

# Concrete compressive strength $f'_c=210$ kg/cm<sup>2</sup> with wh10% iron, aluminum and copper chips in replacement of fine aggregate, Cajamarca 2023

Paul Incio Díaz, Ing.<sup>1</sup>  and Orlando Aguilar Aliaga, Ing.<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, [n00182677@upn.pe](mailto:n00182677@upn.pe)

<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, [orlando.aguilar@upn.edu.pe](mailto:orlando.aguilar@upn.edu.pe)

*The purpose of the current research was to determine the compressive strength of concrete cores with iron, aluminum and copper metal chips replacing 10% of the fine aggregate. The study has a experimental design character, with a total of 72 samples, which were divided into standard concrete, concrete with iron chips, concrete with aluminum chips and concrete with copper chips, having 18 samples for each type of concrete, which were tested at 7, 14 and 28 days of curing. As for the results obtained in the 28-day compressive strength test, it was obtained that the samples with iron chips increased their strength by 6.48%, regarding the standard concrete; on the other hand, the specimens with aluminum chips reduced their strength by 70.52% with respect to the standard concrete, and finally, the specimens with copper chips showed an increase of 2.90% with respect to the standard concrete. In conclusion, the replacement of the fine aggregate by 10% with iron and copper metal chips improved the compressive strength of the concrete  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, while the replacement with aluminum chips reduced the compressive strength of the concrete  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.*

*Keywords: specimens, concrete, compression, replacement, metal chips.*

# Resistencia a compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup> con viruta de hierro, aluminio y cobre al 10% en reemplazo del agregado fino, Cajamarca 2023

Paul Incio Díaz, Ing.<sup>1</sup> and Orlando Aguilar Aliaga, Ing.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, n00182677@upn.pe

<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, orlando.aguilar@upn.edu.pe

*La presente investigación se realizó con el fin de determinar la resistencia a compresión de las probetas de concreto con viruta metálica hierro, aluminio y cobre en reemplazo de 10% del agregado fino. El estudio es de diseño experimental, como muestra se tuvo un total de 72 probetas los cuales se dividieron entre concreto patrón, concreto con viruta de hierro, concreto con viruta de aluminio y concreto con viruta de cobre, teniendo 18 probetas para cada tipo de concreto que fueron ensayados en 7, 14 y 28 días de curado. En cuanto a los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión a los 28 días se obtuvo que las probetas con viruta de hierro aumentaron su resistencia en un 6.48% respecto al concreto patrón, por otra parte, las probetas con viruta de aluminio redujeron su resistencia en un 70.52% respecto al concreto patrón y por último las probetas con viruta de cobre mostraron un incremento del 2.90% respecto al concreto patrón. En conclusión, el reemplazo del agregado fino en 10% por viruta metálica de hierro y cobre mejoraron la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el reemplazo por viruta de aluminio redujo la resistencia a compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.*

*Palabras clave: probetas, concreto, compresión, reemplazo, viruta metálica.*

## I. INTRODUCCIÓN

Ante los actuales avances tecnológicos en la construcción y sobre todo en los materiales empleados en las obras civiles destacan el acero y concreto, en este último se han visto realizadas durante el transcurso de los años diversos intentos por mejorar sus propiedades teniendo así una gran variedad de concretos que podemos usar en la construcción de acuerdo a la necesidad de la obra a construir [1].

Por otro lado, tenemos la creciente industria metalúrgica que viene año con año desplazando a la ya conocida construcción con concreto y acero, es bien sabido que toda industria genera desechos o residuos los cuales deben ser dispuestos de una manera adecuada en este caso es donde surge el planteamiento de porque no fusionar ambas partes de nuestro antiguo sistema constructivo y elaborar un producto que nos pueda favorecer con sus propiedades [1].

En Colombia, probetas de concreto adicionadas con viruta de hierro muestran un aumento favorable en su resistencia a compresión cuando se usa en un porcentaje de 10%, también mejorando su módulo de elasticidad [2].

En el ámbito nacional, en la ciudad de Lima se comparan concretos adicionados con el 8% y 10% siendo el concreto adicionado con viruta de hierro el que mostró mejor resistencia a la compresión sin embargo ambos porcentajes lograron llegar a la resistencia de diseño [3].

Para la evaluación de la influencia de la viruta metálica de hierro fundido como reemplazo parcial del agregado fino en la ciudad de Lima se realizaron ensayos con porcentajes de 3%, 6% y 9% para determinar su resistencia a compresión, tracción y flexión, comprobando que la adición de viruta metálica de acero fundido aumenta la resistencia a compresión de estos [1].

