



## Influencia de la incorporación de limaduras de acero en la resistencia a la compresión del concreto, Ayabaca, 2024.

Influence of the incorporation of steel filings on the compressive strength of concrete, Ayabaca, 2024.



[Castillo-Jaramillo, Frescy Yacory<sup>1</sup>](#)



[Uría-Lara, Estrella Roussethe<sup>1</sup>](#)

<sup>1</sup>Universidad César Vallejo, Piura – Perú.

Recibido: 27 Dic. 2024 | Aceptado: 28 Dic. 2024 | Publicado: 07 Ene. 2025

Autor de correspondencia\*: [fcastilloja@ucvvirtual.edu.pe](mailto:fcastilloja@ucvvirtual.edu.pe)

Cómo citar este artículo: Castillo-Jaramillo, F.Y. & Uría-Lara, E.R. (2024). Influencia de la incorporación de limaduras de acero en la resistencia a la compresión del concreto, Ayabaca, 2024. *Revista Científica Aypate*, 3(4), 110–131. <https://doi.org/10.57063/ricay.v3i4.120>.

### RESUMEN

La investigación realizada contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 11 y 12, fomentando ciudades sostenibles y producción responsable al emplear materiales reciclados. El objetivo fue determinar cómo las limaduras de acero afectan la resistencia a la compresión del concreto. El estudio, de tipo aplicado y diseño cuasi-experimental, utilizó un enfoque cuantitativo. La población abarcó concretos fabricados en Ayabaca, y la muestra incluyó 40 probetas divididas en cuatro grupos con porcentajes de limaduras de 0%, 4%, 6% y 8%. Los resultados mostraron un incremento significativo en la resistencia a la compresión, alcanzando un máximo de 347 kg/cm<sup>2</sup> con el 8% de limaduras, lo que representa un aumento del 42.2% respecto al concreto sin adición. Estos hallazgos validaron que las limaduras de acero mejoran las propiedades mecánicas del concreto. Se concluyó que el uso de limaduras no solo optimiza el desempeño estructural del concreto, sino que también promueve la sostenibilidad mediante la reducción de residuos metálicos y costos, contribuyendo a la economía circular. Este enfoque innovador es una alternativa viable y ecológica para la construcción en áreas rurales.

**Palabras claves:** limaduras, acero, resistencia a la compresión, concreto.

### ABSTRACT

The research conducted contributes to Sustainable Development Goals (SDGs) 11 and 12, promoting sustainable cities and responsible production through the use of recycled materials. The objective was to determine how steel shavings affect the compressive strength of concrete. The study, applied in nature and with a quasi-experimental design, employed a quantitative approach. The population included concrete produced in Ayabaca, and the sample consisted of 40 test specimens divided into four groups with steel shavings percentages of 0%, 4%, 6%, and 8%. The results showed a significant increase in compressive strength, reaching a maximum of 347 kg/cm<sup>2</sup> with 8% steel shavings, representing a 42.2% increase compared to concrete without additives. These findings validated that steel shavings improve the mechanical properties of concrete. It was concluded that the use of steel shavings not only enhances the structural performance

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de atribución de Creative Commons, que permite el uso sin restricciones, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que se cite debidamente la obra original.



of concrete but also promotes sustainability by reducing metallic waste and costs, contributing to the circular economy. This innovative approach offers a viable and eco-friendly alternative for construction in rural áreas.

**Keywords:** shavings, steel, compressive strength, concrete.

## 1.INTRODUCCIÓN

La resistencia a la compresión del concreto es un pilar esencial en el desarrollo de infraestructuras seguras y sostenibles, especialmente en regiones con altos índices de construcción informal. La integración de materiales reciclados, como las limaduras de acero, representa una innovación importante para mejorar las propiedades mecánicas del concreto y avanzar hacia una infraestructura más ecológica. En el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, esta estrategia apoya el ODS 11, que promueve la creación de ciudades y comunidades sostenibles, y el ODS 12, enfocado en la producción y consumo responsables. En Ayabaca, Perú, donde el estudio se centra, la incorporación de estos residuos industriales no solo busca mejorar el rendimiento estructural del concreto, sino también reducir la cantidad de desechos industriales, minimizando así el impacto ambiental y optimizando el uso de recursos (Wan et al., 2023). Este enfoque demuestra que el reciclaje de materiales no solo es viable, sino necesario para construir un futuro más sostenible, especialmente en zonas con acceso limitado a materiales convencionales de alta calidad.

A nivel mundial, la industria de la construcción enfrenta el reto de reducir la huella ambiental del concreto, un material cuya producción genera una cantidad significativa de emisiones de dióxido de carbono. Estudios recientes han demostrado que los residuos de acero, si se gestionan adecuadamente, pueden mejorar las propiedades mecánicas del concreto, aumentando su resistencia y durabilidad, mientras se disminuye el uso de materiales vírgenes. Esta práctica se ha explorado en países con una gran producción de desechos industriales, donde se han desarrollado innovaciones para reutilizar estos residuos en la mezcla de concreto (Jahami et al., 2024). Esta tendencia es una respuesta al llamado global para reducir los desechos y avanzar hacia una economía circular, en la que se maximiza el uso de los recursos a lo largo de su ciclo de vida y se minimiza el impacto ambiental. En este sentido, la integración de residuos de acero en el concreto se ha convertido en un método viable para contribuir a la sostenibilidad en el sector de la construcción.

En Latinoamérica, la gestión de residuos de acero presenta complejidades importantes debido a la falta de infraestructura adecuada para su reciclaje. En países como Brasil y Colombia, se han implementado proyectos piloto que buscan integrar desechos metálicos en el concreto. Estos proyectos han permitido no solo reducir costos en la producción de concreto, sino también mejorar su resistencia a la compresión, lo cual es fundamental en la construcción de infraestructuras duraderas. Sin embargo, estos esfuerzos siguen siendo limitados y se enfrentan a la falta de políticas robustas que faciliten su implementación a gran escala en la región (Tilmatine et al., 2024). La falta de infraestructura y de marcos regulatorios sólidos para el reciclaje en Latinoamérica dificulta que esta práctica se convierta en una solución ampliamente adoptada, a pesar de sus evidentes beneficios para la sostenibilidad y la economía.

En Perú, el crecimiento urbano acelerado ha impulsado una demanda creciente de materiales de construcción de alto rendimiento, lo que genera un desafío para la gestión de residuos, particularmente los de origen industrial, como las limaduras de acero de la industria metalúrgica. La mayoría de estos residuos son desechados o subutilizados, lo cual representa una pérdida de recursos valiosos que podrían mejorar las propiedades del

concreto, como su resistencia y durabilidad. Estudios recientes sugieren que estos residuos pueden incorporarse en la mezcla de concreto, lo cual contribuiría a reducir la presión sobre los recursos naturales y a ofrecer una alternativa sostenible en la construcción (Correa & Núñez, 2023). No obstante, es necesario llevar a cabo más investigaciones a nivel local para validar la efectividad y viabilidad de esta práctica, lo cual impulsaría su adopción en un contexto peruano.

En la región de Piura, específicamente en Ayabaca, los altos índices de construcción informal reflejan la necesidad de desarrollar materiales de construcción que sean accesibles y de alta resistencia. La incorporación de limaduras de acero en el concreto podría mejorar significativamente su resistencia a la compresión, ofreciendo además una solución viable para gestionar los residuos industriales generados en la zona. Esto es particularmente relevante en áreas rurales como Ayabaca, donde los recursos y el acceso a materiales de construcción de alta calidad son limitados (Hinostroza, 2022). La implementación de este tipo de innovaciones no solo permitiría mejorar la calidad de las construcciones en estas zonas, sino que también contribuiría a la sostenibilidad ambiental y económica, al reducir la dependencia de materiales costosos y no reciclados.

En conclusión, el estudio de la incorporación de limaduras de acero en el concreto en Ayabaca es fundamental para afrontar los desafíos ambientales y estructurales presentes en la región. Esta técnica no solo tiene el potencial de mejorar la durabilidad y calidad de las infraestructuras, sino también de fomentar prácticas sostenibles en la gestión de residuos industriales. Los resultados de esta investigación podrían servir de base para otras regiones en Perú y América Latina, donde el reciclaje de desechos industriales en la construcción puede promover un modelo de economía circular. La urgencia de abordar estos problemas resalta la relevancia de este estudio, que contribuye a la resiliencia y sostenibilidad de las infraestructuras en zonas de alta vulnerabilidad económica y ambiental.

Posterior al análisis desarrollado de la problemática tenemos que se planteó el siguiente problema general: ¿Cuál es la influencia de la incorporación de limaduras de acero en la resistencia a la compresión del concreto, Ayabaca, 2024? y los siguientes problemas específicos: ¿Cuáles son las características físicas de los agregados para la elaboración del concreto?, ¿Existe variación de la resistencia a la compresión respecto al porcentaje de limaduras de acero?, ¿Cuál es el porcentaje de limaduras de acero con el que obtienes mejores resultados?.

La incorporación de limaduras de acero en el concreto responde a la urgente necesidad de reducir el impacto ambiental de la industria de la construcción, uno de los mayores generadores de emisiones de carbono y residuos sólidos, es por esta razón que la investigación tiene una justificación vista desde diferentes connotaciones. En el aspecto socio ambiental, el reciclaje de limaduras de acero, un subproducto industrial, permite no solo mejorar las propiedades del concreto, sino también mitigar el problema de la acumulación de residuos metálicos. Este enfoque se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el ODS 11, que aboga por ciudades sostenibles, y el ODS 12, que promueve el consumo y la producción responsables. Además, la reutilización de estos residuos ayuda a proteger el entorno local de Ayabaca, reduciendo la dependencia de materiales vírgenes y limitando la extracción de recursos naturales, lo cual es particularmente relevante en zonas rurales con ecosistemas frágiles.

