

Concrete with recycled can fibers for rigid pavements: case of the Via de la Panamericana Sur - Lima

Omar Winston Quispe Flores¹; Tito Julca Garcia²; Joseph Paul Linaja Ayala³; Gilmer Challco Mamani⁴
^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19215707@utp.edu.pe, u19215564@utp.edu.pe, c28403@utp.edu.pe, c23404@utp.edu.pe

Abstract— The purpose of the research is the incorporation of a recycled material that allows to increase the resistance properties of the concrete and its influence in the reduction of the thickness of the rigid pavement obtained with the design values of the project "Optimization of the Section of the Old Pan-American Highway South, Section: Arica - Santa María del Mar; Areas: Lurin, Puntas Hermosa and Negra, San Bartolo and Santa María del Mar, Province of Lima - Lima", completed in 2019. For this reason, through a quantitative method, by means of pure experimental design, applying laboratory tests, the Can Fiber (CF) was used in proportions of 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75 and 1% respect to the weight of the cement, incorporated into the design of the mixture of resistance $f'c = 420 \text{ kg / cm}^2$ and Modulus of Rupture (MR) of 48 kg / cm^2 with a pavement thickness of 27 cm. 50 cylindrical specimens were analyzed for the $f'c$ and 50 beams for the MR, 10 samples for each percentage of FL, concluding that the incorporation of recycled can fiber increases the $f'c$ and MR resistance properties at 28 days, with a reduction in the thickness of the rigid pavement up to 6.29% with FL at 1%, however, other studies are warranted to verify the cost benefit of implementing this method.

Keywords— Concrete, rigid pavement, recycled can fiber, concrete properties.

Concreto con fibras de lata reciclada para pavimentos rígidos: caso de la Antigua Vía de la Panamericana Sur - Lima

Omar Winston Quispe Flores¹; Tito Julca Garcia²; Joseph Paul Linaja Ayala³; Gilmer Chalco Mamani⁴
^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19215707@utp.edu.pe, u19215564@utp.edu.pe, c28403@utp.edu.pe, c23404@utp.edu.pe

Resumen– La finalidad de la investigación es la incorporación de un material reciclado que permita aumentar las propiedades de resistencia del concreto y su influencia en la reducción del espesor del pavimento rígido obtenido con los valores de diseño del proyecto “Optimización del Tramo de Antigua Carretera Panamericana Sur, Tramo: Arica - Santa María del Mar; Áreas: Lurín, Puntas Hermosa y Negra, San Bartolo y Santa María del Mar, Provincia de Lima – Lima”, culminado en el 2019. Por tal motivo, a través de un método cuantitativo, mediante diseño experimental puro, aplicando ensayos de laboratorio, se utilizó la Fibra de Lata (FL) en proporciones de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75 y 1% respecto del peso del cemento, incorporado al diseño de mezcla de resistencia $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ y Modulo de Rotura (MR) de 48 kg/cm^2 con espesor de pavimento de 27 cm. Se analizaron 50 probetas cilíndricas para la $f'c$ y 50 vigas para el MR, 10 muestras por cada porcentaje de FL, concluyéndose que la incorporación de fibra de lata reciclada incrementa las propiedades de resistencia $f'c$ y MR a los 28 días, con una reducción del espesor del pavimento rígido hasta en 6.29% con FL al 1%, sin embargo, amerita realizar otros estudios para verificar el costo beneficio de la implementación de este método.

Palabras clave- Concreto, pavimento rígido, fibra de lata reciclada y propiedades del concreto.

I. INTRODUCCIÓN

El concreto viene a ser el componente más frecuente para la construcción de estructuras a nivel global, en gran medida en las obras civiles que utilizamos cotidianamente, como puentes, edificaciones, canales, carreteras, entre otros. Usualmente, su rendimiento mejora cuando son sometidos a compresión; sin embargo, como señala [1] al realizarse esfuerzos de tracción y flexión, tienen un bajo desempeño, afectando la durabilidad de las estructuras que trabajan bajo estos esfuerzos.

