



FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**INFLUENCIA DE LAS CENIZAS VOLANTES EN LA RESISTENCIA
MECÁNICA A COMPRESIÓN Y TRACCIÓN EN EL CONCRETO**

Autores

Lima Mejia, Luis Antonio (1533258)

Ulloa Urizar, Juan Felix (1610624)

Docentes

Olivos Lara, Omar Eduardo

Samaniego Orellana, Luis Jesús

Para obtener el grado de bachiller en: **Ingeniería Civil**

Lima, Perú

Agosto - 2020

Índice General

Resumen.....	1
1. Introducción.....	2
2. Métodos.....	2
3. Análisis y discusión.....	5
3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA	5
3.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	6
3.3 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....	11
4. Conclusiones.....	14
5. Referencias bibliográficas	15

Resumen

Las cenizas volantes están formadas principalmente por dióxido de silicio (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y trióxido de dihierro (Fe_2O_3), ya que provienen de la combustión del carbón pulverizado. Dentro de sus propiedades química en común con el cemento se encuentra las propiedades hidráulicas y puzolánicas, es decir, la capacidad de adherirse a otros componentes y compactarse. Debido a su composición química las cenizas volantes han sido utilizadas con mucha frecuencia para la obtención de un mejor concreto. Asimismo, dentro del sector construcción se han utilizado distintos materiales que sustituyen o se mezclan junto con el cemento Portland tradicional, con el objetivo de obtener un concreto con mayores beneficios y menores costos.

Mediante el presente artículo de revisión, basado en la búsqueda de artículos científicos, se comprobó que se han realizado distintos ensayos donde se han empleado las cenizas volantes y variaciones de las mismas para analizar los resultados que producen sus propiedades físicas y mecánicas junto al concreto; entre ellos, la resistencia a compresión y tracción. Debido a que dichas propiedades mecánicas son importantes para que el concreto no se vea afectado por cargas externas, es decir, la fuerza del viento o las vibraciones en un sismo, altas temperaturas y el clima.

Dichas investigaciones reportan que mediante las variaciones de las cenizas volantes hubo altos valores de resistencia, tanto a compresión como a tracción. Sin embargo, el uso de las cenizas volantes puras, es decir, sin variaciones, presenta una mayor permeabilidad a costo de presentar una baja resistencia. Adicionalmente, el presente artículo tiene por objetivo el aportar información relevante del uso de las cenizas volantes y sus múltiples beneficios en el sector de la construcción.

Palabras Clave

Palabras clave: Cenizas volantes, resistencia a compresión, resistencia a tracción, concreto.

1. Introducción

Las cenizas se dan origen por medio de la incineración de carbón pulverizado. El producto de esa combustión es de dos tipos, cenizas de hogar y cenizas volantes (CV). Estas últimas son residuos volátiles que son expulsados por la chimenea de la caldera (Posada Bustamante, 2012).

Las CV tienen múltiples variaciones o subclasificaciones dentro de las más importantes o más estudiadas encontramos las CV clase F y C. Además, dichas variaciones de las CV tienen una mayor predominancia en la resistencia del concreto debido a que presentan propiedades hidráulicas y puzolánicas mayores a la versión pura de las CV (Thomas, 2007).

Las CV están formadas principalmente por dióxido de silicio (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y trióxido de hierro (Fe_2O_3), ya que provienen de la combustión del carbón pulverizado. Estas se usan desde hace muchísimo tiempo en la elaboración de materiales cementantes (Payá, 2012). Una de las razones porque las CV son usadas con regularidad en el rublo de construcción es su estructuración química, ya sea como agregado para el concreto o para sustituirlo de forma parcial o total.

Se ha visto que en el Perú es muy atípico el uso de otros materiales para la construcción que no sean el cemento y sus agregados. Esto se debe a una falta de conocimiento en el uso de otros materiales. Sin embargo, en Asia, Europa y Norteamérica se analizan distintos

2. Métodos

Para la búsqueda de las fuentes bibliográficas se utilizaron varios repositorios de artículos de investigación. Se realizó una búsqueda bibliográfica en Scopus, SciELO y ScienceDirect, utilizando dos tipos de fuentes bibliográficas: artículos y artículos de revisión. Las palabras claves empleadas en la búsqueda fueron: cenizas volantes & compresión/ cenizas volantes & tracción/ fly ash & compressive strength/ fly ash & tensile strength.

Se seleccionaron un total de 37 artículos que cumplen con nuestro criterio de búsqueda para la elaboración del presente estudio de investigación. Asimismo, las fuentes de investigación seleccionadas tienen características esenciales correlacionadas al tema, sobre las propiedades de las cenizas volantes, sobre el concreto, la influencia que tiene las cenizas en el sector construcción, tablas de ensayos de compresión y tracción en el concreto utilizando las cenizas volantes o beneficios que brinde las cenizas volantes al concreto con respecto a sus propiedades mecánicas.

