

Compressive strength of a concrete f'c 210 Kg/cm² made with ground glass fine aggregate and recycled iron

Jara-Orozco Johann, Estudiante de Ingeniería Civil ¹, Rafael-Bustamante Keyla, Estudiante de Ingeniería Civil¹, and Leiva-Piedra Jorge Luis, Magister en Protección de cultivos¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U17204643@utp.edu.pe, U17212632@utp.edu.pe y jleiva@utp.edu.pe

Abstract– Concrete is the second most used material in construction, and its production requires a large number of natural aggregates, which has a significant impact on these resources and the ecosystems where they are collected. In addition, the poor management of glass and iron waste is a major problem for cities. The present study sought to evaluate the compressive strength of a concrete f'c 210 Kg/cm² made with ground glass and recycled iron. For this purpose, 6 treatments with additions of 15%, 20%, and 25% of ground glass and recycled iron, respectively, and a standard sample, with 7, 14, and 28 days of curing, were used to evaluate its physical properties (workability, slump, and exudation) and its compressive strength. The results showed that, in terms of physical properties, the different levels of addition, both ground glass and recycled iron, showed good and very good workability; on the other hand, all the treatments, except C1 (15% recycled glass), showed slump values above those shown by the standard sample; in the case of exudation, the highest percentages of water lost were shown by the 15% ground glass treatments and all the additions of recycled iron. For compressive strength, the treatments with the best values were 20% and 25% iron, showing an increase in this parameter of 5.98% and 17.99% compared to the standard sample. It was concluded that, of the inputs used, recycled iron has potential as an input for the production of concrete, unlike ground glass, as it shows the best values in the parameters evaluated.

Keywords--Compressive strength, concrete, ground glass, recycled iron.

Resistencia a la compresión de un concreto $f'c$ 210 Kg/cm² fabricado con agregado fino de vidrio molido y hierro reciclado

Jara-Orozco Johann, Estudiante de Ingeniería Civil¹, Rafael-Bustamante Keyla, Estudiante de Ingeniería Civil¹, and Leiva-Piedra Jorge Luis, Magister en Protección de cultivos¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U17204643@utp.edu.pe, U17212632@utp.edu.pe y jleiva@utp.edu.pe

Resumen— El concreto es el segundo material más utilizado en la construcción, para su elaboración se requieren de una gran cantidad de agregados naturales, lo que impacta de manera importante sobre estos recursos y los ecosistemas en donde se recolectan, sumado a esto, la deficiente gestión de los residuos de vidrio y hierro, son un gran problema para las ciudades. El presente estudio busca evaluar la resistencia a la compresión de un concreto $f'c$ 210 Kg/cm² fabricado con vidrio molido y hierro reciclado. Para ello, se plantearon 6 tratamientos con adiciones de 15%, 20% y 25% de vidrio molido y hierro reciclado, respectivamente y una muestra patrón, con 7, 14 y 28 días de curado; evaluándose sus propiedades físicas (trabajabilidad, asentamiento y exudación) y su resistencia a la compresión. Los resultados arrojaron que, a nivel de las propiedades físicas, los diferentes niveles de adición, tanto de vidrio molido como hierro reciclado, mostraron una buena y muy buena trabajabilidad, por otro lado, todos los tratamientos, a excepción del CI (15% de vidrio reciclado), evidenciaron valores de asentamiento por encima al mostrado por la muestra patrón; para el caso de la exudación, los mayores porcentajes de agua perdida mostraron los tratamientos 15% de vidrio molido y todas las adiciones de hierro reciclado. En la resistencia a la compresión, los tratamientos que arrojaron los mejores valores fueron, el 20% y 25% de hierro, mostrando un incremento en este parámetro, del 5.98% y 17.99% en comparación con la muestra patrón. Se concluyó que, de los insumos utilizados, el hierro reciclado, posee un potencial como insumo para la elaboración de concreto, a diferencia del vidrio molido, por mostrar los mejores valores en los parámetros evaluados.

Palabras claves-- Resistencia a la compresión, concreto, vidrio molido, hierro reciclado.

