



# Desempeño del hormigón incorporando escoria de cemento y cenizas volantes en estructuras de transporte en Piura – 2024

“Performance of concrete incorporating cement slag and fly ash  
in transport structures in Piura – 2024”

“Desempenho do betão incorporando escória de cimento e cinzas volantes em estruturas  
de transporte em Piura – 2024 de transporte”

ARTÍCULO ORIGINAL



Luis Angel Chiroque Cordova 

lchiroquec24@ucvvirtual.edu.pe

Tulio Gaona Roman 

ggaonaro@ucvvirtual.edu.pe

Universidad Cesar Vallejo. Piura, Perú

Escanea en tu dispositivo móvil  
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v9i23.131>

Artículo recibido 18 de noviembre 2024 / Aceptado 21 de diciembre 2024 / Publicado 17 de enero 2025

## RESUMEN

La incorporación de mbien de cemento y cenizas volantes en el hormigón ha trascendido fronteras, posicionándose como una práctica cada vez más común en la construcción a nivel mundial. Este mbien busca mejorar las propiedades mecánicas y la sostenibilidad del concreto en infraestructuras de mbiental a n Piura mediante la adición de mbien de cemento y cenizas volantes. La investigación utiliza un enfoque cuantitativo, con un diseño cuasiexperimental, evaluando reemplazos del 5%, 10% y 15% en edades de 7, 14 y 28 días. Los ensayos realizados incluyeron mbiental a a mbiental a, flexo-tracción y trabajabilidad (método slump) en concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Los resultados mostraron que un reemplazo del 10% optimiza las propiedades mecánicas, logrando una mbiental a promedio de  $293 \text{ kg/cm}^2$ , superando el estándar. Se concluye que esta proporción es estructuralmente viable, sostenible y rentable, reduciendo el impacto mbiental y conservando la manejabilidad en obra.

**Palabras clave:** Cemento; Cenizas; Concreto; Escoria; Sostenibilidad; Volantes

## ABSTRACT

The incorporation of cement slag and fly ash in concrete has transcended borders, positioning itself as an increasingly common practice in construction worldwide. This study seeks to improve the mechanical properties and sustainability of concrete in transportation infrastructure in Piura by adding cement slag and fly ash. The research uses a quantitative approach, with a quasi-experimental design, evaluating replacements of 5%, 10% and 15% at ages of 7, 14 and 28 days. The tests performed included compressive strength, flexural-tensile strength and workability (slump method) in concrete  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . The results showed that a 10% replacement optimizes the mechanical properties, achieving an average strength of  $293 \text{ kg/cm}^2$ , exceeding the standard. It is concluded that this proportion is structurally viable, sustainable and profitable, reducing environmental impact and preserving workability on site.

**Key words:** Cement; Ashes; Concrete; Slag; Sustainability; Flywheels

## RESUMO

A incorporaçã de escórias de cimento e cinzas volantes no concreto transcendeu fronteiras, posicionando-se como uma prática cada vez mais comum na construção civil em todo o mundo. Este estudo busca melhorar as propriedades mecânicas e a sustentabilidade do concreto nas infraestruturas de transporte em Piura através da adição de escória de cimento e cinzas volantes. A pesquisa utiliza abordagem quantitativa, com desenho abordagem quantitativa, avaliando reposições de 5%, 10% e 15% nas idades de 7, 14 e 28 dias. Os ensaios realizados incluíram resistência à compressão, flexão-tração e trabalhabilidade (método slump) em concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Os resultados mostraram que uma substituição de 10% otimiza as propriedades mecânicas, alcançando uma resistência média de  $293 \text{ kg/cm}^2$ , superando o padrão. Conclui-se que esta proporção é estruturalmente viável, sustentável e rentável, reduzindo o impacto ambiental e preservando a gerenciabilidade no local.