Sobre la investigación del uso de viruta de acero en porcentajes del 8% y 10% en un concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> se muestra un incremento de la resistencia a compresión siendo el 8% el que mostró una mejora notable sin embargo ambos porcentajes mostraron una notoria mejora en la resistencia final [4].

Para la investigación sobre el uso de escoria de aluminio en el concreto en Colombia-2020, se observa que al hacer uso de la escoria de aluminio la resistencia de un concreto de resistencia inicial de 52 Mpa se redujo hasta los 39 Mpa, además de que el aluminio aumentó los tiempos de fraguado inicial y final [5].

En la ciudad de Cartagena se realizó el estudio del efecto de la adición de residuos de aluminio en mezclas de hormigón en diversos porcentajes, 5%, 10% y 20%, observando que la resistencia a compresión disminuyó en 72%, 74% y 84% respectivamente, concluyendo que la adición de este material es perjudicial para el concreto y no se recomienda su uso en concretos estructurales [6].

Para la adición de viruta de cobre en la ciudad de Tarapoto en Perú, se adicionó viruta de cobre en 10%, 20% y 30% a un concreto con resistencia de diseño  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, observando que el porcentaje que mostró un mejor aumento en la resistencia a compresión fue el 30% alcanzando una resistencia de 272 kg/cm<sup>2</sup>, concluyendo que la adición de este material aumenta la resistencia a compresión [7].

Para la caracterización de los agregados metálicos se obtuvieron las fichas técnicas de acuerdo al tipo de material indicado.

Tabla 1

Características de la viruta de hierro

Características	
P.E. de masa seco (gr/cm <sup>3</sup> )	4.975
P.E. de masa SSS (gr/cm <sup>3</sup> )	4.975
P.E. de masa aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	4.975
P.U.C. (Kg/cm <sup>3</sup> )	2098
P.E.S. (Kg/cm <sup>3</sup> )	1824
Humedad de absorción (%)	0.0

Nota. Se muestran los resultados obtenidos de los autores [1].

Tabla 2

Características de la viruta de aluminio

Características	
P.U.C. (Kg/cm <sup>3</sup> )	451.867
P.E.S. (Kg/cm <sup>3</sup> )	379.467
Humedad de absorción (%)	11.52

Nota. Se muestran los resultados obtenidos de los autores [5].

Tabla 3

Caracterización de la viruta de cobre

Características	
Dureza	6.5 (escala de Mohs)
Granulación	granular
Color	Naranja-negro
Humedad de absorción (%)	0.00

Nota. se muestran los resultados obtenidos de los autores [1].

La investigación plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo influye el reemplazo con viruta metálica de hierro, aluminio y cobre en 10% con respecto al agregado fino en la resistencia a compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  ensayados a diferentes edades en la ciudad de Cajamarca 2023?

Se planteó como objetivo general, “Determinar la resistencia a compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con el reemplazo del agregado fino en 10% por viruta metálica de hierro, aluminio y cobre, Cajamarca 2023” y como objetivos específicos, realizar la caracterización de los agregados, fino y grueso, mediante los ensayos de laboratorio como granulometría, humedad, peso específico, peso unitario y absorción, determinar las propiedades física del agregado fino y grueso de acuerdo a los procedimientos indicados en la norma, diseñar la mezcla de concreto patrón mediante el método ACI para poder realizar las modificaciones de las otras mezclas para concreto con viruta metálica, y realizar la ruptura de las probetas de concreto patrón y concreto con reemplazo de viruta metálica en las distintas edades haciendo uso de las guías de laboratorio para determinar su resistencia y deformación unitaria.

Así mismo como hipótesis, “El reemplazo con viruta metálica de hierro, aluminio y cobre en 10%, incrementa la resistencia a compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  hasta en 10%”.

## II. METODOLOGÍA

La presente investigación es del tipo experimental ya que interactuaremos de manera real con las diversas variables realizando los diversos ensayos y recopilando sus resultados.

En cuanto al propósito que persigue es una investigación aplicada, puesto que el principal punto de interés serán los resultados obtenidos del estudio.

Para el diseño de la investigación es cuasi-experimental, ya que las variables van a sufrir modificaciones en porcentaje, tipo de viruta y tiempo de curado.

