



COMPARACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN TRADICIONAL Y EL HORMIGÓN CON FIBRAS METÁLICAS RECICLADAS

COMPARISON OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TRADITIONAL CONCRETE AND WITH RECYCLED METAL FIBERS

Marilyn Del Rosario, Huamán Changa¹; Talia Mayra, Rodríguez Gozar²; David, Díaz Garamendi³

Recibido 12/04/2022: Aprobado: 01/07/2022

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica232.3>

RESUMEN

El presente estudio tiene como finalidad determinar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón con virutas de acero de grado ASTM A36, y realizar un estudio comparativo con el hormigón tradicional. Se tuvo como muestra 36 probetas y se utilizó la viruta de acero en 0,6%, 1,5 y 6% como agregado fino. La viruta se obtuvo de los tornos de la empresa SMF Sagitario en la Ciudad de Lima. El diseño de la investigación es cuasi experimental y de corte longitudinal, la técnica de recolección de datos fue la observación. Se utilizó la estadística inferencial para la constatación de hipótesis, donde los resultados indicaron que hay diferencias significativas entre el hormigón tradicional y el hormigón con agregado fino (Sig.=.000). Concluyéndose que el hormigón tradicional es superior a en resistencia a la compresión y tracción realizadas a los 7, 14 y 28 días de edad.

Palabras clave: *escoria de acero; resistencia a la compresión; resistencia a la tracción; hormigón con agregado fino; mezclas de hormigón*

¹Marilyn Del Rosario, Huamán Changa. Bachiller en ingeniería civil. Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería. Perú. Correo: marilynhuamanch@upeu.edu.pe ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9860-7406>

²Talia Mayra, Rodríguez Gozar. Bachiller en ingeniería civil. Universidad Peruana Unión. Perú. Facultad de Ingeniería, Perú. Correo: taliarodriguez@upeu.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2615-035X>

³David, Díaz Garamendi. Ingeniero civil asesor de la Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería. Perú. Correo: daviddiaz@upeu.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1560-5104>

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the physical and mechanical properties of concrete with ASTM A36 grade steel shavings, and to carry out a comparative study with traditional concrete. 36 specimens were taken as a sample and steel shavings were used at 0,6%, 1,5 and 6% as fine aggregate. The chip was obtained from the lathes of the company SMF Sagitario in the City of Lima. The research design is quasi-experimental and longitudinal; the data collection technique was observation. Inferential statistics were used to verify the hypothesis, where the results indicated that there are significant differences between traditional concrete and concrete with fine aggregate (Sig.=.000). Concluding that traditional concrete is superior to compressive and tensile strength at 7, 14 and 28 days of age.

Keywords: *steel slag; compressive strength; tensile strength; fine aggregate concrete; concrete mixtures*

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón es un elemento bastante importante en la edificación ya que puede utilizarse en obras individuales, comerciales, o estatales como la instalación de redes de alcantarillado. Se conoce que la manera tradicional de la elaboración del hormigón para la construcción está compuesto por cemento, agua y componentes áridos, a esta elaboración también se le puede agregar otros componentes minoritarios como aditivos, adiciones, fibras, pigmentos o cargas para mejorar sus características y propiedades [1]

La urbanización se encuentra en auge, por lo tanto, los áridos gruesos para la fabricación del hormigón tienen mucha demanda, como es el caso del ladrillo, que es uno de los agregados gruesos más utilizados. Sin embargo, la expansión de la industria del ladrillo está perjudicando en gran medida al medio ambiente. Para poder sostener la boga de la construcción, se requiere buscar materiales alternativos y así establecer un principio de sostenibilidad. En esta condición, los materiales de desecho, como las fibras metálicas de acero recicladas, o escoria de acero, pueden utilizarse en lugar de los áridos gruesos convencionales. La resistencia mecánica del cemento u hormigón que utiliza fibras de acero es aceptable, aunque con un ligero índice de baja resistencia a la flexión, si es comparado con el tradicional [2].

Actualmente, la escoria de acero se utiliza como agregado en aplicaciones de mezcla de hormigón, pero es necesario determinar la viabilidad de la utilización de este subproducto industrial de forma más inteligente como sustituto de los áridos gruesos en una mezcla de hormigón convencional. Es por ello, que en la presente investigación se determinó las propiedades físicas y mecánicas del cemento con virutas de acero de grado ASTM A36 y hacer un estudio comparativo con el hormigón tradicional. Planteándose las siguientes hipótesis:

- Hipótesis general: Las propiedades físicas y mecánicas del hormigón con virutas de acero de grado ASTM A36 serían superiores a la del hormigón tradicional.
- Hipótesis específica 1: Los parámetros de resistencia a la compresión del hormigón con virutas de acero de grado ASTM A36 serían superiores respecto al hormigón tradicional.
- Hipótesis específica 2: Los parámetros de resistencia a la tracción del hormigón con virutas de acero de grado ASTM A36 serían superiores respecto al hormigón tradicional.