Los artículos que conforman el presente estudio están publicados en 23 revistas de investigación, dos de las cuales tienen origen europeo y contienen al 38% (14/37) de los artículos, ELSEIVER y Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Dichas revistas tienen un factor de impacto de 3.481 y 3.164, respectivamente. Además, el 50% (7/14) de los artículos publicados en ELSEIVER pertenecen al cuartil uno (Q1), mientras el otro 50% (7/14) de los artículos publicados en MDPI están dentro de los cuartiles: Q1 y cuartil 2 (Q2). Por otra parte, de las 21 revistas restantes, nueve son de

Latinoamérica, cuyos artículos pertenecen al cuartil tres (Q3); las otras 12 revistas provienen de: Estados Unidos, Europa y Asia, donde cuatro artículos se encuentran en el Q1, cuatro en el Q2 y seis en el Q3. (Figura 1)



Figura 1: Número de artículos según su cuartil.

Con relación a los artículos involucrados en el estudio sobre la resistencia a la compresión, se clasifican o dividen según las propiedades físicas y mecánicas evaluadas; es decir; cinco artículos mencionan el factor de relación agua- cemento (W/C), 16 artículos al factor de etapas del concreto, 21 artículos al porcentaje de CV,

cinco artículos sobre la temperatura en el curado y un artículo menciona a los complementarios. (Figura 2)

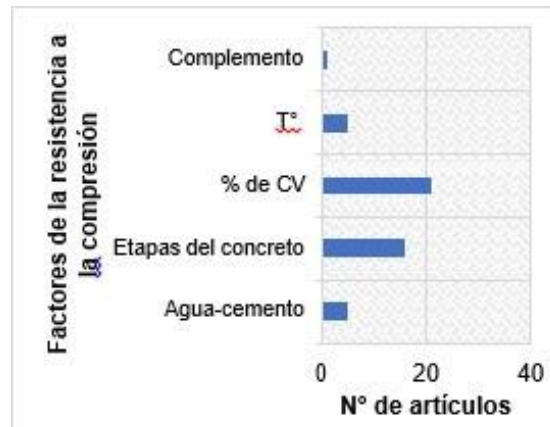


Figura 2: Factores de la resistencia a la compresión con relación al número de artículos científicos.

Por otra parte, los artículos involucrados en el estudio sobre resistencia a la tracción, como el porcentaje, se clasifican o dividen de la siguiente manera; nueve artículos mencionan al factor de porcentaje de CV y tres artículos sobre el factor de relación agua-cemento y temperatura en el curado. (Figura 3)

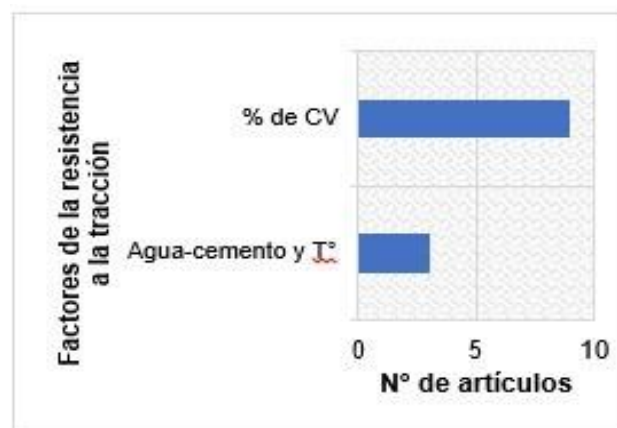


Figura 3: Factores de la resistencia a la tracción con relación al número de artículos científicos.

3. Análisis y discusión

3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Las CV tienen una composición química que está conformado principalmente por SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃. Además, contiene otros metales, pero en una menor proporción. La cantidad total de los tres componentes principales que conforman las CV, determinaran de que clase son, es decir, las CV se clasifican en clase F y clase C, dichas clases tiene muchas similitudes en cuanto a sus características físicas. Sin embargo, se requiere de un análisis de composición química para distinguir ambas clases.

Las CV de clase C contienen: SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃, en una cantidad mayor o igual al 50%, además contiene un porcentaje entre el 10 - 30% de óxido de calcio o cal (CaO), dicha clase de CV presenta una alta reactividad a casi todos los constituyentes y es normalmente producida a partir de lignito. (Figura 4) Por otro parte, las CV de clase F contiene principalmente: SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃, la suma de estos tres componentes está presente en una cantidad mayor o igual al 70% y a diferencia de la clase C, contiene un porcentaje menor al 10% de CaO. La clase F es normalmente elaborada por la combustión de antracita. (Sinsiri, Teeramit, Jaturapitakkul, & Kiattikomol, 2006), (Thomas, 2007), (Rashad, 2015), (Aissa Bouaissi et al., 2016), (Bautista, Díaz, & Martínez, 2017), (Huaquisto & Belizario, 2018) y (Nedeljković, Li, & Ye, 2018).

Clase C	Clase F
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ ≥ 50%	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ ≥ 70%
CaO ≥ 10% - 30%	CaO < 10%

Figura 4: Composición química de las CV clase C y F.

Además, Thomas (2007) menciona que las CV son un silicato de aluminio amorfo finamente fragmentado con porciones diferentes de calcio, que al combinarse con cemento portland y agua, reaccionará con el CaO suelto por la hidratación del cemento para producir gel cementante. (Figura 5) También menciona que algunas CV con mayores proporciones de calcio mostrarán un comportamiento cementante al reaccionar con el agua para producir hidratos en falta de una fuente de CaO. Por ello, Aissa Bouaissi et al. (2016) y Nedeljković et al. (2018), analizaron la importancia de las CV clase F en los materiales con base de cemento Pórtland ordinario y en los

aglutinantes activados por álcalis debido al alto contenido de fases de silicato de aluminio amorfo y al bajo contenido de CaO.