**Palavras-chave:** Cimento; Cinzas; Concreto; Escória; Sustentabilidade; Babados

## INTRODUCCIÓN

A nivel global, la construcción de infraestructuras, pavimentos y la búsqueda de materiales más resistentes, duraderos y sostenibles se han convertido en prioridades. El crecimiento urbano y la necesidad de estructuras sólidas y sostenibles han impulsado el desarrollo de nuevas técnicas en la construcción. Según Allied Market Research, la industria del concreto generó ingresos de 617,200 millones de dólares en 2020 y se proyecta que alcanzará 972,040 millones en 2030, con un crecimiento anual del 4.7%, principalmente en edificios residenciales y pavimentos urbanos.

En este sentido, China lidera la producción y consumo de concreto a nivel mundial, representando aproximadamente el 60% de la producción total, seguida por Estados Unidos, India y Brasil. En Perú, el sector construcción creció un 5,8% en el primer bimestre de 2024, reflejando una recuperación importante. La producción de cemento en el Perú ha ido en aumento en los últimos años, al igual que las emisiones de CO<sub>2</sub> que esta actividad conlleva (Aguilar y Blanco, 2022). Sin embargo, este crecimiento también plantea la necesidad de analizar la sostenibilidad de los materiales empleados, ya que el concreto tradicional genera altas emisiones de carbono y consume grandes cantidades de energía en su producción. Este contexto evidencia la necesidad de analizar la sostenibilidad de los materiales empleados, ya que el concreto tradicional genera

altas emisiones de carbono. Estas innovaciones permiten reducir la dependencia del cemento Portland tradicional, disminuyendo el impacto ambiental y favoreciendo la construcción de infraestructuras más resilientes y duraderas.

Es importante señalar que, el hormigón es un material de construcción esencial según Pérez y Merino (2020) suele elaborarse mezclando cal o cemento con grava, arena y agua: cuando se seca y fragua, el hormigón se endurece y gana resistencia, y es utilizado ampliamente en infraestructuras como puentes, carreteras y edificios (Mehta y Monteiro, 2014). Sin embargo, la producción de cemento Portland, principal componente del hormigón, conlleva un alto consumo de energía y genera significativas emisiones de CO<sub>2</sub> (Neville, 2011). Ante este escenario, la búsqueda de materiales alternativos y sostenibles se ha convertido en una prioridad en la industria de la construcción.

Cabe destacar que, la incorporación de materiales cementantes suplementarios como la escoria de cemento y las cenizas volantes en las mezclas de hormigón han demostrado ser una alternativa viable para reducir el consumo de cemento Portland y mejorar las propiedades del hormigón (Shi y Day, 2018). Ya que, estos materiales, subproductos industriales, aportan propiedades puzolánicas que contribuyen a aumentar la durabilidad y la resistencia del hormigón a largo plazo (Neville, 2011).

Ahora bien, para el desarrollo de este estudio, es importante evaluar las siguientes propiedades del hormigón:

La resistencia a la compresión: es la capacidad del hormigón para resistir cargas aplicadas perpendicularmente a su superficie (ASTM C39/C39M-16).

La resistencia a la flexo-tracción: conocida como la capacidad del hormigón para resistir fuerzas de flexión que generan tensiones en la parte inferior de la sección (ASTM C78/C78M-16).

La trabajabilidad: es la facilidad con la que el hormigón puede ser mezclado, transportado y colocado sin perder sus propiedades (ASTM C143/C143M-17).

Considerando lo anterior, y a pesar de saber sobre la existencia de numerosos estudios realizados sobre la utilización de escoria de cemento y cenizas volantes en el hormigón, también es conocido que, aún existen lagunas de conocimiento respecto a su comportamiento en condiciones climáticas específicas, como las de la región de Piura. Es por ello, que este estudio busca contribuir a llenar esta brecha y proporcionar información relevante para la optimización de las mezclas de hormigón en esta región.

Aunado a esto, para este estudio también es importante evaluar el desempeño de mezclas de hormigón que incorporan escoria de cemento y cenizas volantes como sustitutos parciales del cemento Portland, con el fin de determinar su viabilidad para su aplicación en estructuras de

transporte en Piura. También, esta investigación se enfoca en analizar las propiedades mecánicas y la trabajabilidad de mezclas de concreto que incorporan escoria de cemento y cenizas volantes como sustitutos parciales del cemento Portland. Esta perspectiva de estudio se encuentra alineada con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11, que promueve la creación de ciudades y comunidades sostenibles mediante sistemas de transporte seguros y eficientes.

