

INFLUENCIA DEL VIDRIO RECICLADO COMO AGREGADO FINO EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO EXPUESTO AL GRADIENTE TÉRMICO DE HUANCAYO - 2022

INFLUENCE OF RECYCLED GLASS AS FINE AGGREGATE ON THE RESISTANCE OF CONCRETE EXPOSED TO THE THERMAL GRADIENT OF HUANCAYO - 2022

Recibido: 09/05/22 Aceptado: 30/06/22

DOI: <http://doi.org/10.47190/nric.v4i1.10>

Abel Catunta Soncco

<https://orcid.org/000-0002-1525-8579>

abelcs@ucvvirtual.edu.pe - Universidad Cesar Vallejo

Yéssica Janet Andía Arias

<https://orcid.org/0000-0002-6084-0672>

jandiar@ucvvirtual.edu.pe - Universidad Cesar Vallejo

RESUMEN

Se planteó el objetivo de determinar la influencia del vidrio reciclado como agregado fino en la resistencia del concreto expuesto al gradiente térmico de Huancayo.

Siendo una investigación aplicada con diseño experimental, se elaboraron testigos y vigas de concreto para evaluarlos a los 7, 14 y 28 días, para resistencia a la compresión y 28 días para resistencia a la flexión, considerando mezclas de 0, 10 y 20 % de vidrio triturado mezclado con el agregado fino. Además, la mitad de testigos curados en temperatura óptima y la otra expuesta al gradiente térmico.

Los resultados de resistencia a la compresión fueron: 335, 377.8 y 405.7 kg/cm² (condiciones óptimas) y 317, 329 y 333.4 kg/cm² (expuestos al gradiente térmico). Por otro lado, para resistencia a la flexión: 3.9, 4.2 y 4.5 Mpa (condiciones óptimas) y 3.7, 4.0 y 4.2 Mpa (expuestas al gradiente térmico).

Finalmente, se concluyó que la resistencia del concreto aumenta a medida que se eleva el porcentaje de adición de vidrio triturado, es decir, existe una mejora del 20% y 15% en función a los indicadores, asimismo, el método de curado tuvo una influencia directa en la resistencia del concreto.

Palabras Clave: vidrio reciclado, resistencia del concreto, gradiente térmico.

ABSTRACT

The objective was to determine the influence of recycled glass as fine aggregate on the resistance of concrete exposed to the thermal gradient of Huancayo.

Being an applied investigation with an experimental design, witnesses and concrete beams were elaborated to evaluate them at 7, 14 and 28 days, for resistance to compression and 28 days for resistance to bending, considering mixtures of 0, 10 and 20% of crushed glass mixed with fine aggregate. In addition, half of the controls cured at optimal temperature and the other exposed to the thermal gradient.

The compressive strength results were: 335, 377.8 and 405.7 kg/cm² (optimal conditions) and 317, 329 and 333.4 kg/cm² (exposed to the thermal gradient). On the other hand, for flexural strength: 3.9, 4.2 and 4.5 Mpa (optimal conditions) and 3.7, 4.0 and 4.2 Mpa (exposed to the thermal gradient).

Finally, it was concluded that the resistance of the concrete increases as the percentage of addition of crushed glass rises, that is, there is an improvement of 20% and 15% depending on the indicators, likewise, the curing method had an influence directly on the strength of the concrete.

Keywords: Recycled glass, flexural strength, compressive strength.

INTRODUCCIÓN

El concreto ha sido considerado como un material muy utilizado en la construcción, tanto así, que en la actualidad el concreto es el material principal en el sector de la construcción; por ejemplo, en 2007, solo en EE. UU. Se produjeron cerca de ochocientos millones de toneladas, y la producción a nivel mundial fue 14 veces lo producido en Estados Unidos (Al Saffara et al., 2020). Entonces, hablando de la contaminación en el mundo, el área de construcción encabeza la gran producción de residuos (Méndez et al. 2010, p. 37). Además, existe una gran búsqueda alrededor de la reducción del costo de obra, mejorar las propiedades del concreto y al mismo tiempo tomar acción en el cuidado del medio ambiente, dicha búsqueda ha demostrado que muchos investigadores apoyan el reuso de diferentes materiales como adición positiva al concreto. (Xuan, Molenaar y Houben 2015).

