


Compressive Strength of Concrete with Substitution of Fine Aggregate in 10%, 15% and 20% by Steel Slag

Felix Alejandra Velásquez Huayta, Mg¹ 

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, felix.velasquez@upn.edu.pe

Abstract – The objective of the research is to calculate the compression strength of concrete $f'c= 210$ kg/cm² by replacing the fine aggregate with steel slag in Cajamarca - Peru. This aims to compare the axial compression strength between concrete with steel slag versus conventional concrete. Additionally, the research approach is quantitative, as 48 concrete specimens were prepared, of which 36 specimens were used: 9 specimens with 10% steel slag, 9 with 15% steel slag, 9 with 20% steel slag, and 9 control specimens (without slag). These specimens were tested at 7, 14, and 28 days of curing, resulting in concrete with steel slag exceeding the $f'c= 210$ kg/cm² strength of conventional concrete. At 10% steel slag, the concrete reaches a maximum strength of 222.36 kg/cm² at 28 days, at 15% it reaches 238.00 kg/cm², and at 20% it reaches 232.39 kg/cm². Finally, it is concluded that replacing the fine aggregate with steel slag improves the compression strength of concrete, helping to reduce quarry exploitation and environmental pollution.

Palabras clave – Concreto, escoria siderúrgica, máxima tensión, resistencia, esfuerzo a la compresión, agregado fino.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Resistencia a la Compresión del Concreto con Sustitución del Agregado Fino en 10%, 15% y 20% por Escoria Siderúrgica

Felix Alejandra Velasquez Huayta, Mg¹

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, felix.velasquez@upn.edu.pe

Resumen – El objetivo de la investigación es calcular la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante el reemplazo del agregado fino por escoria siderúrgica en Cajamarca, Perú. Esta investigación tiene como propósito comparar la resistencia a la compresión axial entre un concreto con escoria siderúrgica y un concreto convencional. Además, el enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se prepararon 48 probetas de concreto, de las cuales se utilizaron 36: 9 probetas con un 10% de escoria siderúrgica, 9 con un 15% de escoria siderúrgica, 9 con un 20% de escoria siderúrgica y 9 probetas patrón (sin escoria). Estas probetas fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado, obteniendo como resultado que el concreto con escoria siderúrgica supera la resistencia $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ del concreto convencional. A los 28 días, el concreto con un 10% de escoria siderúrgica alcanza una resistencia máxima de 222.36 kg/cm^2 , con un 15% alcanza 238.00 kg/cm^2 y con un 20% alcanza 232.39 kg/cm^2 . Finalmente, se concluye que el reemplazo del agregado fino por escoria siderúrgica mejora la resistencia a la compresión del concreto, contribuyendo a reducir la explotación de canteras y la contaminación ambiental.

Palabras clave – Concreto, escoria siderúrgica, máxima tensión, resistencia, esfuerzo a la compresión, agregado fino.

I. INTRODUCCIÓN

La escoria siderúrgica es un subproducto no metálico del hierro fundido en alto horno, este se describe como un material puzolánico, esto debido a que no presenta ninguna propiedad cementosa por su cuenta, por otro lado, si esta escoria es combinada con otros materiales cementantes, se puede activar su propiedad cementante de manera química por la misma combinación de los materiales; la escoria siderúrgica tiene un efecto en la resistencia mecánica a compresión del concreto, esta ayuda mejorando la resistencia a compresión y en algunos casos también puede ayudar a la resistencia a la corrosión del acero, esto último depende del ambiente al que está expuesto el concreto [1].

La mayor producción de residuos generados por industrias de la construcción, son ocasionadas por la fabricación de acero, asimismo las escorias que son más usadas en la construcción derivan de la fabricación del acero y el hierro, además destacándose que estos son producidos al desarrollarse por hornos de oxígeno básico y también por hornos eléctricos que son utilizados a nivel mundial; las

cuales una vez que son trituradas y que presenten una granulometría adecuada, puede ser utilizado como árido por las propiedades físicas adecuadas que tienen [2].