Considerando lo anterior, y a pesar de saber sobre la existencia de numerosos estudios realizados sobre la utilización de escoria de cemento y cenizas volantes en el hormigón, también es conocido que, aún existen huecos de conocimiento respecto a su comportamiento en condiciones climáticas específicas, como las de la región de Piura. Si bien estudios como los de Sánchez (2023) y Orozco y Babel (2023) han evaluado los impactos ambientales de estos materiales, pocos se han centrado en las propiedades mecánicas y la durabilidad del hormigón en regiones con alta humedad y sismicidad, como Piura.

De igual manera, Viejo (2017) llevó a cabo un estudio pionero en el que investigó la posibilidad de sustituir una gran proporción del cemento Portland por ceniza volante en las mezclas de hormigón. Para garantizar la reactividad de la ceniza volante en estas altas dosis, el autor propuso la incorporación de un activador químico. Esta propuesta se fundamenta en investigaciones anteriores (Caijun, et al., 2011) que exploraron

la producción de 'cementos alcalinos' a partir de cenizas volantes activadas con álcalis, abriendo así nuevas posibilidades para el desarrollo de hormigones más sostenibles.

Por lo tanto, se plantea la hipótesis de que la incorporación de escoria de cemento y cenizas volantes en las mezclas de hormigón puede mejorar su resistencia a la compresión y flexo-tracción, así como su durabilidad en condiciones ambientales adversas, contribuyendo a la construcción de infraestructuras más sostenibles y resilientes en la región.

Para dar respuesta a ello, el objetivo de este estudio fue desarrollar la implementación de mezclas de concreto que integren escoria de cemento y cenizas volantes, evaluando su resistencia a la compresión, flexo-tracción y trabajabilidad. Con esto, se busca contribuir a la sostenibilidad y eficiencia de las infraestructuras de transporte, garantizando estructuras más duraderas y con menor impacto ambiental.

## MÉTODO

La investigación adoptó enfoque cuantitativo, diseño cuasi experimental, adecuado para evaluar el impacto de las proporciones de sustitución (5%, 10% y 15%) sobre las propiedades mecánicas del concreto. Este enfoque permite establecer relaciones causa-efecto entre las variables evaluadas y optimizar el uso de aditivos. El proceso incluyó la selección de materiales provenientes de fuentes locales, garantizando su calidad mediante tamizados y pruebas preliminares.

Las muestras de concreto se prepararon bajo condiciones controladas, respetando los tiempos de curado necesarios para evaluar su comportamiento a los 7, 14 y 28 días. Para cada proporción de sustitución, utilizaron cubos de 15 cm de lado y vigas de prisma para los ensayos de resistencia a la compresión y flexo-tracción, respectivamente.

Posteriormente, se realizaron ensayos estándar para medir las propiedades mecánicas y analizar la trabajabilidad del concreto fresco, permitiendo establecer la proporción óptima de aditivos en función de los resultados obtenidos. Como se describen a continuación:

- Resistencia a la compresión: Los cubos de concreto se ensayaron a los 7, 14 y 28 días de curado en una prensa universal, siguiendo la norma ASTM C39/C39M-16.
- Resistencia a la flexo-tracción: Las vigas de prisma se ensayaron a los 28 días de curado en una máquina de flexión, siguiendo la norma ASTM C78/C78M-16.
- Trabajabilidad: Se determinó el asentamiento del cono de Abrams (slump) para cada mezcla, siguiendo la norma ASTM C143/C143M-17.

Los datos obtenidos se analizaron utilizando el software estadístico SPSS. Luego, se calcularon los valores promedio y las desviaciones estándar para cada variable. Se realizó un ANOVA de una vía para comparar las diferencias entre las diferentes proporciones de sustitución y se aplicaron pruebas

de comparación múltiple de Tukey para identificar las diferencias significativas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las mezclas de concreto con diferentes porcentajes de

sustitución de cemento Portland por escoria de alto horno y cenizas volantes. En este sentido, y mediante tablas y gráficos, se analizaron las propiedades mecánicas, incluyendo la resistencia a la compresión y flexotracción, así como la trabajabilidad de las mezclas. Tabla 1.