Desde una perspectiva económica, el uso de limaduras de acero en la producción de concreto tiene el potencial de reducir los costos de construcción. La sustitución parcial de agregados vírgenes por materiales reciclados, como las limaduras de acero, disminuye la dependencia de recursos naturales costosos y mejora la accesibilidad económica del

concreto de alta resistencia. Según estudios recientes, esta práctica también puede reducir costos asociados con la gestión de residuos industriales, favoreciendo una economía circular que maximiza la utilidad de cada recurso. Esta estrategia resulta especialmente beneficiosa en contextos como Ayabaca, donde las limitaciones económicas imponen desafíos en el acceso a materiales de construcción de alta calidad, permitiendo a su vez el desarrollo de infraestructura más asequible y sostenible.

Desde el punto de vista tecnológico, la investigación sobre el uso de limaduras de acero en concreto permite explorar nuevas técnicas de optimización de materiales para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, especialmente en cuanto a resistencia a la compresión. El desarrollo de tecnologías que integren estos subproductos industriales en el concreto puede conducir a la producción de materiales de construcción avanzados que ofrezcan mayor durabilidad y sostenibilidad. Este enfoque se alinea con tendencias tecnológicas internacionales que buscan reducir el impacto de la construcción mediante materiales innovadores y prácticas sostenibles, incrementando así la competitividad de la industria a nivel regional y global.

Metodológicamente, esta investigación contribuirá a estandarizar el proceso de incorporación de limaduras de acero en mezclas de concreto, proporcionando un modelo replicable que pueda ser adaptado a diferentes contextos. La evaluación de variables como la dosificación óptima de las limaduras de acero y sus efectos sobre la resistencia a la compresión permitirá establecer parámetros claros y específicos para su implementación en el campo de la construcción. Esto es esencial para lograr resultados consistentes y replicables en estudios futuros, mejorando la confiabilidad y precisión de la aplicación de estos materiales reciclados en proyectos constructivos.

Teóricamente, la investigación aporta al conocimiento sobre la relación entre el uso de materiales reciclados y las propiedades mecánicas del concreto, ampliando la comprensión de cómo los desechos industriales pueden transformarse en recursos valiosos. La incorporación de limaduras de acero en el concreto ofrece una base científica sólida para explorar el impacto de estos residuos en la resistencia a la compresión y la durabilidad estructural, factores cruciales en el desarrollo de infraestructura segura y sostenible. Esta investigación responde a la creciente literatura científica que respalda el reciclaje de materiales en la construcción, y puede servir como referencia para estudios futuros que busquen alternativas sostenibles en la industria.

Luego de analizar la problemática que se da en nuestro país se planteó el siguiente objetivo general: determinar la influencia de la incorporación de limaduras de acero en la resistencia a la compresión del concreto, Ayabaca, 2024, y también como objetivos específicos: determinar las características físicas de los agregados para la elaboración del concreto, analizar la variación de la resistencia a la compresión respecto al porcentaje de limaduras de acero y determinar el porcentaje de limaduras de acero con el que obtienes mejores resultados.

Dentro de los antecedentes revisados para tener un mejor conocimiento de los procedimientos, así como de las variables de estudio tenemos a Wang et al. (2024) quienes buscaron investigar las propiedades de compresión axial de columnas de concreto de alta resistencia con tubos de acero delgados y reforzados en forma de cruz tras exposición al fuego. Para ello, se incorporaron nervaduras de refuerzo de acero en el diseño tradicional, con el fin de retrasar el pandeo del tubo y mejorar el confinamiento del concreto. Se evaluaron parámetros experimentales como el tiempo de calentamiento, la relación ancho-espesor y el espaciamiento longitudinal de los refuerzos. Se prepararon un espécimen a temperatura ambiente y ocho sometidos a condiciones de fuego para medir curvas de temperatura-tiempo, carga-desplazamiento y deformación bajo carga

axial. Los modos de falla fueron registrados y se analizó la influencia de cada parámetro en las propiedades mecánicas post-incendio. Utilizando el software ABAQUS, se desarrolló y validó un modelo que permitió estudiar el mecanismo subyacente y realizar un análisis paramétrico. Finalmente, se propuso una ecuación simplificada para predecir la capacidad de carga residual tras la exposición al fuego, con un error promedio de 0.925 y un error cuadrático medio de 0.085.

Otro aporte es el de Garg (2022), quien tuvo como objetivo de su investigación el evaluar la durabilidad del concreto elaborado con limaduras de acero como reemplazo del agregado fino. Las limaduras de acero, derivadas de procesos de molienda, afilado y corte en talleres mecánicos y fábricas, suelen desecharse en vertederos, ríos y océanos, lo que aumenta la contaminación. Para reducir este impacto, se propone su reutilización en la construcción. En el estudio se emplearon distintos niveles de reemplazo de limaduras en el concreto: 0%, 10%, 20%, 30% y 40%. Después de una curación normal de 28 días, se evaluaron muestras cúbicas para determinar su durabilidad. Se observó que la trabajabilidad y el asentamiento del concreto disminuyen cuando el porcentaje de limaduras supera el 40%. Además, la absorción de agua aumentó con mayores porcentajes de limaduras, y las pruebas de sorptividad indicaron un incremento en la capilaridad debido a la mayor porosidad del concreto. Este tipo de concreto podría emplearse en pavimentos y estacionamientos, permitiendo la infiltración de agua y facilitando la recarga de acuíferos.

Marrok et al. (2024), mencionan que los desechos metálicos industriales son un tema central en la investigación en ingeniería civil, impulsándonos a utilizarlos como materiales de construcción. El concreto de arena de flujo alto (HFSC) es económico, tiene propiedades mecánicas aceptables y alta trabajabilidad. Sin embargo, presenta el inconveniente de desarrollar fisuras, las cuales pueden reducirse con la incorporación de fibras. Para maximizar sus beneficios, se utilizaron virutas de acero inoxidable, específicamente la fibra de acero inoxidable 316L (SSF-316L). Las muestras de HFSC fueron reforzadas con SSF-316L en dosis de 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.50% y 2.00% del volumen de concreto durante 90 días. En el estudio, se realizaron pruebas para evaluar la influencia de SSF-316L en tres propiedades: físicas, mecánicas y de durabilidad. Entre las pruebas físicas se evaluaron contenido de aire, asentamiento y densidad; en propiedades mecánicas, se realizaron ensayos de compresión, flexión y tracción; y en durabilidad, los especímenes se expusieron a ácidos y sulfatos. Los resultados demostraron una mejora relativa en estas tres propiedades.

Smith (2023), nos dice que el concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo, aunque constantemente surgen métodos innovadores que amplían sus aplicaciones y viabilidad. Sin embargo, el concreto carece de resistencia adecuada a la flexión y tracción. Estudios previos han mostrado intentos exitosos para mejorar sus propiedades mecánicas mediante la incorporación de diversos aditivos y métodos. Este estudio evalúa los cambios en la resistencia a la flexión y compresión del concreto al implementar aluminio como agente de refuerzo. Para evaluar el potencial completo del aluminio, se probó en conjunto y de manera aislada del refuerzo de acero. Los resultados muestran un aumento en la resistencia a compresión del 33.7% con pequeñas cantidades de virutas de aluminio. La resistencia a la flexión posterior a la falla de la viga de concreto aumentó en un 153%. Aunque pequeñas cantidades de aluminio resultaron beneficiosas, cantidades mayores generaron efectos negativos. Además, la trabajabilidad y consolidación del concreto se vieron afectadas al introducir aluminio en la mezcla.

Ekop et al. (2022), investigó comparativamente las características de resistencia y la

trabajabilidad del concreto al reemplazar parcialmente el agregado fino natural con partículas de vidrio y limaduras de hierro. El agregado fino fue sustituido en proporciones de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% por partículas de vidrio y limaduras de hierro, con una relación agua-cemento de 0.55. Los resultados mostraron que un aumento en el porcentaje de limaduras de hierro redujo el asentamiento y la trabajabilidad del concreto, mientras que un incremento en el contenido de partículas de vidrio aumentó estos valores. El concreto con un reemplazo del 20% de arena por limaduras de hierro y partículas de vidrio alcanzó la resistencia óptima. Además, las muestras de concreto con partículas de vidrio mostraron un aumento constante en la resistencia a la flexión en todos los niveles de reemplazo. El uso de limaduras de hierro y partículas de vidrio en la producción de concreto favorece la preservación de los recursos naturales y la gestión de residuos.

De acuerdo al estudio de Djebri et al. (2022), indican que concreto autocompactante (SCC) ofrece una alternativa innovadora en la industria del concreto para minimizar el impacto ambiental y reducir costos. Su aplicación sin vibración reduce considerablemente la contaminación acústica en áreas urbanas y facilita su uso en zonas de difícil acceso o con geometrías complejas, además de optimizar la calidad del concreto y disminuir el tiempo y costos de instalación. Las virutas de metal generadas en la modificación de piezas metálicas plantean problemas de contaminación y almacenamiento; sin embargo, su reciclaje en la construcción es una opción sostenible. En un estudio experimental, se analizaron las propiedades del SCC con una adición de virutas de metal, tanto en estado fresco (fluidez, estabilidad en L-box y tamizado) como en estado endurecido (resistencia a la compresión y velocidad de pulso ultrasónico). Con una dosificación del 0.5% del volumen total, los resultados indican que las virutas mejoran la resistencia a la compresión sin afectar la autocompactabilidad del SCC, validando su utilidad como aditivo en aplicaciones concreta.

