

Utilización de fibras de acero reciclado para mejorar el comportamiento estructural del pavimento rígido

Paul D. Juarez Viera
<https://orcid.org/0000-0002-2850-3000>
pdjuarez@ucvirtual.edu.pe
Universidad Cesar Vallejo
Sullana, Perú

Eddie G. Sánchez Zapata
<https://orcid.org/0000-0002-3029-5888>
egsanchez@ucvirtual.edu.pe
Universidad Cesar Vallejo
Sullana, Perú

Sleyther A. De La Cruz Vega
<https://orcid.org/0000-0003-0254-301X>
sdelacruzv@ucv.edu.pe
Universidad Cesar Vallejo
Barranca, Perú

Recibido (27/03/2023), Aceptado (11/07/2023)

Resumen: En el Perú tanto en la capital como en sus diferentes departamentos, presentan dificultades en sus vías, las cuales complican el flujo vehicular. El presente estudio tiene como objetivo determinar la utilización de fibras de acero reciclado para el mejoramiento estructural del pavimento rígido. Los resultados del estudio muestran que el concreto incrementó su resistencia a la compresión con la incorporación de fibras de acero reciclado, con proporciones de 2%, 4% y 6% resultando un aumento de 9.25%, 11.38% y 14.28% con respecto a la resistencia de un concreto patrón de 221.43 kg/cm², y con la aplicación del método AASTHO 93 se obtuvo un espesor de losa de 19.00 cm y una sub base de 20.00 cm. Concluyendo que adicionándole fibras de acero reciclado al concreto, este aumenta su resistencia a la compresión y por ende mejora el comportamiento estructural del pavimento rígido.

Palabras clave: Pavimento rígido, fibra de acero reciclado, mayor resistencia.

Use of recycled steel fibers to improve the structural behavior of rigid pavement

Abstract.- In Peru, both in the capital and its different departments, they present difficulties on their roads, complicating vehicular flow. This study aims to determine the use of recycled steel fibers for the structural improvement of rigid pavement. The results of the study show that the concrete increased its compressive strength with the incorporation of recycled steel fibers, with proportions of 2%, 4%, and 6%, resulting in an increase of 9.25%, 11.38%, and 14.28% concerning the resistance of a standard concrete of 221.43 kg/cm², and with the application of the AASTHO 93 method, a slab thickness of 19.00 cm and a sub-base of 20.00 cm were obtained. Adding recycled steel fibers to the concrete increases its compressive strength and improves the rigid pavement's structural behavior.

Keywords: Rigid flooring, recycled steel fiber, higher resistance.



I. INTRODUCCIÓN

En muchos países del mundo es muy común la presencia de diferentes daños en sus pavimentos ocasionados por diferentes factores, a causa de esto es que algunos países vienen realizando muchas modificaciones al diseño y a la armadura de los pavimentos, en los países de Argentina y Chile aplican fibras de acero en sus pavimentos, siendo Chile el país que utiliza esta fibra de acero en muchos proyectos de construcción [1]. La presencia temprana de patologías es el principal problema al realizar un diseño de pavimentos, ya que estas son tomadas en cuenta en los diseños cuando se usan modelos que no consideran las condiciones del suelo que se presentan en el país, lo cual es más complicado precisar con exactitud cuando el pavimento va a fallar [2].

En el norte del país se presenta la necesidad de obras como las de pavimentaciones que beneficie en las condiciones sociales y económicas, en la ciudad de Sullana las calles de pavimentaciones de concreto se encuentran con varias fallas estructurales que son muy notorias al transitar por cada una de estas, por ende este estudio se fundamenta en la adición de fibras de acero reciclado en el diseño del pavimento rígido en la calle amotape, para lograr mejorar sus propiedades físicas mecánicas, ya que esta vía de acceso es transitada constantemente y es tomada como un acceso alternativo para descongestionar el tránsito de una de las principales avenidas conectoras de la localidad de Sullana.

En el área de la construcción los caminos o vías necesitan cumplir con las comodidades y las necesidades que requieren los usuarios, por ello se vienen buscando alternativas que mejoren la duración de los pavimentos. Según [3] un pavimento está constituido por capas que son capaces de soportar todas las cargas y los esfuerzos, que luego estas son distribuidas directamente al suelo. El pavimento rígido según [4] se compone de una losa de concreto que reposa encima de la subbase, el grosor de esta puede variar de acuerdo al uso del concreto quien tiene la función de transmitir las cargas al suelo. según [5] el problema más frecuente en este tipo de pavimento es generado por un incremento constante de las cargas de tránsito, el cual ocasiona la descomposición del pavimento y rotura en la losa con la aparición de distintas fallas, por ello es importante realizar un buen diseño con el fin de evitar estas futuras anomalías.