En el contexto aplicado a la ingeniería civil, particularmente en infraestructuras de pavimentos, [2] refiere que es habitual notar un deterioro prematuro en numerosas situaciones de estas estructuras, ya sea por un control insuficiente durante la ejecución o por la ausencia de un mantenimiento apropiado, lo cual conlleva al deterioro de la superficie del pavimento de concreto dando lugar a inconvenientes en la seguridad de los usuarios que transitan por estas rutas, que a su vez provoca que se liberen más gases contaminantes al medio ambiente.

Por otro lado, [3] menciona que el incremento de habitantes y los avances tecnológicos ha ido generando que los desechos

sólidos se incrementen a un ritmo significativo, resultando en una preocupación social para la eliminación de los mismos, no obstante, gran cantidad de estos residuos, entre ellos, las latas recicladas tienen la capacidad para ser empleados en el concreto.

Este estudio explora la influencia de la reutilización de las latas recicladas como un material de construcción para elaborar el concreto través de diseños de mezcla, de manera que estos elementos no perjudiquen una de las principales cualidades del concreto, su resistencia, sino que la mejoren con el fin de que el pavimento de concreto presente un diseño más óptimo y a su vez que este sea un producto más sostenible.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Identificación del problema

Los concretos tradicionales no mantienen un comportamiento constante a lo largo del tiempo, ya que, al deteriorarse, disminuyen su capacidad de servicio y, en ciertas situaciones, según refiere [4] este efecto pone en riesgo la durabilidad y el rendimiento de la estructura.

Por lo cual, [2] indica que se debe conocer los cambios que se originan en la etapa de vida del pavimento, en la cual se generan deterioros prematuros debido a diseños o procesos constructivos inadecuados, por lo que se deberá implementar técnicas contemporáneas en el diseño del pavimento rígido si se desea obtener varias ventajas, tales como la disminución de los gastos de diseño y mantenimiento, así como un impacto positivo en el medio ambiente.

Por ello, se requiere encontrar un material que permita dar una mejora a las propiedades físicas del concreto y que contribuya a la reutilización de residuos sólidos, como son las latas recicladas.

B. Formulación del problema

Para la presente investigación se plantea atender la interrogante siguiente: ¿Cómo influye el concreto de módulo de rotura (MR) = 48 kgf/cm^2 con fibras de lata reciclada en el diseño del espesor de la losa del pavimento rígido para la

Antigua Panamericana Sur, tramo Puente Arica hasta la Av. Santa María del Mar, distrito de San Bartolo, Lima 2024?

C. Enfoque de estudios

El análisis de esta investigación se desarrolla bajo enfoque cuantitativo dado que abarca fenómenos que se pueden medir; asimismo, dado que es necesario evaluar datos y obtener resultados, para compararlos y determinar el más viable según la investigación.

D. Diseño de estudio

El diseño es experimental puro longitudinal, el cual posibilita conocer la influencia del método aplicado para corroborar si la adición de fibras de lata reciclada (FL) mejora la resistencia del concreto a los 28 días de la elaboración de los especímenes y si dicha mejora repercute positivamente en el diseño del espesor de pavimento de concreto.

E. Población y muestra

La población tiene infinitos elementos e incluye concretos con diversas propiedades e incorporación de diferentes porcentajes de FL, de los cuales, se ha decidido que la muestra sea de 100 especímenes de concreto, divididos en 50 probetas cilíndricas para ensayo a compresión con resistencia esperada de 420 kg/cm² y 50 vigas para ensayo a flexión con un MR esperado de 48 kg/cm², divididas en 10 probetas o vigas por cada porcentaje de adición de FL (0 % -concreto patrón-, 0.25 %, 0.50 %, 0.75 % y 1.0 %)

Al respecto, las referidas FL fueron obtenidas mediante reciclaje de latas de leche del vecindario de los investigadores, quienes luego de lavar y secar dichas latas, procedieron a cortarlas con las dimensiones siguientes: espesor de 0.20 mm, ancho de 2 a 3 mm y largo de 50 a 55 mm, las cuales fueron agregadas durante el mezclado del concreto. En la figura 1 se muestra la forma de la FL:



Fig. 1 Fibra de lata reciclada

F. Muestreo

Se emplea el muestreo no probabilístico porque se selecciona directa e intencionadamente. Siendo la muestra de la misma cantidad que la población, separada según la forma de especímenes que serán sometidos a los ensayos de laboratorio; asimismo, en atención a lo señalado por [5] se efectuó una selección intencionada de los componentes de estudio de una población basada en ciertos rasgos y criterios de selección (la experiencia del investigador, la economía, la comodidad, el alcance, etc.).

