

Aprovechamiento de virutas metálicas como adición en la mezcla de concreto

Use of metal chips as an aggregate in the concrete mixture

Mauricio Miranda¹, Yurianis Morales¹, Gabriel Sánchez¹, Karen Caballero^{1,*}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Chiriquí, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Fecha de recepción: 24 de marzo de 2023. **Fecha de aceptación:** 29 de junio de 2023.

***Autor de correspondencia:** karen.caballero@utp.ac.pa

Resumen. El objetivo de la investigación es aprovechar las virutas metálicas, residuo de las industrias metal mecánica, como adición a la mezcla de concreto y verificar si ésta contribuye a generar un aumento en la resistencia mecánica. Primero, se hizo una recolección de fibras metálicas, para posteriormente clasificarlas respecto a medidas de longitud, ancho y grosor específico. Se desarrollaron ensayos granulométricos con la finalidad de verificar si los agregados cumplían con las exigencias especificadas en la ASTM C136, de tal forma, que una vez comprobado se realizó un diseño de mezcla para una resistencia de 3000 psi. Se fabricaron probetas con porcentajes de 0.2 %, 0.4 %, 0.6 % y 0.8 % de virutas de acero, en función del peso total del elemento; para después efectuar los correspondientes ensayos a compresión a los 7 días y 28 días, aplicando los procedimientos y especificaciones técnicas estipulados en la ASTM C39. Adicional, previo a los ensayos de rotura se lleva a cabo el curado adecuado de los especímenes a evaluar, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la Norma ASTM C192. Una vez obtenidos los datos de carga de rotura, se efectuaron los cálculos para cuantificar la densidad y la resistencia obtenida por las probetas a los 7 días y 28 días. Después, con estos valores se llevaron a cabo comparaciones de resistencia, entre las probetas simples y las probetas con fibras, además se generaron gráficas de dispersión con el objetivo de visualizar una posible correlación entre la resistencia obtenida en función del porcentaje de fibras agregadas a la mezcla de concreto.

Palabras clave. Compresión, concreto, metal, reciclaje, virutas.

Abstract. The goal of the research is to take advantage of metal shavings, a residue from the metal-mechanical industries, as an addition to the concrete mixture and verify if it contributed to generating an increase in resistance. First, a collection of metallic fibbers was made to later classify them according to measurements of length, width, and specific thickness. Granulometric tests were developed to verify if the aggregates met the requirements specified in ASTM C136, in such a way that once verified, a mix design was made for a resistance of 3000 psi. Specimens were worked with percentages of 0.2 %, 0.4 %, 0.6 % and 0.8 % steel shavings based on the total weight of the element; to then conduct the corresponding compression tests at 7 and 28 days applying the procedures and technical specifications stipulated in ASTM C192. Once the breaking load data was obtained, the calculations were made to quantify the density and the resistance obtained by the specimens at 7 days and 28 days, and in turn, with these values, comparisons of resistance were carried out between the simple specimens and the Specimens with fibbers, in addition, scatter graphs were generated in order to visualize a possible correlation between the resistance obtained as a function of the percentage of fibbers added to the concrete mixture.

Keywords. Compression, concrete, metal, recycling, shavings.

1. Introducción

El concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) ha evolucionado desde un material de construcción hasta una alternativa usada para mejorar tanto el concreto convencional simple, como el concreto reforzado con barras o malla electrosoldada [1].

Debido al desarrollo de la industria metal mecánica, originada por el aumento de la producción y el incremento de procesos mecanizados, se observa que este rubro genera residuos metálicos con formas laminares, llamados comúnmente virutas [2].

Este tipo de virutas son generados como residuos, producto del moldeo en elementos metálicos, en este caso, en las tornerías. A este tipo de viruta se le conoce como fibra metálica reciclada. Normalmente, las virutas generadas se almacenan para después ser llevadas a lugares de recolección o chatarrerías donde se reciclan.