Actualmente se viene presentando una mayor importancia por reutilizar materiales de desperdicios y subproducto extraídos del concreto, con el propósito de cuidar nuestro medio ambiente, una de las alternativas para adicionar a la mezcla de concreto es usando desperdicios de acero, estos podrían reemplazar en una mayor parte al agregado, pues como resultado se tendría mejoras en las propiedades físico mecánicas [6], sin embargo escasos estudios se han realizado para evaluar la mejora del concreto con la adición de residuos de acero, pues existen muchas probabilidades de volver a utilizar aquellos metales y comprobar si el concreto logra mejorar su comportamiento estructural, así mismo dar una solución ambiental al utilizar este tipo de aditivo reciclado [7].

En el sector de la construcción uno de los elementos más utilizados es el concreto, es por ello que en su campo se tiene a muchos investigadores y expertos trabajando a través de sus experiencias buscando nuevas alternativas que ayuden a obtener un concreto con mejor calidad y duración [8]. Una mezcla de concreto se realiza mediante una buena elección de los materiales y de una determinación adecuada de las proporciones para así lograr las propiedades del concreto óptimo [9]. Uno de los componentes principales del concreto es el agregado grueso, pues este conforma el 70% y 80% del mismo, por ello es importante conocer sus características y cómo influyen sus propiedades del concreto al mejorar este árido [10].

El concreto en su estado fresco tiene como propiedad más notable a la trabajabilidad esta determina con qué facilidad se puede trabajar una mezcla de concreto, asimismo se toma en cuenta la granulometría, dosificación y las propiedades de los materiales [11]. Mediante el asentamiento se evalúa la consistencia y la trabajabilidad del concreto, se mide el descenso que presenta la mezcla y se determina la fluidez de esta, a través del cono de Abrams. Según [12] la resistencia a la compresión es una propiedad del concreto en su estado endurecido que permite soportar las cargas de aplastamiento y el que nos da la información acerca de las características mecánicas de su comportamiento es el ensayo a compresión.

El acero es un material muy usado dentro de la construcción, al final de la vida útil de las distintas obras, este material se puede reutilizar obteniendo acero reciclado, el cual es cortado en pequeñas longitudes para ser usado en los diseños de concreto con la finalidad de incrementar la resistencia a la compresión. Según [13] señala que las propiedades del concreto logran mejorar con la incorporación de fibras de acero, además que logra incrementar su conservación y aporta a la mitigación de la contaminación del medio ambiente, estos concretos pueden ser utilizados en diversas obras de construcción, estas pueden ser losas de pavimentos, edificaciones entre otras.

La fibra de acero es un pequeño alambre estirado en frío de una longitud de 60 milímetros su forma es alargada y tiene ganchos en cada uno de sus extremos para un mejor desempeño en el refuerzo del concreto, asimismo se fijan los extremos de los ganchos para obtener una mezcla de concreto rápida, fácil y homogénea [14]. Las Fibras de acero reciclado son filamentos metálicos, estos pueden tener diferente origen, siendo los más comunes el acero comercial y forjado, Sin embargo, también se pueden conseguir estas fibras de los elementos reciclados de productos manufacturados, como chatarra al terminar su vida útil [15]. Según [16] menciona que la adición de fibras de metal recicladas en un concreto presenta grandes mejoras en sus propiedades tales como la resistencia a la compresión, flexión y tracción.

II. DESARROLLO

El presente estudio consistió en la elaboración de un diseño de pavimento con el fin de mejorar su comportamiento estructural, para ello se realizó un estudio de suelos, tomándose muestras de tres calicatas, las cuales fueron llevadas a un laboratorio para su respectivo análisis, así mismo se hizo un estudio de tráfico recopilando la información a través de formatos del MTC. La información obtenida de ambos estudios fueron llevados a gabinete y procesando los datos a través de hojas de cálculo en el programa Microsoft Excel se obtuvieron los espesores de las capas del pavimento.

Para el análisis del concreto, los agregados obtenidos para el desarrollo de los ensayos de laboratorio fueron adquiridos de canteras reconocidas (Sojo y Cerro Mocho), dichos materiales fueron de alta calidad y contribuyeron en los resultados finales.

En este proyecto se considera a las fibras metálicas como el material esencial para el desarrollo del pavimento rígido, creándose una mezcla de concreto patrón y otras con la adición de fibras de acero reciclado en porcentajes de 2%, 4%, y 6% los cuales hicieron un total de 24 probetas, pasando estas por diferentes etapas para su diseño.