G. Proceso de investigación

Primeramente, se determina las propiedades físicas de los agregados fino y grueso, tales como: granulométrica, peso específico y porcentaje de humedad; cuyos resultados se detallan en la tabla II.

TABLA I PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Ensayos	Unid.	Agregado fino	Agregado grueso
Tamaño máximo N.	in.		3/4
Módulo de fineza		2.93	6.56
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1.832	1.449
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1.985	1.624
W humedad	%	2.785	0.73
Porcentaje de absorción	%	2.32	0.74
Peso específico	gr/cm ³	2.58	2.71

Seguidamente, se realiza el diseño de mezcla del concreto, de acuerdo al procedimiento del “American Concrete Institute”, Comité ACI 211, el cual sirvió como base para el proceso de diseño del concreto patrón, en el cual se incluyó agregado grueso y fino de la cantera Trapiche. Al referido diseño se adicionó los distintos porcentajes de FL, respectivamente, con lo cual, se redujo el peso del cemento a 635.49, 633.90, 632.31 y 630.71 kg, manteniéndose los demás pesos, como el de agua, agregados y aditivo. En la tabla II se detalla las cantidades de cada componente del concreto.

TABLA II DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN

Material	0 % FL (kg)	0.25 % FL (kg)	0.50 % FL (kg)	0.75 % FL (kg)	1.0 % FL (kg)
Cemento	637.085	635.492	633.900	632.307	630.714
Agua	202.593	202.593	202.593	202.593	202.593
Agregado fino	544.264	544.264	544.264	544.264	544.264
Agregado Grueso	993.293	993.293	993.293	993.293	993.293
Aditivo Sikacem	4.50	4.49	4.47	4.46	4.45
FL		1.59	3.17	4.74	6.31

En base a los diseños planteados, se procedió a la preparación del concreto, elaborándose las probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura, y las prismáticas de 150 mm de base y 450 mm de altura, las cuales fueron desmoldadas entre 12 y 48 h después de ser preparadas, y curadas en medio húmedo, previo al desarrollo de las pruebas de compresión y flexión, según se detalla a continuación:



Fig. 2 Ensayo de compresión de probetas cilíndricas



Fig. 3 Ensayo de flexión de probetas prismáticas

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Asentamiento mediante el cono de Abrams

Se observa que al incorporar la FL con porcentajes desde 0 % a 1 %, se incrementa la trabajabilidad y fluidez, desde un valor de 4 in hasta 5 in.

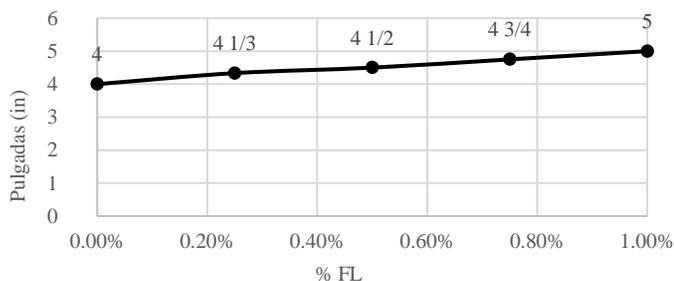


Fig. 4 Asentamiento mediante el Cono de Abrams

B. Resistencia a la compresión

Para encontrar las propiedades de resistencia del concreto se elabora 10 muestras por cada proporción de FL, luego se realizaron los ensayos de compresión. Cabe resaltar que, el ACI – 214R-11 menciona para un control de calidad excelente de los ensayos a compresión los valores de coeficiente de variación para $f'c > 356 \text{ kgf/cm}^2$ deben ser menor a 2 %; para el presente estudio, los valores de coeficiente de variación para porcentajes de FL son menores al valor indicado por el ACI, conforme se advierte en la tabla III.

