

Análisis de la prestación mecánica del hormigón empleando virutas de acero como agregado fino

Briones Ponce Angie Nicole, Zambrano Macías Jean Carlos, Muñoz Macías Jonathan Andrés,
Ruiz Párraga Wilter Enrique, Panchana de Calderero Ramona Albertina.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo
abriones6985@utm.edu.ec, jczambrano2973@utm.edu.ec, jmunoz7783@utm.edu.ec,
wruiz@utm.edu.ec, rpanchana@utm.edu.ec.*

Resumen — El uso de materiales provenientes de residuos de acero en los talleres de tornerías es de gran importancia en materia ambiental y económica, porque reduce la cantidad de sobrantes, favoreciendo y priorizando el cuidado del medio ambiente y la disminución de materia prima en construcciones civiles.

Con el propósito de dar un uso adicional a las virutas de acero obtenidas en las tornerías en la ciudad de Portoviejo se ha desarrollado la investigación para sustituir parcialmente el agregado fino en el hormigón por este material, con la finalidad de obtener alternativas de integración en el proceso constructivo y a su vez en el desarrollo sostenible de la ciudad.

La presente investigación está fundamentada en el análisis de la prestación mecánica del hormigón a través de los ensayos de resistencia a la compresión como lo indica la (NTE INEN 1573, 2010), y el de resistividad superficial (AASHTO TP 95-11, 2011), utilizando virutas de acero como agregado fino en sustituciones porcentuales del 5%, 10% y 15%. Se evaluaron las propiedades físicas de los agregados, continuando con la elaboración del diseño de mezclas del hormigón de control y probetas de hormigón con sustitución parcial de virutas de acero, a cada probeta se le realizó el ensayo de resistividad superficial y el ensayo de la resistencia a la compresión en un periodo determinado de 28 días de curado húmedo.

Se efectuó la comparación entre el hormigón de control y el hormigón de la investigación. Los resultados revelaron buen comportamiento mecánico del hormigón que contiene proporciones del 5%, 10% y 15% de virutas de acero como agregado fino, sus resistencias superaron la nominal (240 kg/cm²) por lo que es considerable realizar investigaciones futuras con porcentajes superiores.

Palabras clave — *hormigón, virutas de acero, resistencia a la compresión, resistividad superficial.*

Abstract — The use of materials from steel waste in turner's workshops have a great importance in environmental and economic matters, because it reduces the amount of leftovers, favoring and prioritizing the care of the environment and the reducing of raw material in civil constructions.

With the purpose of giving additional use to the steel shavings generated in the turner workshop, the city of Portoviejo has developing a research towards to partially replace the fine aggregate in the concrete with this material, in order to obtain integration alternatives in the constructive process and at the same time create sustainable development of the city.

This research is based on the analysis of the mechanical performance of concrete through resistance compression tests as indicated by (NTE INEN 1573, 2010), and resistivity surface (AASHTO TP 95-11, 2011), using steel shavings as a fine aggregate in percentage substitutions of 5%, 10% and 15%. The physical properties of the aggregates were evaluated, continuing with the elaboration of the design of mixtures of the control concrete and concrete specimens with partial replacement of steel shavings, each test was carried out the surface resistivity test and the resistance test to compression in a given period of 28 days of wet cure.

A comparison between the control concrete and the research concrete was made. The results revealed good mechanical behavior of the concrete that contains proportions of 5% and 10% and 15% of steel shavings as fine aggregate, its strengths exceeded the nominal (240 kg /cm²) so it is considerable to carry out future research with higher percentages.

Keywords—concrete, steel shavings, compressive strength, surface resistivity.