Los resultados adquiridos del laboratorio fueron favorables para el concreto con la añadidura de fibras de metal reciclado, mediante un trabajo de gabinete se logró plasmar de manera adecuada los valores obtenidos, concluyendo que se alcanzó un concreto estructural beneficioso y que además de favorecer a la infraestructura vial aporta a la conservación del medio ambiente.

III. METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto fue de tipo aplicada, ya que generó conocimientos sobre las dificultades en esta sociedad, como la necesidad y déficit de las vías, el diseño de esta investigación fue experimental, pues para validar el estudio se realizaron diferentes ensayos experimentales en un laboratorio, donde se determinaron las propiedades físicas y mecánicas con respecto al concreto y su impacto que genera añadiendo fibras de acero donde se midió su trabajabilidad y resistencia a la compresión, la muestra analizada fue un total de 24 probetas de concreto a ensayar, siendo 6 muestras sin fibra de acero y 18 muestras con adición de la fibra de acero.

Para la selección de la información de este estudio se utilizó la técnica de la observación participante para la recopilación de datos, aquellos que fueron desarrollados a través de observaciones en el campo y laboratorio, utilizándose para ello cuadernos de campo, formatos de laboratorio y para el estudio vehicular formatos del MTC.

IV. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra los datos obtenidos luego del proceso de tamizado del agregado grueso realizado en laboratorio.

Tabla 1. Resultados de la Granulometría del agregado Grueso.

| Tamices ASTM | TAMAÑO m.m | PESO RETENIDO | % RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | HUSO "67" | HUSO "67" | Tamaño Máximo Nominal: 3/4" |
|--|------------|---------------|--------------------|----------------------|------------|-----------|-----------|-----------------------------|
| DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA | | | | | | | | |
| 3" | 76.2 | | | | | | | |
| 2 1/2" | 63.5 | | | | | | | |
| MATERIAL MUESTREADO POR EL PETICIONARIO | | | | | | | | |
| 2" | 50.8 | | | | 100.0 | | | |
| 1 1/2" | 38.1 | 0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 100 | 100 | |
| 1" | 25.4 | 0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 100 | 100 | |
| 3/4" | 19.05 | 200 | 1.3 | 1.3 | 98.7 | 90 | 100 | |
| 1/2" | 12.7 | 4500 | 29.8 | 31.2 | 68.8 | 55 | 77.5 | |
| 3/8" | 9.52 | 5055 | 33.5 | 64.7 | 35.3 | 20 | 55 | MF = 6.58 |
| Nº 4 | 4.76 | 4824 | 32.0 | 96.7 | 3.3 | 0 | 10 | %humedad = 0.36 |
| Nº 8 | 2.38 | 0 | 0.0 | 96.7 | 3.3 | 0 | 5 | |
| Fondo | 1.19 | 500 | 3.3 | 100.0 | 0.0 | | | |
| PESO INIC. | | 15079 | | | | | | |

En la figura 1 se muestra la representación del análisis granulométrico del agregado grueso.

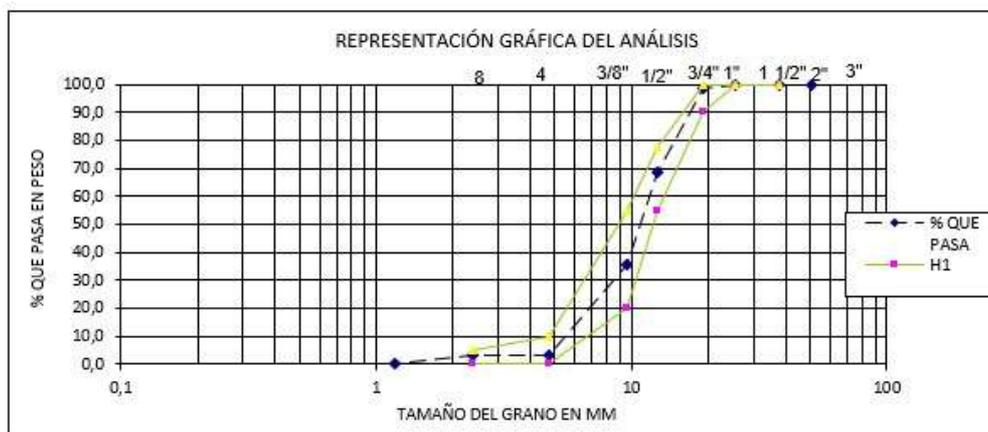


Fig. 1. Resultados de la Granulometría del agregado Grueso.

Los resultados obtenidos de la granulometría por tamizado que se le realizó al agregado grueso determinaron que este cumple con los límites inferior y superior de acuerdo al HUSO #67, ya que nos da un tamaño máximo nominal de 3/4" y un tamaño máximo de 1/2" y presenta un porcentaje de humedad de 0.36 %, con estos resultados positivos el material está clasificado y es apto para que sea usado en el diseño del concreto.