En los últimos años, se han ido buscando otros métodos de reciclado de residuos de vidrio en los que la adaptación de los residuos a la nueva producción no tenga requisitos tan elevados (Mousa et al. 2017). Una industria que se menciona a menudo en este lugar es la producción de adiciones factibles para la construcción (Tayeh, 2018). El uso de vidrio para la producción de, por ejemplo, compuestos de concreto aporta ciertos beneficios en sus propiedades (Plank et al; 2015). Adicionalmente,

usar vidrio como adición para producir concreto es un proceso conocido y, de acuerdo a la forma usada, se pueden distinguir varias direcciones de tal actividad. El primero es el uso de fibras de vidrio, además de la segunda tendencia que implica el uso de vidrio en polvo, como compuestos adicional para el concreto (Ahmad et al, 2017). Las diferentes investigaciones de Zegardlo et al (2018), Elaqra y Rustom (2018) y, además de la de Hadhood et Al (2019) han demostrado que el polvo de vidrio puede aumentar significativamente los parámetros de resistencia del concreto. A continuación, se muestra un diagrama sobre los procedimientos por los que pasara el vidrio:



Figura 1. Diagrama de flujo del procesamiento del vidrio reciclado

Es importante resaltar, lo afirmado por investigaciones llevadas a cabo por Jubeh et al. (2019) Y Tayeh et al (2013); sobre el hecho de que la calidad del concreto elaborado con adiciones tiene relación directa con el porcentaje de reemplazo que se considerará en las investigaciones, además de que en la medida de lo posible, se debe de tratar de reducir las impurezas presentes en el vidrio a reciclar ya que éstas podrían afectar a la calidad del concreto.

El Perú es un país que no ha tenido muchos avances en el campo de la construcción sostenible, pero debido a sus diversas características geográficas y demográficas necesitan mejorar la calidad de sus construcciones (Peña, Terán y Builes – Jaramillo, 2018). Adicionalmente, cabe resaltar que el Perú tiene 38 tipos climas, según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - SENAMHI (2021), como resultado de la interacción entre los diferentes factores climáticos que lo aquejan, existen altos gradientes térmicos en diferentes zonas debido a su cercanía con la cordillera de los andes.

En Huancayo, los procesos de la urbanización y el crecimiento físico y demográfico han tenido un impacto muy grande en el centro del Perú, ya que es un eje comercial del centro del país y su población aumenta progresivamente tanto por los nacimientos como por la gran tasa de migración de los pobladores de lugares cercanos (Haller, 2017). De esta manera, a través de los años, se han van generando distintos tipos de necesidad, más que todo en la necesidad de vivienda, es decir que a medida que aumenta la población se necesitan más construcciones con la calidad necesaria que se necesita para cumplir con las necesidades de los beneficiarios y que sean, a su vez, económicas. El vidrio, es un material muy usado en esta ciudad, por lo que sus desechos también son cuantiosos y no son aprovechados, a pesar de que existen referentes que respaldan su uso como adición al concreto, como ejemplo se puede mencionar que Mousa et al (2017) apoya la reutilización de los residuos del vidrio transparente para la elaboración de concretos; pues el vidrio por sus características mecánicas es altamente reutilizable en la construcción, sobre todo en lugares con gradiente térmico tan alto que afecta al concreto, como lo prueban diferentes investigaciones como la de Quispe Amanqui (2017). Adicionalmente, es necesario considerar que Huancayo, al estar cerca de la cordillera de los andes, presenta condiciones adversas como el alto gradiente térmico que en combinación con las cargas a las que el concreto es sometido hace que los esfuerzos producidos causen deformaciones en el mismo, generando así posibles fallos en la construcción de estructuras o pavimentos (Quispe Abarca, 2020).