**Tabla 1.** Resistencia a compresión según porcentajes de reemplazo.

Diseño de concreto	7 días		14 días		28 días	
	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Kg/cm <sup>2</sup>	%
Reemplazando 5% de Agregado Fino por cenizas volantes y escoria de cemento	199	71	240	86	281	100
	199	71	238	85	280	100
	197	70	236	84	280	100
	196	70	241	86	279	100
Reemplazando 10% de Agregado Fino por cenizas volantes y escoria de cemento	209	75	240	86	294	105
	206	74	250	89	292	104
	204	73	243	87	293	105
	207	74	247	88	292	104
Reemplazando 15% de Agregado Fino por cenizas volantes y escoria de cemento	191	68	230	82	271	97
	194	69	227	81	269	96
	191	68	226	81	271	97
	192	69	226	81	270	96

Según muestra la Tabla 1, los ensayos realizados mostraron que un reemplazo del 10% de escoria de cemento y cenizas volantes optimizó las propiedades mecánicas del concreto. A los 28 días, la resistencia promedio alcanzó 293 kg/cm<sup>2</sup>, superando el estándar de 280 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, el reemplazo del 5% mantuvo la resistencia

en 280 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el del 15% redujo la resistencia a 270 kg/cm<sup>2</sup>, debido al exceso de materiales finos que afectaron la compactación y cohesión de la mezcla. En la figura 1 a continuación, el comportamiento de la resistencia a compresión:

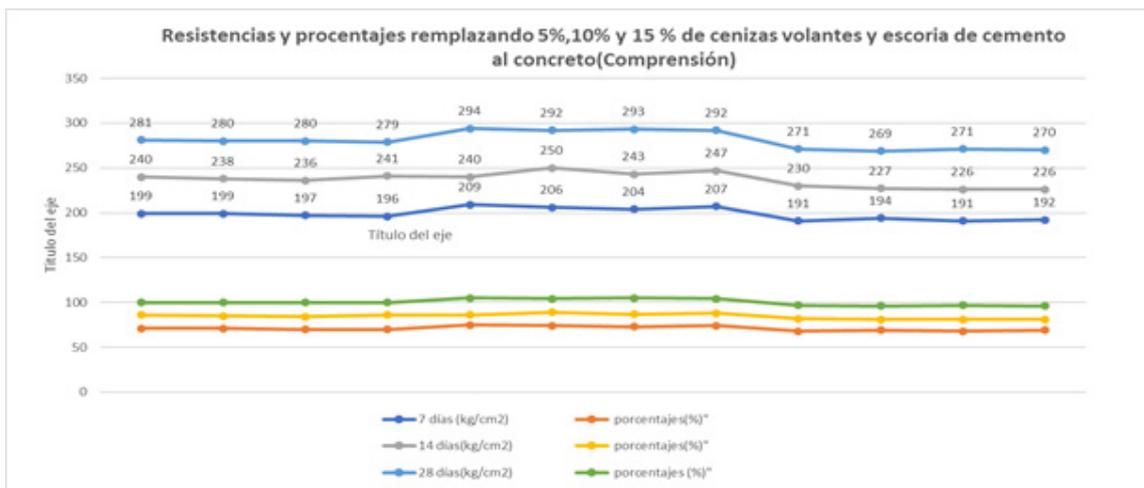


Figura 1. Comportamiento de la resistencia a compresión según el porcentaje de reemplazo.

En la Figura 1, los hallazgos muestran que, en los ensayos de flexo-tracción, el reemplazo del 10% también mostró el mejor desempeño, alcanzando 294.7 kg/cm<sup>2</sup>. Este valor se explica por la sinergia entre las propiedades puzolánicas de los aditivos y la cohesión mejorada de la

mezcla. Por el contrario, la resistencia disminuyó a 271.19 kg/cm<sup>2</sup> con el 15% de reemplazo, debido al exceso de finos que afectaron la estabilidad estructural. A continuación, Tabla 2, resistencia a flexo-tracción. Seguidamente, la Figura 2, resultados del ensayo de flexo-tracción:

Tabla 2. Comportamiento de la resistencia a compresión según el porcentaje de reemplazo.