Según Sathyanarayana y Padmapriya (2021), quienes realizaron un estudio donde se analiza el impacto del uso de arena manufacturada (M-sand) en lugar de arena natural (N-sand) y limaduras de hierro como parte del volumen de cemento para mejorar la elasticidad del material de la matriz. El concreto, un material compuesto creado en la antigüedad con fines de construcción, contiene un 30% de su volumen en agregado fino, extraído comúnmente de ríos, lagos y canales, lo que genera graves problemas ambientales como la erosión de suelos. La investigación tiene como objetivo evaluar la viabilidad de materiales alternativos a la arena natural. Para ello, se reemplazó la arena natural por arena manufacturada, obtenida al triturar piedra basáltica, en proporciones del 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100% en concreto de grado M25. Adicionalmente, se añadieron limaduras de hierro en porcentajes del 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% del volumen total de concreto. Los resultados mostraron la efectividad de estos materiales alternativos en mejorar las propiedades estructurales del concreto sin comprometer su rendimiento.

De acuerdo al estudio de Ofuyatan et al. (2019), el uso de fibras en la producción de concreto no solo resuelve el problema de la disposición de estos desechos sólidos, sino que también ayuda a conservar los recursos naturales. Este estudio investigó el efecto de las virutas de aluminio de desecho en la resistencia de adherencia del concreto laterizado. Se prepararon vigas de concreto laterizado empalmadas. Se fabricaron quince especímenes con barras de 16 mm y 20 mm de diámetro, añadiendo virutas de aluminio en porcentajes de 1%, 1.5% y 2% en volumen; además, se elaboraron otros diez especímenes sin adición de virutas de aluminio como grupo control. Se prepararon cubos de concreto para cada conjunto de porcentajes variados de virutas de aluminio, utilizando

tres cubos de cada conjunto para determinar la resistencia del concreto. El análisis mostró que la resistencia a la compresión disminuyó a medida que aumentó el porcentaje de virutas de aluminio, mientras que dichas virutas incrementaron la adherencia entre el concreto y el acero. La resistencia de adherencia de las barras de 16 mm fue mayor que la de las barras de 20 mm en todos los especímenes evaluados.

Por otro lado, se tuvo que revisar la literatura, es así que como variable independiente tenemos a las limaduras de acero, pero para poder empezar, se debe definir al acero, el cual es un material ampliamente utilizado en la construcción debido a sus propiedades mecánicas sobresalientes, especialmente en términos de resistencia y ductilidad. Este material se caracteriza por su alta capacidad de soporte de cargas, resistencia a la tracción y flexibilidad, lo que lo convierte en un componente esencial en estructuras que requieren durabilidad y capacidad para soportar tensiones elevadas. En la industria del concreto, el acero se emplea como refuerzo debido a su capacidad para trabajar en conjunto con el concreto y compensar sus limitaciones en cuanto a resistencia a la tracción, mejorando así las propiedades estructurales del compuesto final. La adición de acero en forma de fibras, limaduras o barras ayuda a controlar el agrietamiento, incrementar la resistencia a la compresión y reducir la deformación bajo carga (Pereira-Barceló et al, 2024). Recientes estudios han explorado el potencial del acero reciclado y de sus desechos en la mejora de las propiedades mecánicas del concreto, especialmente para aumentar su resistencia y prolongar la vida útil de las estructuras (Mohammad et al., 2024).

Por otro lado, las limaduras de acero son un subproducto del procesamiento de metales, han ganado interés en la industria de la construcción debido a su potencial para mejorar las propiedades mecánicas del concreto y reducir el impacto ambiental asociado con los desechos industriales. Estas partículas finas de acero se producen durante actividades de corte, fresado y pulido en talleres y fábricas, y suelen ser desechadas sin un aprovechamiento adecuado, lo que contribuye a la acumulación de residuos sólidos en vertederos y ecosistemas naturales. Su incorporación en concreto, como reemplazo parcial de agregados o refuerzo adicional, puede mejorar la resistencia a la compresión y la durabilidad, ya que las partículas de acero interactúan con la matriz de concreto para reducir la microfisuración bajo carga y aumentar la densidad del material (Liu et al., 2020) Recientes estudios han demostrado que las limaduras de acero, cuando se integran en porcentajes óptimos, pueden mejorar significativamente la resistencia estructural del concreto sin comprometer su trabajabilidad. Además, este uso innovador representa una estrategia de economía circular, promoviendo la reutilización de desechos industriales en lugar de recurrir a materiales vírgenes, lo que contribuye a la sostenibilidad en la construcción (Alikhani y Latifi, 2022) Es así que el uso de limaduras de acero en el concreto no solo mejora las propiedades mecánicas, sino que también ofrece una solución ecológica para la gestión de residuos industriales, por lo tanto, incorporar limaduras de acero en el concreto no solo ofrece beneficios estructurales, sino que también ayuda en la gestión de residuos industriales, proporcionando una solución sostenible para la reutilización de subproductos del acero

En cuanto a la variable dependiente, la resistencia a la compresión es una de las propiedades mecánicas más importantes del concreto, ya que determina su capacidad para soportar cargas aplicadas sin experimentar fallas estructurales. Esta característica se mide a través de la aplicación de una carga gradual sobre una muestra cúbica o cilíndrica hasta su ruptura, expresando el valor máximo soportado en términos de fuerza por unidad de área (MPa). La resistencia a la compresión depende de múltiples factores, como la calidad de los agregados, la proporción de agua-cemento, y el tipo y cantidad de aditivos y refuerzos utilizados en la mezcla. El uso de materiales adicionales, como fibras o

limaduras de acero, ha demostrado mejorar esta propiedad al incrementar la densidad de la matriz del concreto y reducir la propagación de microfisuras bajo cargas elevadas (Gorji et al., 2024)

En los últimos años, la investigación ha explorado el uso de desechos industriales y fibras para mejorar las propiedades mecánicas del concreto de manera sostenible. La incorporación de materiales de desecho, como limaduras de acero, presenta una doble ventaja: no solo mejora la resistencia a la compresión, sino que también permite una gestión de residuos más sostenible al reutilizar subproductos industriales. Al actuar como micro-refuerzos, las limaduras de acero pueden mejorar la cohesión de la mezcla y disminuir la susceptibilidad del concreto a la formación de fisuras bajo cargas compresivas, lo que se traduce en un aumento de la durabilidad y una mayor capacidad de carga (Yan y Tan, 2023).

Los estudios recientes también sugieren que el uso de fibras metálicas, como el acero, en distintas formas y tamaños, permite mejorar las propiedades de resistencia del concreto en comparación con materiales convencionales. Al distribuirse de manera homogénea en la mezcla, las fibras actúan como una barrera que detiene o desvía las microfisuras, evitando su propagación y posterior coalescencia en fisuras mayores. Esta acción mejora la resistencia general del material, especialmente cuando se expone a esfuerzos compresivos cíclicos o elevados. En el contexto de la sostenibilidad y la economía circular, el uso de limaduras de acero como refuerzo no solo ofrece ventajas mecánicas, sino que también reduce la necesidad de materiales vírgenes, disminuyendo el impacto ambiental de la construcción (Ali et al., 2024).

Es así que hay que tener en cuenta que la resistencia a la compresión es un indicador clave en aplicaciones estructurales, ya que garantiza que el concreto pueda resistir las fuerzas aplicadas sin comprometer la estabilidad del sistema (Wan et al., 2024). La implementación de limaduras de acero en el concreto podría ser especialmente beneficiosa en diferentes regiones, donde la necesidad de materiales duraderos y accesibles es primordial. Esta estrategia de adición de refuerzos no solo permite optimizar el desempeño mecánico del concreto, sino también abordar problemáticas ambientales a través de la reutilización de residuos metálicos.

Finalmente, como respuesta a los problemas planteados se tienen las siguientes hipótesis: H0: no existe influencia de la incorporación de limaduras de acero en la resistencia a la compresión del concreto, Ayabaca, 2024 y H1: la influencia de la incorporación de limaduras de acero en la resistencia a la compresión del concreto, Ayabaca, 2024 es significativa, como hipótesis generales y también nuestras hipótesis específicas: en el caso de la hipótesis específica 1, no aplica, para la hipótesis específica 2 tenemos: conforme aumenta el porcentaje de limaduras de acero, aumenta la resistencia a la compresión del concreto, para el objetivo específico 3, tenemos: el porcentaje de limaduras de acero con el que se obtiene mejores resultados es el 8%. Materiales y métodos.

Detalla los procedimientos, técnicas, equipos y metodologías utilizados para llevar a cabo el estudio, permitiendo la replicación de los resultados.