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la investigación se considerará el tipo de "investigación aplicada", También el método es el hipotético deductivo con un diseño experimental.

La técnica que se utilizó en esta investigación será la de observación en la que se usaron los instrumentos de recolección de datos como son formatos de granulometría para agregado fino y grueso (ASTM C136/C136-19), Diseño de Mezclas Modulo de Fineza, Rotura de especímenes cilíndricas de concreto, curado de probeta de concreto, Para el agregado grueso tales como formatos Durabilidad al sulfato de magnesio (NTP 400.016), Equivalente de arena (NTP 339.146), arcillas en terrones y partículas desmenuzables (NTP 400.015), Sulfatos (NTP 339.178), Impurezas orgánicas (MTC E213) y Cloruros (NTP 339.177). Para el agregado fino se emplearon formatos de durabilidad al sulfato de magnesio (NTP 400.016), % de caras fracturadas (MTC E210), Abrasión los ángeles (MTC E207), Arcillas en terrones y partículas desmenuzables (NTP 400.015), Sulfatos (NTP 339.178), % de chatas y alargadas (MTC E223) y Cloruros (NTP 339.177). Los agregados utilizados fueron de la cantera Pilcomayo – Junín, en las cantidades de 500kg de piedra chancada y 350kg de agregado fino siendo estas trasladadas al laboratorio para sus respectivas pruebas de gradación (granulometría) y calidad, según la norma NTP 400.037.

En cuanto al vidrio que se utilizó, se tomarán en cuenta todos los tipos de vidrio que puedan ser reciclados, se recolectarán de diversos lugares de la ciudad de Huancayo para luego ser triturados en una planta chancadora y finalmente ser tamizados a través de la malla N°4 con el fin de descartar el agregado grueso que pueda quedar. El valor de este procedimiento radica en que éste es el material que se adicionará al concreto, por lo que su trituración y posterior separación debe ser hecha de la mejor manera posible.

Para dosificar los componentes de este concreto, se mandarían las muestras necesarias de agregados al laboratorio, debido a que se confía en la experiencia del personal técnico que labora

en él. Además, el método de diseño de mezcla será el método del Módulo de finura, y considerará una resistencia a la compresión diseño de 280 kg/cm². Es necesario hacer hincapié en los porcentajes de reemplazo de vidrio triturado por agregado fino serán 0 %, 10 % y 20 %.

El procedimiento de mezcla del concreto, se debe realizar considerando la muestra que se detalla con los datos mostrados en la Tabla 1. Por lo tanto, serán 2 tipos de elaboración del concreto:

- Porcentaje de vidrio (0%): Se hará una mezcla de concreto típica.
- Porcentaje de vidrio (10 % y 20 %): La diferencia con una mezcla típica, es que al momento de incorporar los agregados, el agregado fino será reemplazado en relación con cada porcentaje de adición de vidrio triturado.

Después de realizar el mezclado, se moldearán los 72 testigos de concreto que fueron definidos en la muestra de esta investigación en los moldes correspondientes. Para ser desmoldados después de 24 horas como se muestra en el siguiente cuadro de muestras.

Tabla 1. Detalle de la cantidad de muestra

Indicadores	Cantidad de probetas por porcentaje de vidrio triturado						Edad
	Curado en Condiciones Óptimas			Curado Expuesto Al Gradiente Térmico			
	0%	10%	20%	0%	10%	20%	
Resistencia a compresión	3	3	3	3	3	3	7 días
	3	3	3	3	3	3	14 días
	3	3	3	3	3	3	28 días
Resistencia a flexión	0	0	0	0	0	0	7 días
	0	0	0	0	0	0	14 días
	3	3	3	3	3	3	28 días
Total de probetas	12	12	12	12	12	12	72

Luego, el proceso de curado se realizará con las probetas sumergidas bajo el agua, pero a la intemperie, por lo que el concreto estará expuesto al gradiente térmico de la ciudad de Huancayo, tal y como se cura el concreto de las construcciones de Huancayo.

