



INFLUENCIA DEL VIDRIO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE Y LA CAPACIDAD DE USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO

INFLUENCE OF RECYCLED GLASS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE AND THE CAPACITY OF USE IN AYACUCHO CITY

Marisol Nelly, Bedriñana Garamendi¹; Roberto Roland, Yoctun Rios²

Recibido 14/11/2023; Aprobado: 20/01/2024

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica252.5>

RESUMEN

El concreto es el componente con mayor uso en el sector de la construcción, sin embargo, su exposición al medio ambiente suele influir en su comportamiento, por lo cual, los expertos investigan continuamente para asegurarse de que cumpla o satisfaga las especificaciones para las que fue creado. Por ello, el principal objetivo de este trabajo fue determinar de qué manera contribuye el vidrio reciclado en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante y su capacidad de uso en la ciudad de Ayacucho, Perú. Se trabajó en la experimentación con una muestra estándar y otras donde se reemplazó parcialmente el 7,5%, 15%, 22,5% y 30% de agregado fino por vidrio reciclado. Del presente estudio, se obtuvo como resultados que la incorporación del vidrio incrementó la resistencia a compresión en un 13,01%, la resistencia a tracción en un 17,75%, la resistencia a flexión mejoró en un 27,87% y la resistencia a la durabilidad al sulfato de magnesio que deberá ser menor al 15%, cumple en las 3 adiciones, siendo el concreto con la sustitución del 30% de arena gruesa por VR el que no cumple con dicho parámetro. Finalmente mencionar que, respecto al concreto Patrón, se incrementa la posibilidad de que su capacidad de uso sea mayor debido a las mejoras significativas y su resistencia a la intemperie por durabilidad.

Palabras clave: *agregado fino; vidrio reciclado; bloques de concreto; agregado grueso*

¹Marisol Nelly, Bedriñana Garamendi. Ingeniero Civil. Universidad Peruana Unión. Lima. Asistente técnico en meta 238 del Gobierno regional de Ayacucho. Perú. Correo: marisolgaramendi@upeu.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1332-3396>

²Roberto Roland, Yoctun Rios. Asesor de Investigación Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Universidad Peruana Unión. Lima. Perú. Correo: robertoyoctun@upeu.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0927-7829>

ABSTRACT

Concrete is the most widely used component in the construction sector, however, its exposure to the environment usually influences its behavior, which is why experts continually investigate to ensure that it meets or satisfies the specifications for which it was made. Therefore, the main objective of this work was to determine how recycled glass contributes to the mechanical properties of self-compacting concrete and its capacity for use in the city of Ayacucho, Peru. Experimentation was carried out with a standard sample and others were 7,5%, 15%, 22,5% and 30% of fine aggregate was partially replaced by recycled glass. From this study, the results obtained showed that the incorporation of glass increased the compressive strength by 13,01%, the tensile strength by 17,75%, the flexural strength improved by 27,87% and the resistance The durability to magnesium sulfate, which must be less than 15%, complies with the 3 additions, the concrete with the replacement of 30% AF by VR does not comply with the parameter. Finally, mention that, with respect to the pattern concrete, the possibility of its usability being greater is increased due to the significant improvements and its resistance to weathering due to durability.

Keywords: *fine aggregate; recycled glass; concrete blocks; coarse aggregate*

1. INTRODUCCIÓN

El concreto es el componente con mayor uso en la industria constructiva, por lo que la contaminación que genera durante su producción repercute en el medio ambiente. Por ello, numerosas organizaciones y universidades de todo el mundo investigan actualmente el uso de materiales eco amigables en la producción de concreto, con el objetivo de disminuir la dependencia de materias primas no renovables en estos sectores industriales y, al mismo tiempo, promover el uso de materiales reciclados como criterio de sostenibilidad. Muchos son los factores que conllevaron al deterioro de las estructuras de concreto armado; estas pueden estar vinculadas o asociadas al proceso constructivo, la calidad de los agregados, el diseño de la estructura, agentes externos como el sometimiento a condiciones de cambios bruscos de temperatura, entre otros. Pero lo cierto es que, cualquiera sea la causa siempre traerá consigo efectos que llevan desde la pérdida económica de la inversión que se hizo por el no cumplimiento de su tiempo de vida, hasta la pérdida de vidas humanas ocasionada por el colapso total [1].

En caso de aquellos factores que pueden afectar directamente la durabilidad del concreto están el proceso de una mala vibración del concreto, pues más allá de solo eliminar aire dentro de la mezcla, con el correcto vibrado se puede obtener mejoras en cuanto a propiedades de resistencia, mayor durabilidad de la estructura evitando fenómenos como segregación de materiales y evitando también las famosas cangrejas [2]. Por otro lado, en la ciudad de Ayacucho en Perú, entidades como Qali Warma promueven el manejo de residuos sólidos tales como metales y vidrio como un medio para el cuidado del medioambiente, de ello que, la Municipalidad de Ayacucho lanzó un programa de recolección de residuos sólidos como

[Revista Gaceta Técnica](#), Artículo de Investigación. 25(2), 74-89, julio-diciembre, 2024

ISSN: 2477-9539



los anteriores mencionados, para posterior a ello disponer de ellos [3].

