

Eder Quispe Edwin Bruna

Eficiencia del comportamiento del concreto con viruta de acero

 Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:468008736

Fecha de entrega

18 jun 2025, 8:23 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

18 jun 2025, 8:28 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

CRAI - Artículo- Edher y Edwin - v2.pdf

Tamaño de archivo

490.3 KB

27 Páginas

7266 Palabras

36.948 Caracteres

15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 12%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 12%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	tesis.ucsm.edu.pe	2%
2	Internet	hdl.handle.net	2%
3	Trabajos entregados	upeu on 2024-10-03	1%
4	Internet	repositorio.unsa.edu.pe	<1%
5	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
6	Trabajos entregados	Universidad Tecnológica del Peru on 2024-12-03	<1%
7	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
8	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2015-12-17	<1%
9	Internet	repositorio.uandina.edu.pe	<1%
10	Internet	www.coursehero.com	<1%
11	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-08-12	<1%

12	Trabajos entregados	Universidad Privada Antenor Orrego on 2023-12-13	<1%
13	Trabajos entregados	Webster University on 2022-11-17	<1%
14	Trabajos entregados	Submitted on 1693005444259	<1%
15	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
16	Internet	repositorio.unamba.edu.pe	<1%
17	Trabajos entregados	uncedu on 2024-10-09	<1%
18	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2018-05-07	<1%
19	Internet	es.scribd.com	<1%
20	Trabajos entregados	Universidad Católica Sedes Sapientiae on 2024-11-13	<1%
21	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2016-06-02	<1%
22	Internet	patents.google.com	<1%
23	Internet	www.grafiati.com	<1%
24	Trabajos entregados	Universidad Católica San Pablo on 2024-03-11	<1%
25	Trabajos entregados	Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas on 2024-08-31	<1%

26	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
27	Trabajos entregados	uncedu on 2023-11-29	<1%
28	Publicación	JOSÉ MARÍA VERCHER SANCHIS. "Seguridad residual en los forjados con corrosión ...	<1%
29	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2017-05-04	<1%
30	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2019-12-12	<1%
31	Trabajos entregados	Webster University on 2022-11-21	<1%
32	Internet	core.ac.uk	<1%
33	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
34	Internet	www.uaim.edu.mx	<1%
35	Publicación	Arlinton Edwin Cuyán Barboza, Jairo Leoncio Mio Monja, Sócrates Pedro Muñoz P...	<1%
36	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2017-12-01	<1%
37	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2018-03-22	<1%
38	Internet	journals.rifst.ac.ir	<1%
39	Trabajos entregados	uncedu on 2025-01-21	<1%

40	Publicación	Harlem Acevedo-Agudelo, Jorge Figueroa-Álvarez. "Prácticas de circularidad en la ..."	<1%
41	Trabajos entregados	Universidad Católica Sedes Sapientiae on 2024-12-11	<1%
42	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2017-02-27	<1%
43	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-08-01	<1%
44	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-01-15	<1%
45	Internet	dokumen.pub	<1%
46	Internet	mx.alconpat.org	<1%
47	Internet	ri.ues.edu.sv	<1%
48	Trabajos entregados	uncedu on 2024-10-15	<1%
49	Trabajos entregados	uncedu on 2025-05-14	<1%

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Eficiencia del comportamiento físico-mecánico en la
producción del concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con la adición de viruta
de acero, Juliaca**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Edwin Quispe Bruna
Edher Jesús Quispe Tito

Asesor:

M.Ing.Cív. Herson Duberly Pari Cusi

Chullunquiani, mayo de 2025

“Eficiencia del comportamiento físico-mecánico en la producción del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con la adición de viruta de acero, Juliaca”

RESUMEN

En países que están en vías de desarrollo, El concreto se emplea de manera frecuente en el ámbito de la construcción, y existe un problema global con los residuos industriales. Esta investigación surgió a raíz de un punto muy importante, como es el manejo de los residuos altamente contaminantes, con el objetivo de verificar el comportamiento mecánico del concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con viruta de acero. Los agregados pétreos utilizados se obtuvieron de canteras locales, el cemento tipo IP según la norma (ASTM C595), agua potable y la viruta de acero de taller de la zona. La metodología empleada fue cuasiexperimental. Se formuló una mezcla de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, obteniendo dos diseños de concreto, Alternando el uso de piedra chancada y canto rodado como agregado grueso, a los cuales se procedió a la sustitución parcial del agregado fino por viruta de acero en las proporciones siguientes: 0 %, 5 %, 7.5 % y 10 %. De acuerdo a esas proporciones, se procedió a elaborar el concreto en probetas cilíndricas para ensayo a compresión axial (ASTM C39) y de forma prismática para ensayo de módulo de rotura (ASTM C78). Luego de un proceso de curado del concreto por 7, 14 y 28 días, se procedió a la rotura de los especímenes, los cuales mostraron los siguientes resultados: la adición de viruta de 5 % al concreto de agregado grueso canto rodado incrementó su resistencia a compresión en un porcentaje de 16.06 %, con una desviación estándar de 8.75 kg/cm^2 . Así también, presenta un incremento de módulo de rotura en 12.56 %, con una desviación estándar de 1.66 kg/cm^2 con respecto al concreto patrón (0 % de viruta de acero). Asimismo, se verifica que, con la adición de 4.7 % de viruta de acero, el concreto alcanza su valor más eficiente de 233.32 kg/cm^2 , representando una mejora de 11.11 % respecto al concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Estos resultados respaldan el objetivo de la investigación, dando una alternativa de uso de los residuos de acero (viruta de acero).

Palabras clave:

Concreto, Viruta de acero, Resistencia a la compresión y Módulo de rotura.

“Efficiency of physical and mechanical behavior in the production of concrete $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ with the addition of steel shavings, Juliaca”

ABSTRACT

In developing countries, concrete is frequently used in the construction sector, and there is a global issue concerning industrial waste. This research arose from a very important point: the management of highly polluting waste, with the aim of evaluating the mechanical behavior of concrete with a compressive strength of $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ using steel shavings. The stone aggregates used were obtained from local quarries, Type IP cement according to the ASTM C595 standard, potable water, and steel shavings from local workshops. The methodology used was quasi-experimental. A concrete mix with $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ was formulated, resulting in two concrete designs by alternating the use of crushed stone and river rock as coarse aggregates. In these mixes, partial replacement of the fine aggregate with steel shavings was made in the following proportions: 0%, 5%, 7.5%, and 10%. According to these proportions, cylindrical concrete specimens were prepared for axial compression testing (ASTM C39) and prismatic specimens for flexural strength testing (ASTM C78). After a curing period of 7, 14, and 28 days, the specimens were tested. The results showed that adding 5% steel shavings to the concrete with river rock coarse aggregate increased compressive strength by 16.06%, with a standard deviation of 8.75 kg/cm^2 . Additionally, the flexural strength increased by 12.56%, with a standard deviation of 1.66 kg/cm^2 compared to the control concrete (0% steel shavings). It was also found that with the addition of 4.7% steel shavings, the concrete reached its most efficient strength value of 233.32 kg/cm^2 , representing an 11.11% improvement over the original $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ concrete. These results support the research objective, providing an alternative use for steel waste (steel shavings).**Keywords:**

Concrete, Steel Swarf, Compressive Strength, and Modulus of Rupture.