Item	Diseño de concreto	Registro N°	Esfuerzo (Kg/cm2)
1	Concreto convencional.	CE0M01	285.06
2		CE0M02	282.6
3	Reemplazando 5% de agregado fino por cenizas volantes y escoria de cemento.	CE5M01	280.33
4		CE5M02	281.93
5	Reemplazando 15% de agregado fino por cenizas volantes y escoria de cemento.	CE10M01	294.25
6		CE10M02	294.7
7	Reemplazando 15% de agregado fino por cenizas volantes y escoria de cemento.	CE15M01	269.05
8		CE15M02	271.19

La Tabla 2 presenta un análisis comparativo de la resistencia a flexo-tracción en diferentes diseños de concreto, variando el porcentaje de reemplazo del agregado fino por una combinación de cenizas

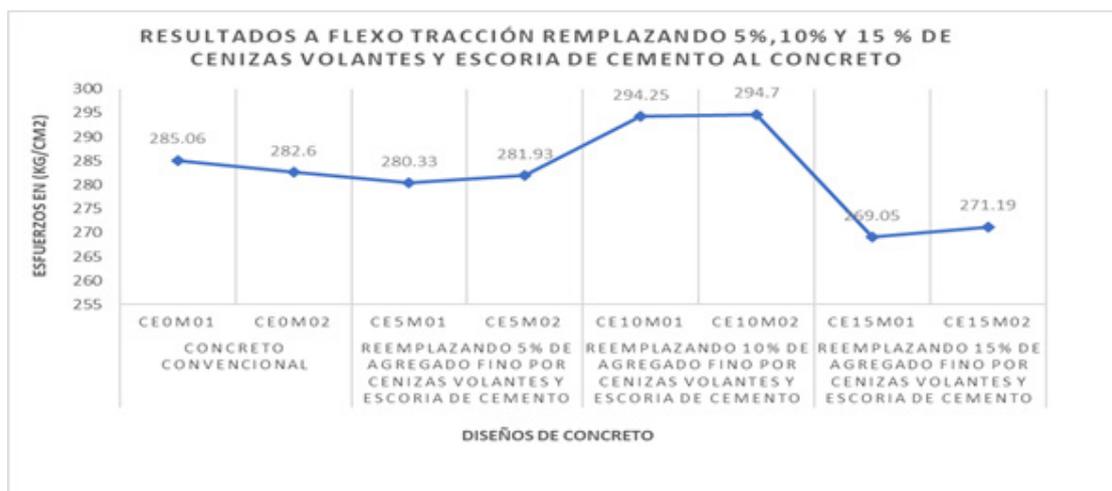
volantes y escoria de cemento. Los resultados obtenidos permiten observar una tendencia clara en el comportamiento del material.

De esta manera, al comparar el concreto convencional con aquellos donde se sustituyó un 5% del agregado fino, se evidencia que existe una ligera disminución en la resistencia a flexo-tracción. Sin embargo, esta reducción es prácticamente inapreciable, lo que sugiere que un reemplazo parcial a este nivel no compromete significativamente las propiedades mecánicas del material.

También, es de resaltar un hallazgo relevante al analizar los diseños con un 10% de reemplazo. En este caso, se registra un aumento considerable en la resistencia a flexo-tracción en

comparación con el concreto convencional. Este resultado indica que la incorporación de un 10% de materiales sustitutos optimiza las propiedades mecánicas del concreto, en particular su resistencia a la flexión.