Es por ello que nació la idea del concreto autocompactante con incorporación de Vidrio Reciclado (VR), para dar solución al problema que tienen ciertas estructuras para completar la consolidación del concreto debido a factores arquitectónicos o de diseño, lo que puede generar consecuencias que terminen en el incremento del deterioro del concreto y la adición del VR, para mejorar las características mecánicas del concreto. Además, este tipo de concreto otorga beneficios en cuanto a resistencia y durabilidad ante climas muy fríos y dado que la ciudad de Ayacucho presenta esta problemática se buscó determinar de qué manera contribuye el vidrio reciclado en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante y su capacidad de uso en la zona de estudio [4].

2. DESARROLLO

Existen múltiples maneras de prevenir la corrosión y deterioro del concreto, pero queda a criterio del especialista percibir la más adecuada, ya sea en términos económicos como técnicos pues a largo plazo termina siendo beneficioso para la estructura, pues esta no presentará interferencias para desarrollar su función a causa de fallas o anomalías que se puedan presentar en el concreto durante su tiempo de vida asegurando también un correcto comportamiento estructural, evitando así pérdidas económicas [5]. Las propiedades de concreto autocompactante son una excelencia para la ingeniería, aunque su aplicación en la ingeniería civil se encuentra limitada por la falta de estudios sobre su implementación. El concreto autocompactante muestra una resistencia excelente a climas helados, además que con ciertas incorporaciones logra tener una adecuada trabajabilidad, resistencia y densidad [5].

Por otro lado, el proceso del vibrado del concreto en el sector constructivo resulta de gran trascendencia respecto al parámetro de durabilidad presente en la estructura. En su estado fresco, se somete a vibraciones de frecuencias muy elevadas de manera inmediata, posteriormente a su vaciado, por medio de vibradores que se ejecutan a través de la electricidad o del aire a presión comprimido. Con dicho proceso, la mezcla obtenida de acuerdo al diseño adquiere una mejor fluidez respecto a su consistencia, con lo cual, se cubren los espacios de forma homogénea para hacer que el acero se adhiera de una manera más accesible. El Perú es un país con mucha diversidad climatológica, lo que hace que cada construcción noble sea enfocada de distinta manera dependiendo de su ubicación geográfica. Sin embargo, una de las grandes constantes en nuestro país es la alta humedad, particularmente en las ciudades como Ayacucho, que se destaca por tener elevados niveles de

humedad y bajas temperaturas [6].

En esta ciudad, la humedad y el frío son uno de los factores climáticos que más destaca su presencia siendo en muchas veces incontrolable. Los efectos de ello, se evidencian con notoriedad y suelen ser las causas de otros factores problemáticos, como la humedad considerada lesión del ámbito físico, por el hecho de originarse de manera frecuente a raíz de fenómenos del tipo atmosférico, no obstante, ello puede regenerarse en procedimientos físicos y químicos, con lo cual da paso a otra serie de factores, dado que el agua es el medio ideal para que erosiones, oxidaciones, microorganismos y otros procesos químicos se desarrollen. Es por ello, Reyes y Echevarría [7] en su tesis implementaron un concreto autocompactante con aditivo de Sika Viscocrete (<https://per.sika.com/dms/getdocument.get/091e1eb0-6ebc-3829-b359-3850e50616e8/HT-SIKAVISCOCRETE3330>), consiguiendo resultados favorables en cuanto a la resistencia del concreto, obteniendo un buen desempeño durante las épocas frías.

Anco y Sarmiento [8] muestran en su investigación que adicionar VR en el concreto autocompactante genera una mejora significativa del 26%. De la misma manera Rivas [9] menciona en su investigación que adicionar vidrio en el concreto genera mejoras significativas de resistencia en las propiedades mecánicas del concreto con una dosificación óptima de 20% de adición. Por otro lado, Singh y Siddique [10] muestran en su investigación que la adición de vidrio triturado en dosificaciones de 0, 10, 20, 30, 40 y 50% y que en los ensayos de tracción, compresión y flexión los resultados dieron valores negativos a lo esperado ya que con cada dosificación las propiedades mecánicas son afectadas y disminuyen sus valores, concluyendo así que adicionar vidrio reciclado no es favorable para el concreto autocompactante.

Los objetivos planteados para esta investigación se relacionan se relacionan con la ingeniería y la tecnología, pero muy especialmente con el medio ambiente. Dado que el VR es un material de desecho, por lo que se reducen los costos asociados a la producción de materiales de construcción, la novedad de la reutilización de este material en el concreto es referida a la protección ambiental, asociada a la reducción de la cantidad de residuos sólidos producidos. Por lo que, de acuerdo a lo antes mencionado este estudio de investigación tiene objetivo evaluar la efectividad del uso de VR en el diseño de concreto, para lo que es necesario determinar de qué manera contribuye en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante y su capacidad de uso en la zona de estudio.

3. METODOLOGÍA

La investigación se enfocó en el análisis cuantitativo de datos, ya que se recopilaban mediciones numéricas y se llevó a cabo un análisis estadístico con el fin de probar una hipótesis específica y desarrollar pautas de comportamiento, respaldadas por evidencia empírica. Al adoptar un enfoque cuantitativo, se utilizaron técnicas y herramientas estadísticas para analizar los datos recopilados y probar la teoría propuesta [11].