En la tabla 2 se muestra los datos obtenidos luego del proceso de tamizado del agregado fino realizado en laboratorio.

Tabla 2. Resultados de la Granulometría del agregado Grueso.

| Tamices ASTM | ABERTUR. m.m | PESO RETENIDO | % RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ESPEC TÉCN | ESPEC TÉCN | Tamaño Máximo: 3/8" |
|--------------|--------------|---------------|--------------------|----------------------|------------|------------|------------|---------------------|
| 3/4" | 19.00 | | | | 100.0 | | | OBSERVACIONES |
| 1/2" | 12.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | | | |
| 3/8" | 9.52 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 100 | 100 | L.L.: NP |
| Nº 4 | 4.76 | 20.0 | 3.3 | 3.3 | 96.7 | 95 | 100 | L.P.: NP |
| Nº 8 | 2.38 | 89.3 | 14.6 | 17.9 | 82.1 | 80 | 100 | I.P.: NP |
| Nº 16 | 1.19 | 117.0 | 19.2 | 37.1 | 62.9 | 50 | 85 | |
| Nº 30 | 0.59 | 143.0 | 23.4 | 60.5 | 39.5 | 25 | 60 | |
| Nº 50 | 0.3 | 116.3 | 19.1 | 79.6 | 20.4 | 10 | 30 | |
| Nº 100 | 0.15 | 76.2 | 12.5 | 92.1 | 7.9 | 2 | 10 | |
| Nº 200 | 0.074 | 30.2 | 5.0 | 97.0 | 3.0 | 0 | 5 | %humedad = 1.39 |
| Fondo | | 18.0 | 3.0 | 100.0 | 0.0 | | | MF = 2.91 |
| | PESO INIC. | 610.0 | | | | | | |

En la figura 2 se muestra la representación del análisis granulométrico del agregado fino



Fig. 2. Curva granulométrica del agregado fino.

El análisis granulométrico realizado agregado fino nos da como resultado que, cumple con las normas especificadas en la NTP 400.012, ya que el índice que pasó el tamiz Nº #200 es de 3% lo cual es lo permisible y un módulo de finura es de 2.91 %, este está incluido en los límites normados para la elaboración de un concreto y además presenta un porcentaje de humedad de 1.39%, el agregado satisface el requisito granulométrico del porcentaje que pasa según lo obtenido en el tabla 2 indicado en el Manual de Carreteras del MTC EG 2013.

En la tabla 3 muestra el Slump o asentamiento de un concreto normal y tres con la incorporación de fibra de acero reciclado.

Tabla 3. Slump del concreto normal y con incorporación de la fibra de acero.

| | Slump (pulgadas) | % | % Variación |
|--|------------------|-------|-------------|
| Concreto normal | 3.7 | 100 | 0 |
| Con fibra de acero en : 7.62 kg/m3 (2%) | 2.70 | 72.97 | 27.03 |
| Con fibra de acero en : 15.24 kg/m3 (4%) | 2.42 | 65.40 | 34.60 |
| Con fibra de acero en : 22.86 kg/m3 (6%) | 1.98 | 53.51 | 46.49 |

En la figura 3 se muestra la representación gráfica del asentamiento de las cuatro muestras de concreto.

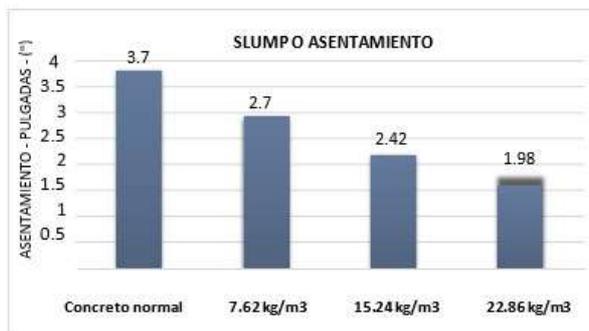


Fig. 3. Asentamiento de muestras realizadas

Del ensayo Slump realizado a un concreto normal (Figura 4) obtuvimos como resultado un asentamiento de 3.7" y para un concreto con fibras de acero reciclado en dosificaciones de 7.62 kg/m³ (2%), 15.24 kg/m³(4) y 22.86 kg/m³ (6%), se obtuvo asentamientos de 2.70", 2.42" y 1.98" respectivamente, lo cual es evidente la disminución del Slump respecto a la muestra patrón, para la muestra con mayor adición de acero (6%), presento una mezcla de consistencia seca y poco trabajable dando así una variación de 46.49% respecto al concreto normal.

