



OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS EMPLEANDO HOJAS DE COCA Y FIBRAS DE ACERO

OPTIMIZATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF RIGID PAVEMENT CONCRETE USING COCA LEAVES AND STEEL FIBERS

Yulifer, Pillaca Sicha¹; Leopoldo, Choque Flores²; Karla Gabriela, Gamarra Benavente³; Andrew Stwars, Sánchez Chávez⁴

Recibido 20/07/2024; Aprobado: 10/12/2024

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica261.6>

RESUMEN

Se propone como objetivo del estudio que aquí se presenta, optimizar las características de soporte mecánico del concreto resistente utilizado en estructuras viales aplicando aditivos de cenizas de hojas de coca y fibras de acero. Por lo que, se emplearon 45 probetas para la resistencia a compresión, otras 45 como vigas evaluadas en flexión, así como 15 para asentamiento, de acuerdo con lo establecido en la norma E.0.60. Al vigésimo octavo día, se logró un esfuerzo máximo de 35,53 MPa a compresión por el diseño conformado por 1,75% de cenizas de hoja de coca y 1,75% de fibras de acero, mientras que en resistencia a flexión un esfuerzo máximo de 5,24 MPa para el diseño 2 conformado por fibras de acero y cenizas de hoja de coca al 2,50%, el asentamiento del diseño 1 compuesto por 1,75 de fibra de acero y cenizas de hoja de coca adquirió un revenimiento de 2,83”. La aplicación de esta mezcla aporta de manera efectiva en diferente magnitud a las propiedades evaluadas del presente estudio.

Palabras clave: *propiedades mecánicas del concreto; pavimento; resistencia a compresión del concreto; resistencia a flexión del concreto*

¹Yulifer, Pillaca Sicha. Estudiante de la Universidad César Vallejo. Lima. Perú. Correo: ypillacas@ucvvirtual.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-7912>

²Leopoldo, Choque Flores. Doctor en ingeniería civil. Docente investigador en la Universidad César Vallejo. Lima. Perú. Correo: lchoquef@ucv.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0914-7159>

³Karla Gabriela, Gamarra Benavente. Ingeniero civil de la Universidad César Vallejo. Lima. Perú. Correo: kgamarrab@ucvvirtual.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2726-6047>

⁴Andrew Stwars, Sánchez Chávez. Ingeniero civil de la Universidad César Vallejo. Lima. Perú. Correo: asanchezcha@ucvvirtual.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5901-0893>

ABSTRACT

The objective of the study presented here is to optimize the mechanical support characteristics of resistant concrete used in road structures by applying coca leaf ash and steel fiber additives. Therefore, 45 specimens were used for compression resistance, another 45 as beams evaluated in bending, as well as 15 for settlement, in accordance with the provisions of standard E.0.60. On the twenty-eighth day, a maximum stress of 35,53 MPa in compression was achieved for the design made up of 1,75% coca leaf ash and 1,75% steel fibers, while in flexural strength a stress maximum of 5,24 MPa for design 2 made up of steel fibers and 2,50% coca leaf ash, the slump of design 1 made up of 1,75 of steel fiber and coca leaf ashes acquired a slump of 2,83". The application of this mixture effectively contributes in a different magnitude to the properties evaluated in this study.

Keywords: concrete mechanical properties; pavement; concrete compressive strength; concrete flexural strength

1. INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento general que las vías de transporte terrestre fueron construidas con la finalidad de unir uno o más lugares de forma segura y eficiente, actualmente la empleabilidad de pavimentos como estructuras viales es común en ciudades y países alrededor del mundo, por lo que, establecer el diseño del pavimento como tal, será de importancia para cumplan su propósito. Los pavimentos de concreto son empleados constantemente en vías urbanas, carreteras, aparcaderos y aerovías por su bajo costo de mantenimiento y vigencia de durabilidad [1]. A lo largo de la búsqueda de implementación de técnicas y estrategias, han demostrado que dependiendo de la mezcla el concreto utilizado no es óptimo para estructuras viales, presentándose fallas debido al diseño para resistir las cargas flectoras y de tracción ejercidas por los vehículos actuales, puesto que en la mayoría de las vías son diseñadas para un tráfico menor al que soportará en un futuro no muy lejano [2].

Por ejemplo, en San José de Cúcuta, Colombia, se señaló a través de un estudio que los pavimentos de las principales vías están constantemente expuestos a altos niveles de carga, lo que frecuentemente originaba problemas como fisuras debido a una dosificación inadecuada de los materiales durante el proceso de mezcla, mal manejo de los materiales de construcción y, en algunos casos, un cálculo erróneo del índice diario anual de vehículos que transitan por el lugar. Lo que conduce a agrietamientos y deformaciones en las estructuras, a este problema se le sumó el aumento del crecimiento poblacional, generando una disminución en la vida útil del pavimento [3].

En un entorno más específico como Perú, se determinó que los principales problemas de los pavimentos son la fracturación y fisuramiento de la capa de rodadura vehicular, esto se debe al desplazamiento poblacional de las zonas descentralizadas a las urbanas, generando un aumento del tráfico diario en las vías de comunicación como las avenidas de Azángaro

Salinas en Puno, ocasionando un desgaste mecánico en la superficie de rodadura de los pavimentos. Asimismo, los autores mencionados señalaron que actualmente casi el 50% de la población mundial reside en zonas urbanas, y que estas tasas se han incrementado en casi un 80% solo en los últimos años [4].

Asimismo, también en otro estudio se señaló que la presencia de agrietamientos por falla mecánica fueron los principales indicadores que deterioraron al pavimento, es decir, fatiga de la losa por sobrecargas vehiculares lo que hizo que este se desunifique consecuentemente hasta rupturas por el aumento de vehículos transitorios por la avenida Industrial – Lurín, trayendo consigo debilitamiento del pavimento por desprendimiento y erosiones del manto de rodadura [5]. Mientras que, en Lima Metropolitana, el concreto es utilizado para estructuras viales debido a su durabilidad estos requieren diseños capaces de soportar mayores esfuerzos ante el aumento del tráfico vehicular, señalando a los tipos de esfuerzos como uno de los principales factores que deterioran los pavimentos [6].