I. INTRODUCCIÓN

Se entiende por agregado fino a aquellos áridos que pasan por el tamiz 0,063 mm. La presencia de estos finos incide tanto en el comportamiento reológico de la masa fresca de hormigón, como en las propiedades del mismo una vez endurecido. En estado fresco, un alto contenido de finos aumenta la trabajabilidad e implica una mayor demanda de contenido de agua que puede repercutir negativamente en el endurecimiento del hormigón. Sin embargo, ésta se puede reducir mediante la presencia de aditivos. En estado endurecido, las partículas de finos pueden formar una delgada capa sobre la superficie de los áridos más grandes, disminuyendo así su adherencia (Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08, 2016). Se regula el contenido de árido fino en el hormigón para no modificar sus propiedades físicas como son la deformación y su fluidez, en el momento que se obtiene la mezcla en estado fresco, con el objetivo de mantener sus características y especificaciones técnicas estándar a su posterior endurecimiento (Ferreira, Oller, Bairán, Carrascón, & Marí 2015).

Las virutas empleadas en esta investigación son residuos de acero obtenidos en talleres de tornerías en la ciudad de Portoviejo, generalmente estos desperdicios son llevados a los vertederos municipales como material de desecho, por tal razón se ha hecho necesario darle un uso adicional a este residuo, como es el empleo en el hormigón como sustituto parcial del agregado fino. Bajo la investigación realizada por (Flores Fiallos, 2017) las virutas de acero se han empleado en la fabricación de morteros y hormigones de fibras de acero debido a que su módulo de elasticidad es diez veces mayor que el del hormigón, principalmente se han aplicado con el fin de mejorar la resistencia al impacto y resistencia a la fisuración y dan mayor resistencia frente diferentes tipos de cargas; la utilización de virutas de acero generan beneficios de costos, precios, cuidado ambiental y nuevas alternativas para hormigones estructurales, empleándose menos materiales de origen pétreos, satisfaciendo el control de calidad y el desempeño del hormigón.

En el 2017 en la universidad Francisco de Paula Santander de Ocaña-Colombia se realizó una investigación para implementar virutas de acero, se evaluaron las propiedades físicas de los agregados, continuando con la realización del diseño de mezclas, haciendo análisis posteriores a las prestaciones mecánicas del hormigón tanto de control como los adicionados con virutas de acero en porcentajes del 10% y 12% como reemplazo parcial del agregado fino; los resultados reflejan que los hormigones con el 10% de adición con virutas presentan un mejor comportamiento en comparación al de 12% de adición y al de la muestra patrón (Angarita Pinzón & Rincón Gaona, 2017).

En el 2018, en la universidad César Vallejo en Trujillo-Perú se presentó la investigación para analizar el efecto de la viruta de acero para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm², a la cual se le comparó con 2 grupos experimentales, el

hormigón convencional y el hormigón añadido con 0.2% de viruta de acero con respecto al peso total de la mezcla, los resultados muestran que la resistencia a la compresión a los 28 días del hormigón a experimentar fue de 238.045 kg/cm², concluyéndose que con un porcentaje bajo de las virutas mejora la resistencia característica del hormigón (Garate Labajos, 2018).

En el 2017, en la universidad Técnica de Ambato se elaboró la investigación referente al análisis de la resistencia a tracción y compresión del hormigón, adicionando dos tipos de residuos como son las virutas de acero comercial fundido reciclado y las fibras de acero comercial fundido reciclado en bajos porcentajes referente al contenido total de la masa de hormigón; los datos obtenidos determinaron que la resistencia a compresión máxima a los 28 días de edad con el adicionamiento de virutas de acero comercial fundido reciclado en un porcentaje de 1.25% da una resistencia promedio de 281.2 kg/cm², la cual es mayor en comparación a la resistencia del hormigón añadiendo 1.5% de fibras de acero comercial fundido reciclado dando una resistencia promedio de 258.6 kg/cm², demostrando de esta manera que el hormigón con adición de virutas de acero mejora las propiedades mecánicas de un hormigón normal (Sandoval Unapucha, 2017).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se emplearon varios materiales y métodos para poder obtener los resultados que se muestran.

A. *Materiales.* – En base a la investigación, los materiales empleados para la dosificación fueron: cemento portland tipo GU, los agregados finos y gruesos, procesados y provenientes de la cantera COPETO C.LTDA. De la ciudad de Santo Domingo de los Colorados, y las virutas de acero generadas y recolectadas en los diferentes talleres de tornerías de la ciudad de Portoviejo.