El concreto es el material más popular utilizado en la ingeniería civil, este material es utilizado en cualquier tipo de estructuras, pavimentos, entre otros usos civiles, todos los días se busca encontrar nuevos materiales que le permita tener mayor resistencia o mejorar sus características, como es en el caso de la escoria siderúrgica de arco eléctrico que puede ayudar a la resistencia a compresión a distintas edades del concreto; en los últimos años se han realizado estudios que avalan que el concreto con la escoria puede tener igual y mejor propiedad mecánica con una excelente durabilidad [3].

El consumo del cemento portland es frecuente en la ingeniería civil, y que cuya producción es fuente creciente y de preocupación ambiental, en ese contexto se busca analizar la preparación de morteros con escoria siderúrgica de manera parcial de agregados convencionales como lo es el cemento que contiene una proporción importante de cenizas volantes, el comportamiento de estas mezclas con escoria parece aceptable y prometedor para su uso [4].

La escoria siderúrgica también se trató de utilizar como una medida de protección del acero contra la corrosión, la cual se realizaron estudios y se compararon con probetas fabricadas con cemento portland tipo 1 y probetas realizadas con la escoria siderúrgica, estos estudios se median cada veinte días por aproximadamente nueve meses, las cuales fueron sometidas a esfuerzos de tracción, mejorando su comportamiento frente a dichas cargas, además reduciendo la susceptibilidad de falla frente a condiciones ambientales [5].

El uso de materiales reciclados, en este caso la escoria siderúrgica, se utiliza con el fin de reemplazar los materiales utilizados en la construcción y así poder crear un concreto eficiente, resistente y amable con el medio ambiente, es por eso que en Lima-Perú se realizó una investigación para determinar la resistencia a la compresión, tracción y trabajabilidad, de un concreto influenciado con escoria de acero, teniendo como resultado un aumento en su resistencia a compresión y flexión [2].

Asimismo, en el Perú el uso del concreto reforzado para la construcción de edificaciones ha incrementado, lo cual conlleva a que las plantas de fabricación de acero aumente su producción y se produzca más escoria siderúrgica, y esto aumente la contaminación del medio ambiente, es por eso que este estudio se desarrolla para demostrar que la escoria puede ser utilizada como reemplazo del agregado fino a determinados porcentajes, para así obtener la misma o mejor resistencia en el concreto, mejorando la resistencia de una edificación, y de la misma manera ayudar a disminuir la explotación de nuestras canteras, como también disminuir la contaminación ambiental.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Obtención de materiales

Para la elaboración de las probetas de concreto $f'c=210$ kg/cm² se necesitaron materiales como:

- Agregados (grueso y fino), obtenidos de la cantera Llacanora
- Cemento Portland tipo I, utilizando el cemento Mochica Rojo de Pacasmayo.
- Escoria siderúrgica, se recolectó de la industria SIDERPERU ubicada en Chiclayo – Perú.
- Agua, utilizando agua potable.

B. Análisis granulométrico de agregado grueso y fino

Se realizó de acuerdo a la norma ASTM C136, el ensayo consiste en separar una muestra de agregado seco y de masa conocida a través de una serie de tamices para comparar con los Husos granulométricos establecidos en la norma ASTM C33. Los tamices se ubican gradualmente del orificio más grande al orificio más pequeño para determinar la distribución del tamaño de las partículas [6].

$$M.F. = \% \text{Retenido acumulado en mallas} / 100. \quad (1)$$

Donde:

- Mallas usadas para el agregado grueso = N° 1, 1/2, 3/4, 3/8, 4. 8. 16, 30, 50 y 100
- Mallas usadas para el agregado fino = N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100

C. Contenido de humedad

Se realizó de acuerdo con la norma ASTM D2216, este ensayo se aplica para encontrar el porcentaje de humedad de un agregado, del peso de agua en una masa dada de agregado, al peso de las partículas sólidas. Dicho ensayo consiste en llevar una muestra de agregado con un peso conocido al horno a una temperatura constante de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, para luego encontrar la reducción de peso (agua) [7].

$$W\% = [(W_{mh} - W_{ms}) / W_{s}] * 100. \quad (2)$$

Donde:

W_{mh} = Peso muestra húmeda

W_{ms} = Peso muestra seca

D. Gravedad específica y absorción de agregado grueso y fino

Se realizó de acuerdo con la norma ASTM C127 y ASTM C128 respectivamente, estos ensayos se aplican para determinar los siguientes valores de los agregados: el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción, a fin de usar estos resultados en el cálculo y corrección de diseños de mezclas. Se obtiene por muestreo 1 kg de material, este se seca en el horno a una temperatura de $100 \pm 10^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, posterior a ello se deja airear por 30' [8] [9].