Al término de cada lapso de tiempo establecido (7,14 y 28 días), una cantidad de probetas establecidas en el cuadro de muestra serán trasladadas hacia el laboratorio, se tomarán sus

medidas de los ensayos de resistencia a la compresión basado en la Norma NTP339.034/ASTM C-39 y resistencia a la flexión basado en la Norma ASTM C-78/39M-05 Y NTP 339.034, para luego ser sometidas a los ensayos necesarios en la máquina de compresión uniaxial. Finalmente, los datos obtenidos a través de estos ensayos serán procesados para su posterior análisis.

RESULTADOS

Características físico-mecánicas del agregado grueso

En la tabla 2 se muestran los diferentes datos que fueron obtenidos a través de los diferentes ensayos comprendidos según la norma, los cuales son seguidas a fin de conseguir el porcentaje de absorción y el peso específico de los agregados, dichos datos fueron de gran importancia para realizar los diseños de mezcla.

Tabla 2. Propiedades del agregado grueso

ENSAYO	Resultado	Norma	Parámetro	¿Cumple?
Durabilidad al sulfato de magnesio	1.431%	NTP 400.016	< 18%	SI
% de caras fracturadas	90.95%	MTC E210	-	SI
Abrasión los ángeles	19.18%	MTC E207	< 50%	SI
Arcilla en terrones y partículas desmenuzables	0.3	NTP 400.015	< 3%	SI
Sulfatos	98 ppm	NTP 339.178	< 12%	SI
% de chatas y alargadas	0.44%/1.67%	MTC E 223	-	SI
Cloruros	22 mg/kg	NTP 339.177	<150mg/kg	SI

Características físico-mecánicas del agregado fino

En la tabla 3 se muestran los diferentes datos que fueron obtenidos a través de los diferentes ensayos comprendidos en la norma NTP 400.037, los cuales son seguidas a fin de conseguir el porcentaje de absorción y el peso específico de los agregados, dichos datos fueron de gran importancia para realizar los diseños de mezcla.

Tabla 3. Propiedades del agregado fino mezclado con vidrio

ENSAYO	Resultado	Norma	Parámetro	¿Cumple?
Durabilidad al sulfato de magnesio	3.276%	NTP 400.016	< 15%	SI
Equivalente de arena	59%	NTP 339.146	> 75%	No
Pasante por la malla 200 por lavado	3.6%	NTP 339.132	< 5%	SI
Arcilla en terrones y partículas desmenuzables	0.7	NTP 400.015	< 5%	SI
Sulfatos	69 ppm	NTP 339.178	< 10%	SI
Impurezas orgánicas	1	MTC E 213	< 3	SI
Cloruros	21mg/kg	NTP 339.177	<150mg/kg	SI

Diseño de mezclas

En cuanto a la dosificación requerida para alcanzar la resistencia a la compresión de 280 kg/cm², se siguió el diseño de mezcla del método del Módulo de Finura. De esta manera, se tiene la siguiente dosificación:

Tabla 4. Dosificación de materiales para el diseño de mezclas

Diseño Práctico		
Materiales	Dosificación en Peso	Dosificación por Bolsa de Cemento
	(Kg/m ³)	(Kg/bolsa)
Cemento	446.25	42.5
Agua	215.63	20.54
Agreg.Grueso	839.66	79.97
Agreg.Fino	769.09	73.25
Diseño Teórico		
Materiales	Dosificación en Peso	Dosificación por Bolsa de Cemento
	(Kg/m ³)	(Kg/bolsa)
Cemento	403.74	42.5
Agua	215.82	22.72
Agreg.Grueso	819.04	86.22
Agreg.Fino	823.30	86.67

Resistencia a compresión

En las tablas 8, 9 y 10 se puede visualizar los resultados de la resistencia a la compresión, que fueron hallados siguiendo la norma ASTM C39/C39 M para hallar la resistencia a la compresión del concreto, considerando un porcentaje de 0%, 10% y 20% de vidrio reciclado, triturado y mezclado con el agregado fino, después de los 7, 14, 28 días de fragua. Además, se consideran los datos de los testigos curados en condiciones óptimas y los que fueron curados bajo la influencia del gradiente térmico.