Basado en lo expuesto, esta investigación tiene como objetivo principal evaluar la efectividad del uso combinado de cenizas de hojas de coca y fibras de acero en el diseño de concreto para pavimentos rígidos. Para lograr este propósito, es fundamental determinar cómo estos componentes contribuyen a mejorar las propiedades mecánicas del concreto, específicamente su resistencia a la compresión, flexión y durabilidad. Además, se buscó analizar la viabilidad de implementar esta mezcla innovadora en las condiciones particulares de la zona de estudio, considerando factores como el clima, el tráfico y las cargas a las que estarán sometidos los pavimentos. Este enfoque no solo promete optimizar el rendimiento del concreto, sino también ofrecer una solución sostenible que aprovecha un residuo agrícola local.

2. DESARROLLO

El concreto presenta limitaciones en cuanto a su resistencia a la tensión, exhibe una ductilidad reducida y es propenso a la formación de fisuras, de los cuales, para satisfacer las demandas de la construcción de estructuras de gran altura y edificaciones de envergadura, se hace necesario el empleo de concreto de características superiores. Una estrategia efectiva para disminuir la fragilidad e incrementar la capacidad de tensión del concreto consiste en la incorporación de fibras, que no solo potencian la resistencia del material a las fuerzas de tracción previo a la aparición de grietas, sino que también mejoran su comportamiento dúctil una vez que estas se han formado [7]. Asimismo, el uso de materiales cementantes alternativos se ha vuelto esencial en la creación de concretos de alto desempeño, especialmente cuando se considera la longevidad como un factor crucial [8].

En diversas investigaciones se ha demostrado que la incorporación de fibras de acero (FA) en las mezclas de concreto potencia significativamente su rendimiento. Las FA se emplean principalmente para incrementar la tenacidad, la resistencia a la tracción y la capacidad de flexión del concreto, que además, juegan un papel crucial en la limitación de la propagación de grietas más allá del punto de carga máxima, que hacen que el concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) sea ampliamente utilizado en la construcción de pavimentos, puentes y losas, es por ello que se considera como propósito fundamental de añadir fibras a cualquier compuesto, es para la optimización del desempeño, particularmente de la resistencia a la deformación, de las cuales, se debe a sus características inherentes, como un alto módulo de elasticidad, rigidez y resistencia a la tracción, que facilita una conexión mecánica interna más eficiente [9].

En base a estudios previos, se pudo encontrar investigaciones que promovieron el uso de cenizas naturales como Pereira et al. [10] en su artículo científico que utilizaron cenizas de bambú para lograr mejorar las propiedades del concreto que emplearon reemplazos respecto al cemento porcentajes de 10, 20 y 30%, del cual resultó una mejora de 1% al agregar la dosificación máxima del aditivo propuesto. Asimismo, Farfán et al. [11] pretendieron mejorar las características del concreto mediante la adición de fibras de acero agregando en dosificaciones de 25 y 30 kg/cm³, del cual, mediante su etapa de laboratorio durante los ensayos lograron determinar que el presentar la menor dosificación mejora hasta 1,01%. Mientras que, De la Cruz, Juárez y Sánchez [12] lograron detectar una mejoría proporcionada a partir de la incorporación de las fibras de acero en proporción de 6% sobre el concreto para pavimentos rígidos, con un índice de mejora de 11,38%.

Los objetivos de la investigación que aquí se presenta, se centran en la ingeniería y la tecnología del concreto, con un enfoque especial en la sostenibilidad ambiental y eficiencia del producto, mediante la incorporación de cenizas de hojas de coca, un subproducto agrícola generalmente desechado, junto con fibras de acero, representa una innovación en la producción de materiales para pavimentos rígidos, en donde, no solo se busca optimizar las propiedades mecánicas del concreto, sino que también aborda la problemática ambiental al reutilizar un residuo agrícola. La novedad de este enfoque radica en su potencial para reducir la huella ecológica de la construcción de pavimentos, al tiempo que se mejora su rendimiento, además, esta estrategia podría disminuir los costos asociados a la producción de concreto de alto desempeño, ofreciendo una solución que alinea la eficiencia económica con la responsabilidad ambiental.

3. METODOLOGÍA

Respecto al método de investigación, fue aplicado, proponiendo una solución innovadora basada en fundamentos teóricos, específicamente la incorporación de CHC y FA en el concreto para pavimentos rígidos, en la búsqueda de mejorar sus propiedades mecánicas, considerando evaluar no solo su desempeño técnico sino también su factibilidad a nivel de funcionamiento [13].

El nivel de investigación fue correlacional, ya que buscó examinar y establecer estadísticamente la relación entre las variables mediante la recopilación y análisis de datos para determinar su efectividad [14]. El enfoque aplicado fue cuantitativo, puesto que se basó en el análisis de datos numéricos recolectados para abordar las preguntas de investigación [15].

De modo que, en este estudio, se empleó la técnica de observación y análisis de documentos, con el fin de examinar las características de las Cenizas de hoja de coca (CHC) y las fibras de acero (FA), y su impacto en las propiedades del concreto. También, se recopiló información de múltiples fuentes, que incluyeron literatura científica, regulaciones, publicaciones y trabajos académicos, y los resultados se compararon de los ensayos realizados por esta investigación. En el presente estudio, se empleó un total de 90 especímenes de concreto con la incorporación de cenizas de hoja de coca y fibras de acero, separándose en los diferentes ensayos. Se utilizaron 45 probetas de 4" x 8" para la resistencia a compresión y 45 vigas de 15 x 15 x 50 para las muestras de flexión, en cada caso, se realizaron 3 ensayos por cada edad de acuerdo con lo establecido en la norma E. 0.60 [16]. además, se emplearon 15 muestras para la prueba de asentamiento.