1) Cemento

El cemento portland es la mezcla de materiales calcáreos, arcillosos y otros materiales que contienen sílice, alúmina y óxidos de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso; el cemento portland tiene propiedades de adhesión y cohesión, que permite aglutinar los agregados para formar el hormigón (García Córdova & Sarmiento Gutiérrez, 2008).

La fabricación del cemento portland consiste en mezclar y reducir el tamaño de la piedra caliza, este proceso se lo realiza por secado o humedecimiento, en función de las condiciones que se encuentre la piedra caliza; la calidad del cemento se observa por la resistencia que son capaces de desarrollar el hormigón después del fraguado y endurecimiento (Castro Aguirre, 2016).

En esta investigación se empleó cemento portland tipo GU, de peso específico 3150 kg/cm³, de uso estandarizado para todo tipo de edificaciones y construcciones.

2) Agregado fino

El agregado fino, llamado también arena, constituye gran parte del peso del hormigón, este árido en la fabricación de hormigón debe cumplir un conjunto de requisitos usualmente recopilados en normas tales como ASTM (American Society for Testing and Materials), ASCE/SEI (American Society of Civil Engineers/ Structural Engineering Institute), entre otros. Dichos requisitos se refieren normalmente a la composición química, la granulometría, los coeficientes de forma y el tamaño (Hernández Hernández, 2011).

Clasificación de agregado fino:

- Arena fina: granos que pasan por un tamiz de 1mm de diámetro, a su vez retenidos por otro de 0.25mm.
- Arena media: aquella de granos que pasan por tamiz de 2.5mm de diámetro retenidos por otro de 1mm.
- Arena gruesa: partículas que pasan por un tamiz de 5mm de diámetro y son retenidos por otro de 2.5mm. (Compañía Pétreos del Toachi, 2019)

El agregado fino usado para esta investigación según los ensayos de laboratorio, presenta los siguientes valores: porcentaje de humedad 3.30%, módulo de finura 2.18 mm, peso unitario compactado 1.49 g/cm³, peso unitario suelto 1.40 g/cm³, peso específico corriente 2384.83 kg/m³, peso específico saturado 2439.02 kg/m³, peso específico aparente 2521.48 kg/m³ y el porcentaje de absorción de agua 2.27%.

3) Agregado grueso

Los agregados gruesos pueden estar constituidos por grava, gravilla, piedra triturada o una combinación de los mismos. El tamaño nominal máximo o tamaños permitidos, está basado en diámetro del agregado y el espaciamiento de las barras de refuerzo, estas son esenciales para utilizar un adecuado tamaño del agregado grueso (Caiza Yungán, 2017).

El agregado grueso cumple un papel muy importante para la constitución del hormigón, como es reducir los cambios de volumen de la mezcla resultantes de los procesos de fraguado, endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta; proporciona una masa de partículas con capacidad de resistir las acciones mecánicas, de desgaste, o del intemperismo, que puede actuar sobre el hormigón; provee un relleno idóneo para minorizar la cantidad de mezcla por unidad de volumen, por lo tanto reduce el costo de la unidad cúbica de hormigón (Flores Añorga, 2016).

El agregado grueso usado para esta investigación según los ensayos de laboratorio, presenta los siguientes valores, tamaño nominal de 1 pulgada, porcentaje de humedad de 1.47%, peso unitario compactado 1.49 g/cm³, peso unitario suelto 1.30 g/cm³, peso específico corriente 1644.49 kg/m³, peso específico saturado 1672.24 kg/m³, peso específico aparente 1691.43 kg/m³ y el porcentaje de absorción de agua 1.69%.

4) Agua

Para la mezcla de dosificación del hormigón se utilizó agua del acueducto de la ciudad de Portoviejo, Ecuador, por ser agua potable según lo establece la norma (NTE INEN 2617, 2012); no fue necesario realizar ensayo, asumiendo que es cumple las características y especificaciones óptimas para la mezcla de hormigón.

5) Virutas de acero

La viruta es un fragmento de material residual en forma de lámina curvada, espiral o en polvo que es extraído en trabajos de cepillado, desbastado o perforación sobre metales, esta se lo suele considerar un residuo de las industrias del metal, estos procedimientos se los realiza con un cepillo de acero u otras herramientas, tales como brocas, torno, limas entre otros (Gutierrez Medina, 2017).