1. INTRODUCCIÓN

El concreto representa uno de los materiales más utilizados en el sector constructivo de los países en vías de desarrollo. Hay un problema global con los residuos industriales, incluyendo los de la carpintería metálica y los trabajos metalmecánicos, que no son bien manejados en el sur del Perú. La ingeniería ofrece soluciones técnicas para reducir la huella de carbono. El (BCRP, 2022) menciona que el sector construcción aumentó en un 4.2% debido al mayor avance en obras civiles, indicando un alto consumo de cemento en el Perú, por lo tanto, de concreto. En la generación total de residuos debido a sus impactos perjudiciales sobre el medio ambiente y la salud humana, varios investigadores se han esforzado por encontrar métodos eficaces para gestionar estas grandes cantidades de residuos de construcción y para minimizar los impactos ambientales y maximizar los beneficios económicos y sociales. (Islam et al., 2024) el propósito de esta investigación resulta en reducir los impactos ambientales. El uso de algunos desechos industriales puede demostrar resultados beneficios para la industria de la construcción (Kaish et al., 2021). El material de residuo viruta de torno puede ser beneficioso para la mejora de las propiedades mecánicas además que Según PRODUCE (2019), la merma de metales como “virutas y limallas de acero” en 2019 fue de 1,884,815 toneladas, generando un impacto ambiental negativo debido a su acumulación sin precaución. El reciclaje de residuos de construcción y demolición es crucial para minimizar los impactos ambientales y maximizar los beneficios. (Gernal et al., 2020) Varios estudios han explorado el uso de residuos metálicos en la construcción y en un estudio vieron resultados positivos. (Bhagyawati et al., 2018). La adición de virutas de acero en el concreto además de reforzar su capacidad de compresión, también se optimiza su resistencia a la flexión. Experimentaron con residuos metálicos en concreto en proporciones desde 0.5% hasta 2.0 %, mejorando sus características mecánicas. (Alfeehan et al., 2020) Analizaron el efecto de fibras de acero en proporciones desde 0% hasta 1.5% en concreto liviano bajo compresión, mostrando que mejoran su capacidad para resistir compresiones repetidas. (Yildizel et al., 2023) Utilizó alambres de acero reciclados en proporciones desde 1% hasta 3% (Dabbagh et al., 2023). teniendo

en consideración las proporciones utilizadas en estos antecedentes, se propone la utilización de porcentajes de acero en virutas desde 0%, 5%, 7.5% y 10%.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se empleó un diseño cuasiexperimental para evaluar el impacto del tratamiento en contextos reales. A diferencia de los experimentos tradicionales, no se asignan aleatoriamente los participantes, sino que se utilizan grupos preestablecidos, lo que facilita la observación del comportamiento y la recolección de evidencia basada en variables cualitativas y cuantitativas. Esta metodología descriptiva permite analizar en profundidad los cambios generados, aunque se reconoce la limitación de no controlar todas las variables preexistentes, lo que puede afectar la significación estadística de los resultados. No obstante, el enfoque resulta práctico y éticamente adecuado para la evaluación de procesos de cambio en escenarios reales.

La cantidad de especímenes se determinó en esta investigación se usó el muestreo no probabilístico, el tipo de muestreo fue intencional o por conveniencia utilizando la fórmula de muestreo para una población infinita, considerando una dispersión de datos de 11.00 kg/cm² con un margen de certeza del 95% la misma que indica 4.6 muestras, se optó por trabajar con 5 muestras para fortalecer la representatividad.

$$n_{opt.} = \frac{Z^2 * \sigma^2}{e^2}$$

2.1. Preparación de Materiales y muestras

Las virutas de acero se recolectaron de los talleres mecánicos cercanos al lugar de estudio. Los agregados gruesos y finos son de canteras locales estas se procesaron se secaron al aire libre hasta liberar la humedad superficial, tal como se describe los materiales usados a continuación:

2.1.1. Cemento Portland

Tipo IP, es un cemento con excelente rendimiento y propiedades mejoradas por la incorporación de puzolana (Mehta & Monteiro, 2014). Además, las puzolanas son materiales que reaccionan con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, formando compuestos cementantes secundarios que mejoran la matriz del concreto (Moawad et al., 2021). El cemento en general se puede definir como un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le permiten unir fragmentos minerales en una masa dura, continua y compacta (Demissew, 2022).

2.1.2. Agregado fino y grueso

El agregado fino incluye granos finos de arena o materiales equivalentes, que pasan por un tamiz de 4.75 mm (No. 4). Se incorpora en la mezcla de concreto con el fin de dar estabilidad y disminuir la porosidad, se incluyeron análisis de peso unitario volumétrico y contenido de humedad, para garantizar una mezcla homogénea y de calidad. El agregado grueso está formado por fragmentos de roca o grava que quedan retenidos en un tamiz de 4.75 mm (No. 4). Este componente es clave para asegurar la resistencia y la vida útil del concreto. Se evaluaron características como el peso unitario y la absorción para asegurar que cumpla con las especificaciones de construcción. El agregado grueso influye significativamente en las propiedades mecánicas del concreto, como la resistencia a la compresión y la durabilidad, mientras que el agregado fino ayuda a mejorar la cohesión y la trabajabilidad de la mezcla (Oliveira et al., 2024).

Figura 1. Agregados fino y grueso



Se observa en la figura 1 los agregados ensayados de la cantera local su uso es importante. Modificar el tamaño máximo del agregado grueso afecta de manera significativa la resistencia y la facilidad de manejo del concreto. Las mezclas de concreto con un mayor tamaño de agregado grueso, para un mismo contenido de cemento y consistencia, requiere un menor contenido de agua en comparación con concretos con menor tamaño de agregado”(Hernandez 2021 p,2). “El agregado grueso, el agregado fino y otros componentes forman la mezcla. La mezcla de diferentes materiales da como resultado propiedades materiales complejas y estructuras de múltiples escalas. Para el estudio de las características morfológicas de los agregados, académicos nacionales y extranjeros han llevado a cabo muchas investigaciones basadas en las propiedades mecánicas ...” (Li et al., 2024).