## 2. METODOLOGÍA

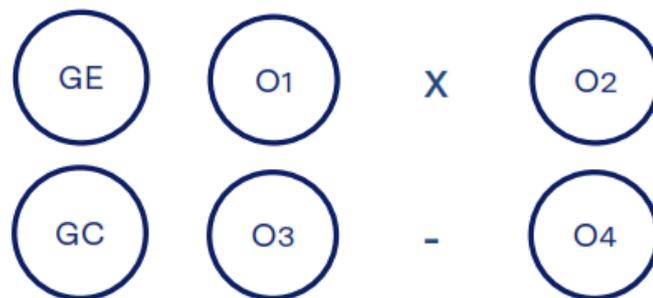
La investigación realizada es de tipo aplicada y experimental, con un diseño cuasi experimental y un enfoque cuantitativo. La finalidad de la investigación aplicada es proporcionar soluciones prácticas para problemas específicos, abordando retos concretos

que son relevantes en un contexto determinado; en lugar de generar teorías generales, el enfoque aplicado se enfoca en desarrollar conocimientos útiles que puedan aplicarse directamente a situaciones reales (Baimyrzaeva, 2018). El método experimental implica manipular y controlar variables independientes para evaluar su efecto en una variable dependiente, permitiendo así resolver problemas prácticos y generar hallazgos útiles para el contexto real (Neumark, 2018).

Esta investigación sigue un enfoque cuantitativo, ya que se centró en la recopilación y análisis de datos numéricos y medibles. A través de herramientas como formatos y pruebas, se obtuvieron datos que fueron procesados estadísticamente, lo cual permitió una interpretación objetiva de las relaciones entre variables y facilitó la identificación de patrones y tendencias (Bloomfield y Fisher, 2019). El nivel de análisis fue descriptivo causal. El diseño cuasi experimental se caracteriza por la manipulación controlada de variables independientes, junto con la creación de grupos de control y experimentales para comparar resultados y determinar el impacto de las variables independientes sobre la dependiente (Perugini et al., 2018).

### Figura 1.

*Diseño cuasi experimental*



Donde:

**GE:** grupo experimental

**GC:** grupo control

**X:** estímulo

**-:** ausencia de estímulo

**O1 y O3:** observaciones de la variable dependiente pre estímulo.

**O2 y O4:** observaciones de la variable dependiente post estímulo

En el caso de las variables, se tiene una variable independiente: incorporación de limaduras de acero, la cual se define como la cantidad de limaduras de acero que pasa el tamiz N°4 y se retiene en el tamiz N°200 y se adicionará a mezclas de concreto en diferentes porcentajes, esta tiene como dimensiones el porcentaje en peso; así mismo posee, una variable dependiente: resistencia a la compresión del concreto, que es la fuerza que soporta el concreto por unidad de área, y a la vez tiene como dimensiones la resistencia a la compresión en kg/cm<sup>2</sup>

La población fue infinita y estuvo conformada todos los concretos con y sin limaduras de acero elaborados en la provincia de Ayabaca en el año 2024; a la vez, la muestra a estudiar se conformó por 40 probetas, las cuales se dividieron de acuerdo a la adición de limaduras de acero en porcentajes de 0, 4, 6 y 8%, en el caso del 0% de adición, se toma como el grupo control, la cantidad de la muestra se obtuvo mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, la cual se trata de una técnica de muestreo en la que el investigador selecciona las muestras según su propio juicio, en vez de recurrir a un proceso de selección aleatoria (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018)

En este estudio, se emplearon tanto la observación y el uso de diversos instrumentos mecánicos y electrónicos como técnicas de recolección de datos. La observación es una técnica clave en la investigación científica, valorada ampliamente entre sociólogos y estudiosos de la naturaleza debido a su capacidad de capturar detalles específicos y contextuales. Este método se basa en la recopilación cuidadosa y detallada de información mediante la observación directa y el registro sistemático de eventos en su ambiente original, sin influir o modificar las condiciones naturales. Gracias a esta aproximación, es posible alcanzar una comprensión exhaustiva de los fenómenos investigados, revelando matices que otros métodos podrían no detectar (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

Paralelamente, los instrumentos mecánicos y electrónicos utilizados proporcionaron datos precisos en los distintos ensayos realizados, garantizando así la exactitud y confiabilidad de los resultados obtenidos (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). Los instrumentos de recolección de datos, en este caso formatos, se basaron en formatos adaptados a las normativas específicas del estudio, los cuales fueron validados por un laboratorio externo. Estos procedimientos contaron con la supervisión de ingenieros expertos, quienes monitorearon cada etapa bajo un marco normativo establecido, asegurando la rigurosidad técnica. Además, estos formatos se diseñaron conforme a las normas técnicas pertinentes, en este caso la ASTM C39, que establece los requisitos para rotura a la compresión de cilindros de concreto. Esta validación y conformidad normativa añadieron un alto nivel de fiabilidad tanto a los procedimientos como a los resultados obtenidos, consolidando la calidad del estudio (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

Después de la recolección de datos, se procedió a su análisis mediante herramientas de estadística descriptiva, presentando los resultados en tablas y figuras. Además, se emplearon métodos de estadística inferencial para validar las hipótesis, se aplicó un ANOVA unidireccional, seguido de la prueba post hoc de Tukey para identificar diferencias significativas entre grupos y validar la hipótesis planteada. Para el procesamiento de datos se utilizó Microsoft Excel, mientras que el análisis estadístico se realizó en el software IBM SPSS versión 25.

En cuanto a los aspectos éticos, se llevó a cabo una recopilación de datos rigurosa y confiable, respetando los códigos éticos de investigación de la Universidad César Vallejo y de organismos internacionales relevantes. Durante todo el desarrollo del estudio, se promovieron los principios éticos de beneficencia y no maleficencia; los resultados arrojaron recomendaciones para mejorar la calidad del concreto, lo que podría tener efectos positivos en la región de estudio y, potencialmente, en la ciudad entera. La investigación también cumplió con el principio de autonomía, ya que las variables, operacionalización y metodología aplicadas son propias del investigador, aunque se ha hecho referencia a estudios previos y artículos relevantes que se citarán en este trabajo. Asimismo, este proyecto se consideró original en su enfoque y características específicas. Para garantizar la autenticidad y precisión, todas las fuentes utilizadas fueron citadas debidamente, y el software Turnitin se empleó para asegurar la transparencia y el uso responsable de la información.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. OE1: Determinar las características físicas de los agregados para la elaboración del concreto

Para dar cumplimiento a este objetivo, se tuvo que realizar la caracterización de los agregados mediante ensayos granulométricos, peso específico, absorción, densidad, etc.

#### Granulometría agregado fino

**Tabla 1.**

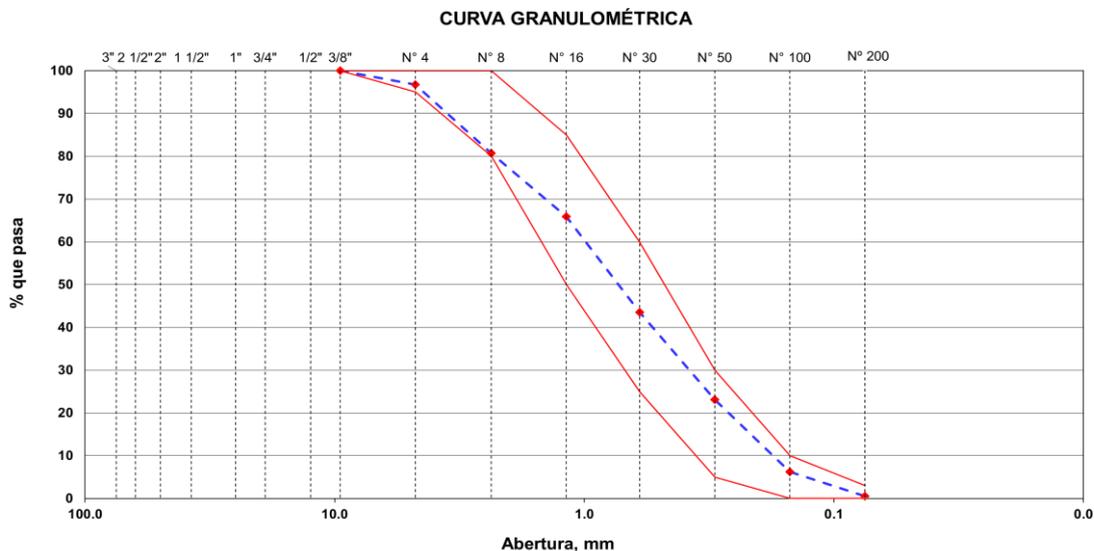
*Prueba granulométrica del agregado fino*

Peso Inicial Seco (gr)	846.90	AGREGADO FINO					
Peso Lavado y Seco (gr)	794.30						
ABERTURA (mm)	TAMIZ	RETENIDO MATERIAL (gr)	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	% PASA	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
9.500	3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
4.750	N° 4	27.30	3.22	3.22	96.78	95	100
2.360	N° 8	135.70	16.02	19.25	80.75	80	100
1.180	N° 16	125.80	14.85	34.10	65.90	50	85
0.600	N° 30	189.40	22.36	56.46	43.54	25	60
0.300	N° 50	173.20	20.45	76.92	23.08	5	30
0.150	N° 100	142.90	16.87	93.79	6.21	0	10
0.075	N° 200	48.20	5.69	99.48	0.52	0	3
	FONDO	4.40	6.21	100.00			