I. INTRODUCCION

Mundialmente se elabora alrededor de 30 millones de toneladas de concreto para cumplir con las necesidades de infraestructura [1], por lo que se le considera, como el segundo material más utilizado en la construcción [2]. Para su elaboración, se requiere de una gran cantidad de agregados naturales ya que estos representan el 70% a 75% de su volumen total [3]. Según la ONU [4] la arena es el segundo recurso natural más utilizado después del agua, cada año se explotan 50 000 millones de toneladas lo cual puede provocar daños catastróficos en la flora y fauna que habitan cerca de los acuíferos y ríos de donde es extraída. En este sentido la arena podría ser sustituida por distintos residuos materiales, que podrían mejorar la plasticidad, trabajabilidad y resistencia del concreto para una mejor durabilidad [5].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Por otro lado, en el Perú 131500 toneladas de vidrio terminan en botaderos lo cual corresponde al 73,9% del total de vidrio de fabricación nacional [6]. Esta alta tasa es el reflejo del incremento poblacional de las ciudades. La principal preocupación en cuanto a la gestión de los residuos es la falta de lugares aptos para su disposición final. En efecto el vidrio sigue siendo un material con un proceso difícil y costoso de reciclar y recuperar [3], cuenta con una tasa de recuperación menor al 10% y este compone uno de los principales desechos sólidos [7]. Por otro lado, el hierro que es desechado debido al proceso de fundición en altos hornos produce millones de toneladas de limadura de hierro cada año el cual es arrojado en áreas abiertas perjudicial para el medio ambiente [1].

En el sector construcción se ha venido implementando enfoques modernos, desde la innovación y la investigación con la finalidad de reducir la contaminación ambiental a través del reciclaje[8]. Tal como lo indica el SINIA [9] solo 5200000 toneladas del total de residuos tienen disposición en rellenos sanitarios. Asimismo, la extracción excesiva de arena destruye ecosistemas tanto costeros como marinos produciendo erosión y destruyendo la biodiversidad [4]. Por estas razones, se realizó este estudio con el propósito de incentivar y aumentar la tasa de recuperación del hierro y vidrio de desecho, que en la actualidad es menor del 10% [7]. De manera que las investigaciones respecto al uso de materiales reciclados como sustituto del agregado avanza continuamente. Específicamente, el tema sobre la adición de estos desechos como sustituto del árido fino natural aún se encuentran en investigación [10] es por ello que este trabajo busca enriquecer las investigaciones sobre concreto alternativo.

Así mismo, la industria de la construcción se ha encaminado en el desarrollo ecológico buscando ser sostenible y a la vez amigable con el medio ambiente [11]. Una de las soluciones para revertir la alta demanda de los recursos no renovables y la elevada contaminación ambiental es reutilizar los desechos en la elaboración del concreto[12]. Tal es así, que se ha venido estudiando el concreto alternativo en donde se evalúa el comportamiento de materiales reciclados como sustitutos de los agregados del concreto.

El vidrio es uno de los desechos altamente reciclable que ha tomado un papel importante en el plano de estas investigaciones. Por ejemplo, la investigación respecto al uso

II. METODOLOGIA

Los materiales utilizados para el desarrollo de este trabajo de investigación serán considerados de acuerdo con la norma American Society of Testing Materials (ASTM).

A. Concreto:

de vidrio en el concreto que aporta datos importantes y necesarios es la que realizaron Gebremichae et al, [2] donde evaluaron el efecto de la dimensión de las partículas y la proporción de sustitución del vidrio en el concreto. Realizaron los ensayos respectivos a los 14 y 20 días. En donde se obtuvieron los siguientes resultados, el tiempo de fraguado se vio afectado, al aumentar el porcentaje de reemplazo la resistencia a flexión y compresión disminuyó, por lo que no es viable elaborar un concreto con 10%, 15% y 20% de reemplazo.

Para la elaboración del concreto de estudio se ha utilizado el cemento portland tipo I, ya que este es un cemento de uso general, especialmente en concretos que no requieren propiedades especiales. Fue obtenido en una ferretería en la ciudad de Chiclayo, departamento de Lambayeque-Perú.

B. Agregados:

Así mismo, podemos mencionar a Bahadur y Kumar [13] quienes evaluaron el impacto del vidrio en la resistencia a la compresión del concreto, para ello utilizaron un porcentaje de reemplazo de 10%, 15% y 20%, obteniendo como resultados, con 15% de sustitución a los 28 días, incremento la resistencia a la compresión en un 17.05% y la tracción en un 11.28%, del mismo modo se corroboró que al aumentar el porcentaje de reemplazo disminuye la absorción de agua.

Tanto los agregados finos como los agregados gruesos que se empleó en la elaboración de esta investigación han sido extraídos de la cantera Tres Tomas, situada en el departamento de Lambayeque- Perú. Estos pasaron por ensayos estandarizados para conocer sus propiedades físicas. Las gráficas de los ensayos de granulometría se muestran en la Fig. 1 y Fig. 2, en las que podemos apreciar que los materiales están dentro de los límites establecidos en la norma ASTM C-136 de 2006.