2. DESARROLLO

En los últimos 30 años aproximadamente, se han llevado a cabo investigaciones sobre el uso de la escoria de acero como agregados en el hormigón reportándose propiedades ventajosas [3]. Como es el caso de la investigación de Cobos [4] en Guayaquil que realizó un análisis comparativo sobre el comportamiento mecánico del concreto con fibra de polietileno tereftalato (PET) reciclado y concreto con fibra de acero. Para este estudio se utilizó un total de 35 cilindros de 10x20cm y se realizaron roturas de 7, 14 y 28 días con hormigón mejorado con 0,5% y 1,0% de fibras de acero y de PET. Los resultados indicaron que el hormigón mejorado con 0,5% de PET es superior en resistencia al hormigón tradicional, y al hormigón reforzado con viruta de acero de 0,5% y 1,0%.

Por otro lado, en cuanto a la tracción el hormigón tradicional es más resistente que los demás diseños de patrón. En la misma línea, en Ecuador se desarrolló un análisis de la prestación mecánica del hormigón empleando virutas de acero como agregado fino. Los resultados indicaron que el hormigón tradicional es superior en la resistencia a la compresión que el hormigón con agregado fino con viruta de acero de 5%, 10% y 15% [5]. En 2019 en Ancash Perú, Deledesma [6] comparó la resistencia a la compresión de un concreto de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo agregado fino por fibras y virutas de acero, durante 7, 14 y 28 días. Se utilizaron un total de 45 probetas cilíndricas para este análisis y se encontró que la “sustitución de fibras de acero y virutas de acero en un 4% y 6% mejora la resistencia a compresión” (p.69).

Moya [7] por su lado, analizó las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado, determinando que a la edad de 28 días el que contenía fibras de acero recicladas obtuvo un $347,93 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia a la compresión, mientras que el tradicional alcanzó $241,11 \text{ kg/cm}^2$. Referente a la tracción la resistencia del hormigón tradicional fue $27,90 \text{ kg/cm}^2$ y con fibras recicladas $45,80 \text{ kg/cm}^2$ siendo este superior en tracción. De acuerdo a Briones [5] “la utilización de virutas de acero genera 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” (p.2). La mejora y la modificación del hormigón provienen principalmente de las características únicas de la escoria de acero. Se sabe que las propiedades de los áridos, incluyendo forma geométrica, la textura de la superficie, la actividad química y la hidrofilia tienen una influencia significativa influencia en la fuerza de adherencia.

De acuerdo con Pastrana [8] las propiedades físicas y mecánicas del cemento reforzado, se obtienen cuando éste se encuentra endurecido, siendo las bondades “la resistencia de la compresión, resistencia a tensión, resistencia a la flexión, resistencia a la tracción, elasticidad y esfuerzo de adherencia” (p.6). Por lo general, la longitud y el diámetro de las fibras utilizadas para el FRC no superan los 76 mm y 1 mm, respectivamente. Finalmente, Moya [7] indicó que las fibras metálicas se adicionan al hormigón con el fin de mejorar sus propiedades.

3. METODOLOGÍA

La presente investigación presenta un enfoque cuantitativo con un diseño descriptivo, también el diseño de la investigación es cuasi-experimental y de corte longitudinal, ya que las probetas fueron analizadas en 3 tiempos. La muestra fue no probabilística ya que por conveniencia de las investigadoras se tomó 144 probetas en su totalidad, entre las que se realizó 36 probetas de hormigón con mezcla tradicional, 108 probetas de hormigón con agregados de viruta de acero de grado ASTM A36 de 0,6%, 1,5% y 6% respecto a los agregados finos de la mezcla. Los criterios sobre cuáles fueron trabajadas estas probetas son el análisis de las propiedades físicas y mecánicas al haber transcurrido 7, 14 y 28 días, observado en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipos de muestra. Fuente: los autores

Tipos De Muestras	Ensayos	Tiempos de ensayos (días)			Total de probetas por ensayo	Total de probetas por tipo de muestras
		Cantidad de probetas (unidad)				
		7	14	28		
Hormigón Tradicional	Compresión	6	6	6	18	36
	Tracción	6	6	6	18	
Hormigón con Viruta de acero de grado Astm A36 al 0,6%	Compresión	6	6	6	18	36
	Tracción	6	6	6	18	
Hormigón con viruta de acero de grado Astm A36 al 1,5%	Compresión	6	6	6	18	36
	Tracción	6	6	6	18	
Hormigón con viruta de acero de grado Astm A36 al 6%	Compresión	6	6	6	18	36
	Tracción	6	6	6	18	
Total						144