$2C_3S + 7H \rightarrow$	Silicato cálcico
$C_3S_2H_4 + 3CH$	hidratado e hidróxido cálcico
$3CH + CV \rightarrow$	Silicato cálcico
$C_xS_yH_z$	hidratado o gel cementante

Figura 5: Reacciones químicas del concreto con adiciones de CV.

3.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Siendo una propiedad mecánica esencial del concreto, donde se evalúa la suficiencia de aguantar carga por una unidad de área. Se examinó que la resistencia a la compresión del concreto con CV, puras o algún derivado de las mismas, presenta ciertos factores que podrían afectar en la variación de resultados en dicha propiedad mecánica.

Entre ellos está la relación agua-cemento, en las cuales se han obtenido resultados positivos, es decir, valores altos de resistencia a la compresión, los cuáles se obtuvieron mediante el uso de diferentes proporciones de agua-cemento en un concreto con CV clase F (Dash, Patro, & Rath, 2016). Sin embargo, otras investigaciones donde se emplearon concreto con cenizas volantes activadas por álcalis y cenizas en estado puro reportaron un decrecimiento en la resistencia a la compresión debido a la excesiva hidratación que requería las mezclas (Ding, Dai, & Shi, 2016), (Lamb & Ramírez, 2008), (Foti, Lerna, Sabbà, & Vacca, 2019) y (Karaşin & Doğruyol, 2014). Ello podría deberse a la presencia de los álcalis, ya que requieren un mayor consumo de agua en la mezcla, por lo tanto, genera un desbalance entre los componentes. Además, se sabe que las CV clase F tiene mayores propiedades puzolánicas en comparación con las CV pura, ello puede deberse a que las primeras tienen una baja proporción de calcio en su composición química que las CV típicas.

Por otra parte, en las investigaciones se reporta el uso de cemento Portland ordinario, con mezclas analizadas a 28 días, a distintos rangos de temperatura de curado y con un 20% de CV en la mezcla. Ding, Dai y Shi (2016), reportaron como factor idóneo 0.18 en la relación agua- cemento, para ello utilizaron cemento con CV clase F

activadas por álcalis a una temperatura de curado entre 30°- 90°. (Figura 6)

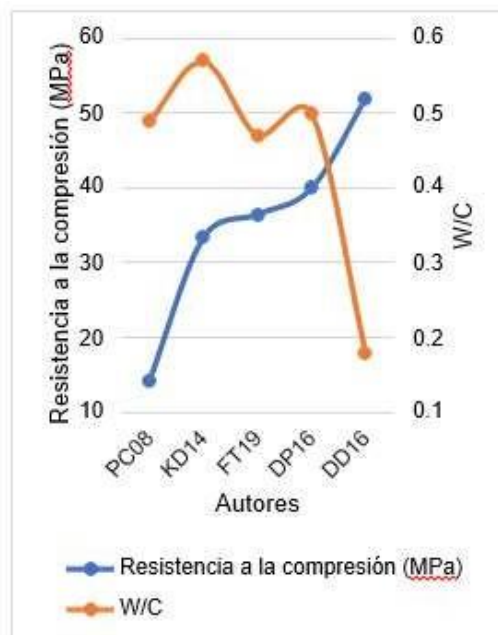


Figura 6: Relación de la resistencia a la compresión respecto a la razón agua-cemento a 28 días y con un 20% de CV en la mezcla. PC08: Lamb & Ramírez, L.; KD14: Karaşin & Doğruyol; DD16: Ding, Dai, & Shi; DP16: Dash, Patro, & Rath; FT19: Foti, Lerna, Sabbà, & Vacca. MPa: Mega Pascal, W/C: Relación agua-cemento.

Otro factor son las etapas del concreto o tiempo de curado, se ha conocido que las CV tienen un efecto negativo a edades tempranas del concreto porque presenta una baja resistencia inicial (Wu, Shi, & He, 2017). Otra variante donde se presencia una pérdida de la resistencia a la compresión es el concreto con CV activadas con álcalis que a una etapa temprana de mezcla necesita altas temperaturas para poder realizar el curado y poder llegar una mejor resistencia (Ding et al., 2016), (Cárdenas Pulido, Lizarazo-Marriaga, & Aperador Chaparro, 2016) y (Stuart, Anderson, & Cady, 1980). No obstante, en edades posteriores, de 14, 28, 90 y 150 días, se ha dado una notable mejora a la resistencia a la compresión (Wu et al., 2017), (Santaella Valencia & Salamanca Correa, 2004), (Bautista, Díaz, & Martínez, 2017), (Silva & Delvasto, 2014), (Huaquisto & Belizario, 2018), (Babu & Neeraja, 2017), (Glinicki, Józwiak-Niedźwiedzka, Gibas, & Dabrowski, 2016), (Thomas, 2007), (Molina, 2008), (Rashad, 2015), (Raju & Dharmar, 2016), (Sinsiri, Teeremit, Jaturapitakkul, & Kiattikomol, 2006) y (Mohamed, 2018). Lo anterior puede estar relacionado con que a una mayor cantidad de días de la etapa de la mezcla del concreto hay un mayor

incremento de la resistencia a la compresión. Sin embargo, la composición química de las CV con algún otro componente pudo haber afectado los resultados de resistencia a la compresión.

