

# Influence of the replacement of fine aggregate with copper slag on the properties of concrete $f'c$ 210 kg/cm<sup>2</sup>

López-Mosqueira Enrique Alfonso Del Rosario, Ing.<sup>1</sup>, Sagástegui-Vásquez Germán, Mg. Ing.<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú, N00102031@upn.pe, german.sagastegui@upn.edu.pe

*Abstract– The main objective of this study is to determine the influence of replacing fine aggregate with copper slag on the properties of concrete, both in its fresh and hardened state. An experimental study was conducted, in which a standard mix was prepared without fine aggregate replacement and three additional mixes with the same proportions but different percentages of copper slag replacement. The properties evaluated were consistency and normal compressive strength. The results for the fresh concrete showed that, as the percentage of fine aggregate replacement with copper slag increased, the consistency of the mix became more fluid. Regarding the properties of the hardened concrete, it was observed that the optimal replacement value was 10%, while higher percentages showed results similar to those of the standard concrete.*

*Keywords– Compressive strength, copper slag, concrete.*

## Influencia de la sustitución del agregado fino por escoria de cobre sobre las propiedades de un concreto $f'c$ 210 kg/cm<sup>2</sup>

**Resumen—** *El presente estudio tiene como objetivo principal determinar la influencia de la sustitución del agregado fino por escoria de cobre en las propiedades del hormigón, tanto en estado fresco como endurecido. Se llevó a cabo una investigación de tipo experimental, en la cual se elaboró una mezcla patrón sin sustitución de agregado fino y tres mezclas adicionales con iguales proporciones, pero con distintos porcentajes de sustitución mediante escoria de cobre.*

*Las propiedades evaluadas fueron la consistencia y la resistencia a compresión normal. Los resultados para el hormigón en estado fresco evidenciaron que, a medida que aumenta el porcentaje de sustitución del agregado fino por escoria de cobre, la consistencia de la mezcla se torna más fluida. En cuanto a las propiedades del hormigón endurecido, se observó que el valor óptimo de sustitución corresponde al 10%, mientras que mayores porcentajes mostraron resultados similares a los del hormigón patrón.*

**Palabras clave:** *Resistencia a la compresión, escoria de cobre, concreto.*

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el concreto viene siendo uno de los materiales más usados en la construcción alrededor del mundo, este material es muy importante debido a las altas resistencias a la compresión que ofrece y en los últimos años se ha visto una gran preocupación para poder potenciar las propiedades de este material, por lo cual, buscamos adicionar materiales que ayuden a alcanzar resistencias más altas al concreto, con la preocupación constante de las grandes cantidades de volúmenes que se explotan en las canteras para obtener agregados y al mismo tiempo Perú al ser un país minero, produce gran cantidad de mineral de cobre, el cual es procesado y refinado, dicho proceso da como resultado mermas como la escoria de cobre, este estudio sustituye el agregado fino por escoria de cobre en 10%, 20% y 30% para así determinar los porcentajes óptimos a adicionar para aumentar dicha resistencia.

En India evaluaron la factibilidad de incorporar escoria de cobre como sustitución de arena en la producción de concreto, su estudio se enfocó en la producción de mezclas de concreto con una sustitución arena por escoria de cobre en un rango de 0% a 100%, resultando de este trabajo que la utilización de este material ayuda a la reducción de agua en la mezcla, además se determinó que el peso específico de la mezcla con escoria de cobre es mucho mayor que las mezclas sin la adición de este material, por último, se determinó que la sustitución hasta el 60% da como resultado mejores resistencias a la compresión en comparación a los concretos patrones [1].

En Colombia estudiaron la posibilidad de adicionar escoria de cobre en concretos, enfocándose en la reducción de vacíos de mezcla de agregados y escoria, se observó que

reemplazando no más de 20% de agregado fino por escoria de cobre el concreto puede ser usado con normalidad sin afectar la resistencia a la compresión a 28 días [2].