Resistencia a la compresión a los 7 días

Después de vaciar el concreto, exactamente a los 7 días, los resultados mostrados en la tabla 5 fueron hallados, para su posterior análisis y comparaciones respectivas.

Tabla 5. Resistencia a la compresión del concreto a los 7 días

Mezcla de Concreto	N° Probeta	7 días de edad			
		F'c (Kg/cm ²) Testigo en óptimas condiciones	% de f'c de diseño (280kg/cm ²)	F'c (Kg/cm ²) Testigo bajo gradiente térmico	% de f'c de diseño (280kg/cm ²)
0% Vidrio reciclado	1	232.6	83.0	219.5	78.3
	2				
	3				
10% Vidrio reciclado	1	258.8	93.0	234.0	83.7
	2				
	3				
20% Vidrio reciclado	1	266.3	95.1	237.7	85.0
	2				
	3				

De forma gráfica se puede apreciar en la Figura 2, que existe una ligera diferencia entre los resultados de los testigos curados en condiciones óptimas y los expuestos al gradiente térmico, adicionalmente, es posible observar que la resistencia a la compresión aumenta a

medida que se le añade un mayor porcentaje de vidrio reciclado triturado.

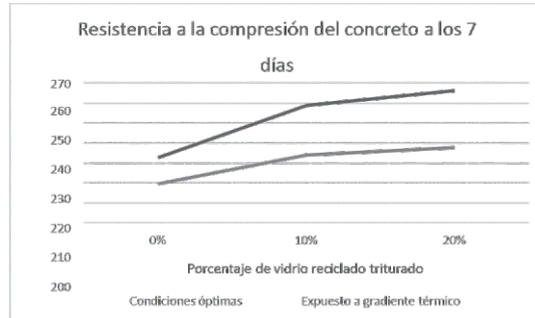


Figura 2. Gráfica comparativa de F'c a los 7 días.

Resistencia a la compresión a los 14 días

Después de vaciar el concreto, exactamente a los 14 días, los resultados mostrados en la tabla 6 fueron hallados, para su posterior análisis y comparaciones respectivas.

Tabla 6. Resistencia a la compresión del concreto a los 14 días

Mezcla de Concreto	N° Probeta	14 días de edad			
		F'c (Kg/cm ²) Testigo en óptimas condiciones	% de f'c de diseño (280kg/cm ²)	F'c (Kg/cm ²) Testigo bajo gradiente térmico	% de f'c de diseño (280kg/cm ²)
0% Vidrio reciclado	1	301	107	285.2	102
	2				
	3				
10% Vidrio reciclado	1	340	121.7	287.1	103
	2				
	3				
20% Vidrio reciclado	1	365.2	131	300.0	107
	2				
	3				

De manera gráfica en la Figura 3 se observa que existe diferencia entre los resultados de los testigos curados en condiciones óptimas y los expuestos al gradiente térmico, además, se debe mencionar que el mayor valor se obtuvo al añadir 20% de vidrio reciclado y triturado en el agregado fino.

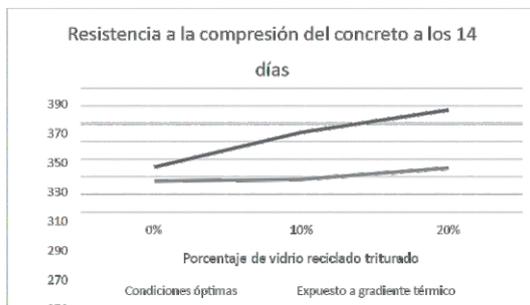


Figura 3. Gráfica comparativa de F'c a los 14 días.