Tabla 1: Propiedades del cemento, agregado grueso y agregado fino para canto rodado.

DESCRIPCION	UNIDADES	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
TAMAÑO MAXIMO	Pulg.			1 1/2
PESO ESPECIFICO	gr/cm ³	2.75	2.46	2.36
PESO UNITARIO SUELTO	Kg/m ³		1672	1498
PESO UNITARIO COMPACTADO	Kg/m ³		1806	1626
CONTENIDO DE HUMEDAD	%		7.32	2.40
ABSORCION	%		3.74	1.65
MODULO DE FINEZA	-		2.84	2.60

Tabla 2: Propiedades del cemento, agregado grueso y agregado fino para piedra chancada

DESCRIPCION	UNIDADES	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
TAMAÑO MAXIMO	Pulg			1
PESO ESPECIFICO	gr/cm ³	2.75	2.46	2.34
PESO UNITARIO SUELTO	Kg/m ³		1672	1334
PESO UNITARIO COMPACTADO	Kg/m ³		1806	1467
CONTENIDO DE HUMEDAD	%		7.32	2.40
ABSORCION	%		3.74	1.45
MODULO DE FINEZA			2.84	1.78

2.1.3. Viruta de Acero

La clasificación de la viruta se llevó a cabo utilizando una malla de tamaño #3/8, diseñada para separar partículas con dimensiones no superiores a 0.5 cm. Además, se descartaron los residuos más finos, correspondientes al polvo de viruta, cuya granulometría es menor a 3 mm. Cabe destacar que no se cuenta con normas o fundamentos técnicos estandarizados para esta clasificación, dado que este material aún no es empleado en procesos de producción masiva, lo que limita la disponibilidad de estudios técnicos específicos relacionados con la viruta generada en tornos.

Tabla 3: Características de la viruta de acero

CARACTERISTICAS	
FORMA	HELICOIDALES
	ARQUEADAS
	ELEMENTALES
TIPO DE ROTURA DE LA VIRUTA	DESBASTE (RANGOS ENTRE: 1mm a 6 mm)
COLOR DE VIRUTA	VIRUTA CORTA (ROJO)
	SUPERALEACIONES (MARRON)
	ACEROS TEMPLADOS (GRIS)
TIPO DE OPERACIÓN	TERMINACION (ACABADO O ALISADO)

La recolección de la viruta se realizó mediante un sondeo para identificar la ubicación de talleres que se dedican a realizar estos trabajos con acero. Los resultados señalaron que la mayor concentración de talleres se encuentra en la zona cercana a la salida Cuzco, donde se lleva a cabo un porcentaje significativo de actividades relacionadas con el torneado. En este contexto, se procedió a clasificar la viruta generada, considerando que estos talleres trabajan con diversos materiales, tales como acrílico, aluminio, metales galvanizados, entre otros. Para el proceso de recolección, se utilizaron tres tornos que cumplieran con las especificaciones requeridas para la investigación, los cuales generaron la cantidad necesaria de viruta para el análisis experimental. Este enfoque permitió

garantizar la representatividad de la muestra en términos de los diferentes materiales procesados y las condiciones de operación típicas en dichos talleres.

Incorporar viruta en mezclas de concreto como refuerzo para mejorar las propiedades mecánicas reduce fisuras y aumenta la resistencia a la compresión (Djebri et al., 2022), lo cual contribuye a un manejo más sostenible de los desechos industriales. la adición de desechos metálicos mejora la resistencia del concreto y reduce la aparición de grietas al aumentar la unión entre las fibras y el mortero de cemento (Alfeehan et al., 2020).

Figura 2. Viruta de Acero



En el entorno urbano de Juliaca se generan 50 kg por taller en una semana. Para mezclas de concreto en las que las fibras están uniformemente dispersas, contribuyen significativamente a reducir la ocurrencia de grietas causadas por variaciones de humedad relativa y temperatura. La adición de fibras (acero/naturales/sintéticas) a las mezclas cementosas mejora sus propiedades mecánicas. Aunque el papel de la fibra no siempre implica un aumento de la resistencia, tiene un efecto favorable considerable sobre la ductilidad, la resiliencia a las cargas dinámicas y la tenacidad. El refuerzo de hormigón con fibras no sustituye al tradicional (Amin et al., 2022). Se ha observado que el uso de virutas de metal de desecho puede aumentar significativamente la resistencia a la flexión y la ductilidad de las vigas (Aslan et al., 2023)

2.2. Proceso de Dosificación.

El procedimiento de proporción de materiales se realizó siguiendo el proceso de diseño del método ACI 211 del cual se obtuvieron las siguientes proporciones. El diseño de mezclas utilizando el método ACI 211 proporciona un enfoque sistemático para lograr una relación agua-cemento adecuada y optimizar la

trabajabilidad y resistencia del concreto (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff et al., 2002)

Tabla 4: Proporciones para canto rodado de acuerdo a diseño de mezclas $F'c=210\text{kg/cm}^2$.

DESCRIPCION	PROPORCION EN VOLUMEN
CEMENTO	1.00
AGREGADO FINO	1.43
AGREGADO GRUESO	3.21
AGUA (lt)	20.49

Tabla 5: Proporciones para piedra chancada de acuerdo a diseño de mezclas $F'c=210\text{kg/cm}^2$.

DESCRIPCION	PROPORCION EN VOLUMEN
CEMENTO	1.00
AGREGADO FINO	1.66
AGREGADO GRUESO	2.88
AGUA (lt)	20.05

Se realiza el remplazo del agregado fino por la viruta de acero en porcentajes de 0%, 5%, 7.5% y 10%. Estudios previos han demostrado que añadir viruta de acero puede incrementar la capacidad del concreto para resistir la compresión. Además, la viruta de acero puede actuar como un refuerzo en el concreto, mejorando su fortaleza para soportar peso y minimizar la aparición de grietas. El proceso de dosificación del concreto con virutas de acero implica una serie de pasos críticos destinados a lograr una mezcla homogénea y eficaz que responda a los criterios de solidez y funcionamiento estructural requeridos en una obra concreta. Según (González, 2023) las virutas de acero son pequeñas partículas obtenidas como subproducto de procesos de corte, taladrado o mecanizado, que se utilizan como refuerzo en el concreto para mejorar sus propiedades mecánicas. Para comenzar el proceso de dosificación, es fundamental definir los requisitos específicos del concreto modificado con virutas de acero para el proyecto en cuestión. Según (García, A., 2017) esto incluye considerar factores

como la resistencia requerida, la trabajabilidad. Estos requisitos servirán como base para la selección de materiales y la determinación de las proporciones adecuadas en la mezcla de concreto.