EL enfoque cuantitativo, puesto que se ha cuantificado los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión de las probetas que componen la población.

La población se encuentra conformada por las 72 testigos de concreto repartidas equitativamente entre los tipos de concreto y las fechas de curado, estas probetas de concreto están elaboradas de acuerdo a lo establecido en la norma NTP.339.033, 2015, de acuerdo a lo que indican para la elaboración de probetas de concreto de medidas 6"x12”.

En la recolección de datos se empleó la observación directa, haciendo uso de los protocolos y guías del laboratorio de la Universidad Privada del Norte, sede Cajamarca, permitiendo así la correcta recopilación de datos para la investigación.

En el análisis de datos y su comparación se hizo uso del software Ms. Excel el cual permitió evaluar la hipótesis.

Sobre a lo que concierne a aspectos éticos, esta investigación tiene como fin aplicar principios éticos, reforzar el contenido y la información cumpliendo con el respeto a la propiedad intelectual de los autores.

La adquisición de los materiales se dio en la provincia de Cajamarca, los agregados se adquirieron en la cantera ubicada en el río Chonta con latitud: -7.131926° y longitud: -78.459972, distrito de los Baños del Inca, provincia Cajamarca, región Cajamarca. El cemento utilizado fue cemento Portland tipo I de la marca “Mochica”, la viruta metálica de hierro fue adquirida de la industria metal mecánica de Cajamarca en el torno “Aybar”, la viruta metálica de aluminio y cobre se adquirieron de la ciudad de Trujillo de la industria metalmeccánica.

## III. RESULTADOS

Tabla 4

Ensayos realizados para el agregado fino.

	Humedad	P.U.S.	P.U.C.	Peso específico	Absorción	Módulo de finura
<b>Valor</b>	2.96	1776.30	1854.81	2.64	1.69	2.83
<b>Unidad</b>	%	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	

Nota. Se muestran los resultados promedio obtenidos de los ensayos de contenido de humedad, peso unitario, peso específico, absorción y módulo de finura para el agregado fino.

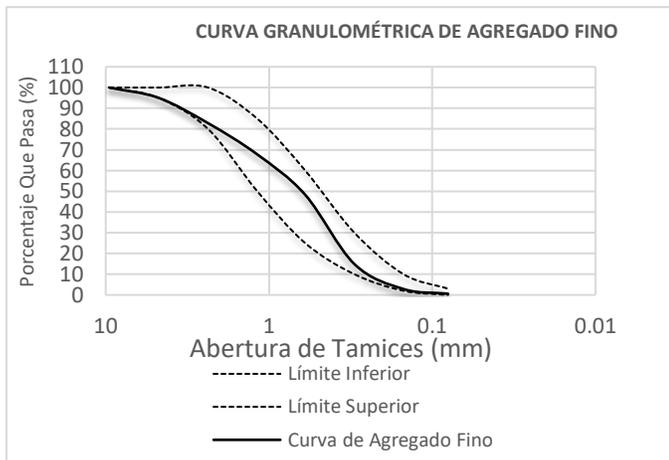


Fig.1 Curva granulométrica del agregado fino

Nota. Teniendo en cuenta los límites de la norma NTP. 400.012 obtenemos que nuestro material se encuentra entre los parámetros establecidos para uso.

Tabla 5  
Ensayos realizados al agregado grueso

	Humedad	P.U.S.	P.U.C.	Peso específico	Absorción	Módulo de finura
Valor	0.78	1346.00	1630.37	2.66	2.48	6.852
Unidad	%	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	

Nota Se muestran los resultados promedio obtenidos de los ensayos de contenido de humedad, peso unitario, peso específico, absorción y módulo de finura para el agregado grueso.