Por otro lado, al incrementar el porcentaje de reemplazo al 15%, se observa una disminución notable en la resistencia a flexo-tracción. Este comportamiento puede atribuirse a un exceso de materiales finos en la mezcla, lo que afecta negativamente la cohesión y la capacidad del concreto para resistir esfuerzos de flexión



**Figura 2.** Resultados del ensayo de flexo-tracción.

En la Figura 2, el ensayo de slump reveló que el reemplazo del 10% mantiene una consistencia adecuada, con valores entre 4 y 6 pulgadas. Sin embargo, el reemplazo del 15% resultó en una reducción significativa de la trabajabilidad,

dificultando el manejo y colocación del concreto en obra. A continuación, Tabla 3 resultados del ensayo de slump. Y la Figura 3, trabajabilidad del concreto en función del slump.

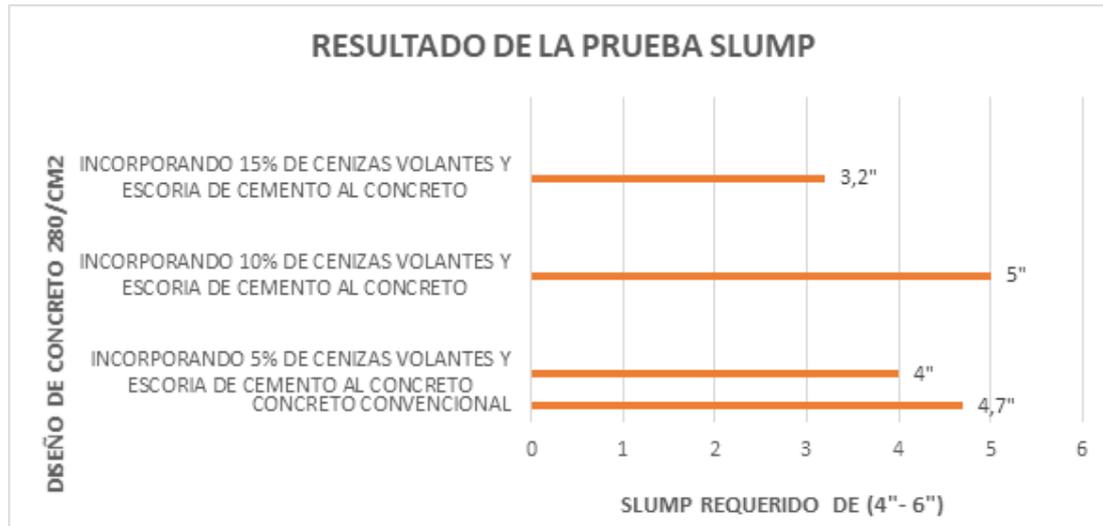
**Tabla 3.** Resultados del ensayo de slump.

Item	Diseño de concreto	Registro N°	F <sub>c</sub>	Slum	
				Esperado	Obtenido
1	Concreto convencional.	Ce0	280	4"-6"	4.7"
2	Reemplazando el 5% de agregado fino por cenizas volantes y escoria de cemento.	Ce5	280	4"-6"	4.0"
3	Reemplazando 10% de agregado fino por cenizas volantes y escoria de cemento.	Ce10	280	4"-6"	5.0"
4	Reemplazando 15% de agregado fino por cenizas volantes y escoria de cemento.	Ce15	280	4"-6"	3.2"

Los resultados que presenta la Tabla 3 del ensayo de slump, el cual se utiliza para evaluar la trabajabilidad del concreto, ha revelado una relación entre el porcentaje de reemplazo del agregado fino por cenizas volantes y escoria de cemento y las propiedades reológicas de la mezcla. Estos hallazgos muestran que la incorporación de estos materiales sustitutos influye de significativamente en la trabajabilidad del concreto. Se observa que, con un reemplazo del 5% del agregado fino, existe una ligera disminución en el valor de slump, lo que sugiere una reducción sutil en la capacidad de flujo de la mezcla. Esta disminución podría atribuirse a un aumento en la fricción interna causada por las partículas finas de los aditivos.

Por otra parte, al incrementar el porcentaje de reemplazo al 10%, se aprecia un aumento en el valor de slump, indicando una mejora en la trabajabilidad. Lo que sugiere que, este comportamiento es un efecto de lubricación proporcionado por las partículas finas, las cuales facilitan el movimiento de las partículas más grandes y reducen la fricción interna.