Según la (ASTM A820/A820M, 2016), esta define cinco tipos de virutas de acero para este propósito, como son alambre liso o corrugado estirado en frío; lámina de corte liso o corrugado; fibras de extracción por fusión; fibras de acero de alambre modificado estirado en frío o de corte en fresadora que son lo suficientemente pequeñas para dispersarse de forma aleatoria en una mezcla de hormigón; estas virutas presenta las siguientes características:

- Incrementa la resistencia a la flexión, ductilidad y tenacidad del hormigón, produciendo un aumento de la capacidad portante.
- Logra alta resiliencia (capacidad de absorción de energía en el impacto) y resistencia al impacto para sollicitaciones dinámicas.
- Permite ahorros de material ya que las dimensiones de los elementos proyectados con el hormigón pueden disminuirse conservando las mismas propiedades.
- Es compatible con todo tipo de cemento y mezclas de hormigón.
- Es compatible con todos los compuestos de curado, súper plastificantes, reductores de agua medios o altos, endurecedores y selladores.
- Debido a las características isotrópicas y a la repartición uniforme de fibras en toda la estructura, es ideal para cargas sin punto de aplicación definida.

La industria (Novacero, 2015) expresa los siguientes beneficios:

- Resistencia mecánica.
- Buena soldabilidad
- Alta ductilidad
- Tenacidad elevada
- Capacidad para absorber energía de deformación
- Buen comportamiento a fatiga de bajo ciclaje

En la ciudad de Portoviejo existen aproximadamente 23 talleres de tornerías los cuales generan desperdicios semanales de cerca de 25 kg de virutas, este material es enviado a los

botaderos municipales, por tal razón en este trabajo se consideró utilizar como muestra 5 de los talleres que más desperdicios generan.

Las virutas de acero usadas para esta investigación presentan un módulo de finura de 2.26 mm que se correlaciona con el diámetro de arena media de Copeto.

6) Aditivo

El aditivo agregado a la mezcla, es de tipo líquido polímero de dispersión a base de melanina formaldehído, este aditivo líquido se caracteriza por su alto poder dispersante que permite una perfecta distribución de las partículas de cemento del hormigón, compuesto por resinas sintéticas. Superplastificante, reduce el contenido de agua y tiene un alto poder economizador de cemento, no contiene cloruros; su densidad es de aproximadamente 1,22 kg/l. (Sika, 2014)

Se utilizó un aditivo del tipo superplastificante para incrementar y mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

A. Métodos

A la materia prima como es arena y piedra y a la viruta empleada como material sustituto de la arena se le realizaron ensayos para determinar sus propiedades y obtener especificaciones técnicas para su dosificación.

Los ensayos realizados a estos materiales según lo establecen las Normas Técnicas del Ecuador (NTE), tantos a los agregados finos y gruesos con el objetivo de determinar la calidad y el cumplimiento de los criterios establecidos para la dosificación de la mezcla del hormigón fueron:

Contenido de humedad natural (NTE INEN 0862, 2011); Granulometría del árido fino y grueso (NTE INEN 0696, 2011); Peso unitario suelto y compactado (NTE INEN 0858, 2010). Gravedad específica y absorción del árido fino (NTE INEN 0856, 2010); Gravedad específica y absorción del árido grueso (NTE INEN 0857, 2010)

Además se ejecutaron los ensayos al hormigón en estado fresco, Determinación del asentamiento (NTE INEN 1578, 2010) con la finalidad que se fije el cumplimiento de las especificaciones del hormigón en estado endurecido establecido en las normas nacionales e internaciones (NTE); Elaboración de cilindros de hormigón (NTE INEN 1576, 2011); Resistividad superficial del hormigón (AASHTO TP 95-11, 2011) Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón (NTE INEN 1573, 2010)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar el diseño óptimo se aplicó la dosificación como lo establece el código ACI 211.1, se realizaron cuatro

tipos de diseños, con el 0% que corresponde al hormigón de control, y tres diseños donde se sustituye en porcentajes del 5%, 10% y 15% el peso de la arena por el de las virutas de acero.