E. Abrasión los ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm

Se realizó de acuerdo con la norma ASTM C131, este ensayo es una medida del deterioro de los agregados de tamaños de grano estándar debido a una combinación de acciones, que incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero giratorio que contiene una cantidad específica de esferas de acero, según el grado de la prueba [10].

A medida que el tambor gira, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una brida de acero que las transporta hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de golpe. Este ciclo se repite a medida que el tambor gira con su contenido. De acuerdo a la granulometría del agregado se determinará el número de esferas con el cual se realizará el ensayo en la máquina de los Ángeles a una velocidad entre 30 rpm a 33 rpm por 500 revoluciones, terminado este proceso el material se tamizará y calculamos el porcentaje de desgaste [11].

$$D = (A - B) * 100. \quad (3)$$

Donde:

A = Peso muestra total.

B = Peso retenido en tamiz N°12

D = Desgaste a la abrasión Los Ángeles

F. Peso unitario y vacío de los agregados

Se realizó de acuerdo con la norma ASTM C29, este ensayo se realiza para la determinar la cantidad de vacíos en el agregado fino, grueso o en una mezcla de ambos, además el peso unitario suelto o compactado. Este método se utiliza para

encontrar el valor del peso unitario utilizado en el diseño de mezclas de concreto [12].

El agregado se colocará en un recipiente en tres capas de igual volumen aproximadamente, el cual se nivelará con la mano para después apisonar con 25 golpes de forma uniforme para cada capa [13].

G. Asentamiento del concreto SLUMP

Se realizó de acuerdo con la norma ASTM C143, este ensayo se aplica para determinar el asentamiento del concreto plástico de cemento hidráulico. El asentamiento indica la consistencia del concreto, relacionado con su estado de fluidez [14].

Consistencia del cono: Plástica de 7.62-10.16cm

Número de golpes: 3 capas, 25 golpes por capa.

H. Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos

Se realizó de acuerdo con la norma ASTM C39, este ensayo se aplica para determinar la resistencia a la compresión de testigos cilíndricos (probetas) de concreto, para concretos con pesos unitarios superiores a 800 kg/m³. Los resultados de este ensayo se utilizan como referencia para el control de calidad del concreto, proporciones, mezclado y operaciones de colocación; determinación del cumplimiento con las especificaciones; y usos similares [15].

$$\sigma = \text{Fuerza} / \text{Área.} \tag{4}$$

$$\epsilon_u = \text{Deformación} / \text{Altura.} \tag{5}$$

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la tesis denominada “Resistencia a la compresión axial del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ diseñado con material árido artificial (escoria siderúrgica) reemplazando el agregado fino en porcentajes de 10%, 15% y 20%.”

A. Análisis granulométrico

Agregado grueso

TABLA 1
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

N°	Tamiz (mm)	% Que Pasa		
		Ensayo	Estándar	
1/2"	12.5	49.52%	55%	20%
3/8"	9.5	25.52%	10%	0%
N°4	4.75	3.02%	5%	0%
		0.00%		

FUENTE [16]

Tamaño Máximo (TM): 3/4"

Tamaño Máximo Nominal (TMN): 1/2"; Huso: N.º 67

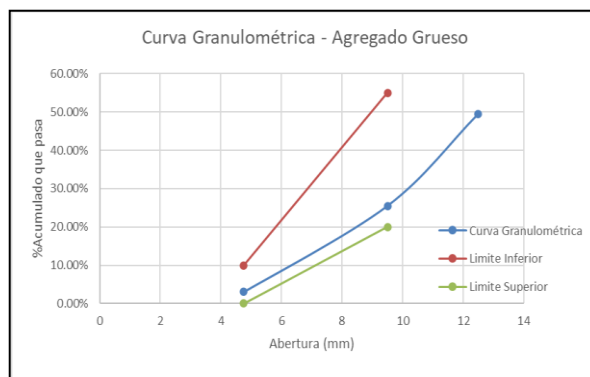


FIGURA 1

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO
FUENTE [16]