De esta forma, se puede examinar la alteración de valores en los artículos revisados, los autores utilizan muestras con cemento Portland ordinario, con un 20% de CV en la mezcla, con diferentes rangos de temperatura de curado y a diferentes relaciones de agua-cemento. Rashad (2015), consiguió un valor prominente de resistencia a la compresión (80.86 Mpa) comparado a las demás investigaciones, mediante el uso de CV de alto volumen de clase F, con una razón agua-cemento de 0.34 y una temperatura de curado de 38°C. (Figura 7)

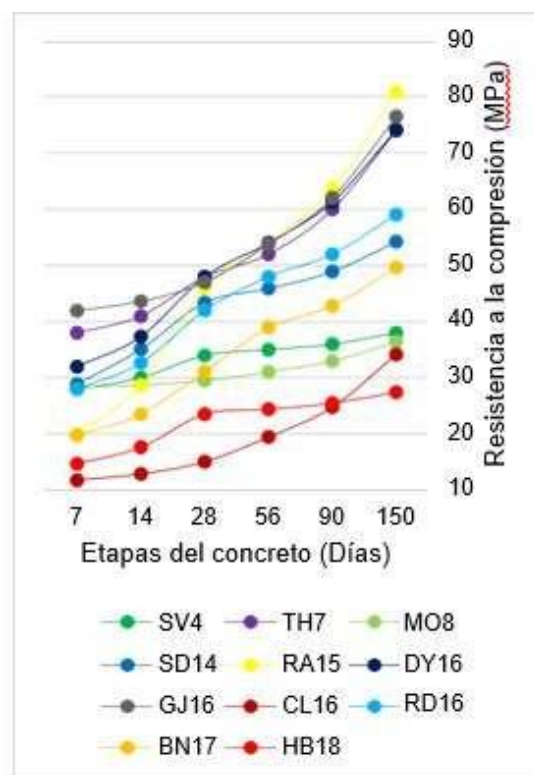


Figura 7: Relación de la resistencia a la compresión respecto a las etapas del concreto con 20% de CV en la mezcla. SV4: Santaella Valencia & Salamanca Correa; TH7: Thomas; MO8: Molina; SD14: Silva & Delvasto; RA15: Rashad; DY16: Ding, Dai, & Shi; GJ 16: Glinicki, Józwiak- Niedźwiedzka, Gibas & Dabrowski; CL16: Cárdenas, Lizarazo, & Aperador; RD16: Raju & Dharmar; BN17: Babu & Neeraja; HB18: Huaquisto & Belizario. MPa: Mega Pascal.

Por otra parte, la cantidad de incorporación de CV es otro factor evaluado, ya sean incorporadas en estado puro o variantes de las mismas dentro de la mezcla del concreto. Se han reportado casos favorables donde hubo resultados de resistencia a la compresión que superaron al diseño base, utilizando una constante de

incorporación de agregados finos o un porcentaje constante de agua en la mezcla (Santaella Valencia & Salamanca Correa, 2004), (Huaquisto & Belizario, 2018), (Mohamed, 2018), (Aissa Bouaissi et al., 2016), (Sivakumar & Kameshwari, 2015), (Valdez, Durán, Fajardo, & Juárez, 2009), (Fang, Ho, Tu, & Zhang, 2018) y (Golewski, 2017). Sin embargo, se han reportado investigaciones donde ponen como caso común la disminución de la resistencia a la compresión debido al incremento de contenido de CV dentro de la mezcla de concreto (Wu et al., 2017), (Rashad, 2015), (Babu & Neeraja, 2017), (Cárdenas Pulido et al., 2016), (Stuart et al., 1980), (Glinicki et al., 2016), (Thomas, 2007), (Peng, Yin, & Song, 2018), (Kim et al., 2016), (Nasution, Kurniawan, & Thamrin, 2019), (Nedeljković, Li, & Ye, 2018), (Sherir, Hossain, & Lachemi, 2015), (Valderrama, Torres, & Mejía, 2011) y (Golewski, 2017). Con relación a lo antes mencionado, dichas diferencias pueden deberse a la misma composición química de las CV, las cuales requieren una mayor hidratación debido a la fineza que contienen y a su vez para poder obtener la reacción puzolánica necesaria para modificar dicha fineza. Se ha reportado que el incluir un porcentaje mayor al 5% de CV a la mezcla del concreto ha ocasionado que la resistencia a la compresión disminuya.

Por lo tanto, mediante el análisis de diversos artículos revisados, en los estudios donde se empleó el cemento Portland ordinario, con relaciones de agua-cemento variadas; con temperaturas de curado distintas y en mezclas a 28 días, se puede observar una tendencia de que el porcentaje óptimo de CV es del 5%. No obstante, los autores: Mohamed (2018) y Peng, Yin y Song (2018), presentan diferencias respecto a dicha tendencia. Mohamed (2018) presentó un porcentaje óptimos de CV de 20%, mientras que Peng, Yin y Song (2018) no presenta cambios significativos en el aumento del porcentaje de CV en la mezcla. Vale la pena resaltar que ambos estudios utilizaron una relación agua- cemento parecida. Sin embargo, Mohamed empleo CV de clase C mientras que Peng, Yin y Song utilizaron CV de clase F. (Figura 8)