En cuanto al método de investigación utilizado, se propuso una solución a un problema basándose en una teoría, en este caso se trata de la incorporación de VR en el concreto autocompactante para mejorar sus cualidades mecánicas teniendo en cuenta al mismo tiempo consideraciones técnicas y financieras, donde en este caso para determinar si puede utilizarse en la construcción es necesario verificar no solo sus características técnicas sino también su viabilidad económica. El análisis de los objetivos determina si el uso del vidrio aumenta el valor de las propiedades mecánicas del concreto, para el cual se diseñó la mezcla, reduciendo así el costo al reducir la cantidad de material requerido para lograr el incremento de la resistencia en las propiedades mecánicas, en comparación de un concreto sin vidrio, para lo que es necesario realizar un cálculo comparativo del concreto patrón y el concreto con incorporación de VR.

En cuanto al nivel de investigación, este estudio se clasificó como explicativo, dado que se va a llevar a cabo el estudio de una nueva tecnología por medio de la realización de ensayos de laboratorio que sustenten lo manifestado y con ello detallar su viabilidad tanto técnica como económica para su uso en edificaciones. En lo que respecta al diseño, se clasificó como cuasiexperimental, ya que, se manipuló la variable independiente el VR, con el propósito de analizar de qué manera afecta a la variable dependiente: las características mecánicas del concreto [11].

Respecto a las técnicas e instrumentos empleados, como técnicas se recurrió a la observación y al análisis documental, la primera se utilizó para identificar los resultados de los diferentes ensayos como el de resistencia a la compresión, tracción, flexión y durabilidad. Mientras que con el segundo se calculó los esfuerzos permitidos, así mismo, se verificó si se cumplen con los lineamientos o parámetros establecidos por Normas Técnicas Peruanas [12] e internacionales [13] para llevar a cabo un correcto diseño de mezcla y una correcta evaluación de los efectos de los ensayos realizados, donde se realizaron 45 probetas circulares para el ensayo de resistencia a la compresión simple del concreto, 45 vigas rectangulares para el ensayo de resistencia a tracción indirecta, 30 vigas rectangulares simplemente apoyadas para

el ensayo de resistencia a la flexión del concreto con cargas a los tercios del tramo y 5 probetas desgastadas para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio. Para llevar a cabo estas actividades, se utilizaron instrumentos como la guía de observación y guía de análisis documental.

Por otro lado, para la elaboración de las probetas de concreto con la adición de VR se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- **Recolección de materiales:** En este punto se realizó la compra de los materiales, tales como agregados y cemento, así mismo se recolectó el vidrio reciclado, los cuales provienen de una variedad de envases de alimentos, bebidas y productos farmacéuticos, estos debido a la falta de equipo de seguridad al manipular inicialmente las muestras de vidrio los recicladores lo recolectan, clasifican por color y lo trituran, ya que en la zona de influencia y realización del presente artículo no se cuenta con equipo especializado para el manejo de dicho insumo.
- **Estudio de los materiales:** Se estudiaron las propiedades de los agregados como análisis granulométrico, peso unitario, contenido de humedad, porcentaje de absorción y peso específico, con el fin de determinar que estos cumplan con los requerimientos que indican las Normas Técnicas Peruanas [12].
- **Diseño de mezcla del concreto Patrón y concreto con adición de VR:** Conociendo las propiedades de los materiales se procedió a determinar la dosificación de los materiales en base a la Norma ACI [13]. Para posteriormente realizar el vaciado de la mezcla a los moldes y con ello realizar los ensayos correspondientes.
- **Elaboración de probetas cilíndricas y vigas rectangulares del concreto Patrón y concreto con adición de VR:** El proceso de elaboración se realizó en las instalaciones del Laboratorio Casagrande (<https://www.facebook.com/people/Casagrande-Geotecnia-Concreto-y-Pavimentos/100077864046528/>), bajo la supervisión de dichos especialistas y en participación con la autores del presente artículo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diseño de Mezcla del Concreto Autocompactante Patrón

Se identificaron las propiedades de los agregados, que este caso fueron arena gruesa (AF) y piedra chancada de 1/2" (AG), obteniendo los resultados que se mencionan en la Tabla 1:

Tabla 1. *Propiedades físicas del agregado del concreto Patrón. Fuente: los autores*

Propiedad física	AG	AF
% Finos	0,8	2,9
Contenido de Humedad (%)	0,35	3,44
% Absorción	1,01	2,86
Peso unitario suelto PUS (gr/cm ³)	1397	1695

Peso unitario compactado PUC (gr/cm ³)	1539	2858
Gravedad Específica de Masa	2,68	2,7
Porcentaje de vacíos suelto (%)	47,8	37,2
Porcentaje de vacíos varillado	42,5	31,1

4.2. Determinación del Porcentaje de Incorporación de VR

En base a una revisión de antecedentes se optó por incorporar VR en porcentajes del 7,5%, 15%, 22,5% y 30%. Por lo que se evaluaron las propiedades de los agregados para el concreto con los porcentajes de sustitución mencionada en el diseño del concreto autocompactante.