Para la recolección de datos se analizó el hormigón tradicional y el hormigón con virutas de acero de grado ASTM A36, éste último obtenido en los tornos de la empresa privada SMF Sagitario [10] en la ciudad de Lima- Perú. El análisis se logró a través de los datos obtenidos de las propiedades mecánicas a partir de la fabricación previa de probetas cilíndricas de prueba que fueron ensayadas en sus condiciones de carga: compresión, tracción, adherencia y flexión. Para realizar estas pruebas el hormigón se curó a través del sumergimiento en agua. El instrumento fue una ficha de cotejo aplicado a los ensayos de compresión y tracción, realizados en el laboratorio Ecoandina Laboratorios SAC, una empresa Privada de la ciudad de Lima-Perú. Se validaron los resultados mediante la firma de dos ingenieros civiles colegiados y habilitados.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis Descriptivo

A continuación, se evidenciará los resultados obtenidos para las propiedades de compresión y tracción del hormigón con virutas de acero de grado ASTM A36, de acuerdo a la normativa de la Standard Specification for Carbon Structural Steel A 36/A 36 M (ASTM A 36/A 36 M) [11] y el hormigón tradicional, en función a la edad de 7, 14 y 28 días.

Tabla 2. Resultados de los ensayos a compresión a los 7, 14 y 28 días de edad. Fuente: los autores

Tipo de diseño	Número de días	Esfuerzo (N/m ²)	Número de días	Esfuerzo (N/m ²)	Número de días	Esfuerzo (N/m ²)
Patrón tradicional	7,00	29299328,205	14,00	32926808,040	28,00	34421341,500
	7,00	30537908,100	14,00	32656144,500	28,00	35167627,565
	7,00	30026000,970	14,00	32235439,215	28,00	32671835,140
	7,00	30072092,225	14,00	29677864,895	28,00	30644800,585
	7,00	30104454,170	14,00	33627983,515	28,00	36193403,155
	7,00	30824262,280	14,00	32562981,325	28,00	33704475,385
Patrón optimizado con viruta de acero de grado ASTM A36 al 0,6%	7,00	10505864,145	14,00	12159265,335	28,00	11394346,635
	7,00	9863528,570	14,00	11260976,195	28,00	12573105,965
	7,00	10566665,375	14,00	10926569,430	28,00	12214182,575
	7,00	10566665,375	14,00	12619197,220	28,00	12338727,030
	7,00	11641474,215	14,00	10424468,950	28,00	13236035,505
	7,00	9776249,385	14,00	10602949,980	28,00	14263772,425
Patrón optimizado con viruta de acero de grado ASTM A36 al 1,5%	7,00	7206907,085	14,00	8080679,600	28,00	6536132,225
	7,00	9380060,725	14,00	7631535,0300	28,00	9133913,810
	7,00	8306232,550	14,00	8443525,650	28,00	8153248,810
	7,00	8251315,310	14,00	8429796,340	28,00	8313097,205
	7,00	8711247,195	14,00	7171603,145	28,00	9166275,755
	7,00	8036549,675	14,00	7316741,565	28,00	6617527,420
Patrón optimizado con viruta de acero de grado ASTM A36 al 6%	7,00	5416212,795	14,00	5897719,310	28,00	6573397,495
	7,00	6070316,350	14,00	5755522,885	28,00	7345180,850
	7,00	5442690,750	14,00	6536132,225	28,00	5241654,425
	7,00	6338037,895	14,00	4943532,265	28,00	6496905,625
	7,00	5877125,345	14,00	6250758,710	28,00	6448853,040
	7,00	6437085,060	14,00	6840138,375	28,00	6221338,760

Se aprecia en la Tabla 2, que hay diferencias considerables entre los tratamientos del diseño del patrón tradicional basados en la norma ACI 211 [12] y el diseño del patrón optimizado con viruta de acero. Se identifica que el diseño de patrón tradicional tiene mejor resistencia a la compresión a la edad de 28 días, y la resistencia a la compresión de los patrones optimizados con viruta de acero de grado ASTM A36 al 1,5% y 6%, permanece invariable a la edad de 7, 14 y 28 días. Se identifica en la Figura 1, que sólo la mezcla del patrón tradicional cumple con los estándares solicitados de la norma ASTM A36, en el que se indica que a los 7 días el esfuerzo debe ser igual o superior a 166671305 N/m². Con respecto a los demás diseños de patrón optimizado con viruta de acero de grado ASTM A36 al 0,6%, 1,5% y 6% no supera el estándar establecido. Como también se evidencia que a los 28 días la mezcla tradicional obtuvo valores superiores a lo mínimo establecido por la norma (27458620 N/m²).