**Fuente.** Datos obtenidos en laboratorio, 2024

**Figura 2.**

*Curva granulométrica del agregado fino*



## Granulometría agregado grueso

**Tabla 2.**

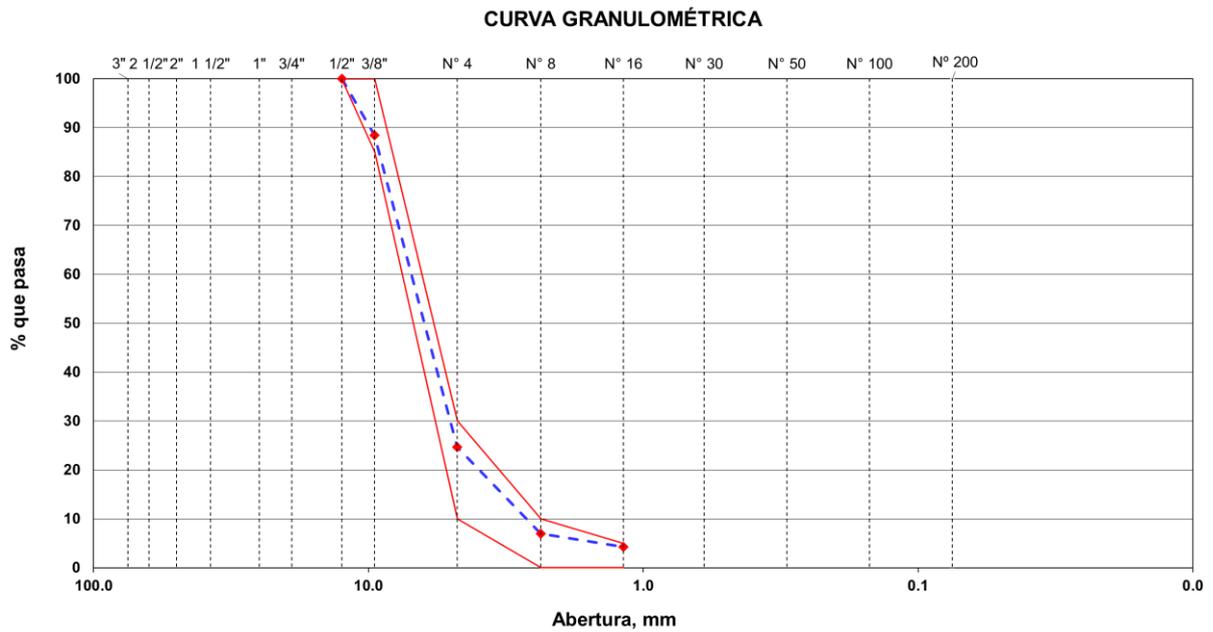
*Prueba granulométrica del agregado grueso*

ABERTURA (mm)	TAMIZ	RETENIDO MATERIAL (gr)	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	% PASA	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
Peso Inicial Seco (gr)	1532.00	<b>AGREGADO GRUESO (HUSO AG-8)</b>					
Peso Lavado y Seco (gr)	1514.00						
12.500	1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
9.500	3/8"	177.50	11.59	11.59	88.41	85	100
4.750	N° 4	976.40	63.73	75.32	24.68	10	30
2.360	N° 8	271.80	17.74	93.06	6.94	0	10
1.180	N° 16	41.60	2.72	95.78	4.22	0	5
	FONDO	64.70	4.22	100.00			

**Fuente.** Datos obtenidos en laboratorio, 2024

**Figura 3.**

*Curva granulométrica del agregado grueso*



## Resultados caracterización

**Tabla 3.**

*Ensayos realizados*

	Agregado fino	Agregado grueso
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2.662	2.635
Peso unitario suelto seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.622	1.496
Peso unitario compactado (g/cm <sup>3</sup> )	1.824	1.659
Absorción (%)	1.51	0.64
Humedad (%)	2.6	0.2

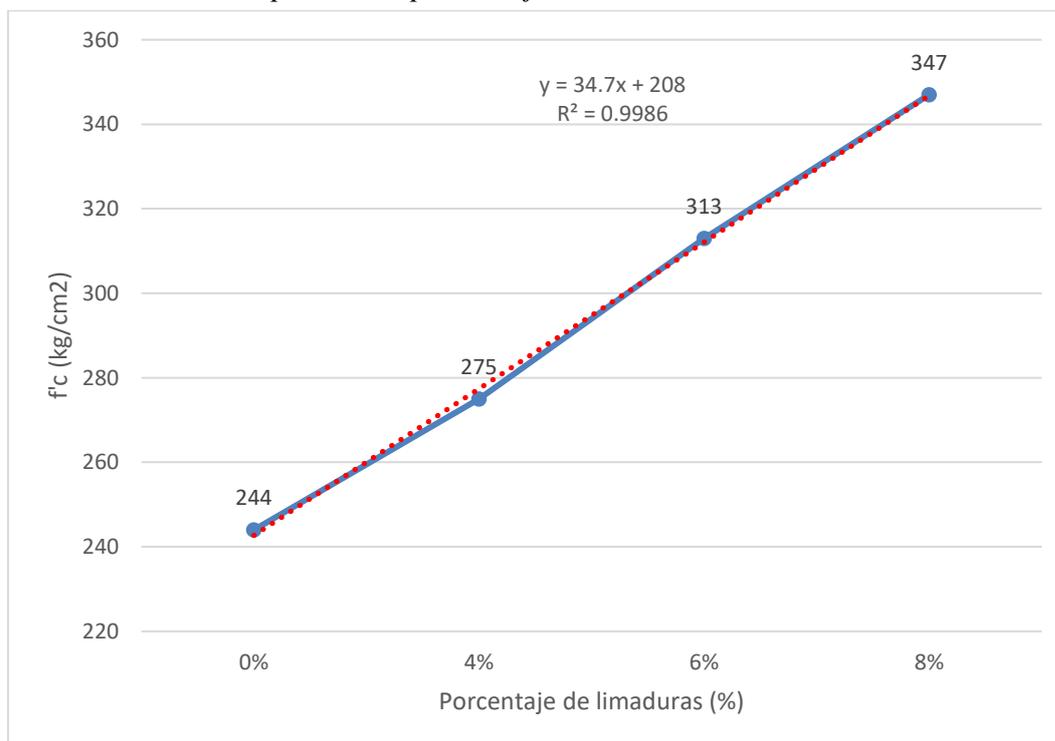
Fuente: Datos obtenidos en laboratorio, 2024

En las tablas y figuras previas, se presenta la granulometría del agregado fino y del agregado grueso. Las curvas granulométricas obtenidas demuestran que la distribución de tamaños es apropiada para la elaboración de concreto.

### 3.2. OE2: analizar la variación de la resistencia a la compresión respecto al porcentaje de limaduras de acero

**Figura 4.**

*Resistencia a la compresión vs porcentaje de limaduras de acero*



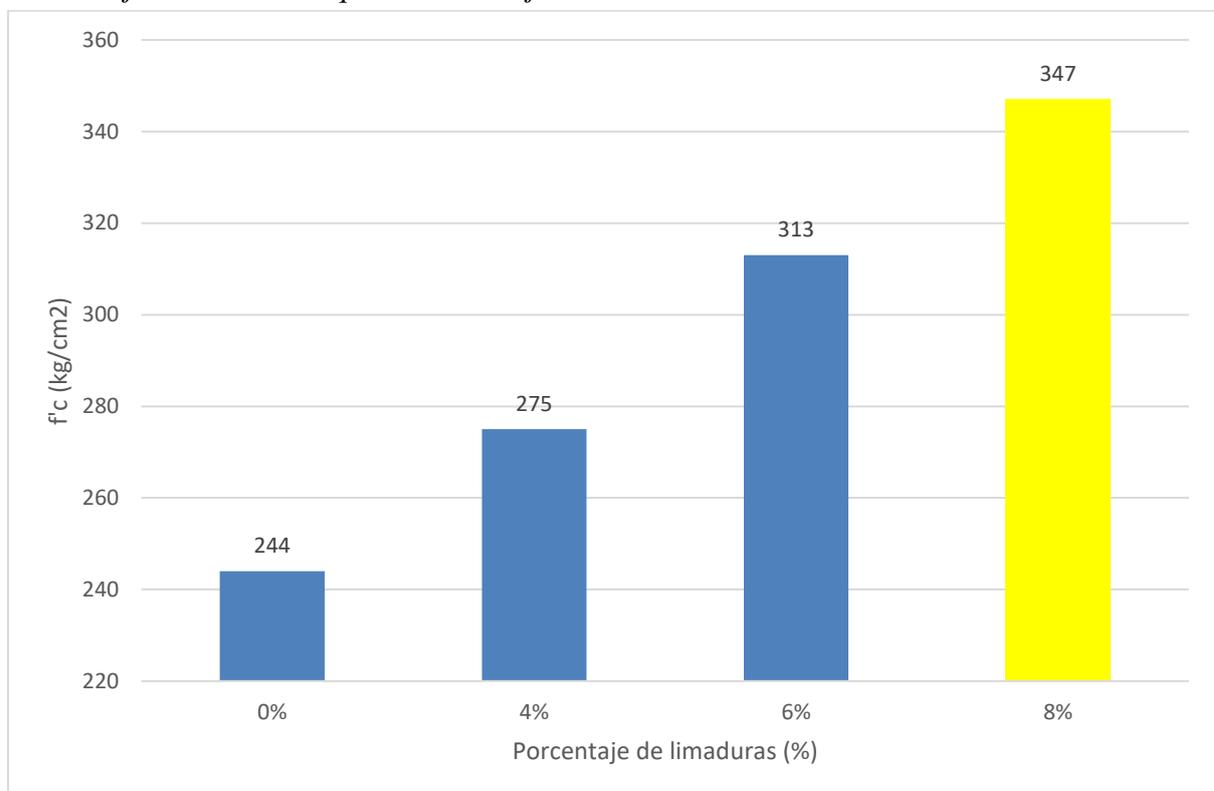
La figura 4 muestra la relación entre la resistencia a la compresión del concreto ( $f'_c$ ) y el porcentaje de incorporación de limaduras de acero, donde se observa un comportamiento lineal creciente descrito por la ecuación  $y = 34.7x + 208$  con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9986$ , lo que indica un ajuste casi perfecto entre los datos experimentales y el modelo lineal. En el grupo control (0% de limaduras de acero), la resistencia a la compresión es de 244 kg/cm<sup>2</sup>. Al incorporar

un 4% de limaduras de acero, la resistencia aumenta a 275 kg/cm<sup>2</sup>, representando un incremento del 12.7% respecto al grupo control. Con un 6% de limaduras, la resistencia sube a 313 kg/cm<sup>2</sup>, mostrando un aumento del 28.3% en comparación con el concreto sin adiciones. Finalmente, con un 8% de limaduras de acero, la resistencia alcanza 347 kg/cm<sup>2</sup>, lo que equivale a un incremento del 42.2% respecto al 0%. Esto sugiere que las limaduras de acero actúan como un refuerzo efectivo, incrementando la capacidad de carga del material. Luego de observar la figura se da como aceptada la hipótesis planteada que dice que conforme aumenta el porcentaje de limaduras de acero, aumenta la resistencia a la compresión del concreto.