Tabla 2. Propiedades físicas del del agregado del concreto con sustitución de VR. Fuente: los autores

Porcentajes de adición	7,5%		15%		22,5%		30%	
	AG	AF	AG	AF	AG	AF	AG	AF
Propiedad física								
% Finos	0,8	2,7	0,8	2,4	0,8	2,1	0,8	1,6
Contenido de humedad (%)	0,35	3,21	0,35	3,18	0,35	3,21	0,35	2,88
% Absorción	1,01	2,71	1,01	2,56	1,01	2,71	1,01	1,83
Peso unitario suelto PUS (gr/cm ³)	1397	1635	1397	1577	1397	1572	1397	1572
Peso unitario compactado PUC	1539	1848	1539	1792	1539	1779	1539	1779
Gravedad específica de masa	2,68	2,7	2,68	2,69	2,68	2,69	2,68	2,69
Porcentaje de Vacíos suelto (%)	47,8	39,4	47,8	41,3	47,8	41,5	47,8	41,2
Porcentaje de vacíos varillado	42,5	31,5	42,5	33,3	42,5	33,8	42,5	33,4

4.3. Evaluación de las Propiedades Mecánicas del Concreto con VR

Se examinaron el conjunto de propiedades mecánicas del concreto autocompactante y se analizó la resistencia a tracción, compresión, flexión y durabilidad al MgSO₄.

Resistencia a la compresión

En la Tabla 3 se detalla los valores obtenidos de la resistencia a compresión (F'_c) del concreto al sustituir parcialmente la AF por VR en diferentes porcentajes: 7,5%, 15%, 22,5% y 30%.

Tabla 3. Resistencia a compresión del concreto con sustitución de VR. Fuente: los autores

Ensayo (kg/cm ²)	Edad (días)	Concreto patrón (CP)	CP+ 7,5% VR	CP+ 15% VR	CP+ 22,5% VR	CP +30% VR
F'_c	7	199,1	210,5	227,5	211,8	206,0
F'_c	14	257,2	272,5	297,0	277,5	275,0
F'_c	28	277,4	292,9	313,5	299,5	283,0

Resistencia a tracción

En la Tabla 4, se muestra en detalle la resistencia a tracción del concreto al sustituir parcialmente la AF por VR en diferentes porcentajes: 7,5%, 15%, 22,5% y 30%.

Tabla 4. Resistencia a compresión del concreto con sustitución de VR. Fuente: los autores

Ensayo (kg/cm ²)	Edad (días)	Concreto patrón (CP)	CP+ 7,5% VR	CP+ 15% VR	CP+ 22,5% VR	CP +30% VR
F'_c	7	18,1	20,7	21,6	19,3	16,6
F'_c	14	21,1	23,4	24,4	22,0	19,1
F'_c	28	23,1	25,6	27,2	23,4	20,9

Resistencia a flexión

En la siguiente Tabla 5, se presenta una descripción detallada de la resistencia a flexión del concreto al sustituir parcialmente la AF por VR en diferentes porcentajes: 7,5%, 15%, 22,5% y 30%.

Tabla 5. Resistencia a compresión del concreto con sustitución de VR. Fuente: los autores

Ensayo	Edad (días)	Concreto patrón (CP)	CP+ 7,5% VR	CP+ 15% VR	CP+ 22,5% VR	CP +30% VR
Mr promedio	14	26,85	28,30	33,49	26,74	23,85
Mr promedio	28	32,44	38,85	41,48	36,02	33,62

Durabilidad al Sulfato de Magnesio

En la Tabla 6, se proporciona una descripción detallada de la durabilidad del concreto frente a la exposición al sulfato de magnesio, con la sustitución parcial de la AF por VR en diferentes porcentajes: 7,5%, 15%, 22,5% y 30%.

Tabla 6. Durabilidad al Sulfato de Magnesio del concreto con sustitución de VR. Fuente: los autores

Muestra	Durabilidad al sulfato de magnesio
Concreto patrón (CP)	10,3%
CP+92,5%AF+7,5% VR	12,4%
CP+85%AF+15% VR	13,3%
CP+77,5%AF+22,5% VR	14,8%
CP+70%AF+30% VR	18,8%

4.4. Análisis Comparativo del Concreto Autocompactante Patrón y con incorporación de VR

Resistencia a compresión

De acuerdo al gráfico mostrado en la Figura 1, el concreto con una sustitución del 15% de AF por VR logró la mayor resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días, superando la resistencia de diseño en un 8%, 41% y 49%, respectivamente.

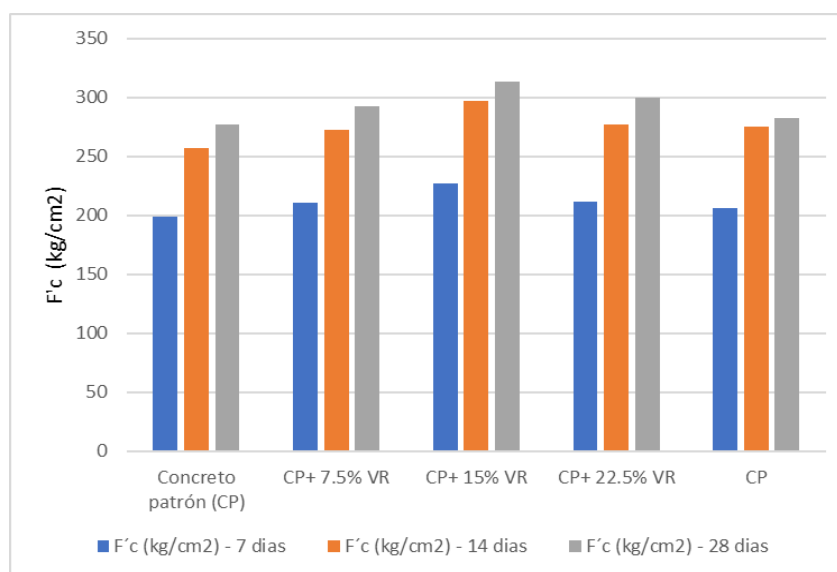


Figura 1. Comparación de la resistencia a compresión entre concretos. Fuente: los autores