Tabla 4. Ensayo de Slump realizado a un concreto normal.

| Nº | EDAD | DIÁMETRO | SECC | CARGA DE LECT. | CARGA LECT | F'c OBTENIDA | F'c DISEÑO | PROMEDIO |
|----|--------|----------|--------------------|----------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | (Días) | (Cm) | (Cm ²) | (KN) | (Kg) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) |
| 01 | 07 | 10.0 | 78.54 | 135.60 | 13,827 | 176.1 | 210 | 176.51 |
| 02 | 07 | 10.0 | 78.54 | 136.30 | 13,899 | 177.0 | 210 | |
| 03 | 14 | 10.0 | 78.54 | 148.90 | 15,183 | 193.3 | 210 | 194.88 |
| 04 | 14 | 10.0 | 78.54 | 151.30 | 15,428 | 196.4 | 210 | |
| 05 | 28 | 10.0 | 78.54 | 184.30 | 18,793 | 239.3 | 210 | 241.92 |
| 06 | 28 | 10.0 | 78.54 | 188.36 | 19,207 | 244.6 | 210 | |

En la tabla 5 se muestra la resistencia a la compresión de un concreto patrón en diferentes edades

Tabla 5. Ensayo de compresión en probetas cilíndricas de concreto patrón.

| Nº | EDAD | DIÁMETRO | SECC | CARGA DE LECT. | CARGA LECT | F'c OBTENIDA | F'c DISEÑO | PROMEDIO |
|----|--------|----------|--------------------|----------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | (Días) | (Cm) | (Cm ²) | (KN) | (Kg) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) |
| 01 | 07 | 10.0 | 78.54 | 130.30 | 13,287 | 169.2 | 210 | 170.47 |
| 02 | 07 | 10.0 | 78.54 | 132.30 | 13,491 | 171.8 | 210 | |
| 03 | 14 | 10.0 | 78.54 | 142.30 | 14,510 | 184.8 | 210 | 185.59 |
| 04 | 14 | 10.0 | 78.54 | 143.60 | 14,643 | 186.4 | 210 | |
| 05 | 28 | 10.0 | 78.54 | 170.30 | 17,365 | 221.1 | 210 | 221.43 |
| 06 | 28 | 10.0 | 78.54 | 170.80 | 17,416 | 221.8 | 210 | |

En la figura 4 se muestra un gráfico con las resistencias promedio de un concreto patrón.



Fig. 4. Gráfico de barras de diseño de un concreto patrón.

Los ensayos realizados a las 6 probetas elaboradas de un concreto patrón sin la adición de algún elemento, en los 7, 14 y 28 días se obtuvo resistencias promedio de 170.47 kg/cm² ,185.59 kg/cm² y 221.43 kg/cm².

En la tabla 5 se muestra la resistencia a la compresión de un concreto patrón con la adición de 2% de fibras de acero en diferentes edades.

En la figura 5 se muestra un gráfico con las resistencias promedio de un concreto patrón y otro con la incorporación de 2% de fibras de acero.

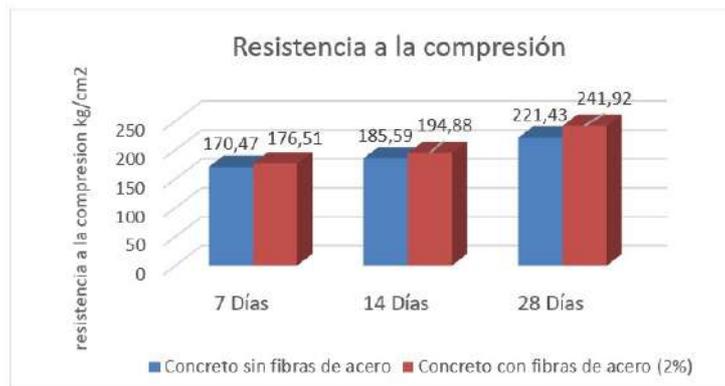


Fig. 5. Gráfico de barras de diseño de concreto con 7.62 kg/m³ (2%) de fibras de acero reciclado.

Los resultados que se obtuvieron de los ensayos de compresión de un concreto patrón más la incorporación de 7.62 kg/cm² (2%) de fibras de acero reciclado en los 7, 14 y 28 días, fueron resistencias promedio de 176.51kg/cm² ,194.88 kg/cm² y 241.92 kg/cm², en el gráfico se muestra que ha presentado un aumento respecto al concreto patrón y la mayor resistencia obtenida es a los 28 días de curado.

En la tabla 6 se muestra la resistencia a la compresión de un concreto patrón con la adición de 4% de fibras de acero en diferentes edades.