2.3. Métodos

2.3.1. Ensayo a compresión

Preparación de Muestras:

Probetas: Se utilizo cilindros de concreto de dimensiones estándar con espécimen cilíndrico de Ø 15.00 cm por altura de 30.00 cm.

Curado: Las muestras se llevaron mediante un tratamiento de curado por inmersión en intervalos específicos (7, 14 y 28 días) para observar la evolución de la resistencia

Equipamiento:

Máquina de Compresión: Se utilizó un equipo hidráulico certificado y calibrado según la norma ASTM C39, encargado de aplicar una carga axial de compresión sobre la muestra.

Realización del Ensayo:

Montaje: La muestra se ubicó de manera central dentro del equipo de compresión para asegurar una distribución uniforme de la carga.

Aplicación de la Carga: La carga se aplicó de manera continua y sin choque, con una velocidad de carga constante de aproximadamente $2.55 \text{ (kg/cm}^2\text{) /s}$.

Registro de Datos: Se registra en kilogramos-fuerza (KG-F) la mayor carga aplicada a la muestra justo antes de su colapso.

Cálculo de la Resistencia a Compresión:

Se determina la resistencia a compresión relacionando la carga máxima con el área transversal de la probeta.

Formula aplicada:

$$f'c = \frac{PAG}{A}$$

PAG: Carga máxima

F'c: Esfuerzo a compresión

A: Área de la sección transversal de la probeta

2.3.2. Módulo de rotura**Preparación de Muestras:**

Probetas: Se utilizo vigas prismáticas empleando especímenes con medidas típicas de 15.00 cm de altura, 15.00 cm de base y 55.00 cm de largo.

Curado: Las muestras permanecieron sumergidas durante 28 días como parte del proceso de curado, simulando el crecimiento de resistencia a lo largo del tiempo.

Equipamiento:

Máquina de Flexión: Se hizo uso de un equipo que somete la muestra a una carga distribuida en tres puntos, siguiendo las especificaciones de la norma ASTM C78/C78M.

Apoyos y Cargas: La muestra se dispone sobre un par de rodillos con separación definida, recibiendo la carga centrada a través de un rodillo colocado encima.

Realización del Ensayo:

Montaje: Se posicionó la muestra en los soportes de la máquina de flexión, cuidando que estuviera alineada y centrada adecuadamente.

Aplicación de la Carga: La aplicación de la carga se realizó sin interrupciones ni sacudidas, a una velocidad fija, hasta que se produjo la falla del espécimen.

Registro de Datos: La muestra fue sometida a carga hasta su punto de quiebre, y se documentó el valor máximo alcanzado en kilogramos-fuerza (KG-F).

Cálculo del módulo de rotura:

$$MR = \frac{PAG \times L}{b \times d^2}$$

MR: módulo de rotura

PAG: carga máxima aplicada en el ensayo

b: Longitud de la viga

d: Altura de la viga

3. RESULTADOS

3.1. Esfuerzo a compresión

En las siguientes tablas Se detallan de manera resumida los resultados correspondientes a cada etapa del proceso de curado y diferentes porcentajes de viruta.

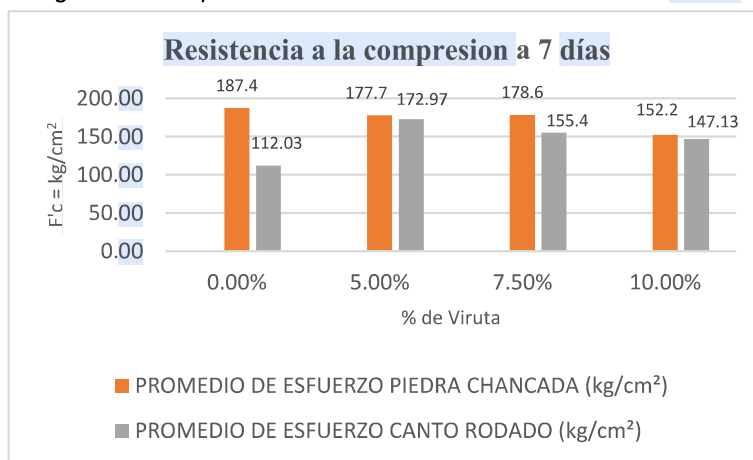
Tabla 6: Resultados para esfuerzos a compresión del concreto

% VIRUTA	DIAS DE CURADO	PROMEDIO DE ESFUERZO PIEDRA CHANCADA (kg/cm ²)	Desviación estándar (kg/cm ²)	PROMEDIO DE ESFUERZO CANTO RODADO (kg/cm ²)	Desviación estándar (kg/cm ²)
0%	7	187.40	6.94	112.03	4.48
	14	237.63	8.75	154.17	8.00
	28	274.03	7.67	200.93	7.00
5%	7	177.70	14.31	172.97	10.02
	14	215.80	0.75	186.17	0.42
	28	260.63	1.96	233.20	8.75
7.5%	7	178.60	2.55	155.40	2.55
	14	213.20	5.04	189.33	2.46
	28	251.90	5.75	221.93	3.41
10%	7	152.20	3.75	147.13	7.91
	14	176.33	1.60	160.63	10.32
	28	218.93	4.01	250.23	4.04

Estos resultados indican que la inclusión de viruta de torno en el concreto con piedra chancada y canto rodado como parte del agregado grueso contribuye a mejorar la resistencia a la compresión, especialmente a largo plazo, aunque la proporción óptima de viruta debe ser cuidadosamente evaluada para balancear la resistencia inicial y final.