Resistencia a tracción

Con una sustitución del 15% de AF por VR en el concreto, se logró la mayor resistencia a tracción a los 7, 14 y 28 días con valores de 21,6 kg/cm², 24,4 kg/cm² y 27,2 kg/cm² respectivamente (ver Figura 2).

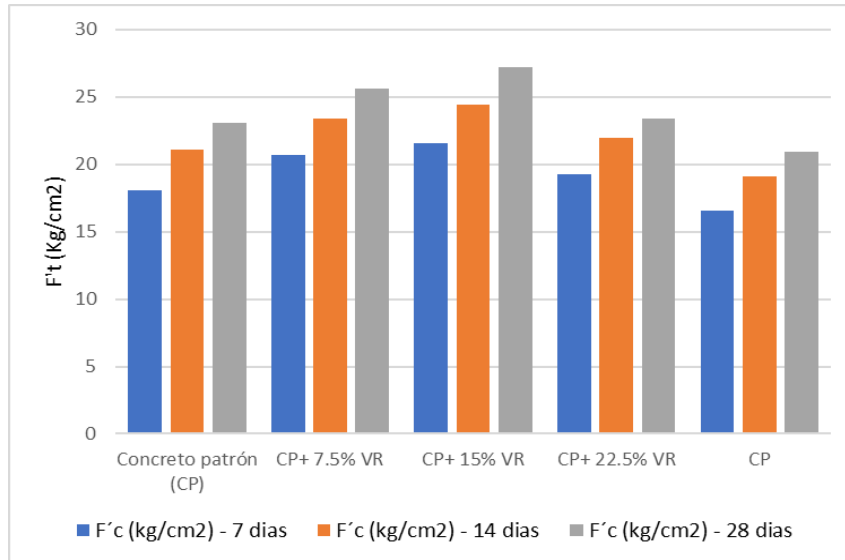


Figura 2. Comparación de la resistencia a tracción entre concretos. Fuente: los autores

Resistencia a flexión

Con una sustitución del 15% de AF por VR en el concreto, se logró la mayor resistencia a flexión a los 14 y 28 días con valores de 33,49 kg/cm² y 41,48 kg/cm² respectivamente (ver Figura 3)

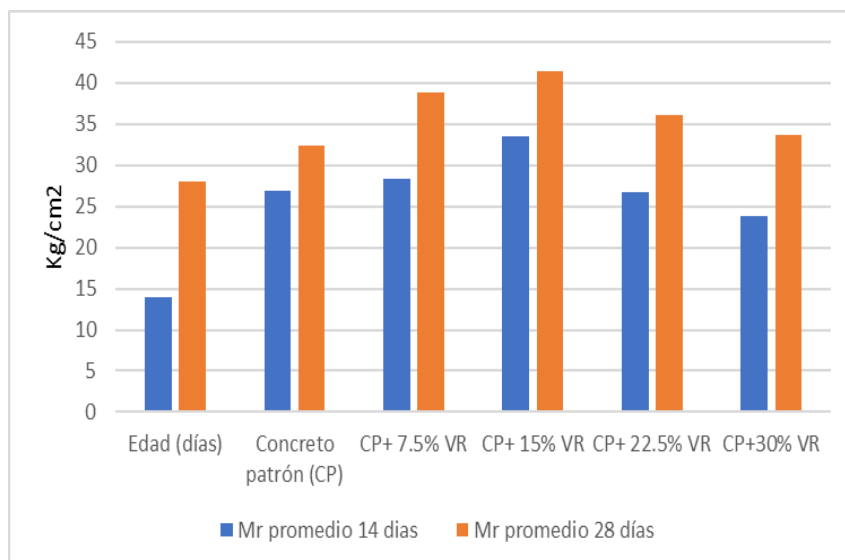


Figura 3. Comparación de la resistencia a flexión entre concretos. Fuente: los autores

Durabilidad al Sulfato de Magnesio

La durabilidad al Sulfato de Magnesio del concreto, según la norma NTP 400.016 [12],

deberá ser menor al 15%, observándose en la Figura 4 que el concreto con la sustitución del 30% de AF por VR no cumple con dicho parámetro.