Investigaciones previas realizadas, muestran un estudio comparativo de las propiedades físicas-mecánicas del hormigón al añadir fibras metálicas y sintéticas, donde el hormigón con fibras metálicas posee mejores propiedades ya que es más ligero, resistente y económico respecto a las fibras sintéticas [2].

Para validar el uso de fibras metálicas recicladas como refuerzo en el hormigón se debe estudiar el comportamiento de éstas durante los procesos de mezclado y en el estado de cargas de servicio, de tal forma que se pueda comparar el comportamiento respecto al concreto tradicional [2].

Las investigaciones actuales respecto a las fibras metálicas han arrojados resultados positivos de ganancia en la resistencia a compresión a los 28 días [2],[3],[4],[5].

Adicional, en otras investigaciones emplearon fibras con longitudes que oscilaban entre los 30 mm a 65 mm y con espesores de 0.55 mm a 2.00 mm aproximadamente. En cuanto a las dosificaciones de fibras en las mezclas se fabricaron con porcentajes de 0.5 %, 1.5 %, 3.5 % y 5.0 % en función del peso del cemento, donde los resultados de los ensayos a compresión generaron una ganancia pequeña de resistencia [6].

Por otro lado, en la Universidad Central del Ecuador se especificaron dimensiones optimas de fibras metálicas, denominadas fibras con extremos ensanchados; donde el espesor de estas oscilaba entre los 0.15 mm a 0.30 mm y el ancho de 0.25 mm a 0.90 mm. Se observó que estas configuraciones proporcionan mayor adherencia, homogeneidad y trabajabilidad a la mezcla. Los porcentajes de fibras empleados en las probetas correspondían al 0.25%, 0.50%, 1.00% y 1.50% del volumen que estas ocupaban dentro de las masas de concreto [2].

Respecto a las propiedades del hormigón fresco, se determinó, que a mayor cantidad de fibras metálicas el valor

del asentamiento se reduce, teniendo una mezcla poco trabajable, por ende, es necesario aplicar más esfuerzo en el proceso de mezclado [2].

Por otro lado, cabe señalar respecto a estas experimentaciones, influye un comportamiento que ha sido común, el exceso de virutas metálicas provoca consecuencias negativas en la resistencia del concreto [6].

2. Materiales y métodos

Se visitaron las tornerías que se encontraban en la zona con el objetivo de recoger virutas metálicas para utilizarlas como adición a la mezcla de concreto.

Para la obtención de las virutas de acero, se describen los siguientes pasos:

1. Se aprovechó los residuos generados de los procesos de moldeo de piezas mecánica de las tornerías.
2. Las virutas poseían una longitud promedio entre 1.2 pulgada a 2.5 pulgada y una sección transversal que oscilaba entre 1 mm a 3 mm. Estas virutas se pudieron clasificar como Tipo IV (*mill cut*) [7] (figura 1).



Figura 1. Virutas metálicas recicladas.

Luego se procedió en el laboratorio, el ensayo granulométrico del agregado fino aplicando la norma ASTM C136-14 [8], con el objetivo de obtener el módulo de finura del material.

Ensayo de Granulometría de agregado fino:

1. Se aplicó la norma ASTM C136-14 para el ensayo granulométrico del agregado fino.
2. Para la muestra a ensayar se obtuvo una porción del agregado fino, la cual fue secada en un horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C (ASTM 136-14).
3. De la muestra seca se obtuvieron 882 gramos, la cual cumplió con el requisito de los 300 gramos de muestra mínimos (ASTM 136-14).

4. Se utilizaron los tamices N° 3/8, N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200. La muestra se colocó en el primer tamiz, se colocó una tapa para evitar la pérdida de esta y se agitó constantemente durante 15 min.
5. Se pesó el material retenido en cada tamiz y se anotaron los resultados en una tabla, siendo: el porcentaje total que pasaba en los tamices, así como también el porcentaje retenido en los mismos y finalmente el reporte del módulo de finura.
6. En la tabla 1 se muestra el resultado de la granulometría del agregado fino.