Agregado fino

TABLA 2
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

N°	Tamiz (mm)	Ensayo	% Que Pasa	
			Ensayo	Estándar
N°4	4.75	99.74%	95.00%	100.00%
N°8	2.36	80.91%	80.00%	100.00%
N°10	1.18	62.80%	50.00%	85.00%
N°30	0.6	46.71%	25.00%	60.00%
N°50	0.3	23.69%	10.00%	30.00%
N°100	0.15	7.36%	2.00%	10.00%
N°200	0.075	2.21%	0.00%	3.00%

FUENTE [16]

Módulo De Finura: 2.79.

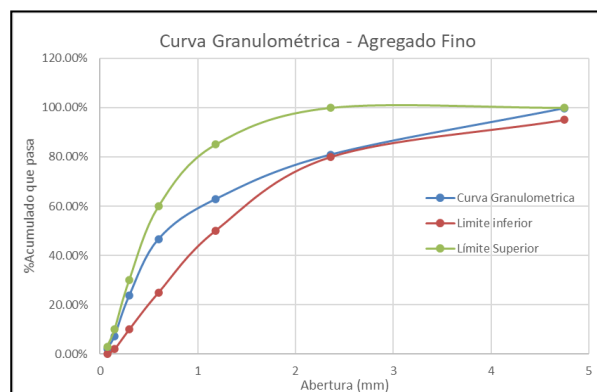


FIGURA 2

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO
FUENTE [16]

B. Contenido de humedad

Agregado grueso

TABLA 3
CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO

Muestra	1	2	3
% De Humedad	0.5%	0.4%	0.4%
Promedio % De Humedad	0.40%		

FUENTE [16]

Agregado fino

TABLA 4
CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO

Muestra	1	2	3
% De Humedad	2.9%	2.8%	3.1%
Promedio % De Humedad	2.90%		

FUENTE [16]

C. Gravedad específica y absorción de agregado grueso y fino

Agregado grueso

TABLA 5
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO GRUESO

Muestra	Und	1	2	Promedio
Peso específico aparente seco	gr/cm ³	2.64	2.63	2.64
Peso específico aparente	gr/cm ³	2.66	2.65	2.66
Peso específico nominal	gr/cm ³	2.7	2.69	2.69

FUENTE [16]

Agregado fino

TABLA 6
CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO

Muestra	Und	1	2	Promedio
Peso específico aparente seco	gr/cm ³	2.58	2.54	2.56
Peso específico aparente	gr/cm ³	2.64	2.59	2.62
Peso específico nominal	gr/cm ³	2.75	2.68	2.71
Absorción	%	2.35	1.96	2.16

FUENTE [16]

D. Abrasión los ángulos al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm

TABLA 7
DESGASTE DE ABRASIÓN DE LOS AGREGADOS

Descripción	Und
Peso muestra total	gr 5000.5
Peso retenido en tamiz N° 12	gr 3459.8
Degaste a la abrasión Los Ángeles	% 30.8

FUENTE [16]

E. Peso unitario y vacío de los agregados

TABLA 8
PESO UNITARIO SUELTO DE LOS AGREGADOS

Descripción	Und	1	2	3	Promedio
Peso unitario suelto, AGREGADO GRUESO	kg/m ³	1442.01	1433.26	1435.45	1436.91
Peso unitario suelto, AGREGADO FINO	kg/m ³	1647.7	1698.03	1669.58	1671.77

FUENTE [16]

F. Diseño de mezcla

Se elaboró un diseño de mezcla de concreto de 210 kg/cm² a los 28 días, el cual no estará expuesto a acciones especiales; además no tiene registro de resistencia de probetas correspondientes a obras y proyectos anteriores, la mezcla será de consistencia plástica; y diseñado por el método ACI 211.1, y se obtuvieron los siguientes resultados [16].