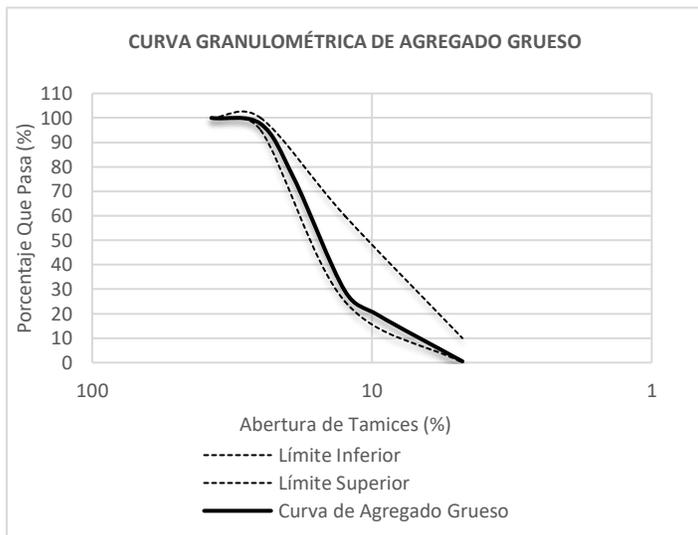


Fig. 2 Curva granulométrica del agregado grueso

Nota. Teniendo en cuenta los límites de la norma NTP. 400.012 obtenemos que nuestro material se encuentra entre los parámetros establecidos para uso.

El agua usada para la mezcla del concreto es agua potable cumpliendo con los parámetros y el cemento a utilizar es el cemento Portland “Mochica” tipo I.

El método empleado para el diseño de mezcla es el método ACI, para lo cual utilizaremos las propiedades de nuestros agregados además de considerar el slump entre 3” y 4” correspondientes a una consistencia plástica.

Tabla 6  
Diseño de mezcla del concreto patrón

Diseño de mezcla concreto patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$						
Material	Peso	Unidad	Cantidad por 12 probetas	Unidad	Considerando el 10% de desperdicio	Unidad
Cemento	42.5	Kg	23.36	Kg	25.69	Kg
Agua efectiva	24.6	L	13.53	L	14.88	L
Agregado fino	88.2	Kg	48.47	Kg	53.31	Kg
Agregado grueso	117.4	Kg	64.49	Kg	70.94	Kg

Tabla 7  
Diseño del concreto con reemplazo al 10% de agregado fino por viruta de hierro.

Diseño de mezcla concreto con 10% de viruta de hierro en reemplazo del agregado fino						
Material	Peso	Unidad	Cantidad por 12 probetas	Unidad	Considerando el 10% de desperdicio	Unidad
Cemento	42.5	Kg	23.36	Kg	25.69	Kg
Agua efectiva	24.6	L	13.53	L	14.88	L
Agregado fino	79.38	Kg	43.62	Kg	53.31	Kg
Agregado grueso	117.4	Kg	64.49	Kg	70.94	Kg
Viruta de hierro	8.82	Kg	4.85	Kg	5.33	Kg

Tabla 8  
Diseño del concreto con reemplazo al 10% de agregado fino por viruta de aluminio.

Diseño de mezcla concreto con 10% de viruta de aluminio en reemplazo del agregado fino						
Material	Peso	Unidad	Cantidad por 12 probetas	Unidad	Considerando el 10% de desperdicio	Unidad
Cemento	42.5	Kg	23.36	Kg	25.69	Kg
Agua efectiva	27.3	L	15.02	L	16.52	L
Agregado fino	79.38	Kg	43.62	Kg	53.31	Kg
Agregado grueso	117.4	Kg	64.49	Kg	70.94	Kg
Viruta de aluminio	8.82	Kg	4.85	Kg	5.33	Kg

Nota. en la tabla se aprecia el diseño de mezcla para el concreto adicionado con aluminio, sin embargo, debido a la humedad de absorción del aluminio que es

11% se ha adicionado ese porcentaje a la mezcla con el fin de mantener la trabajabilidad de la mezcla y no afectar la relación agua cemento, esta reacción se da porque el aluminio reacciona con el agua liberando hidróxido de aluminio e hidrogeno de manera gaseosa.

Tabla 9

Diseño de mezcla de concreto con reemplazo al 10% del agregado fino por viruta de cobre.

Diseño de mezcla concreto con 10% de viruta de cobre en reemplazo del agregado fino						
Material	Peso	Unidad	Cantidad por 12 probetas	Unidad	Considerando el 10% de desperdicio	Unidad
Cemento	42.5	Kg	23.36	Kg	25.69	Kg
Agua efectiva	24.6	L	13.53	L	14.88	L
Agregado fino	79.38	Kg	43.62	Kg	53.31	Kg
Agregado grueso	117.4	Kg	64.49	Kg	70.94	Kg
Viruta de hierro	8.82	Kg	4.85	Kg	5.33	Kg

Para la prueba y medición de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión se utilizó la máquina de compresión mecánica del laboratorio de la UPNC, se presentan a continuación los resultados obtenidos.