En la dosificación se consideraron los ensayos de los agregados y las virutas de acero para determinar sus propiedades físicas y las alteraciones que puedan existir en la resistencia a la compresión del hormigón. La relación agua/cemento de 0.45 se mantuvo constante en toda la dosificación.

En la tabla 1 se muestran los pesos de los diferentes materiales (kg) para un 1 m³ de hormigón, con los diferentes porcentajes de diseños de dosificación

TABLA 1
DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CON PROPORCIONES DE REEMPLAZO DE VIRUTAS DE ACERO RESPECTO AL AGREGADO FINO EN KG/M³

Material	Sustitución de arena con el 0% de viruta de acero
Cemento	397.78 kg
Agua	174.58 kg
Piedra	725.09 kg
Arena	603.98 kg
Viruta de acero	-
Aditivo	77.56 ml
Material	Sustitución de arena con el 5% de viruta de acero
Cemento	397.78 kg
Agua	174.58 kg
Piedra	725.09 kg
Arena	573.78 kg
Viruta de acero	30.20 kg
Aditivo	77.56 ml
Material	Sustitución de arena con el 10% de viruta de acero
Cemento	397.78 kg
Agua	174.58 kg
Piedra	725.09 kg
Arena	543.58 kg
Viruta de acero	60.40 kg
Aditivo	77.56 ml
Material	Sustitución de arena con el 15% de viruta de acero
Cemento	397.78 kg
Agua	174.58 kg
Piedra	725.09 kg
Arena	513.38 kg
Viruta de acero	90.60 kg
Aditivo	77.56 ml

Las diferentes dosificaciones del hormigón detalladas en la tabla 1, Fueron llevadas a nivel de laboratorio para proceder con la ejecución del ensayo de asentamiento a cada una de las mezclas, posterior a ello se elaboraron probetas para las cuales se utilizaron moldes cuyas dimensiones son de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, como lo determina la norma (NTE INEN 1576, 2011).

Para realizar el ensayo de asentamiento se empleó el cono de Abrams, vertiendo uniformemente 3 capas de hormigón cada una a un tercio del volumen del molde, aproximadamente, compactada cada capa con 25 golpes, utilizando una varilla lisa, se enraso la parte superior del cono y se retiró los excedentes de hormigón en su base, de inmediato se levantó el molde en un intervalo de 3 a 7 segundos para medir su asentamiento según lo establece la (NTE INEN 1578, 2010)

En la elaboración de los cilindros de hormigón se consideró el uso de moldes de 10 cm por 20 cm, los cuales fueron llenos en 2 capas iguales y compactados a 25 golpes uniformemente por capa, para esto se utilizó una varilla lisa de acero de punta redondeada, inmediatamente se dejó fraguar las mezclas de hormigón por un periodo de 24 horas, cumplido el plazo se desencofró y se ubicó cuidadosamente en una piscina de curado la cual contiene agua potable saturada con cal, tal como lo establece (NTE INEN 2528, 2010)

La figura 1 evidencia las probetas desencofradas transcurridas las 24 horas de fraguado.



Figura 1: cilindros de hormigón

Los cilindros se introdujeron durante un periodo de 28 días para el curado húmedo, posterior a esto se efectuaron los ensayos de resistividad superficial y de resistencia a la compresión en intervalos de 7, 14 y 28 días respectivamente.

El ensayo de resistividad superficial se llevó a cabo mediante el dispositivo de prueba de laboratorio Giatec Surf mismo que se encarga de evaluar la resistividad eléctrica superficial de los cilindros de hormigón endurecido, basado en la técnica de 4 electrodos, normalizada por (AASHTO TP 95-11, 2011), Se obtuvieron los resultados de la tabla 2.