Además, Choudhary et al, [14] nos presenta el artículo en el que se trató sobre el aprovechamiento sostenible de áridos de escoria de hierro como reemplazo del agregado desde un enfoque experimental y nos muestra que la incorporación de agregados hasta en un 40% aumenta la resistencia mientras que a mayor porcentaje la resistencia baja debido a que no hay una buena unión entre el agregado y la pasta cementosa, esto explicaría porque es que en el primer estudio se ha tenido una resistencia mucho más baja que la que se esperaba. Sin embargo, de acuerdo con los resultados que se han presentado las escorias de hierro si son viables para la fabricación del concreto aceptable para uso en estructuras.

Con la finalidad de seguir aportando investigaciones a la reutilización de este desecho, en el 2023 se realizó una nueva investigación en la que se espera evaluar la idoneidad del uso del hierro en el concreto utilizando 0%, 10%, 20%, 30%, 40% de reemplazo y una relación a/c de 0.58[15] en esta investigación los resultados mostraron una disminución en el asentamiento de 16.7% para las muestras que tenían adición de hierro, las mezclas que contienen 10% y 40% cumplen con la resistencia óptima esperada y la adición de hierro al concreto disminuye la resistencia a la compresión hasta en un 38.51% y 44.32%. Por otro lado, se realizó una investigación en donde se evaluó la posibilidad de aplicar residuos de hierro en diferentes porcentajes de 6%, 12%, 18%, 24% y 30% de reemplazo en donde se obtuvo los siguientes resultados, el concreto con 12% de hierro obtuvo una resistencia a la compresión de 33 MPa a los 28 días de curado su máxima resistencia en menor tiempo[16]. Es por lo que, y teniendo en cuenta lo descrito líneas arriba, el presente estudio, busca determinar la resistencia a la compresión de un concreto $f'c$ 210 Kg/cm² fabricado con agregado fino de vidrio molido y hierro reciclado.

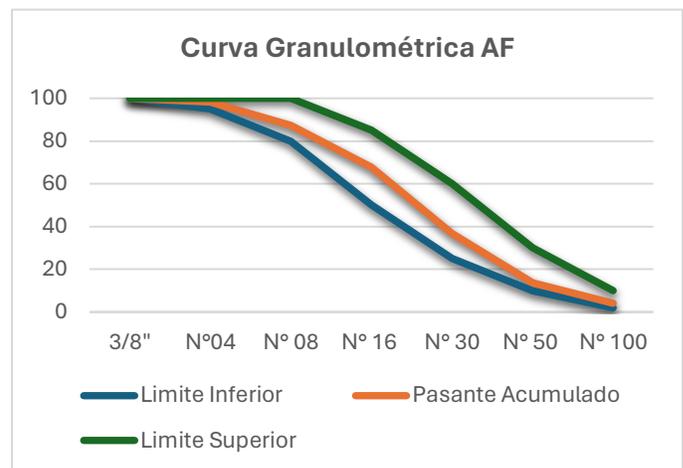


Fig. 1 Granulometría del agregado fino

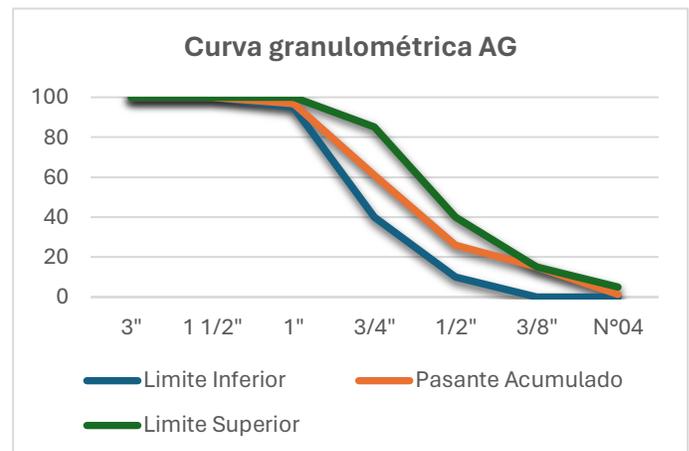


Fig. 2 Granulometría del agregado grueso

TABLA I
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Descripción	Agregado fino	Agregado grueso
Módulo de fineza	2.92	-
Tamaño máximo nominal	-	1"
Contenido de humedad (%)	0.78	0.92
% de absorción (%)	0.77	0.99
Peso U. suelto seco (g/cm ³)	1.613	1.63
Peso U. compactado seco (g/cm ³)	1.722	1.834
Peso específico (g/cm ³)	2.481	2.763

C. Vidrio molido

Para la obtención del vidrio molido se ha utilizado botellas recicladas de vidrio, las cuales posteriormente han sido pulverizadas con la ayuda de un molino para agregados hasta obtener lo que sería el reemplazo del agregado fino.