Tabla 1. Resultado de ensayo de granulometría de agregado fino

Tamiz	Peso retenido (g)	P. R. Acum.	% R. Acum.	% Que pasa
3/8"	30	30	3.39%	96.61%
N°4	24	54	6.11%	93.89%
N°8	26	80	9.05%	90.95%
N°16	39	119	13.46%	86.54%
N°30	132	251	28.39%	71.61%
N°50	480	731	82.69%	17.31%
N°100	127	858	97.06%	2.94%
N°200	18	876	99.10%	0.90%
Fondo	6	882	99.77%	0.23%
			mf	2.40

Posteriormente, se realizó el ensayo granulométrico del agregado grueso, para determinar el tamaño de este, la prueba se realizó según la norma ASTM C136-14.

Ensayo de Granulometría de agregado grueso:

1. Se aplicó la norma ASTM C136-14 para el ensayo granulométrico de agregado grueso.
2. Para la muestra a ensayar se obtuvo una porción del agregado grueso, la cual fue secada en un horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C (ASTM 136-14).
3. De la muestra seca se obtuvieron 10.63 kilogramos.
4. Se utilizaron los tamices N°1, N°3/4, N°1/2, N°4. La muestra pasó por todos los tamices hasta conseguir un retenido que posteriormente fue pesado.
5. Se anotaron los resultados en una tabla, los cuales son: el porcentaje total que pasaba en los tamices, así como también el porcentaje retenido en los mismos. A continuación, se muestran los resultados en la tabla 2.

Tabla 2. Resultado de ensayo de granulometría de agregado grueso

Tamiz	Peso Retenido (kg)
1"	0.0000
3/4"	0.0087
1/2"	2.5600
3/8"	5.4800
N°4	1.6600
Fondo	0.9200

Una vez obtenidos los parámetros de diseño, como el módulo de finura, el tamaño máximo nominal del agregado grueso y la cantidad de virutas por probeta, se aplicaron los procedimientos y tablas especificadas según las Normas ACI 211.2-04 y ACI 318-11, para generar el peso de cada material por metro cúbico de concreto, de igual manera, se utilizaron dichas normativas para diseñar la mezcla en estudio; donde a continuación, se describen los siguientes pasos:

1. Para el diseño de mezcla se utilizó una resistencia de diseño de 3000 psi (20.69 MPa).
2. Como no existen datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra se aplica el factor de seguridad correspondiente a la tabla 5.3.3.2 (ACI 211.2-04) [9] y se obtuvo la resistencia de diseño requerida la cual equivale a 27.69 MPa.
3. En función de la resistencia de diseño requerida, se obtuvo por interpolación la relación agua cemento usando como referencia la tabla 3.3 (ACI 211.2-04) [9]. La relación agua cemento (a/c) obtenida fue de 0.57.
4. Se utilizó un asentamiento de diseño en función del tipo construcción. Como se está evaluando la resistencia del concreto a compresión, se utilizó como base para columnas de edificios, donde el asentamiento de diseño corresponde al promedio entre el a valor máximo (100 mm) [9] y mínimo (25 mm) [9], permitido en la tabla 3.1 (ACI 211.2-04) [9], cuyo valor fue de 6.25 cm (2.46"). En base al asentamiento de diseño y el tamaño máximo nominal del agregado grueso (3/8"), se obtuvo a partir de la tabla 3.3 (ACI 211.2-04) [9] el peso de agua requerida por metro cúbico de concreto; el cual fue de 218 kg/m³.
5. Una vez obtenida la relación agua cemento y la cantidad de agua, se calculó el peso del cemento por metro cúbico de concreto, la cual equivale a 383.26 kg/m³.
6. Mediante el módulo de finura obtenido en el ensayo granulométrico descrito anteriormente (2.4) y el tamaño máximo nominal del agregado grueso (3/8"), se obtuvo el volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto aplicando la tabla 3.5 (ACI 211.2-04) [9]. Al multiplicarlo por la densidad varillada seca, se calculó el peso de agregado grueso por metro cúbico de concreto, el cual fue de 1023 kg/m³.