Tabla 10

Resistencia a compresión de los cilindros de concreto patrón a los 7 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
P01	14.9	29.93	174.366	33486	192.044	66.58%
P02	15.17	30.13	180.743	35486	196.334	68.07%
P03	15.11	30.45	179.316	40096	223.605	77.53%
P04	15.352	30.44	185.106	37904	204.769	70.99%
P05	15.08	30.205	178.605	40122	224.642	77.88%
P12	15.21	30.31	181.697	37828	208.192	72.18%
<b>PROMEDIO</b>					208.26	72.21%

Tabla 11

Resistencia a compresión de los cilindros con viruta de hierro a los 7 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
H01	15.48	29.931	188.205	38494	204.532	70.91%
H02	15.24	30.76	182.415	35754	196.004	67.96%
H03	15.46	30.40	187.719	41671	221.986	76.96%
H04	15.746	29.10	194.729	41692	214.103	74.23%
H05	15.51	30.205	188.935	43100	228.120	79.09%
H12	15.47	30.52	187.962	42325	225.178	78.07%
<b>PROMEDIO</b>					214.990	74.54%

Tabla 12

Resistencia a compresión de los cilindros con viruta de aluminio a los 7 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
A01	15.01	29.31	176.950	10066	56.886	19.72%
A02	14.92	29.66	174.834	5672	32.442	11.25%
A03	14.93	29.79	175.069	6841	39.076	13.55%
A04	15.42	29.62	186.749	6545	35.047	12.15%
A05	15.51	30.21	188.935	10800	57.162	19.82%
A12	15.44	30.02	187.234	7216	38.540	13.36%
<b>PROMEDIO</b>					43.19	14.97%

Tabla 13

Resistencia a compresión de los cilindros con viruta de cobre a los 7 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
C01	15.36	30.37	185.299	32150	173.504	60.15%
C02	15.42	30.71	186.749	33622	180.038	62.42%
C03	15.35	30.57	185.057	36782	198.760	68.91%
C04	15.57	30.11	190.400	36621	192.337	66.68%
C05	15.08	30.21	178.605	40233	225.263	78.10%
C12	15.33	30.40	184.576	35672	193.265	67.01%
<b>PROMEDIO</b>					193.86	67.21%

Tabla 14

Resistencia a compresión de los cilindros de concreto patrón a los 14 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
P06	15.35	30.36	185.057	50945	275.293	95.44%
P07	14.89	29.95	174.132	40554	232.892	80.74%
P08	15.53	30.32	189.423	36254	191.392	66.36%
P09	14.97	29.51	176.008	39250	223.001	77.31%
P10	15.51	30.65	188.935	38961	206.213	71.49%
P11	15.43	30.29	186.991	38961	217.240	75.32%
<b>PROMEDIO</b>					224.34	77.78%

Tabla 15  
Resistencia a compresión de los cilindros con viruta de hierro a los 14 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
H06	15.36	30.37	185.299	36165	195.171	67.67%
H07	15.42	30.71	186.749	36224	193.971	67.25%
H08	15.35	30.57	185.057	47343	255.829	88.70%
H09	15.57	30.73	190.400	43546	228.708	79.29%
H10	15.08	30.65	178.605	49970	279.780	97.00%
H11	15.18	30.50	180.981	37820	208.972	72.45%
<b>PROMEDIO</b>					227.07	78.73%

Tabla 18  
Resistencia a compresión de los cilindros de concreto patrón a los 28 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
P13	15.35	30.36	185.057	53562	289.434	100.35%
P14	14.96	30.05	175.773	51969	295.659	102.51%
P15	15.35	30.21	185.057	52753	285.063	98.83%
P16	14.97	29.65	176.008	50986	289.679	100.43%
P17	15.03	30.21	177.422	50360	283.843	98.41%
P18	15.22	30.25	181.936	52200	286.914	99.47%
<b>PROMEDIO</b>					288.43	100%

Tabla 16  
Resistencia a compresión de los cilindros con viruta de aluminio a los 14 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
A06	14.96	28.94	175.773	12984	73.868	25.61%
A07	15.11	30.04	179.316	12984	72.409	25.10%
A08	15.01	29.64	176.950	9320	52.670	18.26%
A09	15.57	30.11	190.400	13642	71.649	24.84%
A10	15.08	30.63	178.605	12323	68.996	23.92%
A11	15.00	29.74	176.715	12324	69.740	24.18%
<b>PROMEDIO</b>					235.72	81.72%