D. Hierro reciclado

En cuanto a las limaduras de hierro, estas se han obtenido de un torno en el que se fabrican piezas con materiales metalúrgicos en gran cantidad, quedando las limaduras de hierro como desecho. El torno está situado en la provincia de Jaén, departamento de Cajamarca - Perú.

E. Tratamiento del vidrio molido y el hierro reciclado

El tratamiento, tanto del vidrio molido como de la limadura de hierro se eligió teniendo en cuenta la literatura revisada y siguiendo las recomendaciones de los autores. Es por ello, que en este proyecto de investigación se ha reemplazado parcialmente en un 15%, 20% y 25% los agregados con los materiales reciclados.

F. Diseño de mezcla

El diseño de mezcla se elaboró siguiendo las especificaciones para un concreto de 210 kg/cm², en la tabla 1 se muestra las proporciones de los agregados por cada bolsa de cemento de 42,5 kg, también se muestra las diferentes dosificaciones para cada tratamiento.

TABLA II
DISEÑO DE MEZCLA DE LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO

Elemento	Mezcla Patrón	Vidrio reciclado			Acero reciclado		
		(C1) 15%	(C2) 20%	(C3) 25%	(C4) 15%	(C5) 20%	(C6) 25%
% Reemplazo	0%						
Cemento(m ³)	1	1	1	1	1	1	1
A. Fino(m ³)	2.1	1.8	1.7	1.6	1.8	20.3	19
A. Grueso(m ³)	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Agua (Lt)	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8
Vidrio(m ³)	-	0.3	0.4	0.5	-	-	-
Limadura de hierro(m ³)	-	-	-	-	0.3	0.4	0.5

G. Ensayo de las propiedades físicas

En cuanto a los ensayos para determinar las propiedades físicas del concreto, en todos los tratamientos, se realizó la determinación del peso unitario siguiendo la estandarización de la Norma ASTM C33/C33M-18. Además, se realizó el ensayo de asentamiento para el cual se siguió los lineamientos de la Norma ASTM C143/C143-22 y el ensayo de exudación ASTM C232/C232M-12.

H. Ensayos de las propiedades mecánicas.

Para determinar las propiedades mecánicas del concreto se llevó a cabo el ensayo de resistencia a la compresión para los tratamientos de 15%, 20% y 25% a los 7, 14 y 28 días de curado. Para el desarrollo de este ensayo se siguió la estandarización de la Norma (según ASTM C-39, 2002).

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Propiedades físicas

1) Trabajabilidad:

TABLA III
ASENTAMIENTO Y TRABAJABILIDAD

	MP	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Consistencia	Blanda	Blanda	Fluida	Fluida	Blanda	Fluida	Fluida
Trabajabilidad	Buena	Buena	Muy Buena	Muy Buena	Buena	Muy Buena	Muy Buena

En la Tabla III, se muestran los valores de consistencia y trabajabilidad de la mezcla patrón (MP) y los diferentes diseños de mezcla incorporando vidrio molido y hierro reciclado, en ella podemos evidenciar que el concreto fresco tiene una consistencia entre blanda y fluida, asimismo, la trabajabilidad era de buena y muy buena.

2) Asentamiento:

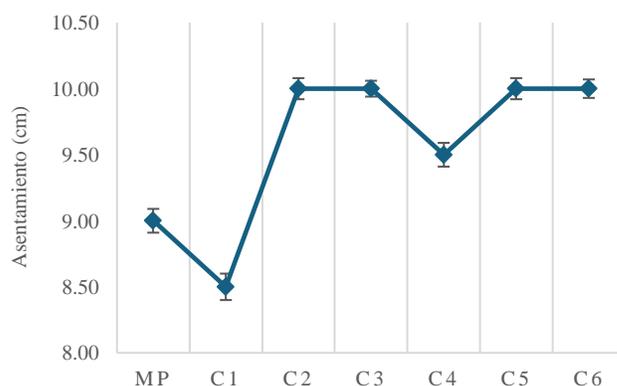


Fig. 3 Asentamiento en cm del concreto fresco.