Tabla 6. Ensayo de compresión en probetas cilíndricas de concreto patrón.

| Nº | EDAD (Días) | DIÁMETRO (Cm) | SECC (Cm²) | CARGA DE LECT. (KN) | CARGA LECT (Kg) | F'c OBTENIDA (Kg/cm²) | F'c DISEÑO (Kg/cm²) | PROMEDIO (Kg/cm²) |
|----|-------------|---------------|------------|---------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
| 01 | 07 | 10.0 | 78.54 | 139.30 | 14,204 | 180.9 | 210 | 181.44 |
| 02 | 07 | 10.0 | 78.54 | 140.20 | 14,296 | 182.0 | 210 | |
| 03 | 14 | 10.0 | 78.54 | 152.60 | 15,561 | 198.1 | 210 | 198.97 |
| 04 | 14 | 10.0 | 78.54 | 153.90 | 15,693 | 199.8 | 210 | |
| 05 | 28 | 10.0 | 78.54 | 189.60 | 19,334 | 246.2 | 210 | 246.62 |
| 06 | 28 | 10.0 | 78.54 | 190.30 | 19,405 | 247.1 | 210 | |

En la figura 6 se muestra un gráfico con las resistencias promedio de un concreto patrón y otro con la incorporación de 4% de fibras de acero.

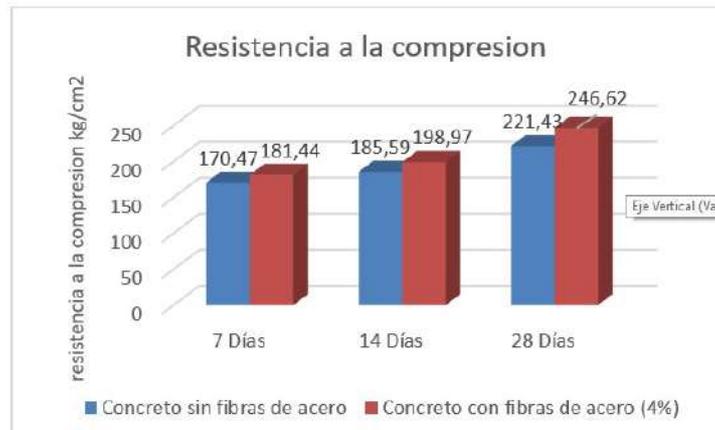


Fig. 6. Gráfico de barras de Diseño de concreto con 15.24 kg/m³ (4%) de fibras de acero reciclado.

El diseño de concreto realizado con 15.24 kg/cm² (4%) de adición de fibras de acero reciclado para el ensayo de compresión en el laboratorio dio como resultado resistencias promedio en los días 7, 14 y 28 de 181.44 kg/cm², 198.97 kg/cm² y 246.62 kg/cm², visualizándose en el gráfico que la resistencia ha presentado un incremento respecto a un concreto normal pero aún no supera la resistencia requerida. En la tabla 7 se muestra la resistencia a la compresión de un concreto patrón con la adición de 6% de fibras de acero en diferentes edades.

Tabla 7. Ensayo de compresión de concreto patrón + 6% fibra de acero.

| N° | EDAD (Días) | DIÁMETRO (Cm) | SECC (Cm ²) | CARGA DE LECT. (KN) | CARGA LECT (Kg) | F'c OBTENIDA (Kg/cm ²) | F'c DISEÑO (Kg/cm ²) | PROMEDIO (Kg/cm ²) |
|----|-------------|---------------|-------------------------|---------------------|-----------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 01 | 07 | 10.0 | 78.54 | 143.90 | 14,673 | 186.8 | 210 | 187.41 |
| 02 | 07 | 10.0 | 78.54 | 144.80 | 14,765 | 188.0 | 210 | |
| 03 | 14 | 10.0 | 78.54 | 155.90 | 15,897 | 202.4 | 210 | 202.97 |
| 04 | 14 | 10.0 | 78.54 | 156.80 | 15,989 | 203.6 | 210 | |
| 05 | 28 | 10.0 | 78.54 | 194.50 | 19,833 | 252.5 | 210 | 253.04 |
| 06 | 28 | 10.0 | 78.54 | 195.30 | 19,915 | 253.6 | 210 | |

En la figura 7 se muestra un gráfico con las resistencias promedio de un concreto patrón y otro con la incorporación de 6% de fibras de acero.