TABLA III PARÁMETROS FINALES DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA

FL	0 %	0.25 %	0.50 %	0.75 %	1 %
Resistencia (kgf/cm ²)	434.40	442.66	446.94	457.85	473.66
	431.85	439.09	448.88	454.80	470.50
	433.48	439.09	448.68	453.16	469.28
	436.13	440.32	446.84	456.43	467.54
	431.95	442.66	445.92	456.94	470.80
	436.64	439.60	446.03	457.55	473.66
	438.99		453.57		
Promedio	434.08	440.34	447.22	455.76	470.91
Varianza s ²	4.15	2.71	1.64	3.65	5.86
D. Estándar s	2.037	1.646	1.281	1.909	2.422
C. Datos n	6.0	7.0	6.0	7.0	6.0
C. Variación cv	0.469	0.374	0.286	0.419	0.514

De la tabla anterior, se advierte que la resistencia promedio de la muestra patrón es de 434 kgf/cm² y las resistencias promedio de 440, 447, 455, y 470 kgf/cm² para las muestras con FL; respectivamente. Es así que se advierte un incremento de la resistencia a la compresión a los 28 días conforme aumenta el porcentaje de fibra de lata reciclada de 0 a 1 %, conforme se detalla en figura 5.

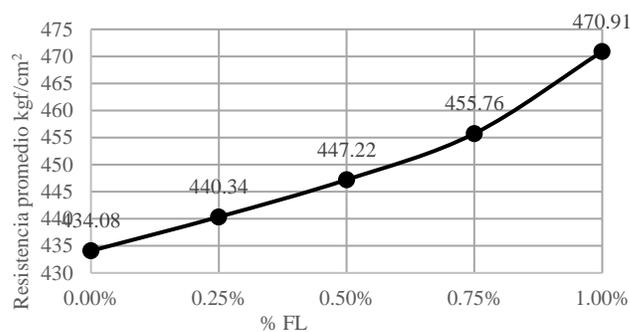


Fig. 5 Proporción de fibra de lata vs resistencia a la compresión obtenida a los 28 días

C. Resistencia a la flexión

Después de realizada la toma de datos, se determinó reducir la dispersión de los valores mediante aceptación y rechazo

(valores resaltados) a través del intervalo de nivel de confianza del 99 %, para lo cual, se procedió a agrupar los valores que quedaron dentro del intervalo de confianza por cada proporción de fibra de lata reciclada para obtener los nuevos parámetros estadísticos, los cuales se detalla en la tabla VI.

Tabla VI PARÁMETROS FINALES DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA

FL	0 %	0.25 %	0.50 %	0.75 %	1 %
Resistencia (kgf/cm ²)	48.90	51.10	52.50	54.50	57.10
	49.80	51.20	52.50	54.20	57.00
	49.30	51.00	52.60	54.30	56.80
	49.10	50.80	52.30	54.20	56.00
	49.50	51.30	52.60	54.50	55.60
	49.40	50.90	52.30		55.60
		50.60			
Promedio \bar{x}	49.33	50.99	52.47	54.34	56.35
Varianza s ²	0.10	0.06	0.02	0.02	0.49
D. Estándar s	0.314	0.241	0.137	0.152	0.698
C. Datos n	6.0	7.0	6.0	5.0	6.0
C. Variacion cv	0.637	0.473	0.260	0.279	1.238

De la tabla anterior, se advierte que la resistencia promedio de la muestra patrón es de 49 kgf/cm² y la resistencia promedio de 51, 52, 54, y 56 kgf/cm² para las muestras con FL. Es así que, se advierte un incremento de la resistencia a la flexión a los 28 días conforme aumenta el porcentaje de FL reciclada de 0 a 1%, conforme se detalla en figura 6.