7. En base al tamaño máximo nominal del agregado grueso (3/8”) se estimó el peso tentativo del concreto aplicando la tabla A1.5.3.7.1 (ACI 211.1-02) [10], cuyo valor era 2345 kg/m³.
8. Para calcular el peso del agregado fino por metro cúbico del concreto, se le restó al peso tentativo, el peso del agua, adicional los pesos del agregado grueso y del cemento, dando como resultado 720.74 kg/m³.

En la tabla 3 se muestran las proporciones obtenidas del diseño de mezcla.

Tabla 3. Diseño mezcla

Material	Cantidad (Kg/m ³)
Agua	218.00
Cemento	383.26
Arena	720.74
Grava	1023.00
Concreto	2345.00

Para el proceso de la elaboración y curado de los cilindros de concreto, se aplicó la norma ASTM C192-16, donde se llevaron a cabo los siguientes procedimientos:

1. Se inicio con la mezcla del árido fino y grueso, luego el cemento y, por último, el agua.
2. Después, se añadieron las distintas proporciones de virutas metálicas a la mezcla, mientras la mezcladora estaba en funcionamiento.
3. A la mezcla de concreto se le realizó la prueba de asentamiento normada por la ASTM C143.
4. Para cada mezcla de concreto se determinó y registró la temperatura, dejando aproximadamente 2 min el termómetro en la muestra.
5. Se llenaron los moldes cilíndricos en tres capas iguales de concreto, se distribuyó en el interior con una cuchara.
6. Se compactó cada capa (3) apisonando 25 veces, de forma distribuida en cada capa, con una varilla de extremo redondeado con dimensiones especificadas en la ASTM C192-16 [11].
7. Se golpearon las partes exteriores de cada molde 15 veces entre cada capa para cerrar los vacíos dejados por la varilla.
8. Se enrasó la superficie con una llana para un acabado liso y nivelado.
9. Se cubrieron los especímenes con una bolsa plástica.

Cabe señalar, que los cilindros permanecerán cubiertos con el plástico durante 24 horas para luego ser desmoldados, de esta manera garantizar su fraguado en condiciones adecuadas de humedad y temperatura; permaneciendo en las mismas condiciones (ASTM C192-16).

Una vez pasado los 7 días y 28 días de curado, se procedió a realizar la prueba de compresión especificada en la Norma ASTM C39-20.

A continuación, se describe la prueba realizada para obtener la resistencia mecánica a compresión a los 7 días y a los 28 días.

Rotura de Cilindros a los 7 días:

1. Previo a los ensayos de compresión se obtuvo el peso de cada una de las muestras a evaluar usando una balanza digital (tabla 4). Dato necesario utilizado para conocer la densidad de cada una de las muestras, aplicando la ecuación 4 de la Norma ASTM C39-20 [12].

Tabla 4. Peso de los especímenes 7 días y 8 días

	W(Kg) (7 días)	W(Kg) (28 días)
M _B	12.84	12.70
Mp _{0.2%}	12.90	13.12
Mp _{0.4%}	13.10	13.22
Mp _{0.6%}	12.88	13.30
Mp _{0.8%}	12.90	12.88

2. Previo a los ensayos de compresión se realizaron mediciones del diámetro a cada una de las muestras, las cuales según la norma ASTM C39-20, no deben diferir en más del 2 % (6 pulgadas). Adicional, se calculó la relación altura diámetro para cada muestra, cuyo valor fue mayor 1.75; de no haber sido así los valores de resistencia se debían multiplicar por un factor de corrección (ASTM C39-20) (tablas 5 y 6).