### 3.3. OE3: determinar el porcentaje de limaduras de acero con el que obtienes mejores resultados

#### Figura 5.

Porcentaje de limaduras que obtiene mejores resultados

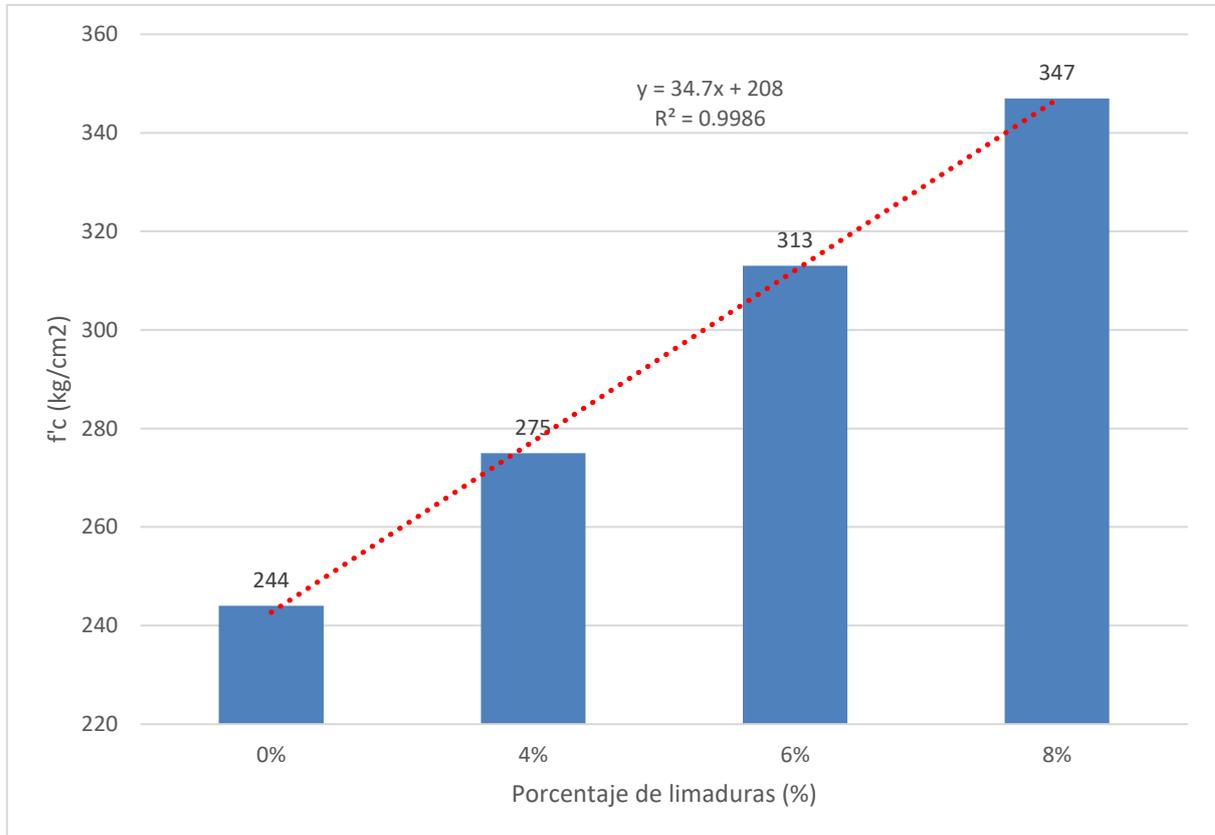


La figura 5 muestra cómo la resistencia a la compresión del concreto ( $f'_c$ ) varía en función del porcentaje de incorporación de limaduras de acero, identificando el porcentaje óptimo para obtener los mejores resultados. En el grupo control (0% de limaduras de acero), la resistencia a la compresión es de 244 kg/cm<sup>2</sup>. Al incorporar un 4% de limaduras de acero, la resistencia aumenta a 275 kg/cm<sup>2</sup>, con un 6% de limaduras, la resistencia alcanza 313 kg/cm<sup>2</sup>, finalmente, al adicionar un 8% de limaduras, la resistencia a la compresión llega a su valor máximo de 347 kg/cm<sup>2</sup>, lo que equivale a un incremento del 42.2% respecto al grupo control. El análisis indica que el porcentaje de 8% de limaduras de acero es el que genera los mejores resultados, maximizando la resistencia a la compresión del concreto. Este resultado confirma que la incorporación de limaduras de acero tiene un efecto positivo en las propiedades mecánicas del concreto, con incrementos significativos a medida que aumenta el porcentaje hasta alcanzar este óptimo, es así que al observar la figura 4, se da por aceptada la hipótesis planteada para este objetivo: el porcentaje de limaduras de acero con el que se obtiene mejores resultados es el 8%.

### 3.4. OG: determinar la influencia de la incorporación de limaduras de acero en la resistencia a la compresión del concreto, Ayabaca, 2024

**Figura 6.**

*Influencia de la incorporación de limaduras de acero en la resistencia a la compresión del concreto*



La figura 6 muestra la influencia de la incorporación de limaduras de acero en la resistencia a la compresión del concreto, evidenciando una relación directamente proporcional entre el porcentaje de limaduras y la resistencia lograda. El análisis estadístico, respaldado por el modelo lineal ( $y=34.7x+208$ ) con un coeficiente de determinación ( $R^2=0.9986$ ), confirma una correlación casi perfecta entre la cantidad de limaduras y la resistencia. Estos resultados evidencian que la incorporación de limaduras de acero mejora significativamente las propiedades mecánicas del concreto, siendo el 8% el porcentaje óptimo para maximizar su resistencia a la compresión, contribuyendo a una alternativa eficiente y sostenible en la construcción.

#### **Prueba de hipótesis:**

Para realizar la prueba de hipótesis, se procedió a aplicar el ANOVA unidireccional con una significancia inicial de 0.05 ( $\alpha$ ) obteniendo significancia luego de la prueba (valor p) de 0,000; al observar que valor  $p < \alpha$  entonces se rechaza la hipótesis nula, así mismo en la prueba de Tukey se observan que todos los grupos evaluados han generado un subconjunto para cada uno, es decir que si existe una diferencia significativa entre todos los grupos evaluados, es por esta razón que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna H1: la influencia de la incorporación de limaduras de acero en la resistencia a la compresión del concreto, Ayabaca, 2024 es significativa.

**Tabla 4.**  
*ANOVA para resistencia a la compresión*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	59004,875	3	19668,292	1323,721	,000
Dentro de grupos	534,900	36	14,858		
Total	59539,775	39			

**Tabla 5.**  
*Tukey para resistencia a la compresión*

Porc_limaduras	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
0%	10	244,4000			
4%	10		275,0000		
6%	10			311,7000	
8%	10				346,6000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos

a. Utiliza el tamaño para los grupos de la media armónica = 10,000.

#### 4. DISCUSIÓN

El objetivo específico 1 fue determinar las características físicas de los agregados destinados a la elaboración del concreto, mediante ensayos granulométricos, peso específico, absorción y densidad. Los resultados obtenidos evidenciaron que la granulometría del agregado fino cumple con los límites establecidos por la norma ASTM C33, con una adecuada distribución de tamaños, garantizando así la trabajabilidad del concreto. El agregado grueso también presentó una distribución granulométrica óptima, con un tamaño nominal ajustado a los requerimientos normativos, contribuyendo a la resistencia estructural del material. El análisis de las propiedades físicas reveló que el peso específico del agregado fino fue de 2.662 g/cm<sup>3</sup>, mientras que el del agregado grueso fue ligeramente inferior, de 2.635 g/cm<sup>3</sup>. La absorción registrada fue de 1.51% para el agregado fino y 0.64% para el grueso, valores que se encuentran dentro de los límites permisibles según la ASTM C33, indicando un comportamiento estable frente a la humedad. Estos datos sugieren que los agregados son aptos para la mezcla de concreto sin riesgos significativos de segregación o pérdida de trabajabilidad. Al comparar estos resultados con antecedentes como el de Garg (2022), quien investigó el impacto de limaduras de acero en concreto, se observa coherencia en la influencia positiva de un agregado bien caracterizado sobre las propiedades del concreto. Garg reportó que la granulometría y absorción del agregado reciclado impactan directamente la trabajabilidad y la durabilidad del concreto. Por otro lado, Wang et al. (2024) destacaron que la adecuación de las propiedades físicas del agregado es crucial para garantizar el confinamiento y la resistencia post-incendio en sistemas compuestos. Además, Djebri et al. (2022) confirmaron que las adiciones metálicas en concreto autocompactante mejoraron su resistencia a compresión, resaltando la importancia de un agregado consistente y de calidad. Estos antecedentes corroboran la relevancia de caracterizar

adecuadamente los agregados para predecir y optimizar el desempeño del concreto. La adecuación de los agregados a las especificaciones normativas asegura que el concreto resultante cumplirá con los estándares de calidad y resistencia requeridos, promoviendo su aplicación en proyectos constructivos exigentes. Este análisis crítico resalta la importancia de adherirse a normas reconocidas como la ASTM C33, no solo para cumplir requisitos técnicos, sino también para fomentar prácticas constructivas sostenibles y eficaces.