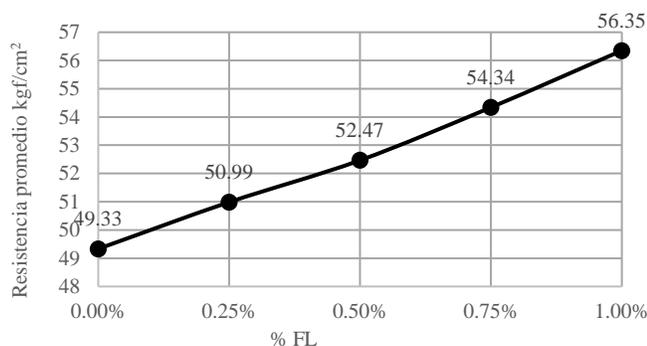


Fig. 6 Proporción de fibra de lata vs módulo de rotura

D. Análisis del diseño de espesor de pavimento rígido

Para el análisis del espesor del pavimento rígido, se procedió a utilizar los resultados de los estudios de tránsito y suelos, así como los diseños de ingeniería del expediente técnico de la Antigua Carretera Panamericana Sur, Tramo: Arica - Santa María del Mar; Áreas: Lurín, Puntas Hermosa y Negra, San Bartolo y Santa María del Mar, Provincia de Lima – Lima. En dicho expediente se consideró un concreto con una resistencia de f'c de 420 kgf/cm² y MR de 48 kgf/cm², ESAL de 39.2 millones y S_c de 683 psi determinándose un espesor de

pavimento de 27 cm. De otra parte, con los resultados de la resistencia a flexión del concreto con incorporación de FL, se calculó los espesores del pavimento respectivos, cuyo resumen se muestra en la tabla VII.

Tabla VII RESUMEN ESPESORES OBTENIDOS POR CADA % FL

	f'c (kgf/cm ²)	MR (kgf/cm ²)	Espesor (cm)
0.00%	434.08	49.33	26.645
0.25%	440.34	50.99	26.213
0.50%	447.22	52.47	25.857
0.75%	455.76	54.34	25.400
1.00%	470.91	56.35	24.968

De la tabla anterior, se advierte que el espesor del pavimento se reduce a medida que la resistencia a flexión se incrementa, ello debido al porcentaje de fibra de lata agregada al concreto. En la figura 7, se muestra que para un concreto con 1.0 % de fibra de lata el espesor se reduce a 250 mm, considerándose un ahorro de 20 mm.

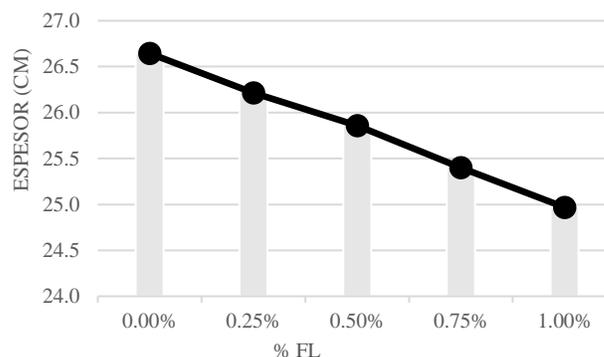


Fig. 7 Porcentaje FL vs espesor de pavimento Rígido

E. Validación de hipótesis

Se validó la hipótesis de que la incorporación de FL mantiene la trabajabilidad del pavimento rígido de la obra “Optimización del Tramo de Antigua Carretera Panamericana Sur, Tramo: Arica - Santa María del Mar; Áreas: Lurín, Puntas Hermosa y Negra, San Bartolo y Santa María del Mar, Provincia de Lima – Lima”, en el periodo de 2024, al obtenerse resultados favorables con la incorporación de FL hasta en 1 %, manteniendo la trabajabilidad de la mezcla.

Asimismo, después de realizar el análisis estadístico a un nivel de confianza del 95 % se pudo validar el rechazo de la hipótesis nula que indica que las muestras con incorporación de FL presentan un f'c menor al valor de la media obtenido de las muestras del concreto patrón o con 0 % de FL, por lo que se acepta la hipótesis alterna que indica que todas las muestras con fibras de lata reciclada aumentan el f'c respecto del concreto patrón, situación que es congruente con [6], en donde se

concluyó que la adición de FL de 0.5 % a 1.5 % se tiene incremento del $f'c$ a los 28 días de 25,07 a 26,47 MPa.