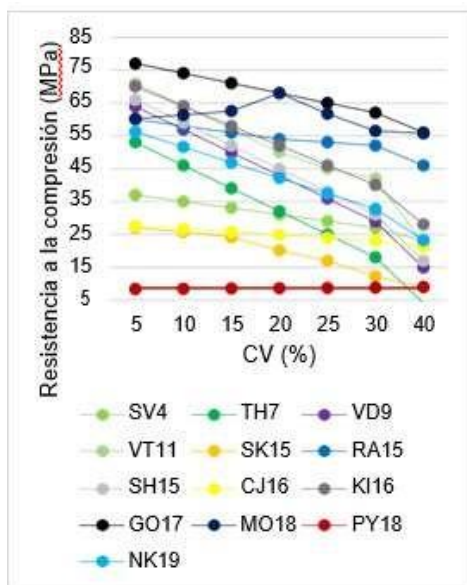


Figura 8: Relación de la resistencia a la compresión respecto al porcentaje de CV en ensayos a 28 días. SV4: Santaella Valencia & Salamanca Correa; TH7: Thomas; VD9: Valdez, Durán, Fajardo, & Juárez; VT11: Valderrama, Torres, & Mejía; SK15: Sivakumar & Kameshwari; RA15: Rashad; SH15: Sherir, Hossain, & Lachemi; CJ16: Cárdenas Pulido et al.; KI16: Kim et al.; GO17: Golewski; MO18: Mohamed; PY18: Peng, Yin, & Song; NK19: Nasution, Kurniawan, & Thamrin. MPa: Mega Pascal.

Finalmente, por la temperatura en el curado se han empleado investigaciones que relacionan este factor en el crecimiento de la resistencia a la compresión, Wu y colaboradores en el 2017, utilizaron agua caliente y vapor en el curado para aumentar la resistencia en la mezcla. Además, otros autores implementaron el uso de tener un rango de temperaturas establecidas a una cantidad de horas donde se puede alcanzar una mejoría en la resistencia a la compresión (Ding et al., 2016), (Ahmed, Jaf, & Yaseen, 2020) y (Huaquisto & Belizario, 2018). No obstante, hay estudios que indican que un excesivo tiempo de curado o el uso de altas temperaturas, no es lo más adecuado para tener una mejor resistencia a la compresión (Castel, Foster, Ng, Sanjayan, & Gilbert, 2016). Debido a que, para obtener una pronta activación de los componentes de las CV dentro de la mezcla se utilizan temperaturas de 20°C, 30°C o 50°C en el curado para ganar una resistencia inicial. Sin embargo, el uso de altas temperaturas en el curado ocasiona que la resistencia a la compresión tienda al aumento. Por otra parte, se puede observar que el valor promedio de la temperatura usada en el curado es de 90°C, esta temperatura podría ser la ideal para que el concreto con CV tenga un mejor desarrollo de su resistencia a la compresión en un

breve lapso de tiempo. Ya que a largo plazo, aproximadamente en un año, estas resistencias se van a equilibrar. Teniendo en cuenta que la relación agua-cemento de cada autor varia; tomando valores de 0.18 (DI16), 0.25 (AJ20), 0.3 (CF16). Además,

usando cemento Portland ordinario, con mezclas a 28 días y con un 20% de CV dentro de la mezcla. Ding, Dai y Shi (2016), reportaron valores altos de resistencia a la compresión debido al uso de CV clase F activadas por álcalis con temperaturas de curado de 30°C a 90°C y una relación agua-cemento de 0.18. (Figura 9)

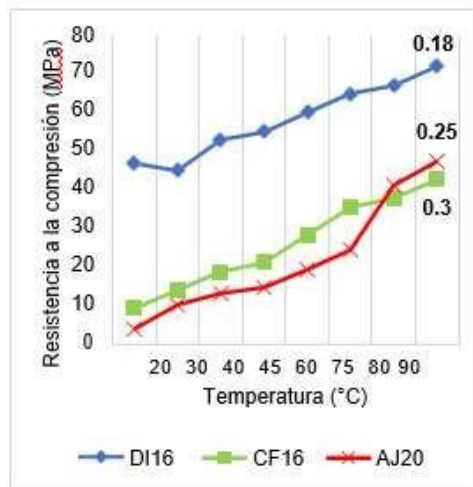


Figura 9: Relación de la resistencia a la compresión respecto a la temperatura del curado en mezclas a 28 días y con un 20% de CV en la mezcla. DI16: Ding, Dai, & Shi; CF16: Castel, Foster, Ng, Sanjayan, & Gilbert; AJ20: Ahmed, Jaf, & Yaseen. MPa: Mega Pascal.

Otro punto a tener en cuenta es el uso de las CV como complemento de otro componente. Se ha reportado el uso de mezclas de CV con escoria de cobre obteniendo una mejoría en la resistencia a la compresión (Mahendran & Arunachalam, 2016).

3.3 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Siendo otra característica mecánica principal del concreto, donde se evalúa la capacidad de soportar esfuerzos antes de romperse. Para la resistencia a la tracción, se observó que algunas cualidades podrían afectar su desempeño mecánico, debido a la variación de métodos al momento de fabricar el concreto con CV.