En Chile, buscaron caracterizar el comportamiento físico y mecánico de concretos fabricados con escoria de cobre como reemplazo total del agregado fino, para esta investigación se diseñaron dos mezclas de concreto, H-30 y H-50, con resistencias mínimas de 300 Kg/cm<sup>2</sup> y 500 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, como resultado de la investigación se evidencia un aumento significativo en la resistencia a compresión de los concretos patrón; a compresión, el concreto H-30 presentó un incremento de 51% mientras que el concreto H-50 incrementó su resistencia en 10%; de igual manera, las resistencias a flexotracción también se vieron incrementadas, con un 39% y 4% en los concretos H-30 y H-50 respectivamente [3].

En el ámbito nacional se vienen estudiando las posibles aplicaciones de la escoria de cobre en el concreto, debido a la alta producción de esta merma por parte de la industria minera como se observa en la investigación desarrollada en la ciudad de Cusco en la cual buscan comparar la influencia de la sustitución del agregado fino por escoria de cobre en concretos  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> fabricados con cemento Tipo I y Tipo V analizando la resistencia a la compresión y la densidad, para la investigación se hizo uso de 360 probetas cilíndricas con porcentajes desde 0% a 50% de sustitución, con los dos tipos de cemento y a edades de 7, 14 y 28 días, se llegó a la conclusión que el porcentaje óptimo para la sustitución es de 35% a 28 días de curado, aumentando la resistencia en 37% para concretos fabricados con cemento tipo IP y 39% con cemento tipo V [4].

[5] realizaron una investigación en la ciudad de Chimbote, donde determinaron la resistencia del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> usando el 10% y 15% de escoria como agregado grueso, en la investigación se fabricaron 36 probetas, 12 con un concreto patrón y 24 con sustitución de agregado grueso por escoria de cobre, como resultado se obtuvo que el concreto que concreto patrón obtuvo una resistencia promedio de 185.8 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, a los 14 días registró un promedio de 232.7 kg/cm<sup>2</sup> y a los 28 días 235.3kg/cm<sup>2</sup>, por otro lado la mezcla con 10% de sustitución registró un  $f'c = 183.3$  183.3 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días,  $f'c = 164.3$  kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días y  $f'c = 240.1$  kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, además determinaron un  $f'c = 110.3$  kg/cm<sup>2</sup> a 7 días, un  $f'c = 166.2$  kg/cm<sup>2</sup> a 14 días y un  $f'c = 189.3$  kg/cm<sup>2</sup> para una mezcla con un 15 % de sustitución de agregado grueso por escoria siderúrgica. Concluyendo que con un 10% de sustitución de agregado grueso por escoria se puede obtener mejores resultados que un concreto con 15% de sustitución.

Como hemos observado existe un gran número de investigaciones donde se observa el correcto comportamiento de los concretos fabricados con adición de escoria de cobre,

este material puede aumentar la resistencia a la compresión del concreto, no obstante, debemos dar énfasis en el diseño de mezcla y las propiedades de los agregados a usar, junto con una correcta elaboración de los ensayos normados y guiados por las normas técnicas peruanas e internacionales. Estas normas nos brindaran información necesaria para hacer un correcto transporte, manipulación y filtración de muestras, elaboración de probetas y los demás ensayos a realizarse.

Se debe tener sumo cuidado en los cálculos correspondientes al diseño de mezcla, para esta investigación referenciaremos el método ACI, un mal cálculo de este diseño afectará directamente en la investigación y sus resultados.

Esta investigación analizará la influencia en las propiedades de estado fresco y estado endurecido del concreto con una sustitución del agregado fino por escoria en 10%, 20% y 30%, se evaluarán las resistencias a la compresión a 7 día, 14 días y 28 días, de igual manera se analizará el asentamiento (slump) del mismo.