Así también, considerando el mismo nivel de confianza del 95 % se pudo validar el rechazo de la hipótesis nula que indica que las muestras con incorporación de FL al 0.25 %, 0.50 %, 0.75 % y 1 % presentan un MR menor al valor de la media obtenido de las muestras del concreto patrón o con 0 % de fibra de lata reciclada, por lo que se acepta la hipótesis alterna que indica que todas las muestras con FL aumentan el MR respecto del concreto patrón. Cabe precisar que, si bien no se identificó investigaciones que consideren la evaluación de la flexión con FL, de manera similar se tiene que, [7] determino que la incorporación de 1 % de fibras de acero, la resistencia a la flexión aumentó significativamente.

Finalmente, que la incorporación de FL en porcentajes de 0.25 % hasta 1 % reduce el espesor del pavimento rígido en un 6.29 %, siendo el valor más alto el porcentaje de fibra al 1 % con un MR de 56.35 kg/cm² y $f'c$ de 470.91 kg/cm².

III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

Se realizó la elaboración de un concreto con diseño de mezcla de 420 kgf/cm², con un asentamiento de diseño de 4 in, obteniéndose un asentamiento del mismo valor que el diseño; sin embargo, para los concretos con incorporación de FL en proporciones de 0.25 % a 1 % respecto del peso del cemento obtenido en el diseño de mezcla, se incrementa el asentamiento de hasta 5 in con 1 % de FL.

La incorporación de FL en proporciones de 0.25% a 1.0%, incrementa la resistencia a compresión del concreto. Siendo el porcentaje óptimo la adición de 1.0 %, con el cual se obtiene un valor promedio de 470 kgf/cm², logrando un de incremento de 36 kgf/cm² (o 8.38 %) respecto de la resistencia del concreto patrón.

La incorporación de FL en proporciones de 0.25 % a 1.0%, incrementó el MR del concreto. Siendo el porcentaje óptimo la adición de 1.0 % obteniendo un valor promedio de 56 kgf/cm², obteniendo un incremento de 7.0 kgf/cm² (o en 14.22%) respecto del MR del concreto patrón. Dicho incremento del MR sumado al incremento de la resistencia a compresión del concreto, nos permiten concluir que con la adición de FL, es factible reducir la cantidad de cemento sin afectar dichas propiedades.

La incorporación de FL redujo el espesor del pavimento rígido, obteniendo una reducción de hasta 6.29 %. Se logra una reducción del espesor de 270 mm a 250 mm para un concreto con FL de 1.0 % y un módulo de rotura de 56 kgf/cm².

B. Recomendaciones

Se recomienda aumentar la cantidad de muestras para el ensayo de slump y verificar si estas se encuentran dentro del rango de trabajabilidad o consistencia plástica.

La incorporación de FL de 0 % a 1 %, para los ensayos a compresión y MR dieron una tendencia al incremento, sin embargo no se puede asegurar que el incremento siga esa tendencia después de la incorporación de FL al 1 %, lo que conlleva a seguir realizando ensayos con valores mayor o igual al 1 % y verificar esta tendencia.

La incorporación de FL reciclada redujo el espesor del pavimento rígido hasta valores del 6.29 %, sin embargo, es necesario analizar el costo beneficio de este procedimiento.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

A la Universidad Tecnológica del Perú, quienes contribuyeron con el desarrollo del estudio.