Tabla 19  
Resistencia a compresión de los cilindros con viruta de hierro a los 28 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
H13	15.21	30.9	181.697	58225	320.451	111.10%
H14	15.29	30.4	183.614	55911	304.504	105.57%
H15	15.11	29.72	179.316	59515	331.900	115.07%
H16	15.43	30.34	186.991	55871	298.789	103.59%
H17	15.155	30.465	180.386	52740	292.374	101.37%
H18	15.03	30.21	177.422	52289	294.715	102.18%
<b>PROMEDIO</b>					307.15	106.48%

Tabla 17  
Resistencia a compresión de los cilindros con viruta de cobre a los 14 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
C06	15.57	30.10	190.400	43432	228.109	79.09%
C07	15.08	30.20	178.605	44520	249.266	86.42%
C08	15.17	30.11	180.743	45020	249.083	86.36%
C09	15.38	30.63	185.782	42321	227.800	78.98%
C10	15.1	30.21	179.079	41266	230.435	79.89%
C11	15.32	30.32	184.335	42325	229.610	79.61%
<b>PROMEDIO</b>					235.72	81.72%

Tabla 20  
Resistencia a compresión de los cilindros con viruta de aluminio a los 28 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
A13	14.92	29.94	174.835	17531	100.272	34.76%
A14	15.11	30.04	179.316	13460	75.063	26.02%
A15	15.01	29.64	176.950	15979	90.302	31.31%
A16	15.35	30.73	185.057	14236	76.927	26.67%
A17	15.16	30.63	180.505	13852	76.740	26.61%
A18	15.1	30.12	179.079	16278	90.899	31.51%
<b>PROMEDIO</b>					85.03	29.48%

Tabla 21

Resistencia a compresión de los cilindros de concreto con viruta de cobre a los 28 días.

CÓDIGO	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA ULTIMA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
C13	15.36	30.37	185.299	46332	250.040	86.69%
C14	15.35	30.57	185.057	54241	293.104	101.62%
C15	15.57	30.03	190.400	55891	293.545	101.77%
C16	15.08	30.65	178.605	50660	283.643	98.34%
C17	15.33	29.98	184.576	52740	285.737	99.07%
C18	15.28	30.12	183.374	50312	274.369	95.12%
<b>PROMEDIO</b>					280.07	97.10%

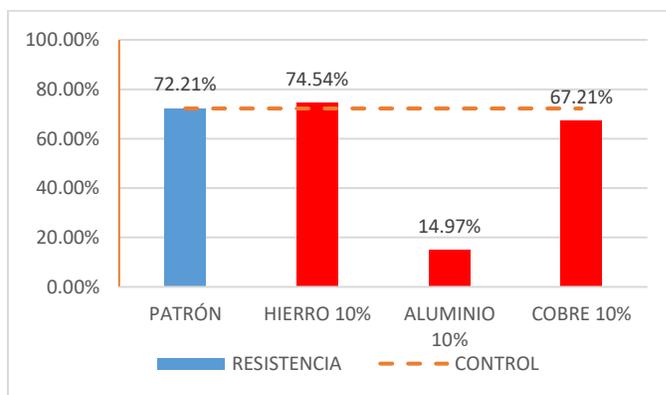


Fig. 3 Comparación entre las resistencias promedio alcanzadas a los 7 días de curado

Tabla 22

Resumen de las resistencias promedio alcanzadas en las distintas fechas de maduración, se muestran los porcentajes en relación a la resistencia promedio final alcanzada por el concreto patrón.

TIPO DE CONCRETO	PORCENTAJE EN BASE A LOS DÍAS DEL CURADO DEL CONCRETO		
	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
<b>PATRÓN</b>	72.21%	77.78%	100%
<b>HIERRO</b>	74.54%	78.73%	106.48%
<b>ALUMINIO</b>	14.97%	23.65%	29.48%
<b>COBRE</b>	67.21%	81.72%	97.10%

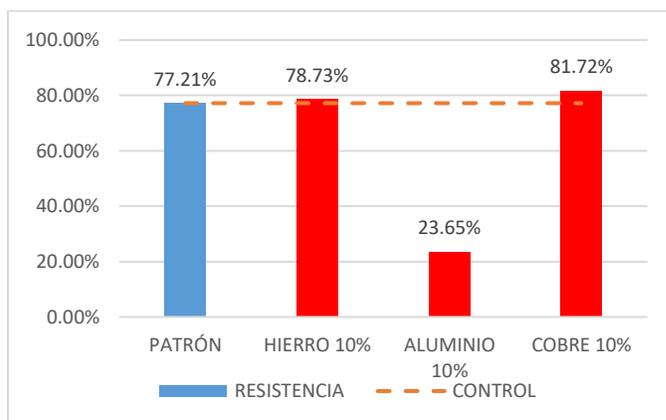


Fig. 4 Comparación entre las resistencias promedio alcanzadas a los 14 días de curado

Tabla 23

Se muestran los resultados de slump de los distintos tipos de concretos diseñados de acuerdo al método ACI.