## II. MATERIALES Y METODOS

### A. Muestra y Ensayos:

#### *Granulometría de Agregados*

La granulometría es la distribución de los tamaños de partículas de una muestra, esta granulometría o distribución granulométrica es determinada haciendo pasar la muestra por una serie de tamices estandarizados ordenados de manera decreciente por el tamaño de sus aberturas según la norma ASTM C33 [6].

#### *Tamaño Máximo Nominal*

El tamaño máximo nominal del agregado es el inmediato superior al tamiz que retiene más del 15% de la muestra [7].

#### *Módulo de fineza*

Es el tamaño promedio de partículas de la mezcla, pero no representa la distribución de los tamaños. Cuando el módulo es bajo significa que el agregado es fino, mientras que cuando el módulo es alto el agregado es grueso, esto sirve para controlar la uniformidad para los agregados que se encuentren aptos según la granulometría para la fabricación de concreto [8].

#### *Contenido de humedad*

Los agregados al ser materiales porosos presentan humedad, es importante calcular este porcentaje para así poder determinar el aporte de agua a la mezcla de dichos materiales. Esta humedad es directamente proporcional a la porosidad del material, existen cuatro estados de humedad higrométricos en las partículas [9].

#### *Absorción*

La absorción es la variación de la masa de los agregados posterior a la saturación de los mismos, excluyendo el agua

superficial presente, este valor es expresado en porcentaje e influye directamente en el diseño de mezcla, variando así los valores de aporte de agua de los agregados [10].

#### *Peso Específico*

El peso específico está dado por la relación entre la masa de los agregados con el volumen de los mismos. Este peso específico es importante para el diseño de mezcla del concreto porque nos permite saber la cantidad de agregado por metro cúbico de concreto.

#### *Peso Unitario Suelto*

El peso unitario suelto es la relación entre la masa de las partículas del agregado sobre el volumen de un recipiente estandarizado, este recipiente es llenado por el agregado sin hacer ningún trabajo de compactación y enrazando la superficie el recipiente [11].

#### *Peso Unitario Compactado*

El peso unitario compactado es la relación entre la masa de las partículas del agregado varillado y compacto sobre el volumen de un recipiente estandarizado, este recipiente es llenado con el agregado en tres capas, donde por cada capa se dan 25 varillados distribuidos uniformemente y con un martillo se dan golpes de compactación para finalizar enrazando la superficie del recipiente.

#### *Diseño de Mezcla*

El diseño de mezcla es un procedimiento sistemático utilizado para determinar las proporciones de los materiales que componen el concreto, toda esta selección basada en las propiedades de cada componente del mismo, teniendo como objetivo un concreto con las características deseadas en estado fresco y endurecido [12].

#### *Resistencia a la compresión*

La resistencia a la compresión es la capacidad de un material para soportar cargas verticales sin deformarse permanentemente o fallar, esta resistencia es medida mediante pruebas de laboratorio [13].

#### *Asentamiento*

El asentamiento del concreto es la medida de deformación del concreto fresco cuando es colocado en su lugar final, este indicador permite evaluar la capacidad del concreto de fluir y fraguarse adecuadamente en su forma final, este asentamiento es medio a través de la altura de la caída del cono de Abrams, siendo éste el ensayo más utilizado [14].

### B. Técnicas e Instrumentos de Recolección y Análisis de Datos

#### *Materiales*

Para la elaboración de las muestras de concreto se empleó el Cemento Tipo I de la marca Pacasmayo; el agregado grueso y agregado fino que fueron la piedra chancada de TMN ½” y la arena gruesa zarandeada. La escoria de cobre se obtuvo a través de la empresa “INVERSIONES FIMS EIRL”, El agua fue de la misma localidad siendo la que dispone la empresa potabilizadora.

#### Técnica de recolección de datos

La técnica usada fue la observación, debido a que nos permitió analizar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio bajo las normas NTP 339.034 para los ensayos de resistencia a la compresión, NTP 339.035 para la manejabilidad, además de la norma NTP 339.189 bajo la cual se diseñó la mezcla.