TABLA 2
RESISTIVIDAD ELÉCTRICA SUPERFICIAL PROMEDIO EN UN PERIODO DE CURADO DE 28 DÍAS

Hormigón con sustituciones porcentuales de viruta de acero (%)	Resistividad superficial a los 28 días (KΩ.cm)
0%	12.53
5%	11.40
10%	11.13
15%	10.70

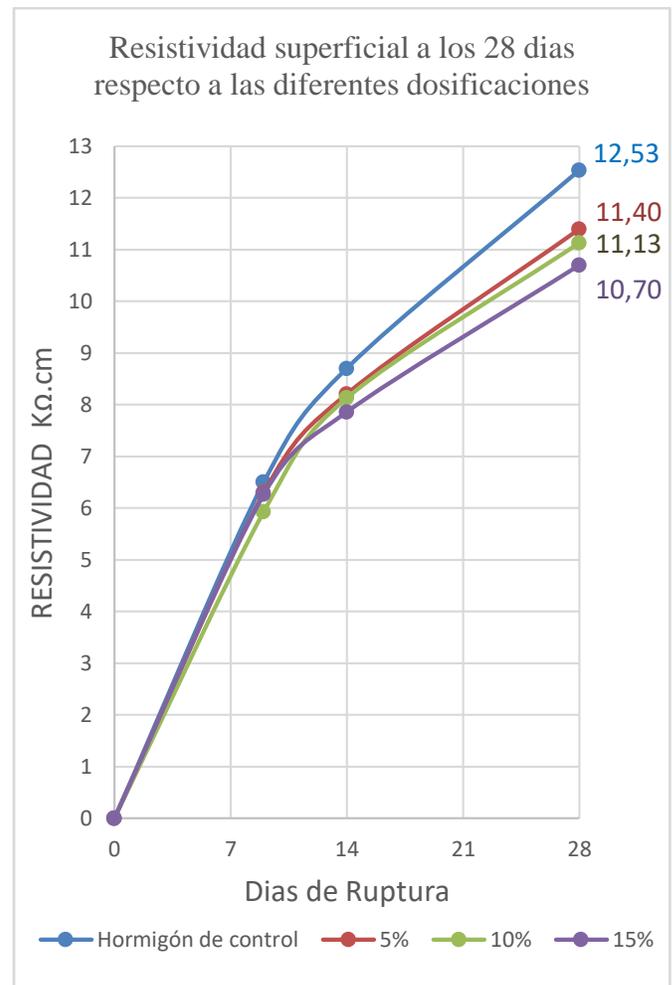


Figura 2: Curva de resistividad superficial a los 28 días respecto a las diferentes dosificaciones

A. Resistividad superficial

En la tabla 2 se observan los resultados derivados del hormigón de control y hormigones con virutas de acero como sustituto del agregado fino en porcentajes del 5%, 10% y 15%, mismos que prestan condiciones propicias dentro del rango moderado según los indicadores determinados en la tabla de la (ASTMC1202)

B. Resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a la compresión permite determinar la resistencia de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico en un periodo determinado de 28 días de curado húmedo. En la tabla 3, se indican los resultados derivados del hormigón de control y hormigones con virutas de acero como sustituto del agregado fino en porcentajes del 5%, 10% y 15%.

TABLA 3
PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A EDAD DE 28
DÍAS EN LAS DIFERENTES MEZCLAS DE HORMIGÓN

Hormigón con sustituciones parciales de virutas de acero (%)	Resistencia a la compresión 28 días (kg/cm ²)
0%	369.02
5%	311.60
10%	306.21
15%	297.00