Por otra parte, se procedió a seguir el siguiente procedimiento para elaborar y evaluar las probetas y vigas con y sin contenido de FA y CHC:

- *Preparación de la materia prima:* se recogieron hojas de coca y puestas a secado, garantizando su limpieza inicial para eludir la incorporación de impurezas como tierra o algún otro elemento no deseado. Las hojas fueron transformadas en polvo más diminuto con el fin de posibilitar una quema uniforme y regulada. Así mismo se escogieron fibras de acero de grado industrial que se adaptaran a las normas de ASTM A820 [17], de tipo circular y corta; los hilos se hallaron en longitudes que estaban entre los 30 y los 50 mm y tenían un diámetro de 0,5-1 mm
- *Incineración:* las hojas machacadas fueron acomodadas dentro de un fogón de purga con

temperaturas que fluctúan entre los 500°C y los 700°C, haciendo que la totalidad de los materiales orgánicos sean eliminados y consiguiendo cenizas de buena calidad. El lapso de incineración se estableció entre 1,5 y 2 horas, con un control específico de la temperatura y la corriente de oxígeno para asegurar una quema eficaz

- *Preparación de las fibras:* estas partículas de acero fueron limpiadas y acondicionadas para remover aceites o residuos que pudiesen afectar su agarre al concreto
- *Recolección y acondicionamiento:* la ceniza elaborada se dejó refrigerar en un ámbito controladas para eludir la contaminación de afuera. Luego, la ceniza fue clasificada a través de un tamiz que tenía un tamaño de 75 μm (ASTM E11 [18]), lo que garantizó la uniformidad del material con el fin de agregarlo al cemento
- *Diseño de mezcla:* para alcanzar una resistencia de $F'_c=27,46$ MPa, tanto para el concreto patrón como para los especímenes experimentales. Estos últimos incluyeron modificaciones en su composición mediante la incorporación de cenizas de hojas de coca y fibras de acero, calculando las proporciones necesarias de todos los componentes: cemento, agua, agregados finos y gruesos, y los materiales propuestos
- *Elaboración de probetas y vigas del concreto patrón y concreto con contenido de FA y CHC:* El procedimiento realizado se llevó a cabo en el laboratorio (<https://jgeotecniasac.com>), bajo la supervisión de especialistas y técnicos en el tema, y contando con la participación de los autores del presente artículo

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de Agregados Finos y Gruesos

Se desarrolló la caracterización de los agregados destinados en la elaboración del concreto para el pavimento rígido, a lo cual, se realizó en el laboratorio antes mencionado el tamizado de los agregados de partículas finas y gruesas. La Norma Técnica Peruana NTP 400.037 [19] especifica que la muestra seleccionada para el estudio debe pasar en su totalidad (100%) la malla 3/8", siendo el tamiz N°4 el que presenta generalmente el primer valor de material retenido estimándose en un 95%, de este modo cada abertura de tamizaje presentaría una cantidad del agregado en forma de retenido pasando hasta la malla N°200 y terminando el residuo en la tara o fondo entre un máximo del 3% del total de la muestra.

De la expresión brindada anteriormente, se puede inferir que el ensayo granulométrico de los agregados presenta y determina como se distribuyen las partículas de una muestra entre los

diferentes tamices, ello también contribuye en la determinación de los requerimientos mínimos estipulados por la normativa para que el material sea apto en su aplicación de diseños de concreto [20]. Se identificaron las propiedades de los agregados finos que se emplearon durante la elaboración del concreto, por tanto, se obtuvo los siguientes resultados reflejados en la Tabla 1:

Tabla 1. Propiedades físicas del agregado fino. Fuente: los autores

Propiedades Físicas	AF
Tamaño de la muestra (kg)	943,70
Tamaño máximo nominal	4,75
Tamaño máximo	9,50
Módulo de finura	3,00
Contenido de Humedad (%)	1,48
Porcentaje de Absorción (%)	1,65
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1533,33
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1769,67
Peso específico (N/m ³)	2630

Además, en la Tabla 1 se puede apreciar que el agregado fino presentó un contenido de humedad aproximado de 1,5% y un porcentaje de absorción de 1,65%. Por lo tanto, fue necesario corregir el diseño de mezcla de concreto inicial, ya que se requirió un incremento en el agua de mezclado. El agregado fino tuvo un peso unitario suelto de 150,37 MPa y un peso unitario compactado de 17,36 N/m³. Finalmente, se obtuvo un peso específico de 2630 N/m³. Tras realizar estos ensayos y analizar los resultados obtenidos, se consideró que el material seleccionado era apto para ser utilizado como agregado fino.

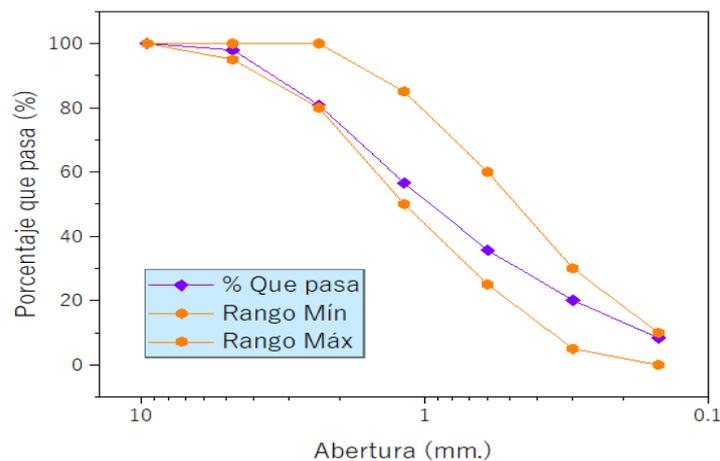


Figura 1. Curva de distribución granulométrica del agregado fino. Fuente: los autores

La Figura 1 presenta la curva granulométrica obtenida de la muestra durante el estudio, siguiendo la norma NTP 400.037 [19], esta curva muestra los porcentajes que pasan a través del tamiz de 3/8" y tamaños inferiores, así como también la muestra retenida, la cual cumple con los parámetros establecidos por la normativa vigente. El material representado

en esta curva granulométrica se utilizó para el diseño de mezcla y la elaboración del concreto patrón, al cual se le adicionaron dosificaciones de cenizas de hojas de coca y fibras de acero. Por otro lado, se identificaron las propiedades de los agregados gruesos que se emplearon durante la elaboración del concreto, por tanto, se obtuvo los siguientes resultados dispuestos en la Tabla 2.

Tabla 2. *Propiedades físicas del agregado grueso. Fuente: los autores*

Propiedades Físicas	AF
Tamaño de la muestra (kg)	2138,60
Tamaño máximo nominal	37,5
Tamaño máximo	24,5
Módulo de finura	7,47
Contenido de Humedad (%)	0,20
Porcentaje de Absorción (%)	1,05
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1491,00
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1623,33
Peso específico (N/m ³)	2680

Mientras que, en la Tabla 2 se puede apreciar que el agregado grueso presentó un contenido de humedad aproximado de 0,20% y un porcentaje de absorción de 1,05%. Por lo tanto, fue necesario corregir el diseño de mezcla de concreto inicial, ya que se requirió un incremento en el agua de mezclado. El agregado grueso tuvo un peso unitario suelto de 14,62 kN/m³ y un peso unitario compactado de 15,92 kN/m³. Finalmente, se obtuvo un peso específico de 2,68 kN/m³. Tras realizar estos ensayos y analizar los resultados obtenidos, se consideró que el material seleccionado era apto para ser utilizado como agregado grueso. En la Figura 2 presenta la curva granulométrica obtenida de la muestra durante el estudio, siguiendo la norma NTP 400.037 [19], esta curva muestra los porcentajes que pasan a través del tamiz de 1 ½” y tamaños inferiores, así como también la muestra retenida, la cual cumple con los parámetros establecidos por la normativa vigente.