CONCRETO	SLUMP EN PULGADAS
PATRÓN	3.9"
HIERRO	3.8"
ALUMINIO	3"
COBRE	3.8"

Tabla 24

CONCRETO	SLUMP EN PULGADAS
PATRÓN	3.9"
HIERRO	3.8"
ALUMINIO	3"
COBRE	3.8"

Tabla 25

Comparación de precios entre virutas y disponibilidad mensual de acuerdo a datos obtenido de la industria cajamarquina.

MATERIAL	PRECIO POR TON EN SOLES	CANTIDAD DISPONIBLE MENSUAL (Tn)
HIERRO	700.00	2
ALUMINIO	4000.00	2
COBRE	30000.00	60
FINO	60.00	--

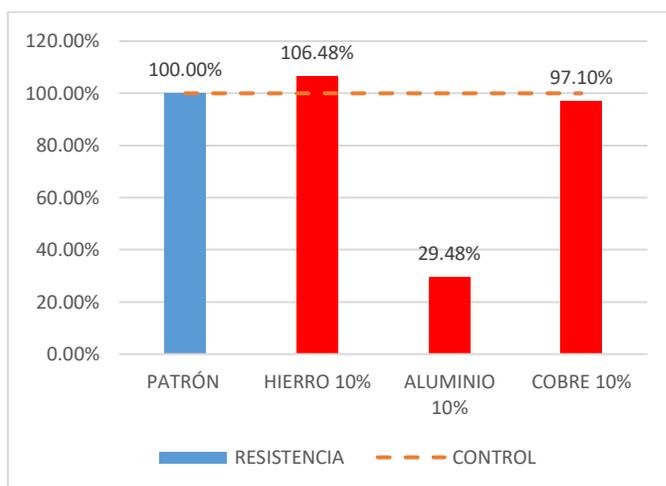


Fig. 5 Comparación entre las resistencias promedio alcanzadas a los 28 días de curado.

#### IV.DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que a los 28 días de curado el concreto con viruta de hierro tuvo un

aumento de un 6.48% en su resistencia a compresión en relación al concreto patrón, siendo el aumento de la resistencia de acuerdo a lo planteado por [4], sin embargo, si bien la resistencia aumentó no fue en el porcentaje indicado por el autor.

Para el concreto con viruta de aluminio se observó una notable disminución en la resistencia a compresión a los 28 días de curado disminuyendo en un 70.52% con respecto al concreto patrón, esto por la reacción química del aluminio con el agua que produce gases como el hidrógeno y el hidróxido del aluminio que al ser liberados generan vacíos dentro de la probeta, estos vacíos disminuyen la resistencia a compresión de concreto, respaldando con lo planteado por [6] concluyendo en que se debe evitar su uso en concretos estructurales.

En el concreto con viruta de cobre podemos observar una disminución del 2.90% en su resistencia a compresión a los 28 días de curado, sin embargo, podemos observar que a los 14 días de curado el concreto adicionado con cobre supera a los otros especímenes, en relación al concreto patrón aumenta en 4.51%, contrastando con lo indicado por [7] es congruente puesto que plantean que en las probetas con viruta de cobre no se observa una disminución notable en la resistencia a compresión final.

#### V.CONCLUSIONES

Según se muestran los resultados podemos observar que la mejor opción para el reemplazo de agregado fino es la viruta metálica puesto que aumenta la resistencia a compresión desde la primera semana de curado, culminando en un aumento de 6.48% en la resistencia a compresión a los 28 días.

El concreto con viruta de aluminio se vio afectado significativamente en la resistencia a compresión perdiendo un 70.52% de su resistencia final en comparación al concreto patrón, observamos también un gran aumento de vacíos en la probeta siendo esto lo que ocasiona la disminución en la resistencia del concreto esta peculiar característica podría ser usada en la ingeniería para futuras investigaciones.