Resistencia a la compresión a los 28 días

Después de vaciar el concreto, exactamente a los 28 días, los resultados mostrados en la tabla 7 fueron hallados, para su posterior análisis y comparaciones respectivas.

Tabla 7. Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días

Mezcla de Concreto	N° Pro beta	28 días de edad			
		F'c (Kg/cm ²) Testigo en óptimas condiciones	% de f'c de diseño (280kg/cm ²)	F'c (Kg/cm ²) Testigo bajo gradiente térmico	% de f'c de diseño (280kg/cm ²)
0% Vidrio reciclado	1	335	120	317	113
	2				
	3				
10% Vidrio reciclado	1	377.8	135	329	117
	2				
	3				
20% Vidrio reciclado	1	405.7	145	333.4	120
	2				
	3				

En la gráfica mostrada en la Figura 4 se observa que existe diferencia entre los resultados de los testigos curados en condiciones óptimas y los expuestos al gradiente térmico, además, se debe mencionar que el mayor valor se obtuvo al añadir 20% de vidrio reciclado y triturado en el agregado fino.

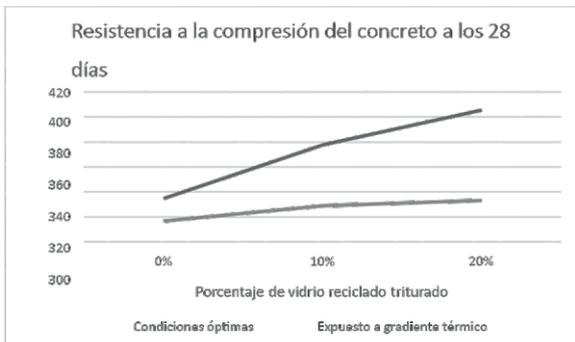


Figura 4. Gráfica comparativa de F'c a los 28 días.

Resistencia a flexión

En la tabla 8 se puede visualizar los resultados de la resistencia a la flexión, considerando un porcentaje de 0%, 10% y 20% de vidrio reciclado, triturado y mezclado con el agregado fino, después de los 28 días de fragua. Además, se consideran los datos de las vigas curadas en condiciones óptimas y las que fueron curadas bajo la influencia del gradiente térmico.

Tabla 8. Resistencia a la flexión del concreto a los 28 días

Mezcla de Concreto	N° Pro beta	28 días de edad	
		MR (Mpa) Viga en óptimas condiciones	MR (Mpa) Viga bajo gradiente térmico
0% Vidrio reciclado	1	3.9	3.7
	2		
	3		
10% Vidrio reciclado	1	4.2	4.0
	2		
	3		
20% Vidrio reciclado	1	4.5	4.2
	2		
	3		

DISCUSIÓN

Bajo el objetivo de “determinar la influencia del vidrio reciclado como agregado fino en la resistencia del concreto expuesto al gradiente térmico de Huancayo” se comparó con los resultados de resistencia del concreto según los indicadores de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión:

León y Razuri (2020) sostienen que obtuvieron 295 kg/cm² (140 % de la resistencia diseño) como producto de la prueba de resistencia a la compresión del concreto que consideró al agregado natural mezclado con vidrio reciclado y triturado en un 20% del total.

A raíz de un análisis más detallado y comparativo con los resultados de esta investigación (para una resistencia de diseño de 280kg/cm² los resultados de: 335 kg/cm², 377.8 kg/cm² y 405.7 kg/cm² para los porcentajes de adición de vidrio de 0%, 10% y 20%) se puede mencionar que, León y Razuri (2020) concuerdan en que la adición de vidrio triturado como agregado fino eleva la resistencia a la compresión del concreto. Si bien los resultados de las probetas curadas en condiciones óptimas son muy parecidas, en cuanto a las muestras curadas en exposición al gradiente térmico, hay una diferencia significativa. Esto lleva a intuir que el método de curado tuvo una influencia directa en la resistencia a la compresión del concreto.