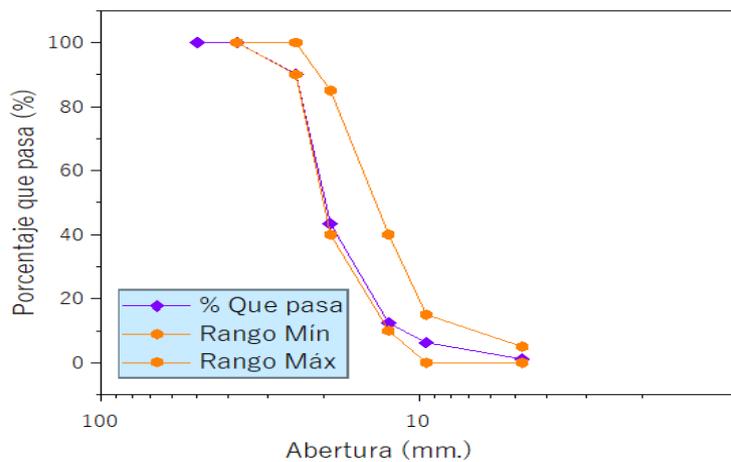


Figura 2. *Curva de distribución granulométrica del agregado grueso. Fuente: los autores*

4.2. Determinación de la Cantidad de Fibras de Acero y Cenizas de Hoja de Coca

Una vez que se obtuvieron valores positivos de los agregados finos como también de los gruesos, se procedió con la etapa del diseño de mezcla, donde se expone la propuesta para cada aditivo que se evalúa en la presentación, se revela el meticuloso proceso de planificación y formulación de cada material, así como su proporción que fueron seleccionados cuidadosamente para lograr la resistencia deseada de la mezcla ($F'_c=27,46$ MPa). A continuación, en la Tabla 3 se contempla el diseño de la mezcla tanto para el concreto de referencia como para el concreto que contiene las fibras de acero y cenizas de hojas de coca. Se especifica para muestra Patrón como CR y las experimentales G-.

Tabla 3. Propiedades físicas del agregado grueso. Fuente: los autores

N° de Muestras	Diseño de Mezcla				
	Patrón	Muestras			
		CR	G - 1	G - 2	G - 3
Cemento (kg)	60,55	59,49	59,04	59,49	59,04
Agua (l)	30,47	30,47	30,47	30,47	30,47
AF (kg)	107,30	105,43	104,62	104,62	105,43
AG (kg)	158,57	158,57	158,57	158,57	158,57
CHC (kg)	0	1,06	1,51	1,06	1,51
FA (kg)	0	1,88	2,68	2,68	1,88
Total	356,89	356,90	359,89	356,89	356,90

4.3. Evaluación de las Propiedades del del Concreto Patrón y Concreto Experimental

Se evaluaron en conjunto algunas propiedades del concreto que permitieron determinar la dosificación óptima, de los cuales, fueron las siguientes:

Asentamiento

En la Tabla 4 se visualiza los valores obtenidos del ensayo de asentamiento o revenimiento del concreto referencial o Patrón (CR) y del concreto con adición de fibras de acero en porcentajes de 1,75% y 2,0% y cenizas de hojas de coca en porcentajes de 1,75% y 2,50% que fueron considerados como G - 1, G - 2, G - 3 y G - 4.

Tabla 4. Asentamiento del concreto con FA y CHC. Fuente: los autores

N° de Muestras	Ensayo de asentamiento del concreto (in)				
	Patrón	Muestras			
		CR	G - 1 (1,75% CHC + 1,75% FA)	G - 2 (2,50% CHC + 2,50% FA)	G - 3 (1,75% CHC + 2,50% FA)
M-1	4	2 3/4	1	2	1 1/2
M-2	3 3/4	3	1	2 1/4	2
M-3	3 3/4	2 3/4	1 1/4	2 1/4	1 3/4
Promedio	3 5/6	2 5/6	1	2	1 3/4

Resistencia a compresión

En la Tabla 5 se visualiza los valores obtenidos del ensayo de resistencia a compresión del concreto referencial (CR) y del concreto con adición de fibras de acero en porcentajes de 1,75% y 2,50% y cenizas de hojas de coca en porcentajes de 1,75% y 2,50% que fueron considerados como G - 1, G - 2, G - 3 y G - 4.

Tabla 5. Resistencia a compresión del concreto con FA y CHC. Fuente: los autores

Resistencia a compresión del concreto (MPa)					
Días	Muestras				
	Patrón	Experimentales			
		CR	G - 1 (1,75% CHC + 1,75% FA)	G - 2 (2,50% CHC + 2,50% FA)	G - 3 (1,75% CHC + 2,50% FA)
7	21,97	23,81	22,67	23,98	24,03
14	23,85	27,10	26,46	25,35	26,52
28	29,70	32,53	30,44	28,88	31,44

En la Figura 3 se visualiza la curva de maduración del concreto a los 7, 14 y 28 días, de los cuales, se evaluó mediante una prensa hidráulica para determinar la resistencia máxima y promedio de las probetas con y sin contenido de FA y CHC.