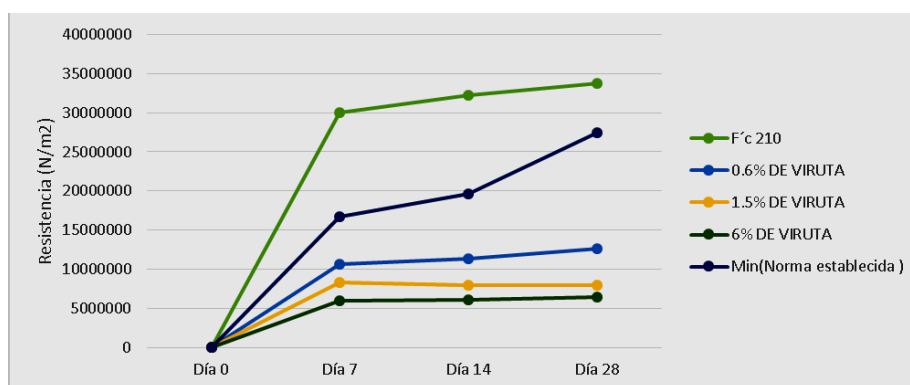


Figura 1. Análisis de compresión a los 7, 14 y 28 días de edad. Fuente: los autores

Respecto a la tracción, en la Tabla 3 los resultados se muestran invariables a la edad de 7, 14 y 28 días tanto como en el diseño de patrón tradicional y los diseños de patrón optimizados.

Tabla 3. Resultados de los ensayos a tracción a los 7, 14 y 28 días de edad. Fuente: los autores

Tipo de diseño	Número de días	Esfuerzo (N/m ²)	Número de días	Esfuerzo (N/m ²)	Número de días	Esfuerzo (N/m ²)
Diseño patrón tradicional	7,00	9978266,375	14,00	11314912,770	28,00	9874315,885
	7,00	8313097,205	14,00	9742906,775	28,00	9822340,640
	7,00	8083621,595	14,00	9517353,825	28,00	11098185,805
	7,00	9564425,745	14,00	9517353,825	28,00	9181966,395
	7,00	11939596,375	14,00	10766721,0350	28,00	10093004,180
	7,00	10752991,725	14,00	10666693,205	28,00	10476444,195
Diseño de patrón optimizado con viruta de acero de grado ASTM A36 al 0,6%	7,00	4998449,505	14,00	9075073,910	28,00	9207463,685
	7,00	4998449,505	14,00	9981208,370	28,00	8466080,945
	7,00	5953617,215	14,00	7248095,0150	28,00	8908360,860
	7,00	6775414,485	14,00	8851482,290	28,00	8292503,240
	7,00	6695980,620	14,00	8003207,065	28,00	9058402,605
	7,00	5851628,055	14,00	8475887,595	28,00	8500404,220
Diseño de patrón optimizado con viruta de acero de grado ASTM A36 al 1,5% y 6%	7,00	5241654,425	14,00	7093149,945	28,00	8500404,220
	7,00	6213493,440	14,00	8264063,955	28,00	7828648,695
	7,00	6627334,0700	14,00	7421672,720	28,00	7339296,860

viruta de acero	7,00	5091612,680	14,00	7316741,565	28,00	8302309,890
de grado ASTM	7,00	5832995,420	14,00	7923773,200	28,00	7022542,0650
A36 al 1,5%	7,00	6588107,470	14,00	8020859,0350	28,00	7256921,000
Diseño de patrón	7,00	6444930,380	14,00	4801335,840	28,00	5463284,715
optimizado con patrón	7,00	6908784,925	14,00	4703269,340	28,00	6144846,890
optimizado con viruta de acero	7,00	6469447,005	14,00	6602817,445	28,00	5718257,615
de grado ASTM	7,00	6192899,475	14,00	5785923,5	28,00	7288302,280
A36 al 6%	7,00	7157873,835	14,00	6649889,365	28,00	6023244,430
	7,00	6918591,575	14,00	6649889,365	28,00	7039213,370

Con relación a la Figura 2, se visualiza que la resistencia a la tracción no supera los 15×10^6 N/m² en ninguno del diseño de patrón. Sin embargo, el diseño de muestra tradicional es la que desataca en resistencia a la tracción frente a los demás diseños optimizados.