Hilles y Ziara (2018) afirman que obtuvieron 5.28 MPa (110 % de la resistencia a la flexión obtenida del espécimen de control) como resultado del ensayo de resistencia a la flexión y 61.05 Mpa (25% más que la resistencia a la compresión de diseño que era 50 Mpa) como resultado del ensayo de resistencia a la compresión del concreto que consideró al agregado natural

mezclado con vidrio reciclado y triturado en un 20% del total.

En comparación con los resultados de esta investigación, en cuanto resistencia a la flexión (para una resistencia de diseño de 280kg/cm² los resultados de :3.9 Mpa, 4.2 Mpa y 4.5 Mpa para los porcentajes de adición de vidrio de 0%, 10% y 20%) y resistencia a la compresión (para una resistencia de diseño de 280kg/cm² los resultados de :335 kg/cm², 377.8 kg/cm² y 405.7 kg/cm² para los porcentajes de adición de vidrio de 0%, 10% y 20%) se puede mencionar que, Hilles y Ziara (2018) concuerdan en que la adición de vidrio triturado como agregado fino eleva la resistencia a la flexión y a la compresión del concreto. Si bien los resultados de las probetas curadas en condiciones óptimas son muy parecidos, ya que presentan una mejora; en cuanto a las muestras curadas en exposición al gradiente térmico, hay una mejora, pero no llega a igualar los resultados de las otras. Esto indica que el método de curado tuvo una influencia directa en la resistencia a la flexión ya a la compresión del concreto. Por otro lado, es posible que las diferencias entre la investigación de Hilles y Ziara y la presente residan en la calidad del vidrio reciclado y en su composición.

CONCLUSIONES

La resistencia del concreto aumenta con respecto a la adición del porcentaje de vidrio triturado. Según los indicadores seleccionados de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión, existe una mejora del 20% y 15% en función a la muestra patrón, sin embargo, existe una diferencia significativa entre las probetas curadas en condiciones óptimas y las expuestas al gradiente térmico. Esto indica que el método de curado tuvo una influencia directa en la resistencia del concreto.

Los resultados de las probetas curadas en condiciones óptimas son: 335 kg/cm², 377.8 kg/cm² y 405.7 kg/cm² y los resultados de las probetas expuestas al gradiente térmico son: 317 kg/cm², 329 kg/cm² y 333.4 kg/cm²; para los porcentajes de adición de vidrio de 0%, 10% y 20% respectivamente. En resumen, la resistencia a la compresión del concreto aumenta hasta en un 20 % a medida que se eleva el porcentaje de adición de vidrio triturado.

Los resultados de las vigas curadas en condiciones óptimas son: 3.9 Mpa, 4.2 Mpa y 4.5 Mpa y los resultados de las vigas expuestas al gradiente térmico son: 3.7 Mpa, 4.0 Mpa y 4.2 Mpa; para los porcentajes de adición de vidrio de 0%, 10% y 20% respectivamente. Entonces, la resistencia a la flexión del concreto aumenta hasta en un 15%, a medida que se eleva el porcentaje de adición de vidrio triturado.

REFERENCIAS

- AL SAFFARA, D., TAWFIK, T., y TAYEH, B. Stability of glassy concrete under elevated temperatures. *European journal of environmental and civil engineering* [en línea], Julio 2020, n° 3. [Fecha de consulta: 10 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1783368>
- AHMAD, S.; UMAR, A. y MASOOD, A. Properties of normal concrete, self-compacting concrete and glass fibre-reinforced self-compacting concrete: An experimental study. *Plast. Impact Mech.* [en línea], Marzo 2017, n° 5. [Fecha de consulta: 21 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.12.106>
- ELAQRA, H., y RUSTOM, R. Effect of using glass powder as cement replacement on rheological and mechanical properties of cement paste. *Construction and Building Materials*[en línea], Abril 2019, no 1. [Fecha de consulta: 10 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.263>
- HADHOOD, A., MOHAMED, H., BENMOKRANE, B., NANNI, A. y SHIELD, C. Assessment of design guidelines of concrete columns reinforced with glass fiber-reinforced polymer bars. *Aci Structural Journal* [en línea]. July 2019, n° 16. [Fecha de consulta: 10 de diciembre del 2021]. Disponible en: <http://doi.org/10.14359/51715663>
- HALLER, A. Los impactos del crecimiento urbano en los campesinos andinos. Un