Wu y colaboradores en el 2017, determinaron que existía un contenido óptimo de escoria de alto horno granulada molida (40%) y de CV (20%) para las propiedades de tracción del concreto de ultra alto rendimiento. Cuando se superaban los valores de la

proporción, se observaba una caída en la resistencia a la tracción y en la dureza. Dichos resultados se producían siempre y cuando se efectuaba el curado con agua caliente a 60°C y a 80°C. Asimismo, hubo otras investigaciones donde se relacionó la reducción de la resistencia a la tracción con el incremento de la proporción de la CV dentro de la mezcla del concreto, es decir, como reemplazo del cemento o de sus agregados. Estos incrementos de los valores de proporción de las CV variaron entre 40% en adelante (Rashad, 2015) y (Raju & Dharmar, 2016).

Por otra parte, Cárdenas y colaboradores en el 2016; realizaron múltiples experimentos con CV, obteniendo un resultado que difiere en cuanto a la composición del concreto que conlleva cemento, CV y otros componentes. Teniendo como resultado que la muestra, la cual tuvo 80% cemento portland, 10% CV y 10% de otros componentes, supero el valor de la resistencia a la tracción con relación a las demás muestras. Además, se resalta que una proporción mayor de cemento respecto a la cantidad de CV en la mezcla, nos da un mejor resultado con respecto a la resistencia a la tracción.

Aunque, Sivakumar y Kameshwari en el 2015, indicaron que se obtiene un incremento en la resistencia a la tracción del cemento cuando se sustituye un 5% de las CV por cemento. Dicho resultado se obtiene en una etapa de la mezcla de 56 días. Sin embargo, Raju y Dharmar (2016), indicaron que la resistencia optima a la tracción del concreto se obtiene cuando se sustituye las CV por el cemento, en un porcentaje que fluctúa entre 5% a 30% de CV. Asimismo, se han reportado casos favorables donde hubo valores de resistencia a la tracción que superaron al diseño patrón, utilizando una constante de incorporación de agregados finos o un porcentaje constante de agua en la mezcla (Fang, Ho, Tu, & Zhang, 2018), (Babu & Neeraja, 2017) y (Thomas, 2007).

No obstante, Dash y colaboradores en el 2016, indicaron que el aumento del porcentaje de sustitución de las CV de clase F incrementaba los valores de la resistencia a la tracción del concreto. En cambio, para la resistencia a la tracción el porcentaje óptimo de CV es disperso en comparación con el de compresión, esto puede deberse a que la reacción de CV- cemento puede ser diferente para la propiedad en tracción.

Con relación a lo antes mencionado, estas variaciones se pueden dar por la composición química de las CV, porque estas requieren mejores condiciones de curado para tener una mejor activación de sus propiedades puzolánicas. Por ello, una mayor cantidad de CV en la mezcla hace que sus propiedades químicas no funcionen correctamente ocasionando que se reduzca la resistencia a la tracción. Por lo tanto, mediante el análisis de diversos artículos revisados, en los estudios donde se empleó

el cemento Portland ordinario, con relaciones de agua-cemento variadas, con temperaturas de curado distintas y en mezclas a 28 días, se observa que coinciden en que el porcentaje óptimo de CV es del 5%. No obstante, Dash y colaboradores (2016) reportaron un incremento de la resistencia a la tracción al incrementar el porcentaje de CV en la mezcla, obteniendo un porcentaje óptimo de 40%. Dicho resultado puede deberse a que utilización CV clase F, pero con diferentes porcentajes de curado: al 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% a diferencia de las otras investigaciones que mantuvieron constante el proceso de curado. (Figura 10)

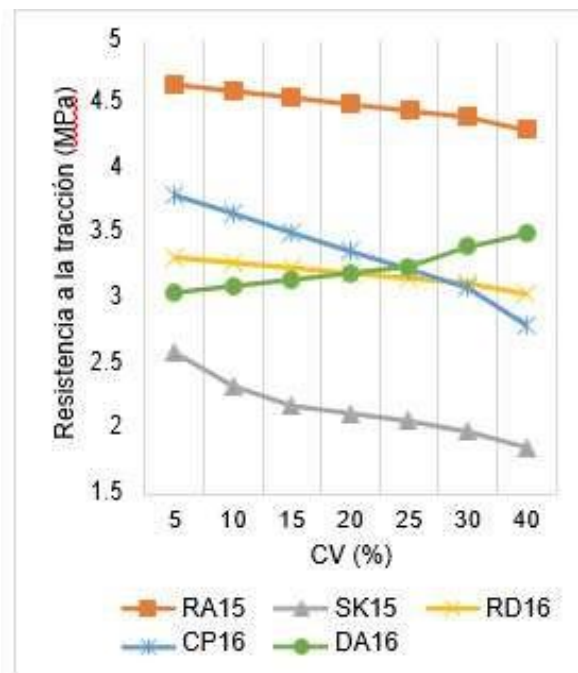


Figura 10: Relación de la resistencia a la tracción respecto al porcentaje de CV en la mezcla a 28 días. TH7: Thomas; RA15: Rashad; SK15: Sivakumar & Kameshwari; RD16: Raju & Dharmar; CP16: Cárdenas Pulido et al.; DA16: Dash et al. MPa: Mega Pascal

Finalmente, por las condiciones de temperatura de curado y la relación agua-cemento, se han empleado investigaciones que relacionan este factor con el incremento en la resistencia a la tracción. Se indicaron que tener una temperatura correcta de curado que varía entre los 30°C - 90°C y un porcentaje constante de agua-cemento, para mezclas de concreto de etapas de 14, 28, 90 y 150 días, ha dado una notable mejora a la resistencia a la tracción (Silva & Delvasto, 2014) y (Ding et al., 2016). Se puede deducir que a mayor tiempo de curado las CV tiene una mejor activación de sus propiedades puzolánicas provocando un aumento en la resistencia.