Tabla 5. Medida de los especímenes 7 días

	Diámetro (cm)	Altura (cm)	L/P
M _B	15.2	30.5	2 > 1.75
Mp _{0.2%}	15.2	30.5	2 > 1.75
Mp _{0.4%}	15.2	30.5	2 > 1.75
Mp _{0.6%}	15.2	30.5	2 > 1.75
Mp _{0.8%}	15.2	30.5	2 > 1.75

Tabla 6. Medida de los especímenes 28 días

	Diámetro (cm)	Altura (cm)	L/P
M _B	15.2	30.5	2 > 1.75
Mp _{0.2%}	15.2	30.5	2 > 1.75
Mp _{0.4%}	15.2	30.5	2 > 1.75
Mp _{0.6%}	15.2	30.5	2 > 1.75
Mp _{0.8%}	15.2	30.5	2 > 1.75

3. Previo a los ensayos de compresión se realizaron mediciones de la perpendicularidad de la base, donde la inclinación en cada una de las muestras, si llegara a existir, no debía diferir en más de 5° (tablas 7 y 8).

Tabla 7. Prueba de perpendicularidad de los cilindros 7 días

	Δh (mm)	Diámetro (mm)	°Grados
M _B	0	452.4	0
M _{P0.2%}	1	55.5	1.03
M _{P0.4%}	2	110	1.04
M _{P0.6%}	2	110	1.04
M _{P0.8%}	1	125	0.46

Tabla 8. Prueba de perpendicularidad de los cilindros 28 días

	Δh (mm)	Diámetro (mm)	°Grados
M _B	2	101.6	1.13
M _{P0.2%}	0	0	0
M _{P0.4%}	0	0	0
M _{P0.6%}	1.5875	125	0.73
M _{P0.8%}	0	0	0

4. Para el ensayo a compresión se situaron los cilindros, de tal forma que el centro de estos, visto en un plano horizontal, fuera perpendicular al eje del pistón de carga.
5. La resistencia a compresión para cada cilindro corresponde a la carga última aplicada por la máquina la cual produce la rotura en las probetas (figura 2).



Figura 2. Especimen luego de la prueba de compresión.

3. Resultados y discusión

A continuación, se muestra la siguiente ecuación, el cual se ha utilizado para realizar los cálculos de la densidad de las muestras, y en las siguientes tablas los resultados, y donde se observa el cambio que ocurre cuando se añaden diferentes porcentajes de virutas metálicas (ecuación 1) (tabla 9).

$$\frac{4 * 10^9 * (W[\text{kg}])}{(L[\text{mm}]) * (D[\text{mm}])^2 * \pi} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (1)$$

Tabla 9. Densidad de los especímenes

	Densidad (kg/m ³) 7 días	Densidad (kg/m ³) 28 días
M _B	2308.95	2283.78
M _{P0.2%}	2319.75	2359.31
M _{P0.4%}	2355.70	2377.29
M _{P0.6%}	2316.15	2391.68
M _{P0.8%}	2319.75	2316.15

A continuación, se muestra la ecuación 2 utilizada para obtener la resistencia a compresión de los cilindros de concreto, y en las tablas 10 y 11, los resultados, de tal forma que se observa el cambio en la resistencia para los diferentes porcentajes de virutas metálicas.

$$f_{cm} = \frac{4000 * (P_{max}[\text{KN}])}{\pi * (D[\text{mm}])^2} \quad (2)$$

Tabla 10. Carga de rotura para cada uno de los especímenes a 7 días

	Carga Aplicada (Kg)	f _{cm} (MPa)
M _B	37000	19.89
M _{P0.2%}	28500	15.32
M _{P0.4%}	37000	19.89
M _{P0.6%}	38000	20.43
M _{P0.8%}	31000	16.67

Tabla 11. Carga de rotura para cada uno de los especímenes a 28 días

	Carga Aplicada (Kg)	f _{cm} (MPa)
M _B	54000	29.03
M _{P0.2%}	52000	27.95
M _{P0.4%}	56000	30.10
M _{P0.6%}	57000	30.64
M _{P0.8%}	47000	25.27

Las figuras 3 y 4 muestran las gráficas de dispersión donde el eje de las abscisas corresponde al porcentaje de virutas en la mezcla y el eje de las ordenadas a la resistencia alcanzada por las diferentes probetas. Con estos diagramas se observa si existe una posible correlación entre ambas variables.