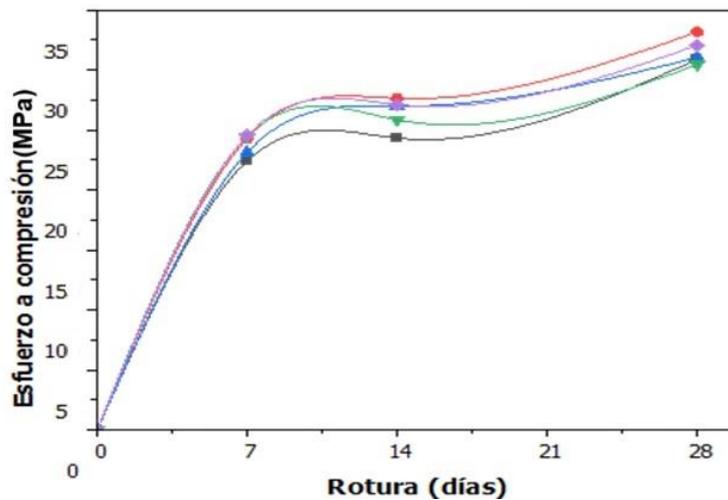


Figura 3. Curva de maduración de resistencia a compresión del concreto. Fuente: los autores

Resistencia a flexión

En la Tabla 6 se visualiza los valores obtenidos del ensayo de resistencia a flexión del concreto referencial (CR) y del concreto con adición de fibras de acero en porcentajes de 1,75% y 2,50% y cenizas de hojas de coca en porcentajes de 1,75% y 2,50% que fueron considerados como G - 1, G - 2, G - 3 y G - 4. En la Figura 4 se visualiza la curva de maduración del concreto a los 7, 14 y 28 días, de los cuales, se evaluó mediante una prensa hidráulica para determinar la resistencia máxima y promedio de las vigas con y sin contenido de FA y CHC.

Tabla 6. Resistencia a flexión del concreto con FA y CHC. Fuente: los autores

Resistencia a flexión del concreto (MPa)					
Días	Muestras				
	Patrón	Experimentales			
	CR	G - 1 (1,75% CHC + 1,75% FA)	G - 2 (2,50% CHC + 2,50% FA)	G - 3 (1,75% CHC + 2,50% FA)	G - 4 (2,50% CHC + 1,75% FA)
7	3,88	3,95	4,19	4,08	3,92
14	4,51	4,63	4,63	4,75	4,59
28	5,22	4,82	5,24	5,04	4,75

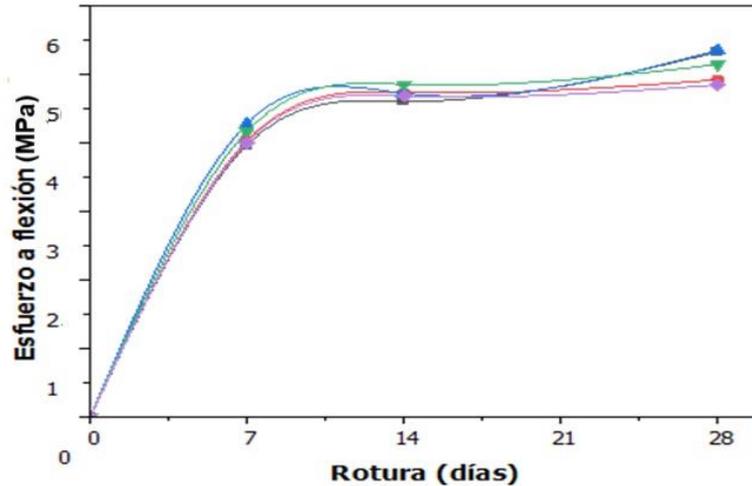


Figura 4. Curva de maduración de resistencia a flexión del concreto. Fuente: los autores

4.4. Análisis Comparativo del Concreto Patrón y Concreto Experimental

Asentamiento

De acuerdo con la Figura 5, se observa el comportamiento del concreto supliendo agregados finos y gruesos por cenizas de hojas de coca y fibras de acero, ambas en porcentaje de 1,75%, del cual se denota que a medida que se agrega mayor cantidad del material propuesto, la trabajabilidad del concreto va disminuyendo significativamente.

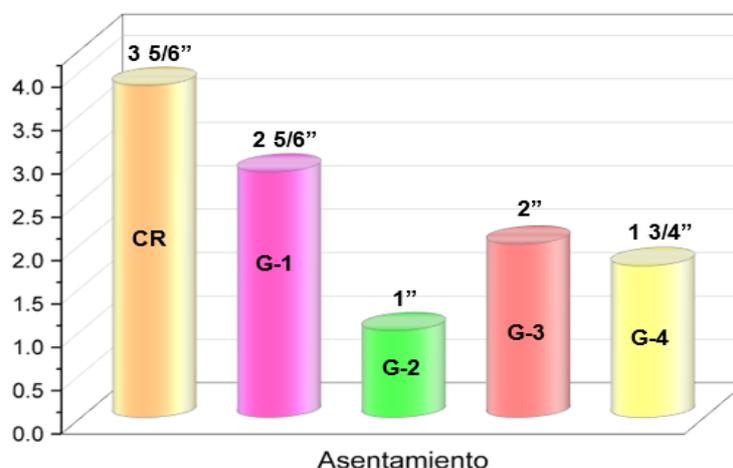


Figura 5. Comparación del asentamiento del concreto con y sin adición de FA y CHC. Fuente: los autores

En base a los resultados obtenidos en el ensayo de revenimiento del concreto, se observó que

la trabajabilidad se hubo perdiendo a medida que se iba agregando en mayor proporción los aditivos propuestos, sin embargo, podemos resaltar que la muestra que obtuvo menor cambio respecto al concreto referencial, es el G – 1, que obtuvo un asentamiento de 2 5/6”, mientras que el patrón obtuvo un asentamiento de 3 5/6”, del cual se determinó una diferencia de 26,11% entre las dos muestras.

Resistencia a compresión

De acuerdo con la Figura 6, se observa el comportamiento del concreto supliendo a los agregados finos y gruesos por cenizas de hojas de coca en porcentaje de 1,75% y fibras de acero en porcentaje de 1,75% que superó al patrón en un 8,34%, 13,62% y 9,53%.