Sin embargo, un aumento adicional en el porcentaje de reemplazo, hasta alcanzar un 15%, resulta en una disminución considerable en el valor de slump. Este resultado sugiere que un exceso de materiales finos puede generar una mezcla demasiado cohesiva y difícil de trabajar



**Figura 3.** Resumen de la trabajabilidad del concreto en función del slump.

## Discusión

Los resultados obtenidos muestran que el reemplazo del 10% de escoria de cemento y cenizas volantes optimizó la resistencia a compresión del concreto, alcanzando  $293 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días. Este valor no solo supera el estándar de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , sino que también evidencia una mejora significativa respecto a los reemplazos del 5% y 15%. Estos hallazgos son consistentes con los estudios de Castañeda y Salcedo (2020), quienes reportaron incrementos en la resistencia a compresión al incorporar cenizas volantes en porcentajes similares. En este caso, la combinación de escoria de cemento y cenizas volantes parece generar una sinergia que potencia las propiedades mecánicas del concreto.

El reemplazo del 15%, en cambio, mostró una disminución en la resistencia ( $270 \text{ kg/cm}^2$ ), lo que puede atribuirse al exceso de materiales finos, los cuales afectaron la compactación y la cohesión de la mezcla. Esto concuerda con lo observado por Huaquisto y Quispe (2018) ambos estudios

permiten afirmar que la incorporación de cenizas volantes como sustituto parcial del cemento puede mejorar las propiedades del concreto, pero es fundamental optimizar el porcentaje de sustitución para cada caso particular. En cuanto a la resistencia a flexo-tracción, el reemplazo del 10% también presentó el mejor desempeño, alcanzando  $294.7 \text{ kg/cm}^2$ . Este comportamiento puede explicarse por la cohesión interna mejorada y la reducción de fisuras gracias a las propiedades puzolánicas de los aditivos. Estudios previos, como el de Liaqat, et.al (2024), respaldan esta tendencia, destacando que materiales suplementarios como la escoria y las cenizas volantes mejoran la resistencia a esfuerzos de tracción y la durabilidad en aplicaciones estructurales.

El reemplazo del 15% mostró una disminución a  $271.19 \text{ kg/cm}^2$ , lo que confirma que un exceso de finos puede generar acumulación de humedad en la mezcla, afectando negativamente su desempeño bajo cargas de flexo-tracción.

Los resultados del ensayo slump indican que el reemplazo del 10% mantiene una trabajabilidad adecuada, con valores entre 4 y 6 pulgadas, lo que facilita el manejo y colocación del concreto en obra. Por el contrario, el reemplazo del 15% mostró una disminución significativa de la trabajabilidad, con valores promedio de 4.2 pulgadas. Esto coincide con las observaciones de Díaz y Sarmiento (2020), quienes señalaron que mayores proporciones de materiales finos aumentan la absorción de agua, reduciendo la fluidez del concreto.

Estos resultados sugieren que el 10% de reemplazo logra un equilibrio entre resistencia mecánica y trabajabilidad, haciendo que la mezcla sea adecuada tanto para su colocación como para garantizar su desempeño estructural.

### CONCLUSIONES

Este estudio tuvo como objetivo desarrollar la implementación de mezclas de concreto que integren escoria de cemento y cenizas volantes, evaluando su resistencia a la compresión, flexotracción y trabajabilidad. Con los resultados se ha demostrado que la sustitución parcial del cemento Portland por escoria de alto horno y cenizas volantes puede de manera muy significativa mejorar las propiedades mecánicas del concreto, tomando en consideración que se emplee la proporción adecuada de aditivos, de esta forma, se obtienen resultados que generan un óptimo balance entre resistencia a la compresión y flexotracción, sin comprometer la trabajabilidad de la mezcla.

Por lo tanto, la mejora en las propiedades mecánicas puede atribuirse a la reacción puzolánica entre los aditivos y el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, lo que conduce a la formación de productos de hidratación adicionales que aumentan la densidad y cohesión de la matriz del concreto. Además, la reducción de la porosidad lograda con la incorporación de estos materiales contribuye a mejorar la resistencia a la penetración de agua y a los agentes agresivos.