Además, Foti y colaboradores en el 2019, obtuvieron un decrecimiento en la resistencia a la tracción debido a una excesiva relación agua-cemento que requería la mezcla de concreto con CV pero con un curado a temperatura ambiente. Ello ocasionó un desbalance entre los componentes que conformaron la mezcla. Se puede deducir que, a una mayor proporción de agua en la razón agua-cemento de algunas mezclas, se requiera de una mayor temperatura en el curado.

4. Conclusiones

Según lo reportado en el actual artículo se infiere que la utilización de las CV es beneficioso para el ámbito de la construcción con respecto a sus características mecánicas de resistencia a compresión y tracción, aumentando la resistencia a largo plazo y disminuyendo la permeabilidad del sistema. De esta manera aumentando la durabilidad del concreto. Sin embargo, estos beneficios deben seguir ciertos criterios, como tener una moderada relación agua-cemento, un curado estándar a una temperatura aproximada entre los 20°C y 30°C, o un curado con agua caliente o por vapor, ambos a 90°C, además una cantidad óptima de CV en la mezcla de concreto. Con ello, se maximizará los beneficios técnicos, ambientales y económicos del uso de las CV sin impactar significativamente en el ritmo de construcción o perjudicando a largo plazo el rendimiento del producto final.

Según lo observado en los distintos factores que repercuten en la resistencia a la compresión y tracción, se concluye lo siguiente:

- La temperatura óptima del curado que influye en la resistencia a la compresión y tracción, a corto plazo (1 – 3 días) es de 90°C, para obtener una mayor resistencia. Sin embargo, a largo plazo (1 año) la resistencia se va a ir equilibrando.
- Se puede apreciar que la resistencia a la compresión y tracción tienen una dosificación óptima del 5% de CV dentro de la mezcla.
- A una mayor cantidad de días de la etapa de la mezcla del concreto hay un mayor desarrollo de la resistencia a la compresión y tracción.
- La razón agua-cemento donde se logra una mayor resistencia a la compresión y tracción fue de 0.18.
- Con relación a las CV típicas, se obtuvieron resistencias máximas a la compresión entre 40 – 76.52MPa, mientras que la resistencia a la tracción fue entre 1.86 – 4.3MPa.
- Con respecto a las CV clase F, se obtuvieron resistencias máximas a la

compresión entre 52 – 80.76MPa, mientras que la resistencia a la tracción fue de 3.5MPa.

- Con respecto a las resistencias mecánicas evaluadas se comprueba que la resistencia a la compresión suele ser mayor que la resistencia a la tracción, manteniendo una tendencia.
- Con relación a las CV y sus tipos, se concluyó que las CV clase F dan mejores resultados para la obtención de un concreto con mejores características.

Finalmente notamos que las CV tienen influencia en la calidad del concreto porque maximiza sus propiedades físicas y mecánicas tal que puedan funcionar como un mejor concreto al ser analizadas en diversos estudios de investigación, en distintos tipos de obras, a distintos momentos de tiempo y temperatura.

Este artículo de revisión pretende aportar en el estudio de CV, siendo el inicio de futuras investigaciones y análisis para continuar con la búsqueda de materiales y aditivos que mejoren las propiedades del concreto.

5. Referencias bibliográficas

Ahmed, H., Jaf, D., & Yaseen, S. (2020). Comparison of the flexural performance and behaviour of fly-ash-based geopolymer concrete beams reinforced with CFRP and GFRP bars. *Hindawi*, 2020, 1-16.

Babu, T., & Neeraja, D. (2017). A experimental study of natural admixture effect on conventional concrete and high volume class F flyash blended concrete. *ELSEVIER*, 2017(6), 2-18.

Bautista, W., Díaz, M., & Martínez, S. (2017). Caracterización de las cenizas volantes de una planta termoeléctrica para su posible uso como aditivo en la fabricación de cemento. 1-12.

Bouaissi, A., Li, L., Abdullah, M., Ahmad, R., Razak, R., & Yahya, Z. (2016). Fly ash as a cementitious material for concrete. *IntechOpen*, 1-18.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.90466>

Cárdenas, J., Lizarazo, J., & Aperador, W. (2016). Comportamiento mecánico de sistemas cementantes ternarios (cemento portland - ceniza volante - escoria de alto horno). *Rev.LatinAm.Metal.Mat*, 36(2), 1-16.
<https://www.rlmm.org>

Castel, A., Foster, S., Sanjayan, T., & Gilbert, R. (2016). Creep and drying shrinkage of a blended slag and low calcium fly ash geopolymer Concrete. *RILEM*, 1619-1628.

Dash, M., Patro, S., & Rath, A. (2016). Sustainable use of industrial- waste as partial replacement of fine aggregate for preparation of concrete. *ELSEVIER*, 484-516.