En la Fig.3 donde se muestra en asentamiento en cm del concreto fresco, podemos observar que la muestra patrón (MP), así como también las adiciones más bajas de vidrio molido

como de hierro reciclado mostraron los valores más bajos, asimismo, se puede observar que conforme se incrementaban los porcentajes de vidrio molido y hierro reciclado, se mostraba un mayor nivel de asentamiento. De acuerdo con los resultados obtenidos para el asentamiento tenemos que, tanto para el vidrio como para el hierro, el porcentaje de reemplazo aumenta asimismo la trabajabilidad aumenta, en ese sentido, podemos mencionar a [8] quienes también obtuvieron como resultado un patrón creciente en cuanto a la trabajabilidad del concreto con hierro, del mismo modo, [17] que igualmente encontraron un aumento de la trabajabilidad del concreto con sustitución de vidrio. Ambos autores le atribuyen al aumento de resistencia a que la absorción de agua de la mezcla disminuye de manera considerable.

3) Exudación:

TABLA IV
EXUDACIÓN DEL CONCRETO EN ML

Tiempo	MP	C1	C2	C3	C4	C5	C6
0 min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10 min	16.70	18.30	17.30	17.00	19.80	18.10	17.10
20 min	21.60	22.30	21.10	21.30	21.70	20.50	21.20
30 min	24.10	28.10	24.40	23.90	27.90	25.90	25.50
40 min	17.40	20.90	17.40	19.30	22.00	23.70	24.70
70 min	14.20	16.70	14.60	12.50	15.20	15.20	15.40
100 min	9.50	10.70	10.40	11.90	9.90	10.20	9.10
130 min	6.40	4.60	3.60	4.90	5.10	5.30	5.60
160 min	0.00	1.70	1.20	0.00	1.30	1.50	1.40
190 min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

En la Tabla IV, se observa el agua extraída en cada una de las mezclas durante un tiempo determinado, se puede evidenciar que ha mayor tiempo que pasa disminuye la cantidad de agua extraída hasta quedar en cero.

TABLA V
EXUDACIÓN DEL CONCRETO EN ML

Exudación	MP	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Volumen Total (ml)	109.90	123.30	110.00	110.80	122.90	120.40	120.00
Exudación por unidad de área (ml/cm ²)	0.0021	0.0023	0.0021	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
Agua Perdida	4.04%	4.55%	4.05%	4.07%	4.54%	4.43%	4.41%

En la Tabla V, donde se observa el volumen de agua extraída durante el ensayo de exudación, así como también el porcentaje de agua perdida, podemos evidenciar que, al aumentar el porcentaje de vidrio molido, el porcentaje de agua perdida no

varía con relación a la mezcla patrón y el aumento en las demás mezclas es bajo. Sin embargo, debemos tener en cuenta que el aumento de exudación en el concreto puede provocar mayor riesgo de aparición de grietas, reducción de la unión entre el acero y el concreto [18]. Por otra parte, la gravedad influye como fuerza en el origen de la exudación, esta induce el asentamiento de las partículas sólidas y a su vez el desplazamiento ascendente del agua [19]. Los concretos que presentan alta cantidad de partículas finas tienden a disminuir el porcentaje de exudación [20].

B. Propiedades mecánicas

1) Resistencia a la compresión a los 7 días

TABLA VI
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intersección	362070.255	1	362070.255	766834.959	<0.001
Tratamientos	6194.614	6	1032.436	2186.614	<0.001
Error	6.610	14	0.472		
Total	368271.480	21			

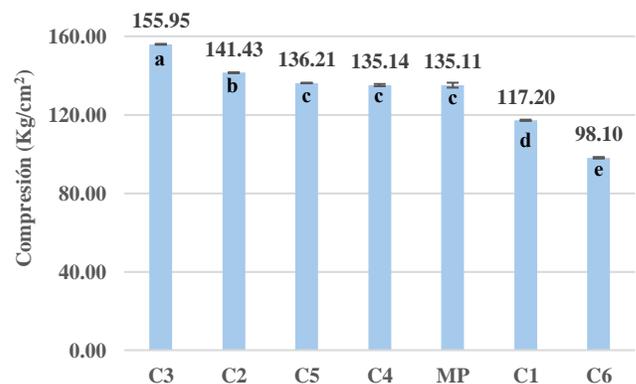


Fig. 4 Gráfico de la resistencia a la compresión a los 7 días de curado.