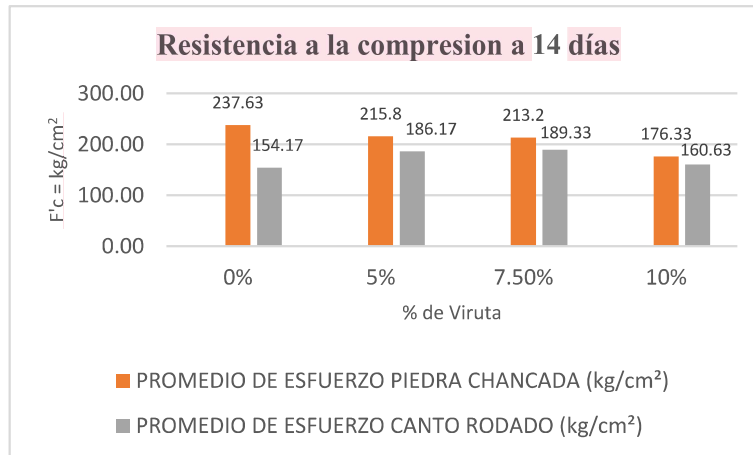
Estos resultados se pueden apreciar mejor en grafica de barras que se muestran a continuación:

Figura 3. Comparativo de Resistencias de concreto a 7 días



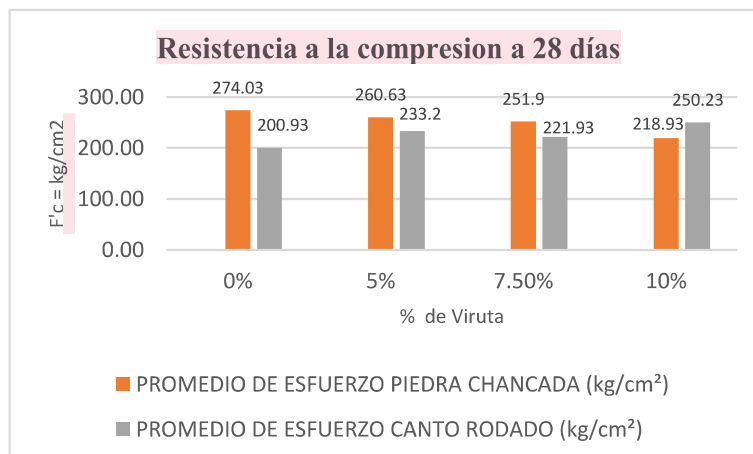
En general, El concreto elaborado con piedra chancada presenta una superior resistencia inicial a la compresión a una semana de curado, frente al desempeño del concreto con canto rodado, especialmente sin viruta. Sin embargo, el uso de viruta de torno como aditivo fortalece la resistencia del concreto con canto rodado significativamente, acercándose e incluso igualando al concreto con piedra chancada cuando se adiciona un 5% de viruta. Con porcentajes más altos de viruta (7.5% y 10%), ambos tipos de concreto muestran una disminución en resistencia, con el concreto con piedra chancada manteniendo ligeramente un mejor desempeño hasta el 7.5% de viruta, pero igualándose con el canto rodado al 10% de viruta.

Figura 4. Comparativo de Resistencias de concreto a 14 días



Tras 14 días de curado, el concreto que contiene piedra chancada evidencia una resistencia compresiva superior frente al concreto elaborado con canto rodado, especialmente sin viruta. El uso de viruta de torno como aditivo refuerza considerablemente la resistencia del concreto con canto rodado, reduciendo la brecha con el concreto con piedra chancada. Con porcentajes más altos de viruta (7.5% y 10%), ambos tipos de concreto muestran una disminución en resistencia, pero la piedra chancada sigue manteniendo un rendimiento ligeramente superior. La optimización de la cantidad de viruta es clave para maximizar la resistencia del concreto en ambas mezclas.

Figura 5. Comparativo de Resistencias de concreto a 28 días



Transcurridos 28 días, el concreto con piedra chancada generalmente muestra un mejor desempeño a compresión respecto al concreto con canto rodado, especialmente sin viruta y con menores porcentajes de viruta. Sin embargo, La

mezcla con viruta de acero presenta una mejora en su resistencia estructural con canto rodado significativamente, y a un 5% de viruta el concreto elaborado con canto rodado muestra una capacidad compresiva determinada de 233.20 kg/cm² registrando una desviación estándar de 8.75 kg/cm². Esto sugiere que la viruta de torno puede tener un efecto beneficioso en el concreto con canto rodado a largo plazo, optimizando la mezcla para obtener mejores resultados estructurales. La optimización de la cantidad de viruta sigue siendo clave para maximizar la resistencia del concreto en ambas mezclas.

3.1.1. Análisis estadístico:

Tabla 7: Datos tomados en laboratorio - edad 28 días - CANTO RODADO

N°	PATRON	5% DE VIRUTA	7.5% DE VIRUTA	10% DE VIRUTA
1	195.10	228.00	218.00	245.60
2	199.00	228.30	223.80	252.10
3	208.70	243.30	224.00	253.00

Prueba ANOVA

Tabla 8: Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3847.9425	3	1282.6475	33.42621669	0.00007113	4.0661806
Dentro de los grupos	306.98	8	38.3725			
Total	4154.9225	11				

Mediante la prueba ANOVA con un $r^2=0.93$ podemos determinar que el concreto elaborado con canto rodado, presenta diferencias significativas entre los grupos,

puesto que el valor f calculado = 33.42621669 es mayor al valor crítico de $f = 4.0661806$. y procedemos a verificar donde se encuentran las diferencias significativas más resaltantes con la prueba estadística de TUKEY:

PRUEBA ESTADÍSTICA DE TUKEY

Tabla TUKEY : 4.53

Error : 38.373

N : 3

Valor de TUKEY : 16.20

Tabla 9: Tabla de TUKEY

	PATRON	5% DE VIRUTA	7.5% DE VIRUTA	10% DE VIRUTA
PATRON	0	32.27	21.00	49.30
5% DE VIRUTA		0	11.27	17.03
7.5% DE VIRUTA			0	28.30
10% DE VIRUTA				0

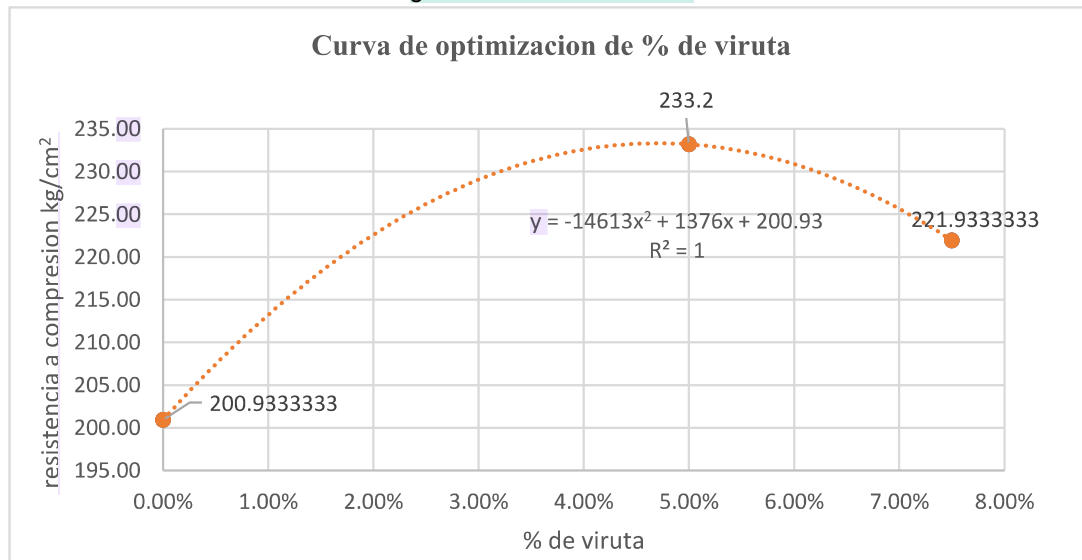
Los resultados indican que existe diferencia significativa entre la mezcla base (0% de viruta) y la que incorpora un 5% de viruta de acero, puesto que el valor en la tabla Tukey para esta comparación tiene un valor de 32.27 que es superior al valor de control Tukey que es 16.20, así también, para la combinación de patrón (0% de viruta) y el concreto con 10% de viruta se tiene un valor de Tukey de 49.30, lo cual indica que también existe diferencia significativa entre estos dos concretos.