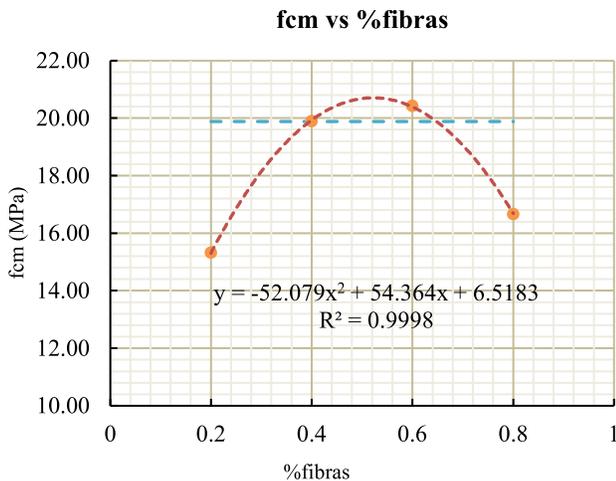


Figura 3. Gráfica de resistencia a la compresión vs % de fibras a los 7 días.

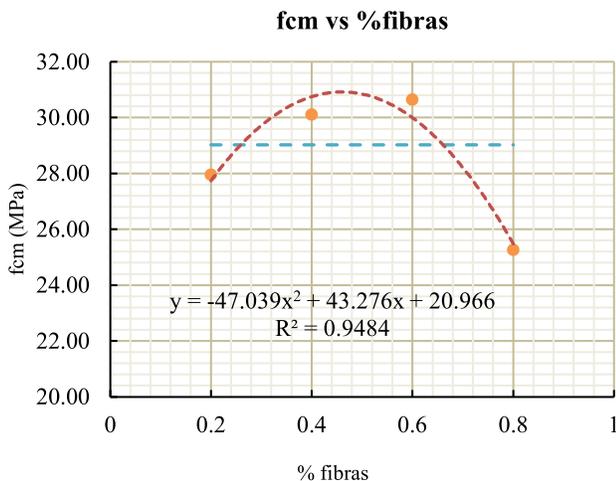


Figura 4. Gráfica de resistencia a la compresión vs % de fibra a los 28 días.

4. Análisis de resultados

Se puede observar en los datos de la Tabla 8, los valores de las resistencias en cada uno de los especímenes a los 7 días. Presentando en el primer dato su resistencia sin la adición de virutas de metal, comparando con los cuatro cilindros siguientes se puede ver que entre los porcentajes más cercanos a los principales son los que tienen porcentaje de 0.4 % y

0.6 %, donde el de mayor resistencia presentada es de 0.6 %. Este comportamiento se puede representar en la figura 3. En la Tabla 9 se presenta los resultados de los especímenes a los 28 días donde se puede ver el aumento de resistencia, y, además, se comporta de manera parecida a los especímenes en el día séptimo presentando una mayor resistencia en el cilindro de 0.6 %. Al comparar con los resultados obtenidos en las investigaciones anteriores [2], refuerza el comportamiento el cual es similar a los resultados obtenidos.

Se puede observar en las figuras 3 y 4 un aumento progresivo de resistencia hasta alcanzar un porcentaje óptimo, donde valores por encima de este genera pérdida de resistencia, esto a causa de que porcentajes mayores producen una disminución en la consistencia de la mezcla lo que a su vez afecta la adhesión entre esta y las fibras.