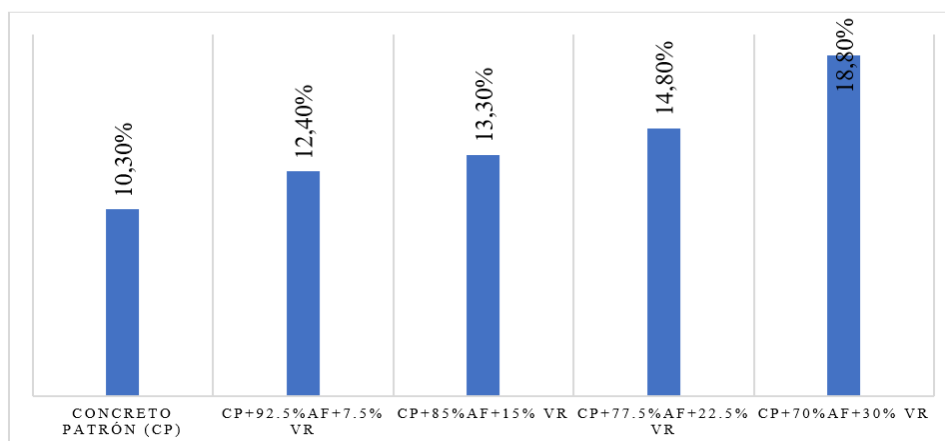


Figura 4. Comparación de la durabilidad al Sulfato de Magnesio entre concretos. Fuente: los autores

4.5. Costo del concreto autocompactante Patrón y con incorporación de VR

A continuación, se presenta el desglose del presupuesto del concreto autocompactante, tanto con la incorporación de VR como sin ella. El costo por m³ de concreto autocompactante Patrón es de 333,58 nuevos soles. Mientras que el costo por m³ del concreto con la incorporación óptima de vidrio reciclado fue de 332,770 nuevos soles, por lo que es notoria una reducción en el costo por m³ de concreto al reemplazar con el VR en un 15% por agregado (ver Tablas 7 y 8)

Tabla 7. Costo por m³ de concreto autocompactante Patrón. Fuente: los autores

Descripción	Cantidad	P.U.	P.P.
Cemento	8,220	28,000	230,160
Arena gruesa	0,540	30,000	16,200
Piedra chancada 1/2"	0,680	55,000	37,400
Aditivo	2,491	20,000	49,820
TOTAL			333,580

Tabla 8. Costo por m³ de concreto autocompactante con sustitución de VR en un 15%. Fuente: los autores

Descripción	Cantidad	P.U.	P.P.
Cemento	8,220	28,000	230,160
Arena gruesa	0,459	30,000	13,770
Piedra chancada 1/2"	0,680	55,000	37,400
Aditivo	2,491	20,000	49,820
Vidrio reciclado	0,081	20,000	1,620
TOTAL			332,770

4.6. Análisis Estadístico

A continuación, se presenta el análisis estadístico de los ensayos practicados, para ello se contempló la prueba estadística ANOVA y Levene, esta última se utilizó para verificar si las varianzas de distintas muestras son iguales antes de realizar un análisis de varianza

(ANOVA), que compara las medias de varios grupos para detectar diferencias significativas entre al menos uno de ellos; ANOVA es útil para identificar diferencias entre tratamientos en un experimento [15]. En la Tabla 9 se muestran los resultados de la prueba Kruskal-Wallis del ensayo de resistencia a la compresión, en la cual se pudo determinar que la significancia es menor a 0,018 por lo que se realiza una prueba de Levene. Y en la Tabla 10, se puede evaluar que la significancia es mayor a 0,05, por lo que se concluyó que por lo menos una de las incorporaciones tiene una causa efecto sobre la propiedad de resistencia a la compresión del concreto.

Tabla 9. Prueba Kruskal-Wallis para resultados de la prueba de resistencia a la compresión del concreto.

Fuente: los autores

Resistencia a la compresión a los 28 días	
H de Kruskal-Wallis	11,900
Grados de libertad	4
Significancia	0,018

Tabla 10. Prueba Levene para resultados de la prueba de resistencia a la compresión del concreto. Fuente: los autores

Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.	
Resistencia a la compresión a los 28 días	Conforme a la media	1,841	4	10	0,198
	Conforme a la mediana	0,216	4	10	0,924
	Conforme a la mediana y con grado de libertad ajustado	0,216	4	4,244	0,917
	Conforme a la media recortada	1,628	4	10	0,242

En la Tabla 11 se detalla la prueba de ANOVA practicada a la propiedad de resistencia a la tracción, en donde se obtuvo una significancia menor a 0,05, por lo que se procedió a realizar una prueba de Levene mostrada en la Tabla 12, donde se puede apreciar que la significancia es mayor a 0,05 en la prueba de Levene, por lo que se concluye que por lo menos una de las incorporaciones tiene una causa efecto sobre la propiedad de resistencia a la tracción del concreto.

Tabla 11. Prueba Kruskal-Wallis para resultados de la prueba de resistencia a la tracción del concreto. Fuente: los autores

	Sumatoria de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre el grupo	71,418	4	17,854	12,443	0,001
Dentro del grupo	14,348	10	1,435		
Total	85,766	14			

Tabla 12. Prueba Levene para resultados de la prueba de resistencia a la tracción del concreto. Fuente: los autores

Pruebas de homogeneidad de varianzas		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Resistencia a tracción a los 28 días	Conforme a la media	6,298	4	10	0,008
	Conforme a la mediana	0,512	4	10	0,729
	Conforme a la mediana y con grado de libertad ajustado	0,512	4	4,388	0,733
	Conforme a la media recortada	5,134	4	10	0,016

Por último, se realizó el análisis estadístico a la propiedad de módulo de rotura, la prueba de ANOVA (ver Tabla 13) dio como resultado una significancia igual a 0,00 por lo que se tuvo que realizar una prueba de Levene (ver Tabla 14)