REFERENCIAS

- [1] D. Valencia-Enríquez, O. D. Figueroa-Moran, D. E. Mesa-Eraza, and J. S. Pareja-Peña, "Influencia de la distribución de fibras sobre la resistencia a flexión del concreto autocompactante," *Rev. Politécnica*, vol. 20, no. 39, pp. 48–65, 2024, doi: 10.33571/rpolitec.v20n39a4.
- [2] C. E. Murga Tirado, A. Flores Benites, A. G. Vasquez Salazar, and R. Vilcahuaman Tadeo, "Mejora del rendimiento de pavimentos rígidos mediante el uso de métodos modernos en la optimización de capas," *Rev. Investig. e Innovación Científica y tecnológica GnosisWisdom*, vol. 3, pp. 25–34, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v3i3.65>
- [3] T. Ahmed, S. Ray, M. Haque, T. Tasnim Nahin, and A. Ferdous Mita, "Optimization of properties of concrete prepared with waste glass aggregate and condensed milk can fiber using response surface methodology," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 8, 2022, doi: 10.1016/j.clet.2022.100478.
- [4] G. F. Chávez, A. H. Yáñez, D. R. Cabrera, C. L. Chipre, F. C. Montes, y J. A. Orozco, «Determinación de cantidad óptima de Fibra de Acero para la elaboración de hormigón de cemento portland para losas de pavimentos rígidos», *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, vol. 2019-July, n.o July, pp. 24-26, 2019, doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.363.
- [5] T. Otzen y C. Manterola, «Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio», *Int. J. Morphol.*, vol. 35, n.o 1, pp. 227-232, 2017, doi: 10.4067/S0717-95022017000100037.
- [6] T. Ahmed, S. Ray, M. Haque, T. Tasnim Nahin, y A. Ferdous Mita, «Optimization of properties of concrete prepared with waste glass aggregate and condensed milk can fiber using response surface methodology», *Clean. Eng. Technol.*, vol. 8, n.o August 2021, p. 100478, 2022, doi: 10.1016/j.clet.2022.100478.
- [7] S. P. Chandar, K. Gunasekaran, y N. S. Sandeep, «Agregado en hormigón cemento», vol. 10, n.o 2, pp. 528-533, 2017.
- [8] M. D. T. Y. Comunicaciones, «Anuario estadístico». Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima: Ministerio de transporte y telecomunicaciones., 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6778544/344726-anuario-estadistico-2023.pdf?v=1726086721>
- [9] T. Ahmed, S. Ray, M. Haque, T. Tasnim Nahin, y A. Ferdous Mita, «Optimization of properties of concrete prepared with waste glass aggregate and condensed milk can fiber using response surface methodology», *Clean. Eng. Technol.*, vol. 8, n.o August 2021, p. 100478, 2022, doi: 10.1016/j.clet.2022.100478.