TABLA 9
DOSIFICACIÓN DE CONCRETO F'c=210 KG/CM2 CON DIFERENTES PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA

Material	Und	Dosificación % de reemplazo			
		0%	10%	15%	20%
Cemento	kg	13.53	13.53	13.53	13.53
Agua efectiva	kg	7.43	7.43	7.43	7.43
Agregado Fino Seco	kg	32.42	29.17	27.55	25.93
Agregado Grueso Seco	kg	27.81	27.81	27.81	27.81
Escoria	kg	0	3.24	4.86	6.48

FUENTE [16]

G. Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos

Se presentan los resultados de los ensayos a compresión de las probetas o testigos cilíndricos, los cuales fueron ensayados a 7 días, 14 días y 28 días respectivamente, para poder tener un registro de la resistencia a la compresión de cada uno. [16]

Probetas con 0% de escoria siderúrgica (Patrón)

Se puede verificar que el aumento de la resistencia a las diferentes edades empieza a los 7 días con 144.62 kg/cm², a los 14 días con 158.64 kg/cm² y a los 28 días llega a los 165 kg/cm² [16].

TABLA 10
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS 0% DE ESCORIA SIDERÚRGICA PATRÓN

	Dimensiones		Área (cm ²)	Edad De Ensayo (Días)	Carga Máxima (kg)	Resist. a Compresión (kg/cm ²)	Resist. a Compresión Promedio (kg/cm ²)
	Diám. (cm)	Altura (cm)					
P-1	15.2	30.49	181.46	7	26563	146.39	
P-2	14.94	29.9	175.3	7	23685	135.11	144.62
P-3	15.2	30.31	181.46	7	27647	152.36	
P-1	14.82	30.12	172.5	14	28184	163.39	
P-2	14.82	29.89	172.5	14	30929	179.3	158.64
P-3	14.96	30.12	175.77	14	23418	133.23	
P-1	15.28	30.33	183.37	28	33161	180.84	
P-2	14.82	29.92	172.5	28	27026	156.67	165.98
P-3	14.87	29.92	173.66	28	27863	160.44	

FUENTE [16]

Probetas con 10% de escoria siderúrgica (Patrón)

Se puede verificar que a los primeros 7 días tiene una resistencia de 134.18 kg/cm², la cual va aumentando a 164.16 kg/cm² a los 14 días y llegando a una resistencia máxima de 222.36 kg/cm² a la edad de 28 días [16].

TABLA 11
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CON 10% DE ESCORIA
SIDERÚRGICA

Dimensiones	Diám. (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Edad De Ensayo (Días)	Carga Máxima (kg)	Resist. a Compresión (kg/cm ²)	Resist. a Compresión Promedio (kg/cm ²)		
							P-1	P-2	P-3
P-1	15.34	30.51	184.82	7	24536	132.76			
P-2	15.13	30.24	179.79	7	21759	121.02	134.18		
P-3	15.13	30.25	179.79	7	16743	148.75			
P-1	15.32	30.43	184.33	14	29613	160.65			
P-2	14.76	29.88	171.1	14	29554	172.72	164.16		
P-3	15.14	30.24	180.03	14	28642	159.1			
P-1	15.23	30.49	182.18	28	40158	220.44			
P-2	15.17	30.71	180.74	28	36695	203.02	222.36		
P-3	15.49	30.53	188.45	28	45910	243.62			

FUENTE [16]

Probetas con 15% de escoria siderúrgica (Patrón)

Se puede verificar el aumento de la resistencia a las diferentes edades empezando a los 7 días con 161.28 kg/cm², a los 14 días 190.25 kg/cm² y a los 28 días llega a su resistencia máxima de 238.00 kg/cm² [16].

TABLA 12
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CON 15% DE ESCORIA
SIDERÚRGICA

Dimensiones	Diám. (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Edad De Ensayo (Días)	Carga Máxima (kg)	Resist. a Compresión (kg/cm ²)	Resist. a Compresión Promedio (kg/cm ²)		
							P-1	P-2	P-3
P-1	15.31	30.7	184.09	7	31398	170.55			
P-2	15.13	30.54	179.79	7	28254	157.15	161.28		
P-3	15.13	30.76	179.79	7	28071	156.13			
P-1	15.45	30.54	187.48	14	33201	177.09			
P-2	15.42	30.73	186.75	14	34078	182.48	190.25		
P-3	15.59	30.61	190.89	14	40312	211.18			
P-1	15.49	30.51	188.45	28	45239	240.06			
P-2	15.22	30.79	181.94	28	41722	229.32	238		
P-3	15.17	30.61	180.74	28	44212	244.61			

FUENTE [16]

Probetas con 20% de escoria siderúrgica (Patrón)

Se puede verificar que el aumento de la resistencia a las diferentes edades empieza a los 7 días con 146.94 kg/cm², a los 14 días con 163.42 kg/cm² y a los 28 días con 232.39 kg/cm² [16].