Tabla 13. Prueba ANOVA para propiedad del módulo de rotura del concreto. Fuente: los autores

	Suma del cuadrado	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre el grupo	166,165	4	41,541	20,925	0,000
Dentro de grupos	19,853	10	1,985		
Total	186,017	14			

Tabla 14. Prueba Levene para propiedad del módulo de rotura del concreto. Fuente: los autores

Pruebas de homogeneidad de varianzas		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Módulo de rotura a los 28 días	Conforme a la media	1,470	4	10	0,282
	Conforme a la mediana	0,526	4	10	0,719
	Conforme a la mediana y con grado de libertad ajustado	0,526	4	6,425	0,722
	Conforme a la media recortada	1,388	4	10	0,306

Mientras que en la Tabla 15 se puede observar que, al realizar la prueba de ANOVA para evaluar la propiedad de durabilidad al Sulfato de Magnesio, se obtuvo un valor de significancia inferior a 0,05, lo que indica que existe una diferencia significativa entre los grupos. Como siguiente paso, se llevó a cabo una prueba de Levene. En la que se puede apreciar que la significancia es mayor a 0,05, por lo que se concluyó que por lo menos una de las incorporaciones tiene una causa efecto sobre la propiedad de durabilidad al sulfato del concreto (Ver tabla 16).

Tabla 15. Prueba ANOVA para propiedad durabilidad al Sulfato de Magnesio. Fuente: los autores

	Sumatoria de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre el grupo	120,962	4	30,241	63,027	0,000
Dentro del grupo	4,798	10	0,480		
Total	125,760	14			

Tabla 16. Prueba Levene para propiedad durabilidad al Sulfato de Magnesio. Fuente: los autores

Pruebas de homogeneidad de varianzas		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Durabilidad al Sulfato de Magnesio	Conforme a la media	0,211	4	10	0,927
	Conforme a la mediana	0,200	4	10	0,933
	Conforme a la mediana y con grado de libertad ajustado	0,200	4	8,520	0,932
	Conforme a la media recortada	0,210	4	10	0,927

4.7. Capacidad de Uso

En base a los resultados, se observa que el concreto experimenta cambios significativos en términos de resistencia, generando mejoras significativas con un porcentaje más alto de 13,01% con la adición de 15% de VR. Además, se tiene una mejora significativa de resistencia a tracción de 17,75% con el mismo diseño de 15% de VR, una mejora de 27,87%

de resistencia a flexión y un mejoramiento de 18,8% en durabilidad por exposición al Sulfato de Magnesio, lo que permite que el concreto autocompactante imponga mayor demanda de uso debido a los grandes aportes que tiene el VR, garantizando mejoras en propiedades y resistencia a la intemperie por durabilidad.

Con los resultados se demuestra que la incorporación de VR en el concreto autocompactante genera una influencia positiva ya que mejora las propiedades del mismo, donde el concreto a compresión alcanza una resistencia máxima de 313,5 kg/cm² y el diseño Patrón un valor de 277,4 kg/cm², de la misma manera la resistencia a flexión tiene una resistencia máxima de 41,48 kg/cm² y el diseño patrón un valor de 32,44 kg/cm², y la tracción una resistencia máxima de 27,2 kg/cm², y el diseño patrón un valor de 23,1 kg/cm². Por otro lado, la durabilidad se mejora ya que el diseño Patrón alcanza un valor de 10,3% y con VR llega a un valor óptimo de 18,8%. Finalmente, el costo tiene un ligero cambio por lo que no se considera una mejora significativa en ese sentido.

Del mismo modo se concuerda con Anco y Sarmiento [8], ya que en su investigación buscaron generar mejoras en el concreto autocompactante con la adición de vidrio molido, el cual generó significancia con un valor de 26% de incremento en la resistencia a compresión del concreto. Así mismo H. Singh y S. Rafat [10] muestran en su investigación que incluir en el diseño de mezclas del concreto autocompactante genera mejoras significativas en las propiedades mecánicas como la resistencia a compresión, flexión y tracción. Por otro lado, se discrepa con Singh y Siddique [11] ya que muestran que incorporar VR en dosificaciones entre el 10 y el 50% genera una disminución continua en los resultados de resistencia tanto en compresión, tracción y flexión, por lo que no recomiendan incluir vidrio molido en la mezcla de concreto.

5. CONCLUSIONES

Conforme al diseño de mezcla se evaluaron las propiedades de los agregados para el concreto con sustitución. Por lo que, se determinaron las propiedades del agregado fino el cual tiene un porcentaje de finos del 0,8%, contenido de humedad de 0,35%, absorción de 1,01%, peso unitario de 1397 gr/cm³. Del mismo modo se evaluaron las propiedades del agregado grueso, el cual tiene un porcentaje de finos del 2,9%, contenido de humedad de 3,44%, absorción de 2,86% y peso unitario de 1695 gr/cm³.