En la elaboración de los concretos se pudo observar que la trabajabilidad disminuye a mayor porcentaje de viruta, por tal motivo se recomienda el uso del 5% de viruta destinado a la fabricación de concreto con contenido de viruta de acero.

Por otro lado, el concreto con agregado grueso de piedra chancada, no presenta mejoras, lo cual indica que no es necesario el empleo de viruta de acero para este tipo de concreto con piedra chancada como material grueso principal.

Así también procedemos a realizar una verificación del valor que representa la mejor eficiencia mediante la regresión cuadrática:

Figura 6. Curva de optimización de % de viruta para concreto $F'c=210\text{kg/cm}^2$ con agregado grueso de canto rodado



Mediante regresión cuadrática podemos determinar el valor de porcentaje óptimo de viruta de acero para un concreto $F'c=210\text{ kg/cm}^2$, lo cual se determina mediante la ecuación: $Y=-14613.33X^2+1376X+200.93$, de este modo el valor mas eficiente de % de viruta de acero queda en 4.7% el cual obtiene un valor de resistencia a la compresión de 233.321 kg/cm^2 .

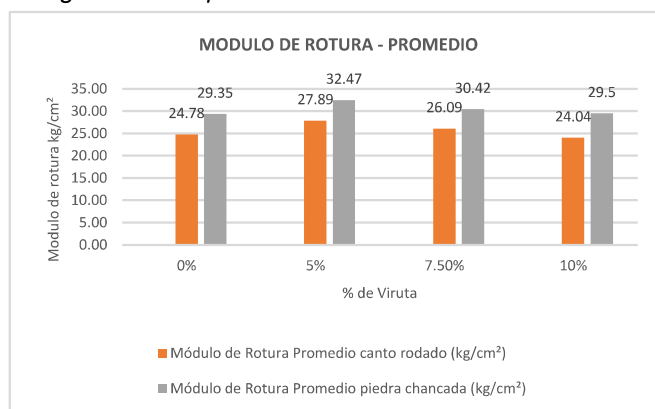
3.2. Resultados a flexión.

Tabla 10. Resultados para esfuerzos de módulo de Rotura Promedio.

Porcentaje de Viruta	Tipo de Agregado	Módulo de Rotura Promedio (kg/cm^2)	Desviación estándar (kg/cm^2)
0%	Canto Rodado	24.78	0.66
5%	Canto Rodado	27.89	1.66
7.50%	Canto Rodado	26.09	1.76
10%	Canto Rodado	24.04	3.30
0%	Piedra Chancada	29.35	3.03
5%	Piedra Chancada	32.47	1.09
7.50%	Piedra Chancada	30.42	3.25
10%	Piedra Chancada	29.50	2.01

La proporción óptima de viruta en canto rodado es aproximada a del 5%, ya que proporciona el mayor aumento en el módulo de rotura. Incrementos mayores de viruta disminuyen la capacidad estructural del concreto ante solicitaciones de flexión. La proporción óptima de viruta en piedra chancada también es del 5%, resultando en el mayor módulo de rotura. Aunque el módulo de rotura es relativamente constante con mayores porcentajes de viruta, el 5% viene siendo el más eficiente.

Figura 7. Comparativo de módulo de rotura 28 días



El mejor desempeño del concreto que incorpora como agregado grueso canto rodado es de 5% de viruta proporciona el valor promedio más alto del módulo de rotura de 27.89 kg/cm² con una desviación estándar de 1.66 kg/cm², significativamente superior al concreto sin viruta. Los valores disminuyen con mayores porcentajes de viruta, con el 10% siendo más bajo 24.04 kg/cm². El mejor desempeño en piedra chancada es de 5% de viruta también proporciona el valor más alto del módulo de rotura de 32.47 kg/cm² con una desviación estándar de 1.09 kg/cm², superior al concreto sin viruta, en comparación con el concreto que utiliza canto rodado como agregado grueso.

3.3. Limitaciones

Esta investigación se basó en la observancia de los lineamientos establecidos para el control de calidad del concreto elaborado en obra. Por ello, no se controlaron variables durante el curado, tales como temperatura, humedad, durabilidad ni ataques por agentes químicos. Sin embargo, se evaluaron las propiedades mecánicas fundamentales del concreto simple, específicamente las

resistencias compresiva y flexional, aspectos clave en el comportamiento de las estructuras de hormigón armado.

Se presentan seguidamente los costos involucrados en la elaboración del concreto con adición de viruta:

Figura 8. Análisis de costo de concreto $F'c=210\text{kg/cm}^2$ agregado grueso canto rodado

01 CONCRETO $F'c=210\text{kg/cm}^2$						Rend:	18,000 M3/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra							
47 00007	OPERARIO	HH	2,000	0.8889	27.46	24.41	
47 00008	OFICIAL	HH	3,000	1.3333	21.59	28.79	
47 00009	PEON	HH	8,000	3.5556	19.53	69.44	
						122.64	
Materiales							
01 04534	GASOLINA DE 84 OCTANOS	GLN		0.0500	16.57	0.83	
05 00039	AGREGADO FINO	M3		0.3300	27.12	8.95	
05 00099	AGREGADO GRUESO	M3		0.7300	33.90	24.75	
21 00003	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5KG)	BOL		8.1300	20.76	168.78	
30 00429	AGUA	M3		0.2048	16.95	3.47	
						206.78	
Equipo							
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	122.64	3.68	
49 00043	MEZCLADORA CONCRETO TAMBOR 18HP 11P3	HM	1.000	0.4444	11.02	4.90	
49 00122	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	HM	1.000	0.4444	9.32	4.14	
						12.72	
Costo Unitario por M3 :						342.14	