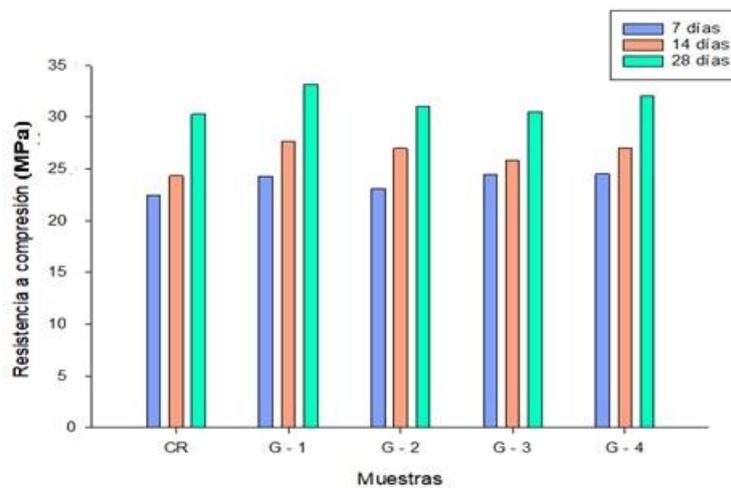


Figura 6. Comparación de resistencia a compresión del concreto con y sin FA y CHC. Fuente: los autores

Resistencia a flexión

Respecto a la Figura 7, se observa el comportamiento del concreto supliendo a los agregados finos y gruesos por cenizas de hojas de coca en porcentaje de 1,75% y fibras de acero en porcentaje de 1,75% que superó al patrón en un 7,83%, 2,48% y 0,51%.

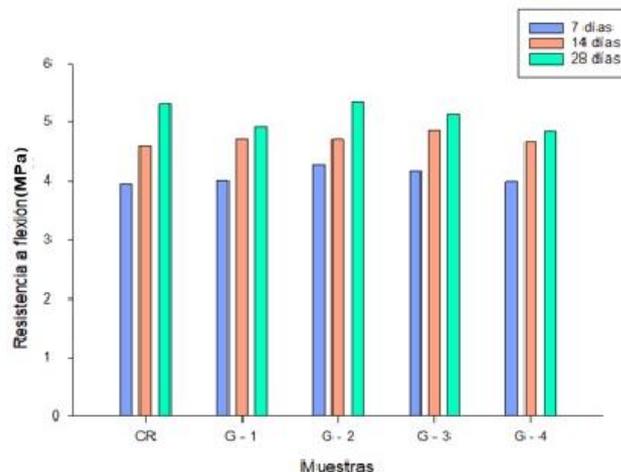


Figura 7. Comparación de resistencia a flexión del concreto con y sin FA y CHC. Fuente: los autores

4.5. Análisis Estadístico

Prueba de normalidad de asentamiento

Posterior al procesamiento e interpretación de resultados, se prosiguió con la contrastación de hipótesis, del cual se inició con la evaluación de la prueba de normalidad (Ver Tabla 7) para las características físicas tales como el asentamiento mediante la siguiente prueba.

Tabla 7. Prueba de normalidad de asentamiento. Fuente: los autores

Test de Normalidad de Asentamiento				
Prueba	Grupo	Estadístico	gl	Significancia
Shapiro Wilk	CR	0,780	3	0,067
	G - 1	0,780	3	0,067
	G - 2	0,780	3	0,067
	G - 3	0,779	3	0,065
	G - 4	1,000	3	1,000

Basándose en los resultados obtenidos durante el test de normalidad del ensayo de asentamiento, se afirmó dicha distribución normal de datos debido a que la significancia (0,067; 0,067; 0,067; 0,065 y 1,000) superan al alfa mínima requerida (0,05) para obtener tal denominación, por consiguiente, se procedió a formular las hipótesis nula y alternativa:

- Hipótesis Nula: Una cantidad definida de cenizas de hojas de coca y fibras de acero no modifican el asentamiento del concreto en pavimentos rígidos.
- Hipótesis Alternativa: Una cantidad definida de cenizas de hojas de coca y fibras de acero modifican el asentamiento del concreto en pavimentos rígidos.

ANOVA de asentamiento

Seguidamente, se tomaron los datos obtenidos del asentamiento para procesarlos en el análisis de varianzas considerando las muestras con contenido de los materiales propuestos (cenizas de hoja de coca y fibras de acero) con el propósito principal de demostrar el nivel de incidencia de estos sobre el concreto ante el revenimiento (Ver Tabla 8).

Tabla 8. ANOVA de asentamiento. Fuente: los autores

Grupo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig,
Entre grupos	13,303	4	3,326	115,240	<0,001
Dentro de grupos	0,289	10	0,029		
Total	13,592	14			

Basándose en lo visualizado en la tabla anterior sobre la determinación del análisis de varianzas del asentamiento, se puede determinar que el nivel de significancia es de 0,001, por lo tanto, al ser un dato inferior a 0,05, se consideró rechazar la hipótesis nula y, por tanto,

aceptar la alternativa.

Post-Hoc de HSD Tukey de asentamiento

A continuación, se muestra la Prueba de Post-Hoc de HSD Tukey para asentamiento (Ver Tabla 9) para definir en que grupo se está produciendo mayor impacto respecto a las adiciones propuestas.

Tabla 9. Comparación múltiple por Post-Hoc Tukey de asentamiento. Fuente: los autores

Comparaciones múltiples para Asentamiento					
Muestra	Muestras	Diferencia de medias	Sig,	IC al 95%	
				Lím, Inf,	Lím, Sup,
CR	G-1	1,00000*	0,000	0,5435	1,4565
	G-2	2,75000*	0,000	2,2935	3,2065
	G-3	1,66667*	0,000	1,2102	2,1232
	G-4	2,08667*	0,000	1,6302	2,5432

Basándose en los datos obtenidos previamente, se estima que se producen cambios al tener una significancia de 0,000, del CR respecto a las demás muestras.

Prueba de normalidad de resistencia a compresión

Posterior al procesamiento e interpretación de resultados, se prosiguió con la contrastación de hipótesis, del cual se continuó con la evaluación de la prueba de normalidad (Ver Tabla 10) para las características mecánicas tales como la resistencia a compresión mediante la siguiente prueba.

Tabla 10. Prueba de normalidad de resistencia a compresión. Fuente: los autores

Test de Normalidad de resistencia a compresión				
Prueba	Grupo	Estadístico	gl	Significancia
Shapiro Wilk	CR	0,988	3	0,793
	G - 1	0,800	3	0,115
	G - 2	0,889	3	0,352
	G - 3	0,935	3	0,507
	G - 4	0,976	3	0,700

Basándose en los resultados obtenidos durante el test de normalidad del ensayo de esfuerzo compresivo, se afirmó dicha distribución normal de datos debido a que la significancia (0,793; 0,115; 0,352; 0,507 y 0,700) superan al alfa mínima requerida (0,05) para obtener tal denominación, por consiguiente, se procedió a formular las hipótesis nula y alternativa:

- Hipótesis Nula: Un porcentaje establecido de cenizas de hojas de coca y fibras de acero no altera la resistencia a compresión del concreto en pavimentos rígidos.
- Hipótesis Alternativa: Un porcentaje establecido de cenizas de hojas de coca y fibras de



acero altera la resistencia a compresión del concreto en pavimentos rígidos.