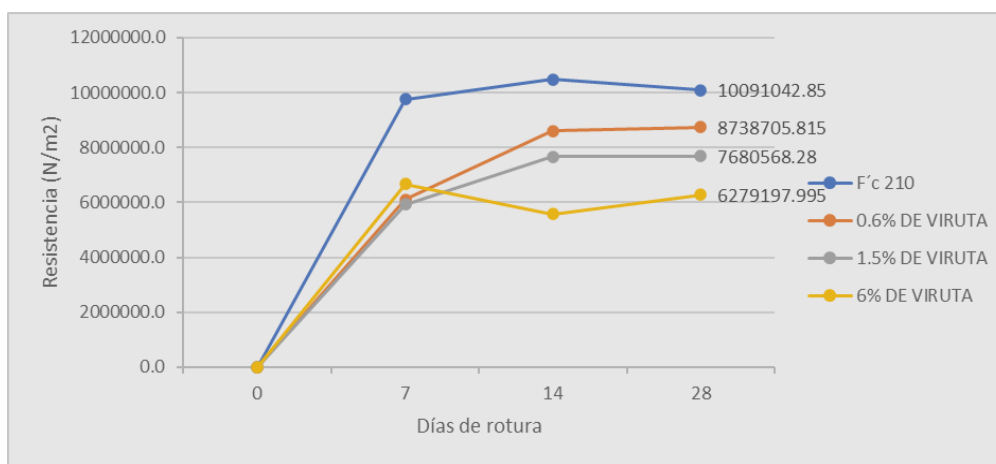


Figura 2. Análisis de tracción a la edad de 7, 14 y 28 días. Fuente: los autores

4.2. Contrastación de Hipótesis

Prueba de normalidad

Se muestra en la Tabla 4, la prueba de normalidad de Shapiro Wilk para muestras menores a 50. Se visualiza que el nivel de significancia es superior a 0,05 para el análisis de tracción de 14 y 28 días, esto indica que los datos son paramétricos, es por ello por lo que se utilizó la prueba de ANOVA para la contratación de hipótesis.

Tabla 4. Prueba de normalidad de Shapiro Wilk. Fuente: los autores

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Tracción 7 - Días	0,849	24	0,002
Tracción 14 - Días	0,963	24	0,498
Tracción 28 - Días	0,977	24	0,828
Compresión 7 - Días	0,705	24	0,000
Compresión 14 - Días	0,712	24	0,000
Compresión 28 - Días	0,738	24	0,000

Por otro lado, el análisis de compresión de 7, 14 y 28 días, como también el análisis de

tracción de 7 días presentan una distribución no paramétrica ya que el nivel de significancia es menor a 0,05; de tal manera que se utilizó la prueba de Krukall Wallis para contrastar la hipótesis.

Hipótesis específica 1

Los parámetros de resistencia a la compresión del hormigón con virutas de acero de grado ASTM A36 serían superiores respecto al hormigón tradicional.

Planteamiento estadístico de la prueba de hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0): No existe diferencias significativas entre las medias de las resistencias a la compresión para un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ tradicional y un concreto utilizando escoria de acero de grado ASTM A36 como agregado global.

$$\mu R_1 = \mu R_2 = \mu R_3 = \mu R_{\text{tradicional}}$$

Hipótesis Alternativa (H_a): Si existe diferencias significativas entre las medias de las resistencias a la compresión para un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ tradicional y un concreto utilizando escoria de acero de grado ASTM A36 como agregado global

$$\text{Existe al menos un } i / \mu R_i \neq \mu R_{\text{tradicional}}$$

Donde μR , es la resistencia a la compresión.

Se evidencia en la Tabla 5, que el nivel de significancia en la prueba de Kruskal Wallis es menor a 0,05. Esto indica que hay diferencias significativas entre los diseños de patrón optimizados y el diseño de patrón tradicional, a la edad de 7, 14 y 28 días; respecto al análisis de compresión.

Tabla 5. Prueba de comparación de medias - Kruskal Wallis. Fuente: los autores

	7 Días	14 Días	28 Días
H de Kruskal-Wallis	21.600	21.600	20.940
G1	3	3	3
Sig. Asintótica	0.000	0.000	0.000

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Elemento

Para identificar cuál de los diseños de patrón es el que mayor resiste a la compresión se realizó una prueba post hoc, como se aprecia en la Tabla 6. Respecto a los 7 días de edad se puede apreciar que todos los tratamientos presentan diferencias significativas. Sin embargo, en la diferencia de medias se aprecia que el tratamiento tradicional cuenta con valores positivos respecto a los demás tratamientos; esto indica que el tratamiento tradicional es mayor significativamente a los tratamientos con viruta de acero al 0,6%, 1,5% y 6%.

Con relación a los 14 días de edad se identifica que las diferencias a la resistencia a la compresión de tratamientos son significativas. No obstante, el patrón de diseño tradicional en la diferencia de medias presenta valores positivos, lo que se traduce que la resistencia que cuenta es superior a los demás. Finalmente, a los 28 días de edad, la resistencia a la compresión del patrón de diseño tradicional sigue siendo superior a la resistencia de los tratamientos con viruta de acero al 0,6%, 1,5% y 6%.

