinas*, vol. 20, no. 2, pp. 225-234, 2018
- [35] J. Sanchez-Molina, D. C. Alvarez-Rozo, y J. F. Gelves-Díaz, "Cisca de Café como posible material sustituto de arcilla en la fabricación de materiales cerámicos de construcción en el área metropolitana de Cúcuta", *Respuestas*, vol. 23, n.º 1, pp. 27-31, abr. 2018.
- [36] A.F. Ruiz, C.J. Peñaranda, G. Fuentes y M.D. Semprun, "Análisis comparativo de resultados en el uso de la ceniza de

bagazo de caña de azúcar como material sustituyente del cemento portland en el concreto”, *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, vol. 11, no. 2, pp. 8-17, 2020

- [37] S. Celis-Vergel, “Propuesta para el diseño de cemento alternativo basado en residuos de ladrillo de arcilla roja activados alcalinamente”, *Sostenibilidad, Tecnología Y Humanismo*, vol. 10, no. (1), pp. 34-40, 2019