Para determinar las características físicas de los agregados, con la finalidad de determinar un diseño de mezcla bajo la guía ACI 211, se desarrollaron ensayos a estos agregados como granulometría, referenciando las normas NTP. 400.012 / ASTM C136, contenido de humedad con las normas NTP. 339.185 / ASTM C566, pesos unitario sueltos y compactados con las normas NTP. 400.017 / ASTM C29, peso específico y absorción del agregado fino con las normas NTP. 400.022 / ASTM C128 y peso específico y absorción del agregado grueso referenciando las normas NTP. 400.021 / ASTM C127

Para el concreto en su estado fresco se referenció la norma NTP. 339.035/ ASTM C143, donde se siguen los pasos para determinar el asentamiento del concreto o *slump*, De igual manera, para determinar el comportamiento de esto concretos en su estado endurecido se tuvo por referencia las normas NTP. 339.034/ ASTM C39 guiándonos en la obtención de la resistencia a la compresión.

#### Instrumentos

Para el desarrollo de la investigación se hizo uso de la ficha de recolección, la cual consiste de un formato donde se recolectan, los resultados de los ensayos practicados, como primera etapa se obtuvieron los materiales necesarios para el diseño de la mezcla.

#### C. Procedimiento

Para el desarrollo de esta investigación como paso inicial se desarrolló la caracterización de los agregados en donde se obtuvo la granulometría de ambos agregados, junto con el peso unitario suelto y compactado, peso específico, absorción y contenido de humedad, posteriormente se procedió a elaborar el diseño de mezcla de concreto. A partir del diseño de mezcla se elaboraron 3 dosificaciones más donde se sustituyó el agregado fino por escoria de cobre en porcentajes de 10%, 20% y 30%, posteriormente se elaboraron 24 probetas cilíndricas de 4”x8”, adicionalmente se tomaron

los asentamientos de las mezclas en estado fresco, las probetas fueron curadas por 14 y 28 días para posteriormente ser sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.

### III. RESULTADOS

#### A. Resultados de los ensayos de los agregados

La Tabla 1 y 2 muestran los resultados de la caracterización del agregado grueso, y del agregado fino.

##### A.1. Características físicas del agregado fino

TABLA I  
CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO

Ensayo	Norma	Resultado
Granulometría (MF)	NTP. 400.012 / ASTM C136	2.9
Contenido de humedad (%)	NTP. 339.185 / ASTM C566	2.15
P.U.S.S. (kg/m <sup>3</sup> )	NTP. 400.017 / ASTM C29	1623
P.U.C.S. (kg/m <sup>3</sup> )	NTP. 400.017 / ASTM C29	1851
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	NTP. 400.022 / ASTM C128	2531
Absorción (%)	NTP. 400.022 / ASTM C128	2.86

##### A.2. Características físicas del agregado grueso

TABLA II  
CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Ensayo	Norma	Resultado
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	NTP 400.012 / ASTM C136	1/2"
Contenido de humedad (%)	NTP. 339.185 / ASTM C566	0.45
P.U.S.S. (kg/m <sup>3</sup> )	NTP. 400.017 / ASTM C29	1488
P.U.C.S. (kg/m <sup>3</sup> )	NTP. 400.017 / ASTM C29	1634
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	NTP. 400.022 / ASTM C127	2596
Absorción (%)	NTP. 400.022 / ASTM C127	2.02

#### B. Características del concreto en estado fresco y endurecido

##### B.1. Diseño de mezcla

La Tabla 3 detalló la dosificación de mezcla en proporciones del concreto Este empleó una relación a/c de 0.60.