- [10] Ministerio del Ambiente - MINAM, «En el Perú solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos reaprovechables», SINIA, 2018. <https://sinia.minam.gob.pe/novedades/peru-solo-se-recicla-19-total-residuos-solidos-reaprovechables#:~:text=A tomar en cuenta,de residuos sólidos al día.>
- [11] M. del A.- MINAM, «70% de los residuos que generamos pueden convertirse en nuevos productos», SINIA, 2019. <https://sinia.minam.gob.pe/novedades/minam-70-residuos-que-generamos-pueden-convertirse-nuevos-productos#:~:text=calidad del suelo.-,Residuos aprovechables y no aprovechables, pilas%2C como los más conocidos.>
- [12] H. Ñaupás Paitán, M. M. Elías, N. R. Eliana, y V. P. Alberto, Metodología de la investigación. 2014. [En línea]. Disponible en: <https://fdiazca.files.wordpress.com/2020/06/046.-mastertesis-metodologicc81a-de-la-investigacioc81n-cuantitativa-cualitativa-y-redaccioc81n-de-la-tesis-4ed-humberto-ncc83aupas-paitacc81n-2014.pdf>
- [13] M. Zhu, M. Zhao, C. Li, K. Wang, Y. Zhu, y F. Li, «Effects of binder paste-to-aggregate ratio and polypropylene fiber content on the performance of high-flowability steel fiber-reinforced concrete for slab/deck overlays», *Sci. Eng. Compos. Mater.*, vol. 31, n.o 1, pp. 1-15, 2024, doi: 10.1515/secm-2024-0030.
- [14] C. A. Bernal Torres, Metodología de la investigación, 3era Edici. 2010. [En línea]. Disponible en: <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigación-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- [15] J. Pérez, «Las variables en el método científico», *Rev Soc Quím Perú*, vol. 3, n.o 73, pp. 171-177, 2007, [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v73n3/a07v73n3.pdf>
- [16] M. Paragua, N. Bustamante, L. Norberto, M. Paragua, y C. Paragua, Libro-Investigacion-Cientifica. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2022/05/Libro-investigacion-cientifica.pdf>
- [17] Gerardo J. Bauce, Miguel A. Cordova, y A. V. Avila, «Operacionalización de variables», *Rev. del Inst. Nac. Hig. "Rafael Rangel"*, vol. 49, n.o 2, pp. 43-50, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/05/1096354/operacionalizacion-de-variables.pdf>
- [18] A. K. Y. Huamán Contreras, C. E. Murga Tirado, L. A. Massa Palacios, y A. Olivera Chura, «Ciclo de vida del pavimento orientado a su agrietamiento y mantenimiento», *Llamkasun*, vol. 4, n.o 1, pp. 33-39, 2023, doi: 10.47797/llamkasun.v4i1.117.
- [19] B. Marcano, M. De Los Ángeles, R. Lizcano, y F. Alberto, «Comportamiento a la fatiga de una mezcla de concreto MR-3.5MPa para pavimento con adición de fibras plásticas Fatigue behavior of a mixture concrete pavement MR-3.5MPa with the addition of plastic fibers», *Rev. Cienc. e Ing.*, vol. 34, n.o 1, p. diciembre-marzo, 2013.
- [20] N. A. Campoy Bencomo, O. Chavez Alegria, E. Rojas González, J. R. Gaxiola Camacho, J. R. Millán Almaraz, y D. de la Rosa Hernández, «Análisis esfuerzo-deformación de concreto reforzado con fibras metálicas y polímeros Stress-strain analysis of concrete reinforced with metal and polymer fibers», *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 22, n.o 1, pp. 1-11, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/v22n1-07.php>
- [21] J. Ilya y C. Cheow Chea, «Mechanical behaviour of fibre reinforced concrete using soft - Drink can», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 271, n.o 1, pp. 0-6, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/271/1/012079.
- [22] M. A. Akhund y A. Sannd, «Utilization of Soft Drink Tins as Fiber», *Eng. Sci. Technol. Int. Res. J.*, vol. 1, n.o 2, pp. 47-52, 2017.
- [23] I. Wijatmiko, A. Wibowo, y R. Nainggolan, «Desperdiciadas como refuerzo de fibra en hormigón ligero», vol. 17, pp. 31-36, 2019.
- [24] S. Prakash Chandar, K. Gunasekaran, N. Sai Sandeep, y S. Manikandaprabhu, «An experimental investigation on strength properties of steel fibres along with recycled aggregate in cement concrete», *Rasayan J. Chem.*, vol. 10, n.o 2, pp. 528-533, 2017, doi: 10.7324/RJC.2017.1021636.
- [25] 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. y Tecnol.*, vol. 27, n.o 120, pp. 8-18, 2023, doi: 10.47460/uct.v27i120.727.
- [26] M. Farfán, D. I. Pinedo Díaz, J. Araujo Novoa, y J. Orbegoso Alayo, «Steel Fibers in the Resistance To», *Rev. Gac. Técnica*, vol. 20, n.o 2, pp. 4-13, 2019, [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19787.95523>
- [27] E. De Kathiresan, «Concreto», vol. 7, n.o 5, pp. 424-430, 2022.
- [28] Vidaud, «De la historia del cemento», *Construcción y Tecnol. en concreto*, pp. 20-24, 2013, [En línea]. Disponible en: www.yucatan-holidays.com/es/los-5-mejores-sitios-
- [29] J. I. Daniel et al., «Report on Fiber Reinforced Concrete Reported by ACI Committee 544», *Change*, vol. 96, n.o Reapproved, pp. 1-6, 2009.
- [30] Asiva Noor Rachmayani, Design guide for fibre-reinforced concrete structures to singapore standard SS 674:2021. 2015.