En la Fig. 4, se observa que el concreto patrón, y los tratamientos (15% y 20 % de hierro) obtuvieron valores estadísticamente similares. Asimismo, el tratamiento que arrojó el valor más bajo fue el concreto con 25% de hierro mientras que la que alcanzó la mayor resistencia a los 7 días fue la muestra que contenía el 25 % de sustitución con vidrio, del mismo modo, podemos visualizar que el concreto con adición de vidrio tiene un comportamiento lineal debido a que mejora la resistencia cuando el porcentaje aumenta. Caso contrario de lo que ocurre con el comportamiento del concreto con sustitución de hierro, donde la resistencia menor es obtenida con la sustitución del 25%, mientras que la resistencia máxima alcanzada es dada por el 20% de sustitución, en consecuencia, la disminución de la resistencia a la compresión puede

atribuirse a la diferencia de la trituración de la limadura de hierro en comparación con el agregado fino [15]. No obstante, el aumento de la resistencia del vidrio molido se debe a que a medida que se aumentó el porcentaje de vidrio se dio una disminución en los poros que presenta el concreto [17]. Además, la incorporación de vidrio hasta un 30% puede generar cambios significativos en el concreto en cuanto a su resistencia [10].

2) Resistencia a la compresión a los 14 días

TABLA VII
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intersección	629055.799	1	629055.80	3008533.96	<0.001
Tratamientos	21127.230	6	3521.205	16840.581	<0.001
Error	2.927	14	0.209		
Total	650185.956	21			

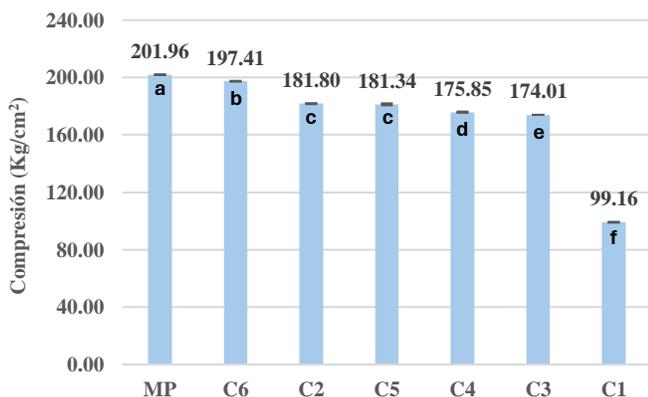


Fig. 5 Gráfico de la resistencia a la compresión a los 14 días de curado.

En la Fig. 5, se observa que los tratamientos que alcanzaron los valores estadísticamente similares fueron 20% de hierro y 20% de vidrio. Por otro lado, el concreto patrón alcanzó la más alta resistencia a los 14 días dejando como concreto de baja resistencia a la muestra con 15% de vidrio, el comportamiento de las muestras cambia notoriamente, según la Fig. 5 ahora el concreto que presenta un crecimiento lineal en su resistencia es el concreto con adición de hierro, mientras que el tratamiento con sustitución de vidrio el porcentaje alcanzó mayor resistencia fue el de 20%, puesto que, el aumento del polvo de vidrio a mayor tiempo produjo una disminución en la resistencia [17]. Además, se puede atribuir a la disminución de la resistencia del vidrio a la débil adhesión que existe entre este y los demás materiales del concreto [21]. Por el contrario a medida que aumenta el tiempo de curado del concreto con limadura de hierro este tiende a aumentar la resistencia a la compresión [22].

3) Resistencia a la compresión a los 28 días:

TABLA VIII
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intersección	855397.925	1	855397.925	374844.93	<0.001
Tratamientos	16423.251	6	2737.209	1199.475	<0.001
Error	31.948	14	2.282		
Total	871853.124	21			

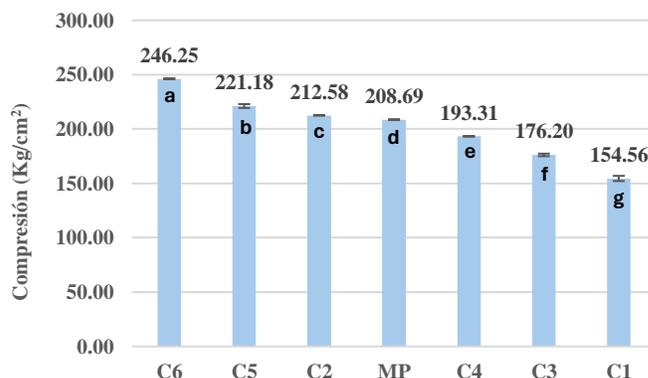
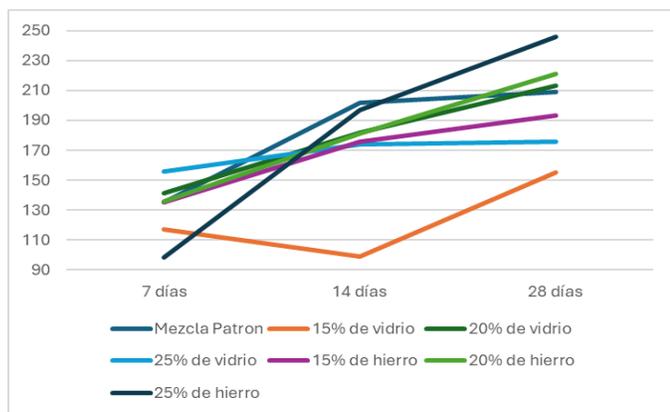