TABLA III  
DOSIFICACIÓN DE MEZCLA PARA CONCRETO

Material	Unidad	Cantidad	%	Proporción en peso
Cemento Tipo ICO	Kg/m3	388.49	17%	1.0
Agua	L/m3	235.15	10%	0.6
Agregado fino	Kg/m3	737.22	33%	1.9
Agregado grueso	Kg/m3	886.33	39%	2.3
Total		2247.19	Kg/m3	

### B.2. Características en estado fresco

La Tabla 4 especifica muestra los asentamientos obtenidos al sustituir el agregado fino por escoria de cobre en un concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>

TABLA IV  
ENSAYOS DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO

Ítem	Descripción	Slump (plg)
1	Patrón 0% Escoria de cobre	3.1
2	10% de Escoria de cobre	4.1
3	20% de Escoria de cobre	5.5
4	30% de Escoria de cobre	6.7

Se muestra el aumento del asentamiento del concreto (slump) a medida que se va aumentando la sustitución del agregado fino por escoria de cobre.

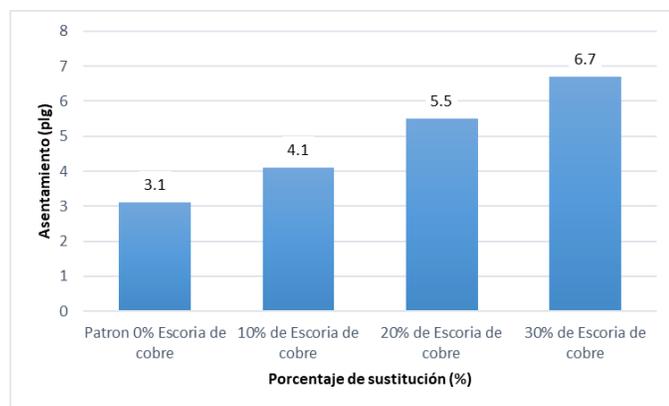


Fig. 1 Resultados del slump 0%, 10%, 20% y 30% de sustitución del agregado fino por escoria de cobre

### B.3. Características en estado endurecido

#### Resistencia a la compresión

La Tabla 5, 6, 7 y 8 muestra las resistencias obtenidas tras someter las probetas fabricadas con concreto patrón, con 10%, 20% y 30% de sustitución del agregado fino por escoria de cobre a los 14 días posteriores a su conformado

TABLA V  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PATRÓN A 14 DÍAS DE CURADO

Diseño	f'c diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	f'c alcanzado (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
P01- Patrón	210	14	182.03	86.68%		
P02- Patrón	210	14	182.43	86.87%	181.92	86.63%
P03- Patrón	210	14	181.31	86.34%		

TABLA VI  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 10% SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ESCORIA DE COBRE A 14 DÍAS DE CURADO

Diseño	f'c diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	f'c alcanzado (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
P01- 10%	210	14	217.61	103.62%		
P02- 10%	210	14	208.33	99.20%	214.08	101.94%
P03- 10%	210	14	216.29	103.00%		

TABLA VII  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 20% SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ESCORIA DE COBRE A 14 DÍAS DE CURADO

Diseño	f'c diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	f'c alcanzado (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
P01- 20%	210	14	198.54	94.54%		
P02- 20%	210	14	188.14	89.59%	190.79	90.85%
P03- 20%	210	14	185.7	88.43%		

TABLA VIII

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 30% SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ESCORIA DE COBRE A 14 DÍAS DE CURADO

Diseño	f'c diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	f'c alcanzado (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
P01- 30%	210	14	187.94	89.50%		
P02- 30%	210	14	189.16	90.08%	185.70	88.43%
P03- 30%	210	14	179.99	85.71%		

Se aprecia en los resultados de los concretos con diferentes porcentajes de sustitución de agregado fino por escoria de cobre ensayados a compresión, 14 días posteriores a su conformado, observándose que al sustituir en un 10% el agregado fino por escoria de cobre se muestra un incremento de la resistencia a comparación de las demás mezclas.