El objetivo de este análisis fue determinar la variación en la resistencia a la compresión del concreto en función del porcentaje de limaduras de acero incorporadas en la mezcla. Los resultados obtenidos muestran un comportamiento lineal creciente, descrito por la ecuación  $y=34.7x+208$ , con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.9986, lo que indica una relación altamente consistente entre los datos experimentales y el modelo lineal ajustado. En el grupo control, sin limaduras de acero, se obtuvo una resistencia de 244 kg/cm<sup>2</sup>. Al incorporar un 4% de limaduras, la resistencia aumentó a 275 kg/cm<sup>2</sup>, representando un incremento del 12.7%. Con un 6% de limaduras, la resistencia alcanzó 313 kg/cm<sup>2</sup>, un aumento del 28.3% en comparación con el grupo control.

Finalmente, con un 8%, la resistencia se elevó a 347 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a un incremento del 42.2%. Estos resultados confirman la hipótesis inicial, que planteaba que la adición de limaduras de acero incrementa significativamente la resistencia a la compresión del concreto. Al contrastar estos hallazgos con los antecedentes revisados, Garg (2022) reportó que las limaduras de acero, cuando se emplean como reemplazo parcial de agregados finos, mejoran propiedades como la resistencia y la durabilidad del concreto, aunque con limitaciones en la trabajabilidad al superar ciertos porcentajes. Este estudio corrobora que las limaduras de acero, si se mantienen dentro de proporciones adecuadas, pueden actuar como refuerzos efectivos, mejorando las propiedades mecánicas del material. Por su parte, Ekop et al. (2022) observaron resultados similares al incorporar limaduras de hierro y partículas de vidrio, logrando una resistencia óptima al reemplazar hasta el 20% del agregado fino. La incorporación de limaduras de acero en la presente investigación se alinea con estas observaciones, pero destaca por su efecto lineal continuo hasta el 8%, evidenciando un potencial mayor en el refuerzo estructural. Otro antecedente relevante es el estudio de Marrok et al. (2024), que exploró el uso de fibras metálicas en concreto de alta fluidez (HFSC).

Este análisis mostró mejoras significativas en propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y tracción, similar a los incrementos observados en este trabajo al incorporar limaduras de acero. Aunque Marrok utilizó fibras específicas de acero inoxidable, los resultados coinciden en demostrar el beneficio de los desechos metálicos en la optimización de las propiedades del concreto. Es así que este estudio aporta evidencia sólida sobre el impacto positivo de las limaduras de acero como aditivo en el concreto, ofreciendo una alternativa sostenible para mejorar la resistencia a la compresión. La linealidad y consistencia del aumento en resistencia destacan como una ventaja significativa frente a otros estudios, sugiriendo que este tipo de refuerzo puede implementarse con mayor confianza en aplicaciones estructurales. Sin embargo, sería relevante explorar límites superiores al 8% y analizar el impacto en la trabajabilidad y durabilidad para ampliar el entendimiento y la aplicabilidad de estos hallazgos.

El objetivo de este análisis fue determinar el porcentaje óptimo de limaduras de acero que maximiza la resistencia a la compresión del concreto. Los resultados experimentales indican que el 8% de incorporación de limaduras de acero ofrece los mejores resultados, alcanzando una resistencia a la compresión de 347 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un incremento del 42.2% en comparación con el grupo control (244 kg/cm<sup>2</sup>). Este

comportamiento evidencia un efecto positivo consistente de las limaduras de acero en las propiedades mecánicas del concreto, ya que los incrementos en la resistencia se mantienen lineales y crecientes con cada porcentaje evaluado hasta alcanzar el óptimo identificado. En comparación con estudios previos, Garg (2022) evaluó diferentes niveles de incorporación de limaduras de acero y observó que el aumento en su contenido mejora significativamente la durabilidad y resistencia del concreto hasta ciertos límites, con disminuciones en la trabajabilidad cuando los porcentajes exceden el 40%. Aunque este estudio evaluó porcentajes más altos, confirma que valores moderados, como el 8%, pueden proporcionar beneficios sustanciales en términos de resistencia sin comprometer otras propiedades. De manera similar, Marrok et al. (2024) destacaron la efectividad de las fibras de acero inoxidable en dosis moderadas, mostrando incrementos en la resistencia a compresión, flexión y tracción del concreto. Aunque este antecedente empleó fibras específicas y no limaduras, el patrón de mejora hasta un umbral óptimo concuerda con los resultados de esta investigación, reforzando la hipótesis de que los materiales metálicos reciclados pueden actuar como refuerzos efectivos en el concreto.

Por otro lado, Wang et al. (2024) investigaron el uso de refuerzos de acero en concreto de alta resistencia, concluyendo que la incorporación de estos materiales mejora significativamente las propiedades de confinamiento y carga axial. Si bien el enfoque fue distinto, este antecedente refuerza la idea de que el acero en sus diversas formas puede potenciar las propiedades estructurales del concreto, un hallazgo que se alinea con el comportamiento observado en esta investigación. Se tiene de esta forma que el análisis realizado confirma que el 8% de limaduras de acero es el porcentaje óptimo para maximizar la resistencia a la compresión del concreto. Este hallazgo no solo valida la hipótesis planteada, sino que también destaca el potencial de las limaduras de acero como un recurso sostenible para mejorar las propiedades del concreto. Estos resultados contribuyen al avance de la tecnología del concreto, ofreciendo una solución viable para reutilizar desechos metálicos y mejorar la sostenibilidad en la construcción. Sin embargo, sería recomendable explorar el comportamiento del concreto a largo plazo y bajo condiciones extremas para validar la aplicabilidad práctica de este refuerzo en diferentes escenarios.

El objetivo de este análisis fue determinar la influencia de la incorporación de limaduras de acero en la resistencia a la compresión del concreto en Ayabaca, 2024. Los resultados experimentales evidencian que existe una relación directamente proporcional entre el porcentaje de limaduras de acero y la resistencia alcanzada, descrita por el modelo lineal  $y=34.7x+208$  con un coeficiente de determinación  $R^2=0.9986$ , lo que indica un ajuste casi perfecto entre los datos y el modelo. La resistencia a la compresión se incrementó progresivamente desde el grupo control, con  $244 \text{ kg/cm}^2$ , hasta alcanzar un máximo de  $347 \text{ kg/cm}^2$  con el 8% de limaduras de acero, lo que representa un aumento del 42.2%. El análisis estadístico mediante ANOVA y la prueba de Tukey confirman que la influencia de las limaduras de acero es significativa, rechazándose la hipótesis nula y aceptándose la hipótesis alterna de que estas mejoran de manera considerable las propiedades mecánicas del concreto. Comparando estos resultados con los antecedentes revisados, Garg (2022) reportó mejoras en la durabilidad del concreto con la incorporación de limaduras de acero, aunque señaló que niveles superiores al 40% afectan negativamente la trabajabilidad y aumentan la porosidad. Este estudio coincide en que las limaduras son un aditivo eficiente, siempre que se mantengan dentro de proporciones óptimas, como el 8% evaluado en este trabajo. Por su parte, Marrok et al. (2024) demostró que la adición de fibras metálicas en concreto de alta fluidez incrementa propiedades mecánicas como resistencia a compresión y flexión. Aunque emplearon fibras específicas de acero inoxidable, sus resultados concuerdan en que los desechos metálicos, correctamente

dosificados, mejoran significativamente el desempeño estructural del concreto. Asimismo, Wang et al. (2024) analizaron la inclusión de refuerzos de acero en concreto de alta resistencia, observando una mejora en la capacidad de confinamiento y en las propiedades post-incendio. Aunque su enfoque estuvo en refuerzos internos más complejos, este antecedente refuerza la relevancia de emplear acero en diversas formas para potenciar las propiedades mecánicas del concreto.

En conclusión, el análisis realizado confirma que la incorporación de limaduras de acero tiene una influencia positiva significativa en la resistencia a la compresión del concreto, siendo el 8% el porcentaje óptimo para maximizar esta propiedad. Este hallazgo no solo valida la hipótesis planteada, sino que también resalta el potencial de las limaduras como un recurso sostenible y eficiente en la construcción. Estos resultados promueven la reutilización de desechos industriales, contribuyendo a la economía circular y al desarrollo de materiales de construcción más sostenibles. Sin embargo, futuras investigaciones podrían evaluar los efectos a largo plazo y bajo diversas condiciones ambientales para garantizar su aplicabilidad en distintos contextos constructivo.