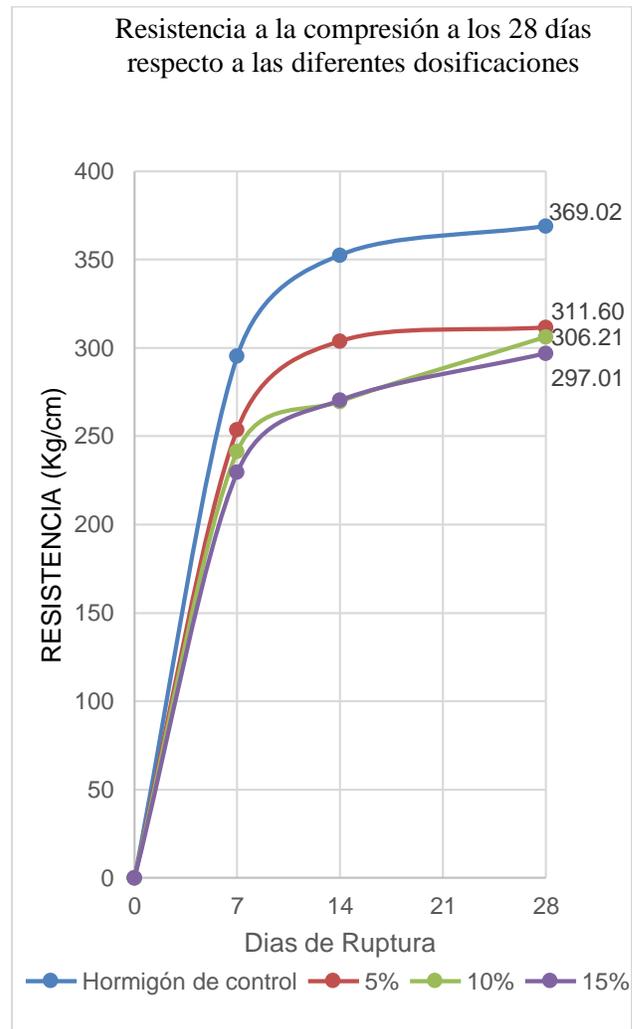


Figura 3: Resultados de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días respecto a las diferentes dosificaciones.

En la figura 3, se exponen los resultados de las resistencias obtenidas de los hormigones con porcentajes de virutas de acero como agregado fino y del hormigón de control, de los cuales se determina que las sustituciones de 5%, 10% y 15% superan la resistencia media (240 kg/cm²), es decir que es factible el uso de las dosificaciones como hormigón estructural.

IV. CONCLUSIÓN

Los agregados finos y gruesos obtenidos en la cantera COPETO cumplen con las características físicas establecidas en la norma, además se empleó la norma ASTM C33 – 03 para realizar el ensayo del módulo de finura de las virutas de acero sustituidas parcialmente con el agregado fino.

Se realizaron los ensayos a los 28 días para cada una de las variantes de la investigación, concluyéndose que la sustitución del 5% y 10% de virutas de acero como agregado fino se encuentra por encima de la resistencia media (240 kg/cm²) del proyecto, mientras que la resistencia del diseño con el 15% de sustituto del peso de la viruta desciende, lo que representa la funcionalidad de las dosificaciones como hormigón estructural.

El ensayo de resistencia eléctrica superficial muestra que los hormigones de control y los de la investigación presentan características que los ubican dentro del rango moderado según lo estipulado en la tabla (ASTMC1202).

Las resistencias a la compresión de los hormigones con sustitución de virutas de acero como agregado fino con respecto al hormigón de control disminuyeron hasta un 19% pero se mantuvieron por encima de la resistencia media (240 kg/cm²), partiendo de esto se establece una variación estadística con reducción de la resistencia del hormigón del 2% por cada 5% de virutas de acero que se sustituya en relación al hormigón.

Se concluye en el trabajo, realizar otros tipos de investigaciones en los cuales el porcentaje de sustitución se aumente en otros valores para estimar el porcentaje óptimo en la reutilización en las virutas de acero en el hormigón.