Fig. 6 Gráfico de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado

En la Fig. 6, se observa que los resultados de a los 28 días cambian de forma notoria, ya que no hay concretos que hayan obtenido valores similares. Por el contrario, todos los concretos presentan valores distintos, asimismo, se puede visualizar que el concreto que ha obtenido mayor resistencia por encima del concreto patrón es el concreto con 25% de hierro mientras que el concreto que obtuvo la menor resistencia es el concreto con 15% de vidrio, esto corrobora que el concreto con hierro sigue manteniendo un comportamiento lineal, lo que quiere decir que la resistencia aumenta cuando el porcentaje de sustitución con este material aumenta. Todo lo contrario, pasa con el vidrio que su porcentaje óptimo de sustitución en el 20% que logró pasar la resistencia requerida y al aumentar la cantidad de vidrio a un 25% bajó considerablemente e incluso su valor está muy por debajo del valor de la muestra patrón. En cuanto al vidrio tenemos a [3] que también obtuvo mejoras en la resistencia del concreto hasta en un 20% y que a partir de ese porcentaje la resistencia disminuyó. Así mismo, tenemos a [10] que confirma que a un 20 de reemplazo si se obtuvo mejoras en la resistencia del concreto. El aumento se debe a que el vidrio por la finura de sus partículas llena los vacíos del hormigón. En contraste, un mayor contenido de vidrio causa una menor unión con debido a la superficie más lisa del mismo [10].



Finalmente, en la Fig. 7, podemos observar que existe una relación lineal entre el tiempo de curado y el incremento de la resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 210 Kg/cm², evidenciándose que, a mayor tiempo de curado, mayor resistencia, sobre todo en el tratamiento con 25% y 20% de adición de hierro. Sin embargo, se recomienda, en posteriores investigaciones realizar pruebas de tracción y flexión, ensayos de permeabilidad y resistencia a la abrasión para determinar si el concreto con agregados reciclados posee una durabilidad y resistencia óptima.

IV. CONCLUSIONES

- Al evaluar comparativamente la resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 210 kg/cm² fabricado con agregado fino de vidrio y hierro reciclados se obtuvo que si afectan significativamente la resistencia del concreto por lo que se rechaza la hipótesis nula.
- El incremento de hierro en la mezcla aumenta la exudación del concreto a diferencia del vidrio que el incremento de este disminuye la exudación.
- El aumento del porcentaje de sustitución en el concreto hizo que el asentamiento aumentara, teniendo una consistencia blanda y una trabajabilidad buena. Al igual que otras características del concreto, esta se le atribuye a la relación a/c y a la baja capacidad de absorción de las partículas de los desechos reciclados.
- El porcentaje óptimo de reemplazo en agregado con adicción de vidrio es el 20% superando en 1.86% la resistencia de la mezcla patrón, mientras que en el concreto con adicción de hierro el porcentaje óptimo es el 20% y 25% ya que estos concretos lograron superar la resistencia de la muestra patrón en un 5.98% y 17.99% respectivamente. Siendo la mezcla con 25% de hierro la más favorable

REFERENCIAS

[1] N. Singh, T. Singh, M. Kumar, A. Singh, y P. Kumar, «Investigating the fresh state performance of concrete containing iron slag and recycled concrete aggregates», *Mater. Today Proc.*, vol. 65, pp. 1467-1477, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.462.

[2] N. N. Gebremichael, K. Jadidi, y M. Karakouzian, «Waste glass recycling: The combined effect of particle size and proportion in concrete manufactured with waste recycled glass», *Constr. Build. Mater.*, vol. 392, p. 132044, ago. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132044.

[3] I. E. Ekop, C. J. Okeke, y E. V. Inyang, «Comparative study on recycled iron filings and glass particles as a potential fine aggregate in concrete», *Resour. Conserv. Recycl. Adv.*, vol. 15, p. 200093, nov. 2022, doi: 10.1016/j.rcradv.2022.200093.