## 5. CONCLUSIONES

- El estudio concluyó que la incorporación de limaduras de acero tiene una influencia positiva y significativa en la resistencia a la compresión del concreto. Los resultados mostraron una relación directamente proporcional entre el porcentaje de limaduras de acero y la resistencia alcanzada, con un modelo lineal descrito por la ecuación  $y=34.7x+208$  y un coeficiente de determinación  $R^2=0.9986$ , lo que evidencia una correlación casi perfecta. El análisis estadístico mediante ANOVA y Tukey confirmó la significancia de estas variaciones, rechazando la hipótesis nula. El porcentaje óptimo de limaduras de acero fue del 8%, con una resistencia máxima de  $347 \text{ kg/cm}^2$ , un incremento del 42.2% respecto al grupo control (sin limaduras). Estos resultados demuestran que la utilización de limaduras de acero no solo optimiza las propiedades mecánicas del concreto, sino que también promueve la sostenibilidad al reutilizar residuos industriales, proporcionando una alternativa viable para la construcción moderna.
- La caracterización de los agregados reveló que tanto el agregado fino como el grueso cumplen con los requisitos granulométricos establecidos para su uso en concreto. Las curvas granulométricas mostraron una adecuada distribución de tamaños, garantizando una buena trabajabilidad y cohesión de la mezcla. Los ensayos realizados indican que el peso específico del agregado fino fue de  $2.662 \text{ g/cm}^3$  y el del grueso de  $2.635 \text{ g/cm}^3$ . La absorción de agua fue de 1.51% y 0.64%, respectivamente, dentro de los límites establecidos por las normas técnicas. Estas propiedades aseguran que los agregados no presentan problemas de porosidad excesiva o retención de humedad que puedan afectar negativamente la resistencia del concreto. Por lo tanto, se concluye que los agregados seleccionados son óptimos para la elaboración de mezclas con propiedades mecánicas adecuadas.
- El análisis de los resultados evidenció un incremento significativo en la resistencia a la compresión conforme se incrementó el porcentaje de limaduras de acero, alcanzando un comportamiento lineal creciente descrito por la ecuación  $y=34.7x+208$ , con un coeficiente de determinación  $R^2=0.9986$ . La resistencia aumentó desde  $244 \text{ kg/cm}^2$  en el grupo control (0% de limaduras) hasta  $347 \text{ kg/cm}^2$  con un 8% de limaduras, representando un incremento del 42.2%. Estos resultados demuestran que las limaduras de acero actúan como refuerzo, mejorando significativamente la capacidad de carga del concreto. Se concluye que la incorporación de limaduras de acero genera una influencia positiva constante y

predecible en la resistencia a la compresión del concreto, optimizando su desempeño estructural.

- El porcentaje óptimo de limaduras de acero fue identificado como el 8%, donde se alcanzó una resistencia máxima de 347 kg/cm<sup>2</sup>, el valor más alto registrado en el estudio. Este incremento del 42.2% en comparación con el grupo control confirma que este porcentaje permite maximizar las propiedades mecánicas del concreto sin comprometer su trabajabilidad o cohesión. Los porcentajes inferiores (4% y 6%) también mostraron incrementos significativos, pero sin superar al 8%. Por lo tanto, se concluye que la adición de un 8% de limaduras de acero es el punto óptimo para mejorar la resistencia a la compresión del concreto, proporcionando una alternativa sostenible y eficiente en la construcción.

## 6. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que la investigación se ha llevado a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran interpretarse como un posible conflicto de intereses.

## 7. FINANCIAMIENTO

Esta investigación no recibió apoyo financiero.

## 8. REFERENCIAS

- WAN, Xiangmiao et al. 2024. Effects of Incorporating Steel Fibers and Municipal Waste on the Compressive Strength of Concrete. *Structural Durability & Health Monitoring* [en línea], 218, 4, 505-524 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.32604/sdhm.2024.049363>
- AHAMI, Ali et al. 2024. Enhancing concrete properties with steel waste: a comprehensive review of GGBS, SS, and steel waste utilization. *Innovative Infrastructure Solutions* [en línea], 9, 391 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s41062-024-01717-w>
- TILMATINE, Thileli et al. 2024. Experimental Study on Recycled Concrete and the Impact of Waste Manufacturing Metallic Fibers on its Mechanical Performance. *International Journal of Civil Engineering* [en línea], 2024 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40999-024-01036-2>
- CORREA, William y TORRES, Ana. (2022) Influencia de la resistencia a compresión del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  con la incorporación de bolsas de cemento ecosaco usando agregado de río y de cerro, para uso en la construcción de edificaciones, Cajamarca – 2022. [Tesis; Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/35024>
- HINOSTROZA, Brandon. (2022) Análisis comparativo de las propiedades físico mecánicas del concreto  $f'c=280\text{kg/cm}^2$  con adición de 3%, 6% y 9% de virutas de acero, Lima 2022. [Tesis; Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/32246>
- WANG, Weiwei et al. 2024. Behavior of cross-shaped stiffened concrete-filled steel tubular stub columns after fire exposure. *Structures* [en línea], 68, 2024, 107266 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107266>

- MARROK, Sara et al. 2024. Investigating the Impact of Stainless Steel Shavings Fibers 316L on Enhancing the Properties of High-Flow Sand Concrete in the Long-Term. IIETA [en línea], 2024, 529-537 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.18280/acsm.480410>
- SMITH, Ian. 2023. Compressive and Flexural Tensile Strength Impacts of Aluminum Shavings in Concrete. Construction Management [en línea], 2023 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://digitalcommons.calpoly.edu/cmsp/729>
- GARG, Himanshu. 2022. Durability of concrete made with steel filings as a replacement of fine aggregate. Materials Today: Proceedings [en línea], 49, 2022, 3127-3221 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.146>
- EKOP, Ifiok. 2022. Comparative study on recycled iron filings and glass particles as a potential fine aggregate in concrete. Resources, Conservation & Recycling Advances [en línea], 15, 2022, 200093 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200093>
- DJEBRI, Noura et al. 2022. The Effect of the Use of Residues (Metallic Shavings) in the Formulation of Self-Compacting Concrete in Fresh and Hardened State. IIETA [en línea], 2022, 301-306 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.18280/acsm.460603>
- SATHYANARAYANA, D. y PADMAPRIYA, R. 2021. Behaviour of Conventional Concrete Treated with Robo Sand and Iron Shavings. Materials Science Forum [en línea], 1019, 2021, 110-117 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1019.110>
- OFUYATAN, Olatokunbo et al. 2019. Effect of waste aluminium shavings on the bond characteristics of laterized concrete. Advances in materials Research [en línea], 2019, 8, 25-36 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.12989/AMR.2019.8.1.025>
- PEREIRA-BARCELÓ, Javier et al. 2024. Mechanical properties of recycled aggregate concrete reinforced with conventional and recycled steel fibers and exposed to high temperatures. Construction and Building Materials [en línea], 452, 2024, 138976 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138976>
- MOHAMMAD, Almulhim et al. 2024. Influence of Steel-to-Concrete Ratio on Sustainable Column Design in Saudi Arabia. Heliyon [en línea], 2024, e40261 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40261>
- LIU, Kai et al. 2020. Induction heating of asphalt mixtures with waste steel shavings. Construction and Building Materials [en línea], 234, 2020, 117368 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117368>
- ALIKHANI, Hadi y LATIFI, Manouchehr. 2022. Evaluation of the effect of Waste steel Shaving, damage severity and strain level on the healing behavior of asphalt mixtures at different damaging-healing cycles. Construction and Building

- Materials [en línea], 347, 2022, 128514 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117368>
- GORJI, Mojtaba et al. 2024. Durability and Compressive Strength of Composite Polyolefin Fiber-Reinforced Recycled Aggregate Concrete: An Experimental Study. *Composites Part C: Open Access* [en línea], 2024, 100533 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2024.100533>
- YAN, Xi y TAN, Yan. 2023. Utilizing incineration bottom ash-infused steel fiber-reinforced concrete: An analysis of compressive strength and carbonation durability. *Materials Letters* [en línea], 378, 2023, 137570 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2024.137570>
- ALI, Mohsin et al. 2024. Genetic programming-based algorithms application in modeling the compressive strength of steel fiber-reinforced concrete exposed to elevated temperatures. *Composites Part C: Open Access* [en línea], 15, 2024, 100529 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2024.100529>
- BAIMYRZAEVA, Mahabat, 2018. *Beginners' Guide for Applied Research Process: What Is It, and Why and How to Do It?* [en línea] Universidad Central de Asia [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.ucentralasia.org/media/ackcdaec/uca-ippa-op4-beginners-guide-for-applied-research-process-eng.pdf>
- NEUMARK, David, 2018. Experimental Research on Labor Market Discrimination. *Journal of Economic Literature* [en línea], 56, 3, 779-866 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1257/jel.20161309>
- BLOOMFIELD, Jacqueline y FISHER, Murray, 2019. Quantitative research design. *Journal of the Australasian Rehabilitation Nurses Association* [en línea], 22, 2, 27-30 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.738299924514584>
- PERUGINI, Marco, GALLUCCI, Marcello y COSTANTINI, Giulio, 2018. A practical primer to power analysis for simple experimental designs. *Revue Internationale de Psychologie Sociale* [en línea], 31, 1, 1-23 [consulta: 01 de junio de 2024]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.5334/IRSP.181>