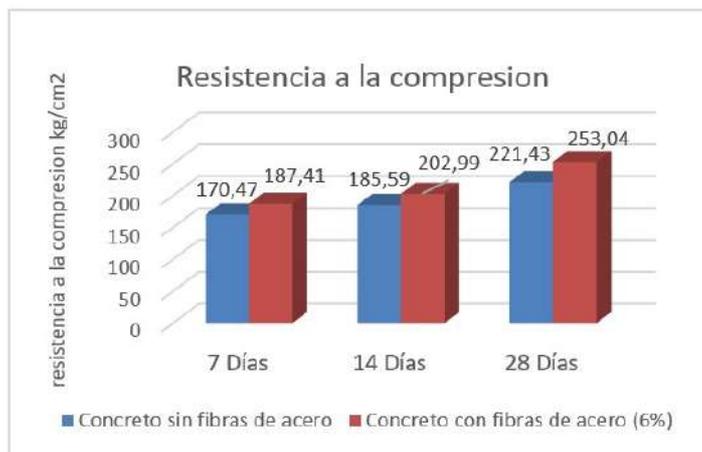


Fig. 7. Gráfico de barras de diseño de concreto con 22.86 kg/m³ (6%) de fibras de acero reciclado.

Los resultados obtenidos en el laboratorio sobre el ensayo a compresión de un concreto con 22.86 kg/cm² (6%) de incorporación de fibras de acero reciclado en los 7, 14 y 28 días fueron resistencias promedio de 187.41 kg/cm², 202.97 kg/cm² y 253.04 kg/cm², en el gráfico se puede evidenciar que se sigue presentando un incremento en la resistencia a compresión respecto al concreto patrón, asimismo en los 28 días se puede observar que se alcanzó la resistencia requerida para este proyecto.

En la figura 8 muestra gráficamente el aumento de la resistencia a la compresión en diferentes concretos.

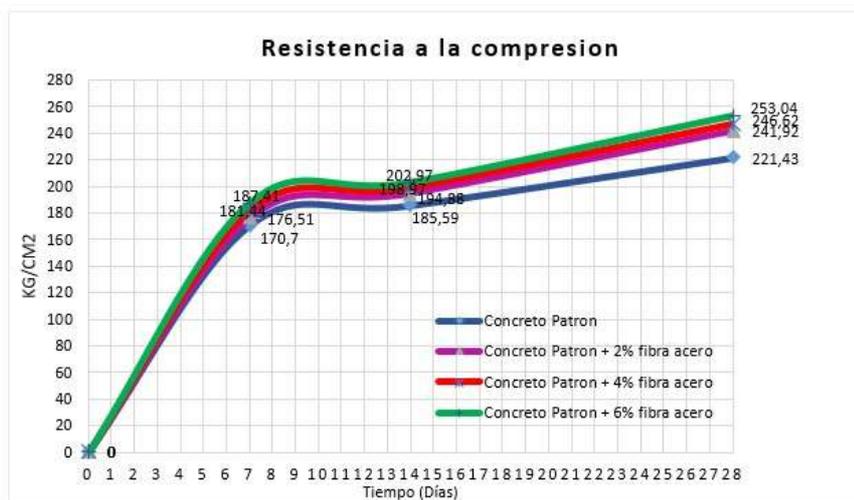


Fig. 8. Gráfico de las resistencias a la compresión

En el gráfico se puede evidenciar los resultados obtenidos en el laboratorio sobre los ensayos de compresión realizados a un concreto patrón y a los concretos patrones más las incorporaciones de 2%, 4% y 6% de fibras de acero reciclado, el cual se fueron obteniendo mayores resistencias conforme se adicionaba más porcentaje de estas fibras, alcanzando mayores resistencias en los 28 días de curado, siendo la muestra de 6% de fibras de acero, la que alcanzó 253.04 kg/cm² cumpliendo con la resistencia que se quería lograr.

CONCLUSIONES

1. El diseño del pavimento rígido incorporando fibras de acero reciclado obtuvo una resistencia a la compresión final de 253.04 kg/cm², y con el método AASTHO 93 se obtuvo un espesor de 19.00 cm de losa y 20.00 cm para la sub base, diseñado para 20 años de vida útil.
2. Se concluye que las propiedades físico mecánicas de los agregados son las adecuadas para el diseño de mezclas, en cuanto al agregado grueso cumple con los límites inferior y superior del HUSO #67 y para el agregado fino que obtuvo un módulo de finura de 2.91 de sus porcentajes retenidos en los tamices lo cual ha cumplido con los parámetros que estipula la Norma Técnica Peruana 400.012.
3. El uso de fibras de acero reciclado en el concreto diseñado en dosificaciones de 7.62 kg/m³, 15.24 kg/m³ y 22.86 kg/m³ ha presentado una reducción en su trabajabilidad, el cual resultó un Slump de 2.70", 2.42" y 1.98" y un Slump de 3.7" en la muestra normal, siendo el Slump de 1.98" el menos favorable por ser de consistencia seca y poco trabajable, por lo que su variación de asentamiento es de 46.49% respecto a muestra normal.
4. Al incorporar fibras de acero reciclado a un concreto normal en proporciones de 2%, 4% y 6% mejora la resistencia a la compresión, los incrementos de resistencias obtenidos fueron de 241.92 kg/cm², 246.62 kg/cm² y la más favorable fue de 253.04 kg/cm² respectivamente, a la edad de 28 días y respecto al concreto patrón alcanzó un incremento de 14.28 %.