TABLA 13
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CON 20% DE ESCORIA
SIDERÚRGICA

Dimensiones	Diám. (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Edad De Ensayo (Días)	Carga Máxima (kg)	Resist. a Compresión (kg/cm ²)	Resist. a Compresión Promedio (kg/cm ²)		
							P-1	P-2	P-3
P-1	15.14	30.12	180.03	7	25027	139.02			
P-2	15.17	30.26	180.74	7	29231	161.73	146.94		
P-3	14.99	30.31	176.48	7	24719	140.07			

FUENTE [16]

La resistencia a la compresión a los primeros 7 días del concreto diseñado reemplazando el agregado fino con escoria siderúrgica a 10%, 15% y 20% vs el concreto sin escoria siderúrgica (Patrón), en los cuales comparando la resistencia promedio de las 3 probetas para cada porcentaje, se tuvo como resultado que los concretos con escoria siderúrgica tienen mayor resistencia que el concreto sin escoria (Patrón) [16].

Asimismo, la probeta de concreto con 15% de escoria siderúrgica tiene mayor resistencia a los primeros 7 días que el resto de probetas con 10%, 20% y la probeta patrón, dicha comparación de resistencia se muestra en la siguiente grafica [16].

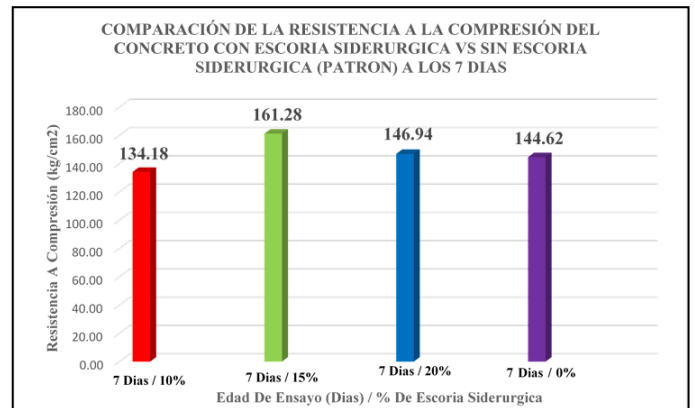


FIGURA 3
RESUMEN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS
FUENTE [16]

La resistencia a la compresión a los 14 días del concreto diseñado reemplazando el agregado fino con escoria siderúrgica a 10%, 15% y 20% vs el concreto sin escoria siderúrgica (Patrón), en los cuales comparando la resistencia promedio de las 3 probetas para cada porcentaje, se tuvo como resultado que los concretos con escoria siderúrgica siguen teniendo mayor resistencia que el concreto sin escoria (Patrón) [16].

Asimismo, la probeta de concreto con 15% de escoria siderúrgica aún tiene mayor resistencia a los 14 días que el resto de probetas con 10%, 20% y la probeta patrón, dicha comparación de resistencia se muestra en la siguiente grafica [16].

IV. CONCLUSIONES

En conclusión, se diseñó un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con escoria siderúrgica a 10%, 15% y 20% de escoria siderúrgica (reemplaza en dichos porcentajes al agregado fino). Asimismo, se diseñó un concreto sin escoria siderúrgica, para comparar la resistencia a la compresión axial a los 7 días, 14 días y 28 días de curado y así poder determinar, si el concreto con escoria siderúrgica puede ser utilizado para mejorar la resistencia a compresión del concreto [16].

El concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ diseñado con un contenido de 15% y 20% de escoria siderúrgica muestra una mayor resistencia a la compresión axial, tanto desde los 7 días de curado como hasta los 28 días de curado. A los 7 días, el concreto con un 15% de escoria siderúrgica alcanza una resistencia de 161.28 kg/cm^2 , lo que representa un aumento del 11.52% respecto al concreto patrón. A los 14 días, esta resistencia se incrementa a 190.25 kg/cm^2 , lo que equivale a un aumento del 19.93% respecto al concreto patrón, y a los 28 días alcanza los 238.00 kg/cm^2 , aumentando un 43.39% en comparación con el concreto patrón. Por otro lado, el concreto con un 20% de escoria siderúrgica muestra una resistencia de 146.94 kg/cm^2 a los 7 días, un aumento del 1.26% en relación con el concreto patrón, 163.42 kg/cm^2 a los 14 días, un aumento del 3.01%, y 232.39 kg/cm^2 a los 28 días, un aumento del 40.01%. Estos resultados demuestran que el concreto diseñado con escoria siderúrgica supera en resistencia al concreto sin escoria siderúrgica (convencional). Este último registra una resistencia de 144.62 kg/cm^2 a los 7 días, 158.64 kg/cm^2 a los 14 días y 165.98 kg/cm^2 a los 28 días. Por otro lado, el concreto con un 10% de escoria siderúrgica muestra una resistencia inferior al concreto convencional a los 7 días, con 134.18 kg/cm^2 , lo que representa una disminución del 7.22% respecto al concreto patrón. Sin embargo, supera la resistencia del concreto convencional a los 14 y 28 días, con 164.16 kg/cm^2 a los 14 días, un aumento del 3.48%, y 222.36 kg/cm^2 a los 28 días, un aumento del 33.97%. Estos resultados confirman que el uso de escoria siderúrgica mejora la resistencia del concreto [16].

En conclusión, el uso de escoria siderúrgica demuestra ser beneficioso para aumentar la resistencia a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Este hallazgo sugiere que la escoria siderúrgica podría ser una alternativa viable en la construcción, lo que podría contribuir a la reducción de la contaminación ambiental al disminuir la explotación de canteras y dar un uso efectivo a los residuos siderúrgicos [16].

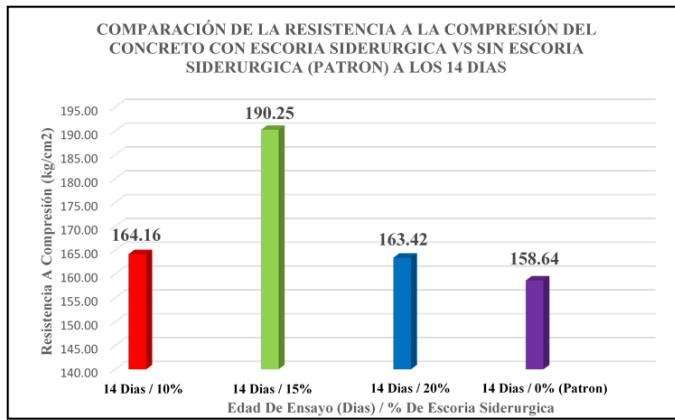


FIGURA 4

RESUMEN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS

FUENTE [16]

La resistencia a la compresión a los 28 días del concreto diseñado reemplazando el agregado fino con escoria siderúrgica a 10%, 15% y 20% vs el concreto sin escoria siderúrgica (Patrón), en los cuales comparando la resistencia promedio de las 3 probetas para cada porcentaje, se tuvo como resultado que los concretos con escoria siderúrgica siguen teniendo mayor resistencia que el concreto sin escoria (Patrón), en la edad que el concreto tiene su resistencia máxima, teniendo como resultado que el concreto con escoria siderúrgica si podría ser usado como reemplazo de un concreto sin escoria, ya que puede resistir más que el concreto convencional [16].

Asimismo, la probeta de concreto con 15% de escoria siderúrgica aún tiene mayor resistencia a los 28 días que el resto de probetas con 10%, 20% y la probeta patrón, dicha comparación de resistencia se muestra en la siguiente grafica [16].