ANOVA de resistencia a compresión

Seguidamente se tomaron los datos obtenidos del esfuerzo compresivo para procesarlos en el análisis de varianzas considerando las muestras con contenido de los materiales propuestos (cenizas de hoja de coca y fibras de acero) con el propósito principal de demostrar el nivel de incidencia de estos sobre el concreto ante esfuerzos compresivos (Ver Tabla 11).

Tabla 11. ANOVA de resistencia a compresión. Fuente: los autores

Grupo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig,
Entre grupos	1745,411	4	436,353	11,980	<0,001
Dentro de grupos	364,227	10	36,423		
Total	2109,637	14			

Basándose en lo visualizado en la tabla anterior sobre la determinación del análisis de varianzas del esfuerzo compresivo, se puede determinar que el nivel de significancia es de 0,001, por lo tanto, al ser un dato inferior a 0,05, se consideró rechazar la hipótesis nula y, por tanto, aceptar la alternativa.

Post-Hoc de HSD Tukey de Resistencia a compresión

A continuación, se muestra la Prueba de Post-Hoc de HSD Tukey para esfuerzo compresivo (Ver Tabla 12) para definir en que grupo se está produciendo mayor impacto respecto a las adiciones propuestas.

Tabla 12. Comparación múltiple por Post-HocTukey de esfuerzo a compresión. Fuente: los autores

Comparaciones múltiples para Resistencia a Compresión					
Muestra	Muestras	Diferencia de medias	Sig,	IC al 95%	
				Lím, Inf,	Lím, Sup,
CR	G-1	-28,86667*	0,001	-45,0840	-12,6494
	G-2	-7,60000	0,561	-23,8173	8,6173
	G-3	-1,83333	0,995	-18,0506	14,3840
	G-4	-17,80000*	0,030	-34,0173	-1,5827

Basándose en los datos obtenidos previamente, se estima que se producen cambios en el G - 1 y G - 4 al tener una significancia de 0,001 y 0,030.

Prueba de normalidad de resistencia a flexión

Posterior a la contrastación de hipótesis de la característica mecánica esfuerzo a compresión, se continuó con la contrastación de hipótesis del esfuerzo a flexión (Ver Tabla 13), del cual se inició con la evaluación de la prueba de normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilk.

Tabla 13. Prueba de normalidad de resistencia a flexión. Fuente: los autores

Test de Normalidad de resistencia a flexión				
Prueba	Grupo	Estadístico	gl	Significancia
Shapiro Wilk	CR	0,893	3	0,363
	G - 1	0,991	3	0,823
	G - 2	0,982	3	0,743
	G - 3	0,750	3	0,057
	G - 4	0,783	3	0,080

Basándose en los resultados obtenidos durante el test de normalidad del ensayo de esfuerzo a flexión, se afirmó dicha distribución normal de datos debido a que la significancia (0,249; 0,586; 0,545; 0,057 y 0,080) superan al alfa mínima requerida (0,05) para obtener tal denominación, por consiguiente, se procedió a formular las hipótesis nula y alternativa:

- Hipótesis Nula: Una cantidad definida de cenizas de hojas de coca y fibras de acero no modifican la resistencia a flexión del concreto en pavimentos rígidos.
- Hipótesis Alternativa: Una cantidad definida de cenizas de hojas de coca y fibras de acero modifican la resistencia a flexión del concreto en pavimentos rígidos.

ANOVA de resistencia a flexión

Seguidamente se tomaron los datos obtenidos del esfuerzo a flexión para procesarlos en el análisis de varianzas considerando las muestras con contenido de los materiales propuestos (cenizas de hoja de coca y fibras de acero) con el propósito principal de demostrar el nivel de incidencia de estos sobre el concreto ante esfuerzos flexores (Ver Tabla 14).

Tabla 14. ANOVA de resistencia a flexión. Fuente: los autores

Grupo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig,
Entre grupos	63,717	4	15,929	4,898	0,019
Dentro de grupos	32,520	10	3,252		
Total	96,237	14			

Basándose en lo visualizado en la tabla anterior sobre la determinación del análisis de varianzas del esfuerzo a flexión, se puede determinar que el nivel de significancia es de 0.019, por lo tanto, al ser un dato inferior a 0.05, se consideró rechazar la hipótesis alternativa y, por tanto, aceptar la nula.

Post-Hoc de HSD Tukey de Resistencia a flexión

A continuación, se muestra la Prueba de Post-Hoc de HSD Tukey para esfuerzo a flexión (Ver Tabla 15) para definir en que grupo se está produciendo mayor impacto respecto a las adiciones propuestas.

Tabla 15. Comparación múltiple por Post-HocTukey de esfuerzo a flexión. Fuente: los autores

Comparaciones múltiples para Resistencia a Compresión					
Muestra	Muestras	Diferencia de medias	Sig,	IC al 95%	
				Lím, Inf,	Lím, Sup,
CR	G-1	4,06667	0,113	-0,7792	8,9125
	G-2	-0,26667	1,000	-5,1125	4,5792
	G-3	1,83333	0,727	-3,0125	6,6792
	G-4	4,80000	0,052	-0,0458	9,6458

Basándose en los datos obtenidos previamente, se estimó que en el grupo donde se produjo un cambio más significativo en contraste con el Concreto Referencial fue el G - 4

5. CONCLUSIÓN

La aplicación de cenizas de hojas de coca y fibras de acero en mezclas de concreto para pavimentos rígidos presenta beneficios tanto ecológicos como económicos, con una perspectiva ambiental, permitirá el aprovechamiento de residuos de hojas de coca decomisadas que normalmente se incineran sin utilidad, mientras que las fibras de acero pueden provenir de material reciclado, contribuyendo a la economía circular.

Los resultados mostraron que el concreto para pavimentos rígidos con adición de cenizas de hojas de coca (CHC) y fibras de acero (FA) superó al convencional en resistencia a la compresión, alcanzando como máximo valor 32,53 MPa con 1,75% de cada componente, frente a 29,70 MPa del concreto referencial. En cuanto al esfuerzo a flexión, se observó una ligera mejora con 2,50% de cada adición siendo el grupo más estable, logrando 5,24 MPa en comparación con los 5,22 MPa del concreto patrón. Mientras que, el ensayo de asentamiento reveló una disminución progresiva conforme se incrementaba la proporción de materiales propuestos. Las mezclas con 2,50% de fibras de acero mostraron los valores más bajos, mientras que aquellas con 1,75% fueron menos afectadas, obteniendo 2,83" en el primer grupo experimental y 2" en el tercer grupo, en comparación con las 3,83" del concreto referencial.