En consideración a esto, es importante destacar que un exceso de aditivos, como el observado en las mezclas con un 15% de sustitución, puede tener un efecto perjudicial en las propiedades del concreto. Asimismo, la alta demanda de agua de los aditivos y la excesiva cantidad de finos pueden reducir la trabajabilidad de la mezcla, dificultar la compactación y aumentar la porosidad, lo que a su vez disminuye la resistencia y durabilidad del material.

Finalmente, los resultados de esta investigación respaldan la viabilidad técnica de utilizar escoria de alto horno y cenizas volantes como sustitutos parciales del cemento Portland en la producción de concreto. Siempre tomando en cuenta la proporción óptima de sustitución en este caso la encontrada en este estudio (10%) de escoria de cemento y cenizas volantes en mezclas de concreto para aplicaciones estructurales, ya que ofrece la mejor combinación entre resistencia, durabilidad y trabajabilidad. Además, se sugiere investigar más a fondo el comportamiento de estos materiales en condiciones ambientales extremas y con otras posibles combinaciones de aditivos.

**CONFLICTO DE INTERESES.** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, R y Blanco D (2022) Diseño de concreto con sustitución parcial del cemento por escoria de acero en elementos estructurales horizontales de viviendas unifamiliares para reducir la huella de carbono ocasionada por la industria cementera en la ciudad de Lima. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://lc.cx/r5R-XB>
- Allied Market Research (2023) Se espera que el mercado de IoT en educación alcance los 46.400 millones de dólares en 2032," Internet de las Cosas, 2023. <https://lc.cx/iDwpAm>
- Caijun, A y Fernández, A (2011) New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement. Cement and concrete research, 41(7) 750-763. <https://lc.cx/Ldqh2j>
- Castañeda, M y Salcedo, F (2020) Influencia del porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento Portland tipo I sobre la resistencia a compresión, trabajabilidad y costo del concreto, Trujillo 2020. Universidad Privada del Norte. <https://lc.cx/NjylaJ>
- Díaz D y Sarmiento J (2020) Concreto a base de cenizas volantes activadas alcalinamente, modificado con nanopartículas de óxido de silicio y dióxido de titanio. Universidad Católica de Colombia. <https://lc.cx/SoedPm>
- Huaquisto S y Quispe G. (2018) Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. Revista de Investigaciones Altoandinas, 20(2), 225-234. <https://lc.cx/7GZnNo>
- Liaqat, A., Babar, A y Asad, A (2020) Combined effects of supplementary cementitious materials (silica fume, GGBS, fly ash and rice husk ash) and steel fiber on the hardened properties of recycled aggregate concrete. <https://lc.cx/aBEloR>
- Mehta, P y Monteiro, P (2014). Concrete: Microstructure, properties, and materials. McGraw-Hill Education. <https://lc.cx/yTITZk>
- Neville, A (2011). Properties of concrete. Wiley. <https://lc.cx/qGXII2>
- Orozco, C y Babel, S. (2023) Comparación de los impactos ambientales de las cenizas volantes y la escoria como materiales de reemplazo del cemento para el hormigón en masa y el impacto del transporte. <https://lc.cx/LlBIKh>
- Pérez, J y Merino, M. (2020) Hormigón - Qué es, definición y concepto. Definición de, <https://lc.cx/BBa1pF>
- Sánchez, J. (2023) Ingeniería e infraestructura de los transportes, 1st ed. Alicante, España: Publicaciones de la Universidad de Alicante. <https://lc.cx/TKABbG>
- Shi, C y Day, R (2018). Fly ash in concrete. Springer. <https://lc.cx/YJraW0>
- Viejo, D. (2017) Hormigones con alta sustitución de cenizas volantes. <https://lc.cx/4E6nVU>

### ACERCA DE LOS AUTORES

#### Luis Angel Chiroque Cordova

Ingeniero en Sistemas, Universidad Cesar Vallejo, Piura, Perú.

#### Tulio Gaona Roman

Master in automation system, National Taipei University of Technology. Taipei, Taiwán. Mechatronics Engineer, Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolqui, Pichincha, Ecuador.