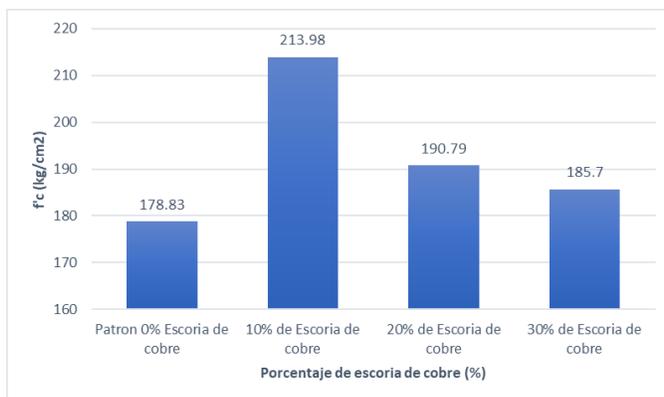


Fig. 2 Resistencia a la compresión a los 14 días en 0%, 10%, 20%, 30% de sustitución de agregado fino por escoria de cobre.

La Tabla 9, 10, 11 y 12 muestra las resistencias obtenidas tras someter las probetas fabricadas con concreto patrón, con 10%, 20% y 30% de sustitución del agregado fino por escoria de cobre a los 28 días posteriores a su conformado.

TABLA IX

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PATRÓN A 28 DÍAS DE CURADO

Diseño	f'c diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	f'c alcanzado (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
P01- Patron	210	28	220.37	104.94%		
P02- Patron	210	28	212.92	101.39%	210.75	100.36%
P03- Patron	210	28	198.95	94.74%		

TABLA X

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 10% SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ESCORIA DE COBRE A 28 DÍAS DE CURADO

Diseño	f'c diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	f'c alcanzado (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
P01- 10%	210	28	249.43	118.78%		
P02- 10%	210	28	228.42	108.77%	246.34	117.30%
P03- 10%	210	28	261.16	124.36%		

TABLA XI

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 20% SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ESCORIA DE COBRE A 28 DÍAS DE CURADO

Diseño	f'c diseño	Edad (días)	f'c alcanzado	Porcentaje (%)	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
--------	---------------	----------------	------------------	-------------------	-----------------------------------	-----------------

	(kg/cm <sup>2</sup> )		(kg/cm <sup>2</sup> )			
P01-		28	225.67	107.46%		
20%	210					
P02-		28	202.83	96.59%	213.57	101.70%
20%	210					
P03-		28	212.21	101.05%		
20%	210					

TABLA XII  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 30% SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ESCORIA DE COBRE A 28 DÍAS DE CURADO

Diseño	f <sub>c</sub> diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	f <sub>c</sub> alcanzado (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
P01-		28	222.81	106.10%		
30%	210					
P02-		28	212	100.95%	217.54	103.59%
30%	210					
P03-		28	217.82	103.72%		
30%	210					

Se aprecia en los resultados de los concretos con diferentes porcentajes de sustitución de agregado fino por escoria de cobre ensayados a compresión, 28 días posteriores a su conformado, observándose que al sustituir en un 10% el agregado fino por escoria de cobre se muestra un incremento de la resistencia a comparación de las demás mezclas.

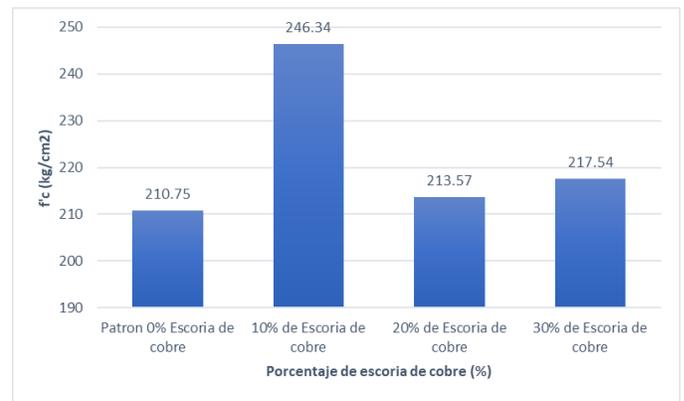


Fig. 3 Resistencia a la compresión a los 28 días en 0%, 10%, 20%, 30% de sustitución de agregado fino por escoria de cobre.