Tabla 6. Prueba Post Hoc. Fuente los autores

Comparaciones múltiples								
T3 Dunnett								
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
7Días	F _c	Viruta 0,6%	197,74840*	4,14555	0,000	184,2365	211,2603	
		Viruta 1,5%	221,58639*	3,87348	0,000	209,0910	234,0818	
		Viruta 6	245,91025*	3,04368	0,000	236,0060	255,8145	
	Viruta 0,6%	F _c	-197,74840*	4,14555	0,000	-211,2603	-184,2365	
		Viruta 1,5%	23,83799*	4,49812	0,002	9,4136	38,2623	
		Viruta 6	48,16185*	3,80700	0,000	35,2248	61,0989	
	Viruta 1,5%	F _c	-221,58639*	3,87348	0,000	-234,0818	-209,0910	
		Viruta 0,6%	-23,83799*	4,49812	0,002	-38,2623	-9,4136	
		Viruta 6	24,32386*	3,50877	0,001	12,5955	36,0522	
	Viruta 6	F _c	-245,91025*	3,04368	0,000	-255,8145	-236,0060	
	14Días	F _c	Viruta 0,6%	213,61838*	6,73710	0,000	191,3244	235,9123
			Viruta 1,5%	248,67404*	6,01494	0,000	226,9779	270,3702
Viruta 6			267,61131*	6,30297	0,000	245,8682	289,3544	
Viruta 0,6%		F _c	-213,61838*	6,73710	0,000	-235,9123	-191,3244	
		Viruta 1,5%	35,05566*	4,19448	0,000	20,8734	49,2379	
		Viruta 6	53,99293*	4,59800	0,000	39,0692	68,9167	
Viruta 1,5%		F _c	-248,67404*	6,01494	0,000	-270,3702	-226,9779	
		Viruta 0,6%	-35,05566*	4,19448	0,000	-49,2379	-20,8734	
		Viruta 6	18,93727*	3,45435	0,002	7,6877	30,1868	
Viruta 6		F _c	-267,61131*	6,30297	0,000	-289,3544	-245,8682	
28Días		F _c	Viruta 0,6%	215,47268*	9,12700	0,000	184,0730	246,8723
			Viruta 1,5%	263,24374*	9,50556	0,000	231,4207	295,0667
	Viruta 6		279,53371*	8,63794	0,000	248,2032	310,8642	
	Viruta 0,6%	F _c	-215,47268*	9,12700	0,000	-246,8723	-184,0730	
		Viruta 1,5%	47,77107*	6,35853	0,000	27,3037	68,2384	
		Viruta 6	64,06103*	4,96884	0,000	47,7634	80,3587	
	Viruta 1,5%	F _c	-263,24374*	9,50556	0,000	-295,0667	-231,4207	
		Viruta 0,6%	-47,77107*	6,35853	0,000	-68,2384	-27,3037	
		Viruta 6	16,28997	5,63408	0,098	-2,6517	35,2316	
	Viruta 6	F _c	-279,53371*	8,63794	0,000	-310,8642	-248,2032	
		Viruta 0,6%	-64,06103*	4,96884	0,000	-80,3587	-47,7634	
		Viruta 1,5%	-16,28997	5,63408	0,098	-35,2316	2,6517	

* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05



Los parámetros de resistencia a la tracción del hormigón con virutas de acero de grado ASTM A36 serían superiores respecto al hormigón tradicional.

Planteamiento estadístico de la prueba de hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0): No existe diferencias significativas entre las medias de las resistencias a la tracción para un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ tradicional y un concreto utilizando escoria de acero de grado ASTM A36 como agregado global.

$$\mu R_1 = \mu R_2 = \mu R_3 = \mu R_{\text{tradicional}}$$

Hipótesis Alternativa (H_a): Si existe diferencias significativas entre las medias de las resistencias a la tracción para un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ tradicional y un concreto utilizando escoria de acero de grado ASTM A36 como agregado global

$$\text{Existe al menos un } i / \mu R_i \neq \mu R_{\text{tradicional}}$$

Donde μR , es la resistencia a la tracción.

4.3. Pruebas de Tracción

Tracción a los 7 días

Se puede visualizar en la Tabla 7, que a los 7 días de edad existen diferencias significativas en la resistencia a la tracción entre los tratamientos tradicional y con agregado de escoria de acero de grado ASTM A36.

Tabla 7. Prueba de comparación de medias a los 7 días de edad. Fuente: los autores

	7 Días
H de Kruskal-Wallis	15,487
gl	3
Sig. asintótica	0,001

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Elemento

Por medio de la prueba de T3 de Dunnet se puede identificar que hay diferencias significativas entre el diseño de patrón tradicional y los demás diseños. La diferencia de media señala que el patrón tradicional cuenta con valores superiores, observados en la Tabla 8. Esto indica que los parámetros de resistencia a la tracción del hormigón tradicional son superiores a las virutas de acero de grado ASTM A36.