REFERENCIAS

- [1] E. O. Flores, "Mejoramiento de la resistencia del concreto adicionando fibras de acero en la Av. Túpac Amaru, distrito de Independencia, Lima – 2018". Universidad Cesar Vallejo Lima, Perú, 2018.
- [2] M. P. Montes, W. S. Rojas, T. Ávila, and J. P. Aguiar. "Performance evaluation of rigid pavements in Costa Rica". *Infraestructura Vial / LanammeUCR*, vol. 23, no 42, pp. 53-60, 2021.
- [3] M. A. Araujo, M. Santos, H. P. Pinheiro, and Z. V. Cruz. "Análisis comparativo de los métodos de suelo pavimento duro (hormigón) x flexible (asfalto)", *Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, vol. 11, no 10, pp. 187-196, 2016.
- [4] L. Valdés and A. Aenlle. "Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles en aeropuertos para Cuba". *Arquitectura e Ingeniería*, vol 11, no 2, pp. 1-11, 2017.
- [5] J. Briceño, G. González, B. Briceño, and P. Castellanos. "Comparison of the material shedding in rigid pavements reinforced with electro-welded mesh or fibres". *Ciencia e Ingeniería*, vol. 40, no 3, pp. 331-338, 2019.
- [6] S. P. Muñoz, A. L. Cabrera, C. C. Delgado, and P. A. Renilla. "Physical-mechanical behavior of concrete with the addition of steel waste": a review. *UIS Ingenierías*, vol. 21, no1, pp.57-72. 2021.
- [7] R. Pal and J. Pedersen, "Comportamiento mecánico del hormigón elaborado con fibras de acero a partir de residuos de llantas". *Casa de estudio en material de construcción*, vol 11, pp. 1-2, 2019.
- [8] M. J. Orozco, A. E. Parodia, Y. Ávila, and E. Restrepo. "Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón". *Ingeniería de construcción*, vol. 33, no 2, pp. 161-172, 2018.
- [9] G. Avinash and M. Chandra. "Código MATLAB para el diseño de mezclas de concreto de alta resistencia". *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, no 17, pp. 8381-8385, 2021.
- [10] M. Leon and F. Ramirez. "Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Ingeniería de construcción*", vol. 25, no 2, pp. 215-244, agosto 2010.
- [11] R. Cueva and L. Palacios. "Diseño de concreto para elementos no estructurales utilizando fibras de plástico PET, en la ciudad de Piura". Universidad Cesar Vallejo Piura, 2020.
- [12] L. Hernández, L. Padilla, J. I. Gómez, and A. Contreras. "Resistencia a la compresión del concreto". *Ingeniería de construcción*, vol 11, no 3, 2018.
- [13] S. Zamora, et al. "Sustainable development of concrete through aggregates and innovative materials". A review. *Applied Sciences*, vol. 11, no 629, pp. 1-28, 2021.
- [14] E. Chávez and N. Moreira. "Influencia de la fibra de acero en el control de la tenacidad del hormigón simple". *Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, vol. 2, no. 2, pp. 209-235, 2018.
- [15] O. Onuaguluchi, P. H. R. Borges, A. Butta, and N. Bantia. "Performance of scap tire steel fibers in OPC and alkali-activated mortars". *Materials and Structures*, vol. 50. No. 157, 2017.
- [16] S. P. Muñoz, A. L. Cabrera, C. C. Delgada, and P. A. Renilla. "Comportamiento físico mecánico del hormigón adicionando residuos de acero: una revisión literaria." *UIS Ingenierías*, vol. 21, no 1, pp. 57-72, 2022.

LOS AUTORES



Sleyther Arturo De La Cruz Vega, Ingeniero civil con Maestría en ecología y gestión ambiental. Es docente universitario, asesor de tesis y proyectos de investigación.



Paul D. Juarez Viera, Bachiller en Ingeniería civil. Estudiante del taller de titulación de la Universidad Cesar Vallejo



Eddie G. Sanchez Zapata, Bachiller en Ingeniería civil. Estudiante del taller de titulación de la Universidad Cesar Vallejo.