V. REFERENCIAS

- AASHTO TP 95-11. (2011). AASHTO LFRD Bridge Design Specifications. En *Método estándar de prueba para la resistencia de la superficie* Indicación de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro .
- Angarita Pinzón, P. A., & Rincón Gaona, H. J. (2017). *Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto adicionando con viruta de acero en porcentajes de 10% y 12% respecto al agregado fino de la mezcla (Tesis de grado)*. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil.
- ASTM A820/A820M. (2016). *Especificación estándar para fibras de acero para hormigón reforzado con fibra*.
- ASTMC1202. (s.f.). AASHTO LFRD Bridge Design Specifications. En *Método estándar de prueba para la resistencia de la superficie* Indicación de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro.
- Caiza Yungán, K. J. (2017). *Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f_c = 240$ kg/cm²), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo (Tesis de grado)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil.
- Castro Aguirre, J. C. (2016). *Las fibras de vidrio, acero y polipropileno en forma de hilachas, aplicadas como fibras de refuerzo en la elaboración de morteros de cemento (Tesis de grado)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería civil y mecánica, Carrera de Ingeniería Civil.
- Compañía Pétreos del Toachi. (2019). *COPETO C. LTDA*. Obtenido de <http://www.copeto.com.ec/>
- Ferreira, D., Oller, E., Bairán, J. M., Carrascón, S., & Marí 2015, A. (s.f.). Influencia del contenido de finos del hormigón en la respuesta estructural a flexión y cortante de vigas de hormigón armado. *Informes de la Construcción*,. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid.
- Flores Añorga, A. H. (2016). *Estudio de un Concreto Fluido de $f_c=250$ kg/cm² con superplastificante para estructuras en la ciudad de Jaén*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil.
- Flores Fiallos, A. M. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia a flexión del hormigón armado adicionando fibras comerciales, virutas y limallas de acero (Tesis de grado)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil.
- Garate Labajos, M. (2018). *Efecto de la viruta de acero en la resistencia a la compresión del concreto $f_c=210$ kg/cm²*. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela académico profesional de Ingeniería Civil.
- García Córdova, H. A., & Sarmiento Gutiérrez, J. E. (2008). *Mejoramiento de un concreto de 300 PSI con adición de viruta de acero con porcentajes de 6%, 8% y 10% respecto al agregado fino de la mezcla*. Bucaramanga-Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Facultad de Ingeniería Civil, Escuela de Ingenierías y Administración, .
- Gutierrez Medina, C. (2017). *Evaluación del comportamiento del concreto al que se ha reemplazado el agregado fino por viruta de acero*. Cusco: Universidad Andina del Cusco, Facultad de Ingenierías, Carrera Profesional de Ingeniería Civil.
- Hernández Hernández, B. J. (2011). *Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezclas de concreto elaboradas con materiales de reciclaje: plásticos y llantas (Tesis de grado)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil.
- Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. (2016). *Ministerio de Fomento, Secretaría General Técnica, Gobierno de España*. Madrid.
- Novacero. (2015). Obtenido de <http://www.novacero.com/blog/?p=302>
- NTE INEN 0696. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Aridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito.
- NTE INEN 0856. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Aridos. determinación de la densidad, densidad*

relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. Quito.

NTE INEN 0857. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Aridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.* Quito.

NTE INEN 0858. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Aridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumetrico) y el porcentaje de vacios.* Quito.

NTE INEN 0862. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Aridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.* Quito.

NTE INEN 1573. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.* Quito.

NTE INEN 1576. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.* Quito.



NTE INEN 1578. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.* Quito.

NTE INEN 2617. (2012). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.* Quito.

Sandoval Unapucha, F. M. (2017). *Analisis comparativo de la resistencia a tracción y compresión del hormigón adicionando virutas de acero comercial fundido y el hormigón con fibras de acero comerciales.* Ambato-Ecuador: Universidad Tecnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil.

Sika. (2014). *Sikament - N 100.* Obtenido de <http://www.ecu.sika.com>



Briones Ponce A.N. Estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.



Zambrano Macías J.C. Estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.



Ruiz Párraga W.E. Máster en Docencia e Investigación Educativa, Máster en Ingeniería Civil, mención Tecnología de los Materiales de construcción, Profesor Titular en la Universidad Técnica de Manabí, en la carrera de Ingeniería Civil, Especialista en materiales de construcción. Escritor de varios

artículos indexados.

Panchana de Calderero R.A. Máster en Ciencias, mención Energía, Diplomado Superior en Investigación Científica. Profesor Titular en la Universidad Técnica de Manabí, en la carrera de Ingeniería Civil. Autora y Coautora de libros. Escritora de varios artículos indexados.



Muñoz Macías J.A. Ingeniero Civil graduado en la Universidad Técnica de Manabí, Residente de obra, Escritor de artículos indexados.