Figura 9. Análisis de costo de concreto $F'c=210\text{kg/cm}^2$ agregado grueso canto rodado con viruta de acero

02 CONCRETO $F'c=210\text{kg/cm}^2$ CON VIRUTA 5%						Rend:	18,000 M3/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra							
47 00007	OPERARIO	HH	2,000	0.8889	27.46	24.41	
47 00008	OFICIAL	HH	3,000	1.3333	21.59	28.79	
47 00009	PEON	HH	8,000	3.5556	19.53	69.44	
						122.64	
Materiales							
01 04534	GASOLINA DE 84 OCTANOS	GLN		0.0500	16.57	0.83	
05 00039	AGREGADO FINO	M3		0.3135	27.12	8.50	
05 00099	AGREGADO GRUESO	M3		0.7300	33.90	24.75	
05 07141	VIRUTA DE ACERO	M3		0.0165	96.00	1.58	
21 00003	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5KG)	BOL		8.1300	20.76	168.78	
30 00429	AGUA	M3		0.2048	16.95	3.47	
						207.91	
Equipo							
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	122.64	3.68	
49 00043	MEZCLADORA CONCRETO TAMBOR 18HP 11P3	HM	1.000	0.4444	11.02	4.90	
49 00122	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	HM	1.000	0.4444	9.32	4.14	
						12.72	
Costo Unitario por M3 :						343.27	

Se evidencia un aumento en el costo del concreto al incorporar viruta en S/ 1.13, sin embargo, se obtiene un concreto con un incremento de resistencia de 11.11%.

4. DISCUSIÓN

Interpretación e Integración de Resultados

Los resultados experimentales evidencian que la incorporación de viruta de acero en el concreto con agregado de canto rodado mejora de forma significativa las propiedades mecánicas del concreto, se observa que la adición de un 5% de viruta incrementa la resistencia a la compresión y el módulo de rotura en aproximadamente un 16% y 12.5%, respectivamente, en comparación con el concreto patrón. Este comportamiento indica que la viruta actúa como un refuerzo interno que favorece la distribución de tensiones y la unión entre el mortero y el agregado, optimizando el rendimiento mecánico del concreto. Por otro lado, en el caso de la mezcla de concreto que contiene piedra chancada como componente, la incorporación de viruta no aporta mejoras relevantes, lo que sugiere que la interacción entre la viruta y este tipo de agregado no resulta tan eficaz para potenciar las propiedades estructurales.

Comparación con la Literatura y Validación Estadística

Estos hallazgos se alinean con estudios previos que han demostrado el potencial de los desechos metálicos para mejorar la resistencia del concreto, siempre y cuando se optimice el porcentaje de adición, en concordancia con Tebbal et al. (2019), que evaluó el impacto de los residuos de aluminio en la mezcla de mortero, específicamente en sus propiedades mecánicas y su comportamiento frente a ciclos de congelación-descongelación. Los ensayos evidenciaron que al añadir residuos de aluminio en proporciones de 5% y 7.5% en peso de la arena fue óptima para mejorar la sostenibilidad del material, aunque con una reducción en la trabajabilidad y la densidad del mortero. La máxima reducción en la densidad alcanzó un 25% con la adición de un 7.5% de restos de aluminio reciclado. Desde el punto de vista de la resistencia a la compresión, la mezcla con un 5% de aluminio mostró un desempeño adecuado para aplicaciones de baja resistencia, pero la resistencia disminuyó considerablemente con un mayor porcentaje de residuos. Estos hallazgos sugieren que el uso de 5% y 7.5% de residuos de aluminio puede ser eficaz para producir morteros ligeros y de baja resistencia, adecuados para aplicaciones específicas en

6 construcción sostenible, así también, Alfeehan et al. (2020) demuestra que la incorporación de desechos metálicos industriales en los paneles de hormigón armado nervados unidireccionales puede ser una alternativa sostenible y estructuralmente viable. Según los resultados obtenidos, el uso de un 2% al 4% de residuos metálicos en volumen refuerza la capacidad portante y el comportamiento mecánico del concreto, lo que evidencia la posibilidad de incorporar estos residuos de forma útil en el sector de la construcción. Sin embargo, como señala el autor, al superar el 5% de incorporación, la resistencia del hormigón tiende a disminuir, probablemente debido a la pérdida de adherencia y a la heterogeneidad en la mezcla. Esto indica la necesidad de seguir investigando sobre la distribución y tratamiento de estos residuos para optimizar su integración sin comprometer la calidad del material. El estudio realizado por Djebri et al. (2022) analiza el uso de virutas metálicas en hormigón autocompactante (HAC). Se encontró que, en una proporción del 0,5%, las virutas no afectan la autocompactabilidad ni la trabajabilidad del material. Además, mejoran la resistencia a la compresión, sugiriendo beneficios tanto en propiedades mecánicas como ambientales, promoviendo prácticas más sostenibles en la construcción. Así también en la presente investigación el análisis estadístico, sustentado en pruebas ANOVA y el test de Tukey, confirma que las diferencias observadas entre las mezclas son significativas, especialmente en el concreto con agregado de canto rodado. Asimismo, la aplicación de una regresión cuadrática para determinar el porcentaje óptimo de viruta (aproximadamente 4.7%) respalda la existencia de un punto de saturación, más allá del cual el exceso de viruta afecta negativamente la trabajabilidad y, por ende, el desempeño global del material.

Implicaciones Técnicas y Ambientales

40 Desde una perspectiva técnica, se observa un refuerzo en la resistencia compresiva y en la flexión al añadir viruta de acero, esto abre la posibilidad de diseñar mezclas de concreto más eficientes y sostenibles. La incorporación de estos residuos metálicos además de perfeccionar las cualidades estructurales del material, además, aporta al control ambiental de los residuos industriales, promoviendo un enfoque de economía circular en el rubro de la construcción. No

obstante, se debe considerar que porcentajes elevados de viruta pueden deteriorar la trabajabilidad del concreto, lo que obliga a realizar ajustes en la dosificación o el uso de aditivos para garantizar una mezcla homogénea y manejable en obra.

Limitaciones y Perspectivas Futuras

Entre las limitaciones del estudio se encuentra el control de variables de curado (como temperatura y humedad) que, si bien se aplicaron estándares, podrían haber influido en la evolución de las características estructurales. Además, la interacción de la viruta con diferentes tipos de agregados sugiere la necesidad de profundizar en estudios que evalúen otras combinaciones y proporciones. Se recomienda, por tanto, extender la investigación hacia el estudio de la vida útil del concreto con modificaciones, su comportamiento ante ataques químicos y la implementación de estrategias para optimizar la trabajabilidad sin comprometer la mejora mecánica.