Se evidencia que la resistencia a la compresión se ve mejorada en cuando el agregado fino es sustituido por la escoria de cobre en un 10%, esta mejora se observa tanto para el concreto a los 14 y 28 días.

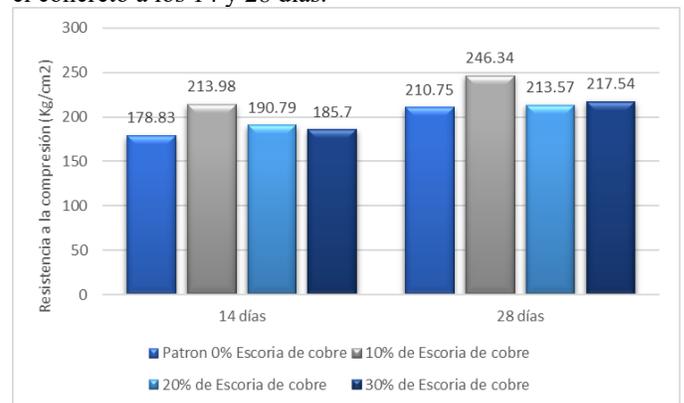


Fig. 4 Resumen de resistencias a la compresión a los 14 y 28 días en 0%, 10%, 20%, 30% de sustitución de agregado fino por escoria de cobre.

#### IV. CONCLUSIONES

Se determinó que la influencia de la sustitución del agregado fino por escoria de cobre sobre propiedades de un concreto  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  en estado fresco y endurecido llega a ser beneficiosa al 10%, no obstante, en el rango del 20% al 30% se obtienen resultados similares al concreto patrón, siendo segura la sustitución a esos porcentajes. A continuación, se determina lo siguiente:

Se realizó la caracterización de cada agregado, determinándose un módulo de finura para el agregado fino de 2.9, una absorción de 2.86%, un contenido de humedad de 2.15%, peso específico de 2531 kg/cm<sup>3</sup>, un P.U.S.S. de 1623 kg/cm<sup>3</sup> y un P.U.C.S. de 1851 kg/cm<sup>3</sup>, así mismo se determinó un TMN para el agregado grueso de 1/2", un contenido de humedad de 0.45%, una absorción de 2.02%, peso específico de 2596 kg/m<sup>3</sup>, un P.U.S.S. de 1488 kg/m<sup>3</sup> y un P.U.C.S. de 1634 kg/m<sup>3</sup>, con lo cual se elaboró el diseño de mezcla para un concreto  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , reemplazando agregado fino por escoria de cobre en 10%, 20% y 30%.

Se determinó la influencia de la escoria de cobre en el asentamiento de un concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  en estado fresco, debido a que se obtuvo un asentamiento de 3.1” para el concreto patrón, 4.1” de asentamiento para el concreto con 10% de sustitución, 5.5” para el concreto con 20% de sustitución y 6.7” para concreto con 30% de sustitución. Por lo que determinamos que al aumentar la sustitución de agregado fino por escoria de cobre se genera un aumento en la trabajabilidad del concreto.