Tabla 8. Prueba post hoc a los 7 días de edad. Fuente: los autores

Variable dependiente:		7 Días				
(I) Elemento		T3 Dunnett				
		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de Límite inferior	intervalo de confianza Límite superior
F _c 210	Viruta 0,6%	37,32455*	6,69339	0,004	13,9340	60,7151
	Viruta 1,5%	39,15483*	6,69083	0,003	15,7652	62,5445
	Viruta 6	31,51085*	6,28682	0,014	7,9378	55,0839
Viruta 0,6%	F _c 210	-37,32455*	6,69339	0,004	-60,7151	-13,9340
	Viruta 1,5%	1,83028	3,89741	0,997	-10,6387	14,2992
	Viruta 6	-5,81369	3,15384	0,415	-16,4937	4,8663
Viruta 1,5%	F _c 210	-39,15483*	6,69083	0,003	-62,5445	-15,7652
	Viruta 0,6%	-1,83028	3,89741	0,997	-14,2992	10,6387
	Viruta 6	-7,64397	3,14840	0,193	-18,3018	3,0139
Viruta 6	F _c 210	-31,51085*	6,28682	0,014	-55,0839	-7,9378
	Viruta 0,6%	5,81369	3,15384	0,415	-4,8663	16,4937
	Viruta 1,5%	7,64397	3,14840	0,193	-3,0139	18,3018

Tracción a los 14 días

De acuerdo con la prueba de ANOVA, se aprecia que existen diferencias significativas entre el diseño de patrón tradicional y el diseño de patrón optimizado con viruta de acero de grado ASTM A36 al 0,6%, 1,5% y al 6% (ver Tabla 9)

Tabla 9. Prueba de ANOVA a los 14 días. Fuente: los autores

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
14 días	Entre grupos	7791,230	3	2597,077	41,681	0,000
	Dentro de grupos	1246,173	20	62,309		
Total		9037,403	23			

Mediante la prueba de post hoc de comparaciones múltiples se aprecia que existen 3 subconjuntos que se diferencian totalmente. Lo que indica que hay diferencias significativas en sus medias. Sin embargo, el tratamiento tradicional cuenta con mayor diferencia positiva respecto a los demás tratamientos. Frente a estos resultados se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna (ver Tabla 10).

Tabla 10. Prueba post hoc de Tukey a los 14 días de edad. Fuente: los autores

14 días				
HSD Tukey ^a				
Elemento	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
Viruta 6	6	56,7922		
Viruta 1.5%	6		78,2469	
Viruta 0.6%	6		87,7546	
F _c 210	6			106,8307
Sig.		1,000	0,192	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000



El nivel de significancia es menor a 0,05, en la prueba de ANOVA; lo que señala que hay diferencias significativas entre los tratamientos, respecto a la resistencia a la tracción (ver Tabla 11).

Tabla 11. Prueba de ANOVA a los 28 días de edad. Fuente: los autores

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
28 días	Entre grupos	4881,371	3	1627,124	44,607	0,000
	Dentro de grupos	729,544	20	36,477		
	Total	5610,916	23			

De acuerdo con la prueba post hoc de Tukey, existen 4 subconjuntos donde hay diferencias significativas respecto a las medias. Se evidencia también que es el tratamiento tradicional que tiene mayor diferencia positiva respecto a la media del demás tratamiento. Frente a este resultado se asevera que el tratamiento tradicional presenta mayor resistencia a la tracción respecto a los demás tratamientos (ver Tabla 12). Por tal motivo se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula.

Tabla 12. Prueba post hoc de Tukey a los 28 días de edad. Fuente: los autores

		28 días			
HSD Tukey ^a		Subconjunto para alfa = 0,05			
Elemento	N	1	2	3	4
Viruta 6	6	64,0345			
Viruta 1,5%	6		78,3216		
Viruta 0,6%	6			89,1114	
F _c 210	6				102,9007
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

5. CONCLUSIONES

En la presente investigación se encontró que el tratamiento tradicional de hormigón es superior en resistencia a la compresión y tracción frente a los demás tratamientos. Estos resultados son disímiles a los de Deledesma [6], en cuya investigación realizada en la ciudad de Ancash-Perú identificó que el agregado de fibra de acero al 4% es superior al diseño tradicional. De igual manera en Colombia, Flores [13] encontró que el hormigón con agregado de acero al 10% es superior en resistencia al hormigón tradicional. En la misma línea Sarta y Silva [14] en Bogotá determinaron que para un concreto de 3000 PSI el hormigón con fibra de acero de 6% tuvo una mejor resistencia a la compresión a la edad de 28

días. Por otro lado, Cobos y Valle [4] en su estudio en Guayaquil, Ecuador identificaron que el que el hormigón tradicional fue superior en compresión a la edad de 14 días en comparación a los demás tratamientos, sin embargo, a la edad de 28 días el hormigón con fibra de acero de 0,5% fue superior en un 1% al hormigón tradicional.

Se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula. Puesto que el hormigón tradicional tiene mayor resistencia a la tracción que aquellos con agregados de viruta de acero al 0,6%, 1,5% y 6%. Cabe mencionar que la resistencia a la tracción del hormigón con agregado de viruta de acero a los 14 días de edad logra alcanzar la resistencia del hormigón tradicional, sin embargo, la resistencia no es mayor a la del hormigón tradicional.