Por otro lado, el concreto Patrón a los 28 días tuvo una resistencia a compresión de 277 kg/cm², mientras que el concreto reemplazado con el 7,5%, 15%, 22,5% y 30% de AF por VR

alcanzó una resistencia de 292,9 kg/cm², 313,5 kg/cm², 299,5 kg/cm² y 283,0 kg/cm² respectivamente. Así mismo, el concreto Patrón alcanzó una resistencia a tracción de 23,1 kg/cm². Mientras que el concreto con el reemplazo del 7,5%, 15%, 22,5% y 30% alcanzó resistencias de 25,6 kg/cm², 27,2 kg/cm², 23,4 kg/cm² y 20,9 kg/cm² a los 28 días correlativamente. El módulo de rotura que alcanzó el concreto Patrón fue de 32,44 kg/cm², mientras que el concreto reemplazado con el 7,5%, 15%, 22,5% y 30% de vidrio reciclado alcanzó un módulo de rotura de 38,85 kg/cm², 41,48 kg/cm², 36,02 kg/cm² y 33,62 kg/cm² respectivamente.

Con respecto a la durabilidad del concreto Patrón ante el Sulfato de Magnesio es de 10,3%, la durabilidad del concreto reemplazado con el 7,5% de arena por VR fue de 12,4%, la del concreto sustituido en 15% por VR fue de 13,3%, mientras que la resistencia al desgaste del concreto sustituido parcialmente por el VR en 22,5% fue de 14,8% y por último la resistencia ante el Sulfato de Magnesio del concreto al reemplazar el 30% de arena por VR fue de 18%.

Se obtuvo como resultados que la incorporación de VR en 15% fue la óptima, debido a que incrementó la resistencia a compresión en 49%, la resistencia a tracción aumentó en 17% y la resistencia a flexión mejoró en un 34% respecto al concreto Patrón. El costo por m³ de concreto autocompactante patrón fue de 333,58 nuevos soles, mientras que el costo por m³ del concreto con la incorporación óptima de VR fue de 332,770 nuevos soles, por lo que es notorio una reducción en el costo por m³ de concreto reemplazado con el VR en un 15% por agregado. Los resultados obtenidos muestran que el VR puede sustituir eficazmente al AF, en diseños de mezcla de concreto autocompactante, en una proporción recomendable de 15%, donde estaríamos ante un material obtenido a partir de residuos, esto implicaría menores costos y una oportunidad para reducir la contaminación ambiental a través de la ingeniería civil.

6. FINANCIAMIENTO

La investigación fue financiada en su totalidad por la autora de la tesis, contando con el apoyo del Laboratorio Casa Grande (<https://www.facebook.com/profile.php?id=100077864046528>), en el cual se realizaron la totalidad de los ensayos.

7. CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

8. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización y metodología: M.B., R.Y.; pruebas: M.B.; supervisión: R.Y.

9. REFERENCIAS

- [1] A. Giménez, M. Olavarrieta, L. Silva y H. Gallegos, “Estudio físico mecánico de concretos sustituidos con polvo de sílice expuestos e ambiente agresivo simulado”, *Gaceta Técnica*, vol. 2, n° 19, pp. 37-50, 2018
- [2] G. Alarcón, “Los principales factores que generan situaciones de segregación escolar entre los establecimiento educacionales de enseñanza media en Chile, durante los últimos 10 años”, Trabajo de Grado, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, 2020
- [3] Municipalidad de Ayacucho, “Quiero mi ciudad + limpia”, Disponible en: <https://www.ayacucho.gob.ar/quiero-mi-ciudad-limpia>, 2021
- [4] S. Prabhu, R. Anuradhab y A. Belin, “Understanding the mining waste as resources in self-compacting concrete: A numerical study on sustainable construction”, *Resources Policy*, vol. 78, 2022
- [5] S. Kumar, K. Ashidhb, H. S. Sharma, J. Patel y Z. Rudzionis, “Lightweight self-compacting concrete: A review”, *Resources, Conservation & Recycling Advances*, vol. 15, 2022
- [6] O. Silva, “La importancia del vibrado del concreto”, Disponible en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/importancia-del-vibrado-en-el-concreto>, 2018
- [7] C. Reyes y T. Echevarría, “Influencia del aditivo Sika Viscocrete-3330 en el Ensayo de Resistencia a la Compresión y en las Propiedades de un Concreto Autocompactante para Elementos Verticales, Trujillo 2019”, Trabajo de Grado, Universidad Privada del Norte, 2019
- [8] G. Anco y O. Sarmiento, “Influencia del vidrio molido reciclado como agregado fino para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto”, Trabajo de Grado, Universidad Ricardo Palma, 2021
- [9] E. Rivas, “Adición de vidrio molido en la resistencia a la compresión del concreto, Trujillo–LaLibertad”, Trabajo de Grado, Universidad César Vallejo, 2020

- [10] H. Singh y S. Rafat, "Utilization of crushed recycled glass and metakaolin for development of self-compacting concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 348, pp. 1-16, 2022
- [11] Hernández et al., "*Metodología de la Investigación*", México D.F: Mc Graw Hill Education, 2018
- [12] Norma Técnica NTP 400.016, "AGREGADOS. *Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio*", INACAL, Perú, 2020
- [13] ACI 318, "*Reglamento de Construcciones del American Concrete Institute*", American Concrete Institute, USA, 2008
- [14] NTP 400.016, "AGREGADOS. *Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio*", INACAL, Perú, 2020
- [15] R. Emerson, "ANOVA Assumptions," *Journal of Visual Impairment & Blindness*, vol. 116, no. 4, pp. 585-586, 2022