Se determinó la influencia de la escoria de cobre en la resistencia a la compresión de un concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  en estado endurecido, obteniendo como porcentaje óptimo de sustitución al 10%, debido a que este porcentaje mejoró la resistencia a la compresión en 19.6% con respecto al concreto patrón a los 14 días, dando una resistencia de 213.98 kg/cm<sup>2</sup> y un aumento 16.89% con respecto al concreto patrón a los 28 días, resultando una resistencia a la compresión de 246.34 kg/cm<sup>2</sup>, además se observó que las mezclas con 20% y 30% de sustitución mostraron un buen comportamiento debido a que se obtuvieron resistencias de 213.57 kg/cm<sup>2</sup> y 217.54 kg/cm<sup>2</sup>, siendo indicativo que es seguro la sustitución en estos rangos.

Se validó la hipótesis donde se evalúa si es que la sustitución del agregado fino por escoria de cobre mejorará las propiedades de un concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  en estado fresco y endurecido, Trujillo -2024, donde observamos que la probabilidad obtenida es menor a 0.5 lo cual demuestra una gran significancia en los resultados

#### AGRADECIMIENTO

A mis amigos y profesores especialmente a los ingenieros German Sagastegui Vásquez e Iván Eugenio Vásquez Alfaro quienes me dieron el soporte y apoyo para poder realizar la presente investigación.

#### REFERENCIAS

- [1] Bhoi, Akshaykumar M. 2017. Feasibility Assessment of Incorporating Copper Slag as a Sand Substitute to Attain Sustainable Production Perspective in Concrete. Gujarat : Advances in Materials Science and Engineering, 2017. 12.
- [2] Aparicio, C. A. (2014). Uso de material reciclado de la industria del cobre en la producción de concreto. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/7287>.
- [3] Espinoza Bernal, R. (2021-01-29). El impacto del precio del cobre durante el súper ciclo de los commodities en precio de las viviendas en Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/179395>
- [4] Bravo Santos, M. 2018. Análisis comparativo de la influencia de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino en porcentaje de peso, en la resistencia y consistencia de un concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cementos tipo ip y tipo v, mediante pruebas de esclerometría y compresión axial de testigos sometidos a curado por inmersión. [TESIS DE PREGRADO, UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO]. <https://repositorio.uandina.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/1fc0dd21-9357-4399-90bb-9c2977432ea9/content>
- [5] Ullilen Echeverría, B. 2019 Uso de la escoria de cobre como agregado fino en la producción de concreto de  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

- [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58886>
- [6] American Society for testing and materials. (2019). Astm c136-19a: standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. Astm international. <https://doi.org/10.1520/c0136-19a>
  - [7] Norma Técnica Peruana NTP 400.037 especificaciones normalizadas para agregados de concreto. Indecopi. Lima, Perú: comisión de reglamentos técnicos y comerciales – Indecopi.
  - [8] Norma Técnica Peruana NTP 400.012 (17 de junio de 2001) Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Indecopi. Lima, Perú: Comisión de reglamentos técnicos y comerciales – Indecopi.
  - [9] Norma Técnica Peruana NTP 339.185 Contenido de humedad. Indecopi. Lima, Perú: Comisión de reglamentos técnicos y comerciales – Indecopi.
  - [10] Norma Técnica Peruana NTP 400.021 Peso específico y absorción de agregado grueso. Indecopi. Lima, Perú: Comisión de reglamentos técnicos y comerciales – Indecopi.
  - [11] Norma Técnica Peruana NTP 400.017 Peso unitario. Indecopi. Lima, Perú: Comisión de reglamentos técnicos y comerciales – Indecopi.
  - [12] ACI (2002). Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete ACI 211.1-91 (Reapproved 2002) [Norma para la selección de proporciones para concreto de peso y masa normal ACI 211.1-91 (Reaprobada 2002)]. Estados Unidos: American Concrete Institute.
  - [13] Norma Técnica Peruana NTP 339.034 Compresión de testigos cilíndricos de concreto. Indecopi. Lima, Perú: Comisión de reglamentos técnicos y comerciales – Indecopi.
  - [14] Norma Técnica Peruana NTP 339.035 Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams. Indecopi. Lima, Perú: Comisión de reglamentos técnicos y comerciales – Indecopi.