- Ding, Y., Dai, J., & Shi, C. (2016). Mechanical properties of alkali- activated concrete: A state-of-the- art review. *ELSEVIER*, 1-42.
- Fang, G., Ho, W., Tu, W., & Zhang, M. (2018). Workability and mechanical properties of alkali- activated fly ash-slag concrete cured at ambient temperature. *ELSEVIER*, 476-487.
- Foti, D., Lerna, M., Sabbá, M., & Vacca, V. (2019). Mechanical characteristics and water absorption properties of blast- furnace slag concretes with fly ashes or microsilica additions. *MDPI*, 1-13.
- Glinicki, M., Józwiak-Niedzwiedzka, D., Gibas, K., & Dabrowski, M. (2016). Influence of blended cements with calcareous fly ash on chloride Ion Migration and carbonation resistance of concrete for durable structures. *MDPI*, 1-15.
- Golewski, G. (2017). Generalized fracture toughness and compressive strength of sustainable concrete including low calcium fly ash. *MDPI*, 1-22. <https://doi.org/10.3390/ma10121393>
- Huaquisto, S., & Belizario, G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. 1-10.
- Karasin, A., & Dogruyol, M. (2014). An experimental study on strength and durability for utilization of fly ash in concrete mix. *Hindawi*, 2014, 1-7.
- Kim, J., Park, W., Jang, Y., Kim, S., Kim, S., Nam, Y., Kim, D., & Rokugo, K. (2016). Mechanical properties of energy efficient concretes made with binary, ternary, and quaternary cementitious blends of fly ash, blast furnace slag, and silica fume. *International journal of concrete structures and materials*, 97-108.
- Lamb, C., & Ramírez, M. (2008). Elaboración industrial de bloques de concreto empleando ceniza volante. 1-8.
- Mahendran, K., & Arunachalam, N. (2016). Performance of fly ash and copper slag based geopolymer concrete. *IJST*, 1-6.
- Mohamed, O. (2018). Durability and compressive strength of high cement replacement ratio self- consolidating concrete. *MDPI*, 1- 18.
- Molina, O., Moragues, A., & Gálvez, J. (2008). La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Pórtland en la durabilidad del hormigón: propiedades físicas, difusión del ion cloruro y del dióxido de carbono. *ResearchGate*, 2-7. <https://www.researchgate.net/publication/45315694>
- Nasution, A., Kurniawan, R., & Thamrin, R. (2019). Shear behavior of fly ash reinforced concrete beam without shear reinforcement. *IOP*, 2019, 1-10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/602/1/012104>

- Nedeljkovic, M., Li, Z., & Ye, G. (2018). Setting, strength, and autogenous shrinkage of alkali-activated fly ash and slag pastes: effect of slag content. MDPI, 1-20.
- Ossa, M., & Jorquera, H. (1984). Cementos con cenizas volantes. *Materiales de construcción*, 1-15. <http://materconstrucc.revistas.csic.es>
- Payá, J. (2012). La “transmutación” sostenible de los residuos para nuevas materias primas en el ámbito del concreto. 38-47.
- Peng, H., Yin, J., & Song, W. (2018). Mechanical and hydraulic behaviors of eco-friendly pervious concrete incorporating fly ash and blast furnace slag. MDPI, 1-12.
- Posada, B. (2012). La degradación del concreto armado. *Revista Universidad Eafit*, 30(93), 83-98.
- Raju, S., & Dharmar, B. (2016). Mechanical properties of concrete with copper slag and fly ash by DT and NDT. *PPCE*, 313-322.
- Rashad, A. (2015). A brief on high-volume class F fly ash as cement replacement – A guide for civil engineer. *ELSEVIER*, 278-306.
- Santaella, L., & Salamanca, R. (2004). Comportamiento del concreto con bajos porcentajes de ceniza volante (Termopaipa IV) y agua constante. *CIN*, 1-7.
- Sherir, M., Hossain, K., & Lachemi, M. (2015). Structural performance of polymer fiber reinforced engineered cementitious composites subjected to static and fatigue flexural loading. 1299- 1330.
- Silva, Y., & Delvasto, S. (2014). Concreto autocompactante con diferentes niveles de ceniza volante y escoria de combustión de carbón. *RCM*, 1-9.
- Sinsiri, T., Teerakit, P., Jaturapitakkul, C., & Kiattikomol, K. (2006). Effect of finenesses of fly ash on expansion of mortars in magnesium sulfate. *ScienceAsia*, 63-69. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2006.32.063>
- Sivakumar, S., & Kameshwari, B. (2015). Influence of fly ash, bottom ash, and light expanded clay aggregate on concrete. *Hindawi*, 25, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2015/849274>
- Stuart, K., Anderson, D., & Cady, P. (1980). Compressive strength studies on portland cement mortars containing fly ash and superplasticizer. 823-832.
- Thomas, M. (2007). Optimizing the use of fly ash in concrete. *PCA*, 1-24.

Valderrama, C., Torres, J., & Mejía, R. (2011). Características de desempeño de un concreto adicionado con cenizas volantes de alto nivel de quemados. 31(1), 39-46.

Valdez, P., Durán, A., Fajardo, G., & Juárez, C. (2009). Influencia de la carbonatación en morteros de cemento Pórtland y ceniza volante. RIIT, 10(1), 39-49.

Wu, Z., Shi, C., & He, W. (2017). Comparative study on flexural properties of ultra-high performance concrete with supplementary cementitious materials under different curing regimes. ELSEVIER, 1-18.