En el aspecto económico, la mejora en las propiedades del concreto puede resultar en pavimentos más durables que requieren menor mantenimiento, además de potencialmente reducir el uso de cemento, cuya producción es costosa y ambientalmente impactante. Esta investigación es especialmente relevante en contextos donde se buscan alternativas sostenibles y económicamente viables para la construcción de infraestructura vial, aprovechando recursos disponibles localmente.

6. FINANCIAMIENTO

La investigación fue financiada en su totalidad por los autores del artículo, contando con el

apoyo del Laboratorio Casa Grande (<https://jjgeotecniasac.com>), en el cual se realizaron la totalidad de los ensayos.

7. CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

8. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

YPS: Definición del problema de estudio, recopilación teórica y doctrinal sobre cenizas de hojas de coca y fibras de acero, elaboración de la metodología de investigación, diseño y aplicación de experimentos para mezclas de concreto, realización de ensayos de laboratorio, procesamiento de datos experimentales, análisis de la optimización de propiedades para pavimentos rígidos, redacción del manuscrito principal.

LCF: Apoyo en la definición del problema de estudio, recopilación de información sobre propiedades mecánicas del concreto para pavimentos rígidos, asistencia en la elaboración de la metodología experimental, análisis estadístico de resultados, elaboración de gráficos y tablas, contribución en la redacción y revisión del manuscrito principal.

KGGB: Asistencia en la definición del problema de estudio, recopilación de información sobre propiedades mecánicas del concreto para pavimentos rígidos, asistencia en la elaboración de la metodología experimental, contribución en la redacción y revisión del manuscrito principal.

ASSC: Asistencia en la definición del problema de estudio, recopilación de información sobre propiedades mecánicas del concreto para pavimentos rígidos, asistencia en la elaboración de la metodología experimental, contribución en la redacción y revisión del manuscrito principal.

8. REFERENCIAS

- [1] M. Becerra, “Estado del arte de diseño y construcción de pavimentos de concreto” CONSULCRETO, Disponible en: <https://consultcreto.com/wp-content/uploads/2024/12/ESTADO-DEL-ARTE-DE-DISENO-Y-CONSTRUCCION-DE-PAVIMENTOS-DE-CONCRETO.pdf>, Lima, Perú, 2019
- [2] J. U. D. Hatmoko y L. Lendra, “How sustainable are flexible and rigid pavement? A Life Cycle Impact Assessment (LCIA) approach”, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 1072, n° 1, p. 1-12, 2021
- [3] Y. W. Yung-Vargas, H. A. Rondón-Quintana y J. E. Córdoba-Maquilón, “Evaluation of recycled asphalt pavement in Colombia”, *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2153, n° 1, p. 1-5, 2022
- [4] S. A. De La Cruz Vega, C. E. Ibañez Ccoapaza y D. Y. Coaquira Cueva,

- “Determinación de índice de serviciabilidad y capacidad resistente. caso práctico: Pavimentos en Azángaro, Puno, Perú”, *Infraestruct. Vial*, vol. 24, n° 43, pp. 1–8, 2022
- [5] S. A. De La Cruz Vega y G. A. Paredes Cahuana, “Diseño de infraestructura vial con pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín, Lima”, *Mem. Investig. En Ing.*, n° 21, pp. 108-114, 2021
- [6] R. Reyna Salazar, C. J. Santos Acco y C. A. Acuña Asenjo, “Estudio experimental de las propiedades mecánicas del hormigón simple y reforzado con fibras bajo carga monotónica”, *Tecnia*, vol. 32, n° 2, 2022
- [7] I. U. Khan, A. Gul, K. Khan, S. Akbar y Irfanullah, “Mechanical properties of steel-fiber-reinforced concrete”, *Icec 2022*. Basel Switzerland: MDPI, 2022
- [8] P. Murthi, K. Poongodi y R. Gobinath, “Correlation between rebound hammer number and mechanical properties of steel fibre reinforced pavement quality concrete”, *Mater. Today: Proc.*, vol. 39, n° 1, pp. 142-147, 2021
- [9] A. Hassan, S. Galal, A. Hassan y A. Salman, “Utilization of carbon nanotubes and steel fibers to improve the mechanical properties of concrete pavement”, *Beni-Suef Univ. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 11, n° 1, 2022
- [10] L. H. P. Silva et al., “Bamboo leaf ash for use as mineral addition with Portland cement”, *J. Building Eng.*, vol. 42, pp. 102769, 2021
- [11] F. C. Marlón et al., “Fibras de acero en la resistencia a la compresión del concreto”, *Gaceta Técnica.*, vol. 20, n° 2, pp. 4-13, 2019
- [12] P. D. Juarez Viera, E. G. Sanchez Zapata y S. De la Cruz Vega, “Use of recycled steel fibers to improve the structural behavior of rigid pavement”, *Univ. Cienc. Tecnol.*, vol. 27, n.º 120, pp. 8–18, 2023
- [13] D.-W. Song, “What is research?”, *WMU J. Maritime Affairs*, vol. 20, n° 4, pp. 407–411, 2021
- [14] R. Pratama, et al., “Correlational research”, *JHIP - J. Ilm. Ilmu Pendidik.*, vol. 6, n° 3, pp. 1754–1759, 2023
- [15] F. A. Sánchez Flores, “Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos”, *Revista Digit. de Investigación en Docencia Universitaria*, pp. 101–122, 2019
- [16] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Norma E.060 Concreto Armado” CENCICO, Lima, Perú, 2019
- [17] ASTM A820, “Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete”, ASTM International, EUA, 2022
- [18] ASTM E11-24, “Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves”, ASTM International, EUA, 2024
- [19] Norma Técnica NTP 400.037, “AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto”, INACAL, Perú, 2014

- [20] S. Jorge, A. Byron y B. César, “Influencia de la calidad de los agregados y tipo de cemento en la resistencia a la compresión del hormigón dosificado al volumen”, *NOVASINERGIA*, vol. 4, n° 1, pp. 91-101, 2021