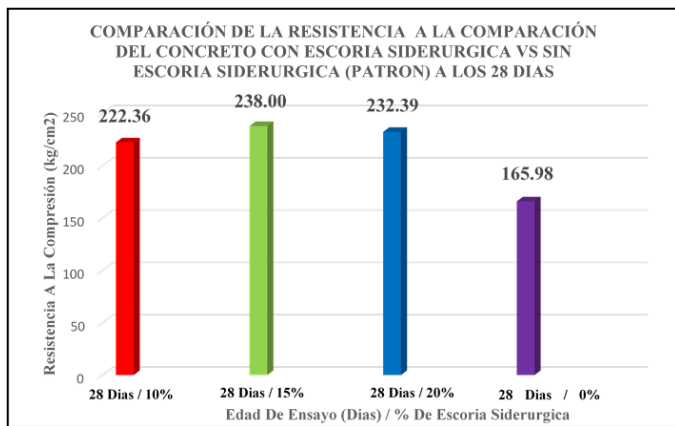


FIGURA 5

RESUMEN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

FUENTE [16]

REFERENCIAS

- [1] J.A. Cabrera Madrid, J.I. Escalante García, & P. Castro Borges. (2016, abril 1). Resistencia a la compresión de concretos con escoria de alto horno. Estado del arte revisitado. *Revista ALCONPAT*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427645284006>
- [2] Armando Camarena Flores & David Díaz Garamendi. (2021a, octubre 6). Análisis comparativo de la resistencia a la compresión, flexión y trabajabilidad del concreto tradicional versus un concreto utilizando escoria de acero como agregado fino. *Revista Gaceta Técnica*. <https://www.redalyc.org/journal/5703/570369777003/>
- [3] Joaquín Abellán-García, Andrés Núñez-López, Nancy Torres-Castellanos, & Jaime Fernández-Gómez. (2020, junio). Diseño factorial de concretos de polvos reactivos conteniendo escoria de arco eléctrico y polvo de vidrio reciclado. *DYNA*. http://www.scielo.org/co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532020000200042&lang=es
- [4] San Sebastian Aurre Josu. (2018). *Estudio De Morteros De Construcción Fabricados Mediante Escorias Siderúrgicas* [UPV]. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/29373/Trabajo%20Fin%20de%20Grado%20%28Industrial%29.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [5] Robinson de Jesús Torres Gómez, William A. Aperador Ch., Enrique Vera López, & Rubi Mejía de Gutiérrez. (2009). Aplicabilidad de un concreto de escoria activada alcalinamente como material protector del acero de refuerzo. *Facultad De Ingeniería*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413940760004>
- [6] NTP. (2013b). Norma NTP_400.012 «Análisis Granulométrico Del Agregado Fino, Grueso y Global».
- [7] Universidad Privada Del Norte Cajamarca. (2019e). *Guía de ensayo «Contenido de humedad de agregados» NTP 400.010*. Laboratorio de concreto.
- [8] Universidad Privada Del Norte Cajamarca. (2019f). *Guía de ensayo «Gravedad específica y absorción de agregados finos» NTP 400.022*. Laboratorio de concreto.
- [9] Universidad Privada Del Norte Cajamarca. (2019g). *Guía de ensayo «Peso específico y absorción de agregados grueso» NTP 400.021*. Laboratorio de concreto.
- [10] Universidad Privada Del Norte Cajamarca. (2019b). *Guía de ensayo «abrasión de los ángeles al desgaste de los agregados» NTP 400.019*. Laboratorio de concreto
- [11] NTP. (2014). Norma NTP_400.019 "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles".
- [12] Universidad Privada Del Norte Cajamarca. (2019h). *Guía de ensayo «Peso unitario y vacío de los agregados» NTP 400.017*. Laboratorio de concreto.
- [13] NTP. (2013c). Norma NTP_400.017 «Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado».
- [14] Universidad Privada Del Norte Cajamarca. (2019d). *Guía de ensayo "Asentamiento del concreto (slump)- NTP 339.035*. Laboratorio de concreto.
- [15] Universidad Privada Del Norte Cajamarca. (2019a). *Guía de ensayo «Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos» NTP 339.034*. Laboratorio de concreto
- [16] M. Escobedo Serrano & J. Códova Alvarez (2022). Resistencia a la compresión axial del concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ diseñado con material árido artificial (escoria siderúrgica) reemplazando el agregado fino en porcentajes de 10%, 15% y 20%.