En las probetas con viruta de cobre se observa una disminución del 2.90% en su resistencia final, sin embargo, si observamos las ilustraciones 1 y 2 evidenciar un rápido aumento de su resistencia a compresión pasando de estar 5% por debajo del patrón a superarlo en los 14 días en 4.51%.

Contrastando los resultados con la hipótesis planteada no se cumple puesto que si bien para la viruta de hierro se observa un aumento en la resistencia esta no es del 10% como muestra la hipótesis, en el caso del aluminio y cobre la resistencia disminuye y la hipótesis plantea que deberíamos tener un aumento.

El uso de la viruta metálica tiene implicancia en la ingeniería puesto que su uso genera modificaciones en la resistencia a compresión además de también alterar, en el caso del aluminio, su apariencia física aumentando la cantidad de vacíos en esta, sembrando así las bases para una nueva línea de investigación.

En lo que concierne al aspecto económico tenemos que el costo de la viruta metálica de hierro es 11.67 veces el del

agregado fino, el del aluminio es 66.67 veces y para el cobre es 500 veces el costo del agregado fino. Tomando en cuenta el diseño de mezcla anteriormente presentado se emplearían 69.31 kg de viruta por m3 de concreto elaborado, contrastando con la disponibilidad de material se podría producir 28.86 m3 de concreto con viruta de hierro y aluminio; 865.68 m3 de concreto con viruta de cobre, por lo cual aún no se podría realizar una producción a gran escala ya que se requeriría un sistema de acopio masivo para poder industrializar este concreto además de tomar en cuenta que se competiría directamente con otras industrias que emplean esta materia prima, lo que podría elevar el costo de esto dada la demanda.

#### REFERENCIAS

- [1] Riveros, G., & Vilca, J. (2021). Propuesta de diseño de las propiedades mecánicas del concreto con adición de viruta de acero fundido en reemplazo parcial del agregado fino. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/655018>.
- [2] Díaz, C., & Mogollon, B. (2020). Influencia de la viruta de acero al carbón en las propiedades mecánicas del concreto de 3000 psi al incorporarlo como adición. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/entities/publication/9c1e3e90-2a88-422b-85df-c47bff07a7cd>.
- [3] Peralta, E. (2019). Aplicación de viruta de acero para mejorar la resistencia del concreto en la Av. los Rosales, Urb. Shangrila Puente Piedra 2019. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50106/Peralt\\_a\\_GEZ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50106/Peralt_a_GEZ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [4] Martínez, C. (2017). Análisis del concreto con viruta de acero, provincia de Huancayo - Junín 2015. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1294>.
- [5] Lemos, E., Chilito, L., Maya, J., Gómez, A., & Rojas, M. (2020). Uso de la escoria de aluminio en el concreto. [https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Rojas-Manzano/publication/346332290\\_USO\\_DE\\_LA\\_ESCORIA\\_DE\\_ALUMINIO\\_EN\\_EL\\_CONCRETO\\_-\\_REVISION\\_DEL\\_ESTADO\\_DEL\\_ARTE/links/5fbc78d5299bf104cf7704a9/USO-DE-LA-ESCORIA-DE-ALUMINIO-EN-EL-CONCRETO-REVISION-DEL-ESTADO-DEL-ARTE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Rojas-Manzano/publication/346332290_USO_DE_LA_ESCORIA_DE_ALUMINIO_EN_EL_CONCRETO_-_REVISION_DEL_ESTADO_DEL_ARTE/links/5fbc78d5299bf104cf7704a9/USO-DE-LA-ESCORIA-DE-ALUMINIO-EN-EL-CONCRETO-REVISION-DEL-ESTADO-DEL-ARTE.pdf).
- [6] Galvis, F., & Vergara, L. (2017). Efecto del uso de residuos de aluminio, adicionado en diferentes porcentajes en una mezcla de hormigón. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/6336/EFE-CTO-DEL-USO-DE-RESIDUOS-DE-ALUMINIO-ADICIONADO-EN-DIFERENTES-PORCENTAJES-EN-UNA-MEZCLA-DE-HORMIGON.pdf?sequence=1>.
- [7] Flores, J., & Fuentes, J. (2021). Diseño de concreto  $f_c=210$  kg/cm2 adicionando escoria de cobre para mejorar su resistencia a la compresión, Tarapoto 2021. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/68138/Flores\\_GJA-Fuentes\\_CJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/68138/Flores_GJA-Fuentes_CJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y).