Respecto al análisis de tracción los resultados que encontraron Cobos y Valle [4] son similares a los de la presente investigación ya que el hormigón tradicional tuvo mayor resistencia a la tracción que aquellos que tenían agregados de fibra de acero. Finalmente, la investigación realizada por Moya y Cando [7] en Guayaquil comprobó que el hormigón con fibras recicladas tuvo mayor resistencia a la compresión y tracción en un comparativo con el hormigón tradicional y el hormigón con fibras comerciales

Finalmente, se concluye que el hormigón tradicional cuenta con mayor resistencia a la compresión y tracción que los diseños de patrón optimizado con viruta de acero de grado ASTM A36 al 0,6%, 1,5% y 6%. Cabe mencionar que, con el fin de ahorrar costos, en el presente estudio las virutas de acero utilizada no fueron mejoradas; se utilizaron tal cual fueron obtenidas del torno. A diferencia de la investigación de Bonilla y Lascano [15], que previamente realizaron un tamizado, lavado y secado al ambiente. Se infiere que, al no realizar un previo refinamiento a las virutas de acero, los diseños de patrón que contienen estos agregados no obtuvieron resultados satisfactorios en cuanto a la resistencia de la compresión y tracción.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa privada SMF Sagitario por permitirnos obtener la escoria de acero de los tornos de la institución, como también a Ecoandina Laboratorios SAC por realizar los análisis de compresión y tracción.

7. FINANCIAMIENTO

El presente trabajo de investigación fue 100% autofinanciado por las investigadoras.

8. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

9. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Investigación, M.H. y T.R.; redacción, M.H. y T.R.; supervisión, D.D. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito

10. REFERENCIAS

- [1] M. Orozco, Y. Avila, S. Restrepo, y A. Parody, “Factores influyentes en la calidad del concreto: Una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón,” *Rev. Ing. Constr.*, vol. 33, no. 2, pp. 161–172, 2018, doi: 10.4067/s0718-50732018000200161, 2018
- [2] Z. Wang, Y.-S. Liu, and R. Shen, “Stress–strain relationship of steel fiber-reinforced concrete under dynamic compression,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, pp. 811–819, May 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.01.005, 2008
- [3] J. La Fuente, “Comportamiento del hormigón con áridos siderúrgicos (EAF) reforzado con fibras,” Universidad de Burgos, Disponible en: http://riubu.ubu.es/bitstream/10259/4646/1/Fuente_Alonso.pdf, 2015
- [4] L. A. Cobos-Sáenz de Viteri and A. W. Valle-Benítez, “Estudio comparativo sobre el comportamiento mecánico del concreto con fibra de polietileno tereftalato (PET) reciclado y concreto con fibra de acero,” *Dominio las Ciencias*, vol. 7, no. 5, pp. 798–818, 2021, Disponible en: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2283>, 2021
- [5] A. N. Briones Ponce, J. C. Zambrano Macías, J. A. Muñoz Macías, W. E. Ruiz Párraga, y R. A. Panchana de Calderero, “Análisis de la prestación mecánica del hormigón empleando virutas de acero como agregado fino,” *Rev. Investig. en Energía, Medio Ambient. y Technol. RIEMAT ISSN 2588-0721*, vol. 5, no. 1, p. 15, 2020, doi: 10.33936/riemat.v5i1.2498, 2020
- [6] S. B. Deledesma, “Resistencia a compresión de un concreto $f'_c=210$ kg/cm² sustituyendo agregado fino por fibras y virutas de acero,” Universidad San Pedro, Disponible en: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/14295>, 2019
- [7] J. C. Moya and L. Cando Lara, “Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado,” *Rev. INGENIO*, vol. 1, no. 2, pp. 7–16, Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8007>, 2018
- [8] J. Pastrana-Ayala, Y. Silva-Urrego, J. Adrada-Molano, and S. Delvasto-Arjona, “Propiedades Físico-Mecánicas de Concretos Autocompactantes producidos con polvo de residuo de concreto,” *Inf. Técnico*, vol. 83, no. 2, pp. 174–190, doi: 10.23850/22565035.2170, 2019
- [9] R. Hernández and C. Mendoza, *Metodología de la Investigación: Las rutas de la investigación*. Mexico: McGraw-Hill Education., 2018
- [10] SMF Sagitario, Disponible en: <http://smfsagitario.com>
- [11] ASTM, “ASTM A36/A36M-08 Standard Specification for Carbon Structural Steel.”

https://www.astm.org/a0036_a0036m-08.html, 2021

- [12] Self- Consolidating Concrete. U.S.A, “ACI 237R-07.” 2007
- [13] A. Flores, “Análisis comparativo de la resistencia a flexión del hormigón armado adicionando fibras comerciales, virutas y limalladas de acero,” Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2015
- [14] H. N. Sarta Forero and J. L. Silva Rodríguez, “Análisis Comparativo Entre El Concreto Simple Y El Concreto Con Adición De Fibra De Acero Al 4% Y 6%,” Universidad Católica de Colombia, Colombia, 2017
- [15] A. Bonilla and E. Lascano, “Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras de aluminio reciclado,” Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2013