Conclusiones de la Discusión

En síntesis, la discusión destaca que incluir viruta de acero en el concreto con agregado de canto rodado representa una posibilidad técnica adecuada para incrementar el rendimiento estructural del material, siempre que se mantenga en un rango óptimo (alrededor del 5%). Este enfoque no solo posibilita la obtención de concretos más resistentes, sino que también aborda el manejo de residuos industriales, contribuyendo a una construcción más sostenible. La falta de mejoras en concreto con piedra chancada indica que la selección del tipo de agregado es un factor crucial, abriendo la puerta a futuras investigaciones que profundicen en las interacciones microestructurales y en el ajuste fino de la dosificación.

Conclusiones

Se evidencia que la adición de viruta de acero al concreto simple $F'c=210\text{kg/cm}^2$, modifica sus propiedades mecánicas de compresión y flexión, de distinta manera a los concretos conformado por agregados gruesos de tipo canto rodado y piedra

chancada, dichas propiedades son primordiales en el diseño de estructuras de concreto.

En cuanto al concreto compuesto con canto rodado como componente principal del agregado grueso, se obtuvo mejores resultados al adicionar 5% de viruta de acero, lo cual logró una capacidad de soportar carga compresiva de 233.20 kg/cm² con una desviación estándar de 8.75 kg/cm², y una módulo de rotura de 27.89 kg/cm² con una desviación estándar de 1.66 kg/cm², siendo estos los resultados que no afectan significativamente respecto a la facilidad de colocación del concreto fresco, a diferencia de los contenidos de viruta de 7.5% y 10% que dificultan la trabajabilidad del concreto en estado fresco. Así también, Se presenta los valores eficientes del porcentaje de viruta en 4.7% lo cual alcanza una valor de carga máxima en compresión de 233.33 kg/cm². Dichos datos se calcularon mediante regresión cuadrática.

Considerando la mezcla de concreto con agregado grueso de piedra chancada, no se obtuvieron mejoras significativas, lo cual indica que no es necesario la adición de viruta de acero, puesto que presenta mejores resultados sin la adición de viruta de acero.

Se recomienda continuar esta investigación con las variables de durabilidad y resistencia a ataques de productos químicos, del concreto con resistencia especificada de 210 kg/cm² que incorpora un 5% de viruta de acero.

5. REFERENCIAS

- Alfeehan, A., Mohammed, M., Jasim, M., Fadehl, U., & Habeeb, F. (2020). Utilización de desechos metálicos industriales en los paneles de hormigón armado nervados unidireccionales. *Revista Ingeniería de Construcción*, 35(3), 246–256. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000300246>
- Amin, M. N., Ahmad, W., Khan, K., & Ahmad, A. (2022). Steel Fiber-Reinforced Concrete: A Systematic Review of the Research Progress and Knowledge Mapping. *Materials*, 15(17). <https://doi.org/DOI: 10.1234/rii.2020.123456>
- Aslan, Ç., Karagöz, Ö., Gökdemir, H., & Günaydin, A. (2023). Effect of industrial waste metal chips on flexural behavior of re-inforced concrete beams. *Revista de La Construcción*, 22(2), 368–381. <https://doi.org/10.7764/RDLC.22.2.368>
- BCRP, B. C. D. R. D. P. (2022). Panorama actual y proyecciones macroeconómicas. In *Reporte de inflación*.
- Bhagyawati, M., Saha, L. K., Kumar, V., Varghese, M., & Saha, A. (2018). Experimental study on properties of concrete by partial replacement of fine aggregates with waste steel chips. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(5), 912–918.
- Dabbagh, H., Khandaker M., A. H., & Amooresaei, K. (2023). Compressive Cyclic Response of Steel Fiber-Reinforced Lightweight Concrete. *ACI Materials Journal*, 120(3). <https://doi.org/10.14359/51738706>
- Demissew, A. (2022). Comparative Analysis of Selected Concrete Mix Design Methods Based on Cost-Effectiveness. *Advances in Civil Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4240774>
- Dialnet-ComposicionDeMezclasDeAgregadosGruesosYFinosEnLaRe-9252197*. (n.d.).
- Djebri, N., Rahmouni, Z. E. A., Djiab, N. E., & Haffaf, F. (2022). The Effect of the Use of Residues (Metallic Shavings) in the Formulation of Self-Compacting Concrete

in Fresh and Hardened State. *Annales de Chimie: Science Des Materiaux*, 46(6), 301–306. <https://doi.org/10.18280/acsm.460603>

Gernal, M. L., Sergio, R. P., & Musleh, A. J. (2020). Mercado Impulsado por la construcción sostenible y los desechos de demolición en los EAU. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, 25, 56–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.3808717>

González, L. , & D. R. (2023). *Impacto de las Virutas de Acero en el Concreto: Una Revisión de Literatura*. 112–125.

Islam, N., Sandanayake, M., Muthukumaran, S., & Navaratna, D. (2024). Review on Sustainable Construction and Demolition Waste Management—Challenges and Research Prospects. *Sustainability*, 16(8), 3289. <https://doi.org/10.3390/su16083289>

Kaish, A. B. M. A., Odimegwu, T. C., Zakaria, I., & Abood, M. M. (2021). Effects of different industrial waste materials as partial replacement of fine aggregate on strength and microstructure properties of concrete. *Journal of Building Engineering*, 35, 102092. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102092>

Li, X., Shi, L., Liao, W., Wang, Y., & Nie, W. (2024). Study on the influence of coarse aggregate morphology on the meso-mechanical properties of asphalt mixtures using discrete element method. *Construction and Building Materials*, 426. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136252>

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, 4th Edition. McGraw-Hill Education.

Moawad, M. S., Younis, S., & Ragab, A. E.-R. (2021). Assessment of the optimal level of basalt pozzolana blended cement replacement against concrete performance. *Journal of Engineering and Applied Science*, 68(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00046-4>

Oliveira, C. G. de, Punhagui, K. R. G., Pinto, E. F. P., & Moraes, E. S. de. (2024). Consumo de madeira para fins provisórios em obras em concreto armado

moldado in loco. *Ambiente Construido*, 24. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212024000100714>

“Selección de Materiales para Mezclas de Concreto Modificado con Virutas de Acero.” (2017). *García, A., & López, J.*, 45–58.

Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, and W. C. P., Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2002). *Design and Control Design and Control of.*

Yıldız, S. A., Özkılıç, Y. O., Bahrami, A., Aksoylu, C., Başaran, B., Hakamy, A., & Arslan, M. H. (2023). Experimental investigation and analytical prediction of flexural behaviour of reinforced concrete beams with steel fibres extracted from waste tyres. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02227. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02227>