[4] ONU, «El uso de la arena debe regularse para proteger la biodiversidad | Noticias ONU». Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2022/04/1507702>

[5] M.-G. N. Krikar y H. I. Hawkar, «Mechanical Properties of Concrete Using Iron Waste as a Partial Replacement of Sand», *Eurasian J. Sci. Eng.*, vol. 3, n.o 3, Art. n.o 3, 2018, doi: 10.23918/eajse.v3i3p75.

[6] R. Díaz, G. Velarde, y G. Lino, «Análisis de flujo de materiales de envases de vidrio para producción, consumo y comercio en el Perú durante 2018», 2018.

[7] J.-X. Lu y C. S. Poon, «6 - Recycling of waste glass in construction materials», en *New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete*, J. de Brito y F. Agrela, Eds., en Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. , Woodhead Publishing, 2019, pp. 153-167. doi: 10.1016/B978-0-08-102480-5.00006-3.

[8] H. Hamada, A. Alattar, B. Tayeh, F. Yahaya, y B. Thomas, «Effect of recycled waste glass on the properties of high-performance concrete: A critical review», *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 17, p. e01149, dic. 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01149.

[9] SINIA, «Residuos sólidos municipales dispuestos en rellenos sanitarios». Accedido: 31 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/indicadores-estadisticas>

[10] K. S. Ahmed y L. R. Rana, «Fresh and hardened properties of concrete containing recycled waste glass: A review», *J. Build. Eng.*, vol. 70, p. 106327, jul. 2023, doi: 10.1016/j.job.2023.106327.

[11] L. Wang, Z. Liu, Y. Yan, S. Li, y Y. Xie, «Overview of the application of ecological concrete in sponge city construction», *Front. Earth Sci.*, vol. 10, 2023, Accedido: 30 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2022.1085419>

[12] J. L. K. Nußholz y K. Whalen, «Financial assessment of reusing materials in buildings: Comparing financial potential of wood, concrete, and glass reuse», presentado en IOP

Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019.
doi: 10.1088/1755-1315/225/1/012042.

[13]R. Bahadur y A. Kumar Parashar, «An investigation of waste glass powder with the substitution of sand on concrete mix», Mater. Today Proc., feb. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.02.123.

[14]S. Choudhary, P. Ravi Kishore, y S. Pachaiappan, «Sustainable utilization of waste slag aggregates as replacement of coarse aggregates in concrete», Mater. Today Proc., vol. 59, pp. 240-247, ene. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.103.

[15]K. Mohammed Breesem, T. Jasim Mohammed, D. Raheem Hassen, y S. Mohammed Heil, «Properties of concrete using waste iron», Mater. Today Proc., vol. 80, pp. 769-773, ene. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2022.11.084.

[16]J.-X. Lu y C. S. Poon, «6 - Recycling of waste glass in construction materials», en New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete, J. de Brito y F. Agrela, Eds., en Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. , Woodhead Publishing, 2019, pp. 153-167. doi: 10.1016/B978-0-08-102480-5.00006-3.

[17]R. Bahadur y A. Kumar Parashar, «An investigation of waste glass powder with the substitution of sand on concrete mix», Mater. Today Proc., feb. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.02.123.

[18]P. Wainwright y H. Ait-Aider, «The influence of cement source and slag additions on the bleeding of concrete», Cem. Concr. Res., vol. 25, n.o 7, pp. 1445-1456, oct. 1995, doi: 10.1016/0008-8846(95)00139-4.

[19]L. Jossierand, O. Coussy, y F. de Larrard, «Bleeding of concrete as an ageing consolidation process», Cem. Concr. Res., vol. 36, n.o 9, pp. 1603-1608, sep. 2006, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.10.006.

[20]İ. B. Topçu y V. B. Elgün, «Influence of concrete properties on bleeding and evaporation», Cem. Concr. Res., vol. 34, n.o 2, pp. 275-281, feb. 2004, doi: 10.1016/j.cemconres.2003.07.004.

[21]H. Hamada, A. Alattar, B. Tayeh, F. Yahaya, y B. Thomas, «Effect of recycled waste glass on the properties of high-performance concrete: A critical review», Case Stud. Constr. Mater., vol. 17, p. e01149, dic. 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01149.

[22]M.-G. N. Krikar y H. I. Hawkar, «Mechanical Properties of Concrete Using Iron Waste as a Partial Replacement of Sand», Eurasian J. Sci. Eng., vol. 3, n.o 3, Art. n.o 3, 2018, doi: 10.23918/eajse.v3i3p75.