Se pudo demostrar que, para las probetas sin fibras recicladas, en los ensayos de compresión se determinó que la rotura es brusca y explosiva después del inicio de la fisuración, en cambio todas las probetas que contienen fibras recicladas presentaron la capacidad de manejar la fisuración evitando se desmorone la probeta. Esta propiedad se debe a la gran adherencia que generan las virutas en la masa del concreto debido a su forma [6].

Durante los ensayos de revenimiento, ASTM C143, se pudo visualizar una pérdida de asentamiento en comparación al obtenido para la mezcla sin virutas. Dicha perdida era directamente proporcional al porcentaje de virutas en la mezcla de concreto, es decir, un porcentaje mayor de virutas generaba un asentamiento menor. Dicho comportamiento se pudo evidenciar en investigaciones anteriores, cuyos investigadores afirman este comportamiento tras los ensayos respectivos [2], [3].

5. Conclusiones

La resistencia a compresión del concreto en estado endurecido presentó un incremento máximo en la resistencia con la adición de 0.6% de virutas metálicas recicladas, y a medida que aumenta el porcentaje de adición, la resistencia disminuye siendo un aporte científico para su uso en concreto no estructural, dando como resultado un comportamiento similar a otras investigaciones de referencia [3], [6].

Según los resultados obtenidos en ambas pruebas para los 7 días y 28 días, se obtuvo una tendencia, la cual nos indica que existe un porcentaje optimo entre 0.4 % y 0.6 % el cual representa un aumento en la resistencia del concreto.

La utilización de estas virutas tiene un doble beneficio, puesto que estas en su porcentaje optimo aportan resistencia al concreto a un precio mínimo, así como reducen la cantidad de residuos, pues estas solo son desechadas, sin ningún uso posterior.

Una de las principales limitaciones de la utilización de estas fibras, es mantener una longitud constante para estas, pues cuando son producidas sus longitudes varían, por lo tanto, se tiene que clasificar y recortar de manera manual.

Debido a la cantidad de puntos necesarios para poder establecer una relación en base a las fibras de acero, y la falta de disponibilidad de cilindros. Se optó por la utilización de un cilindro para cada punto evaluado. Además, se compararon los resultados obtenidos con otras investigaciones, con lo que se pudo corroborar la veracidad de los resultados.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Arístides Perén por su asesoramiento y asistencia técnica durante los ensayos de laboratorio.

Al técnico Noriel Saldaña por su contribución en el manejo de maquinaria pesada.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] L. Gallo-Arciniegas, J. Carrillo y G. González, "Comportamiento del Concreto Reforzado con Fibras de Acero Zp-306 Sometido a Esfuerzos de Compresión", 1 ed., Universidad Militar Nueva Granada. Vol. 23. pp. 117-123. 2013.
- [2] L. Lara, "Análisis de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Hormigón Elaborado con Fibras de Acero Reciclado", Universidad Central del Ecuador. pp. 2017.
- [3] A. Bonilla y E. Lascano, "Comportamiento Mecánico del Hormigón Reforzado con Fibras de Aluminio Reciclado". Trabajo de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. pp. 3-13. 2017.
- [4] K. Caballero, "Propiedades Mecánicas del Concreto Reforzado con Fibras Metálicas", Prisma Tecnología. Universidad Tecnológica de Panamá. Vol. 8. 2017.
- [5] J. Y. Núñez, "Adición de Fibras de Aluminio, para Construcción de Concreto en Cundinamarca", Trabajo de Titulación. Corporación Universitaria Minuto de Dios. pp. 17-57, 2021.
- [6] J. García, Evaluación de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Concreto Adicionando Viruta de Aluminio Secundario, Tesis de Titulación Profesional. Universidad Señor de Sipán. Perú, 2020.
- [7] "Concrete, Guide to Design with Fiber-Reinforced," ACI 544.4R-18, 2018.
- [8] "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates," C136/C136M 14, 2014.
- [9] "Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-98), 2004.
- [10] "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)," 2002.
- [11] "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory," C192/C192M-14, 2014.
- [12] "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens," C39/C39M, 2020.