- estudio de percepción en la zona rural-urbana de Huancayo, Perú. Espacio y desarrollo [en línea]. Mayo 2017, n°29. [Fecha de consulta: 17 de febrero del 2022]. Disponible en: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/17579>
- JUBEH, A. I., AL SAFFAR, D. M., y TAYEH, B. A. 2019. Effect of recycled glass powder on properties of cementitious materials contains styrene butadiene rubber. *Arabian Journal of Geosciences*[en línea], Diciembre 2019, no 2. [Fecha de consulta: 10 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4212-0>
- MÉNDEZ, N., RODRIGUES, C., CRUZ, N. y LAINES, J., 2010. Los escombros como agregados en la industria de la construcción. *KUXULKAB* [en línea], Marzo 2010, no 2. [Fecha de consulta: 10 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://revistas.ujat.mx>
- MOUSA, M., CUENCA, E., FERRARA, L., ROY, N., & TAGNIT-HAMOU, A. 2017. Tensile characterization of an "Eco-Friendly" UHPFRC with waste glass powder and glass sand. *Strain hardening in Cement-based composites*, [en línea], Primavera 2017, no 2. [Fecha de consulta: 10 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://springerprofessional.de/en/tensile-characterization>.
- PLANK, J.; SAKAI, E.; MIAO, C. W.; YU, C. y HONG, J. X. *Chemical admixtures—Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability*. *Cement and Concrete Research* [en línea]. Abril 2015, n°8. [Fecha de consulta: 10 de diciembre del 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.016>
- PEÑA, S., TERÁN, J. y BUILES-JARAMILLO, A., 2018. Evaluación de las propiedades de residuos de construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de sub-bases granulares . Una alternativa al manejo de residuos en el Valle de Aburrá . *Revista Activa* [en línea], Enero 2018, n° 10. [Fecha de consulta: 10 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.53995/20278108.496>
- TAYEH, B. A., BAKAR, B. A., & JOHARI, M. Characterization of the interfacial bond between old concrete substrate and ultra high performance fiber concrete repair composite. *Materials and Structures* [en línea], Abril 2013 no 5. [Fecha de consulta: 21 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9931>.
- TAYEH, B. A., BAKAR, B. A., & JOHARI, M. Characterization of the interfacial bond between old concrete substrate and ultra high performance fiber concrete repair composite. *Materials and Structures* [en línea], Abril 2013 no 5. [Fecha de consulta: 21 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9931>.
- SENAMHI. Compendio de clima y salud resúmenes ejecutivos. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2021. 261pp.
- QUISPE Amanqui, N. Influencia del gradiente térmico en la resistencia del concreto en la ciudad de Puno – 2017. Tesis (Pregrado en Ingeniería Civil). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2017. 158pp.
- QUISPE Abarca, M. Análisis de los esfuerzos influenciados por el gradiente térmico y el espesor de losas ultra delgadas de concreto reforzado con fibras de polipropileno en la ciudad de Juliaca. Tesis (Pregrado en Ingeniería Civil). Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, 2020. 145pp
- XUAN, D., MOLENAAR, A. y HOUBEN, M., 2015. Evaluation of cement treatment of reclaimed construction and demolition waste as road bases. *Journal of Cleaner Production*[en línea]. Julio 2015, n°5. [Fecha de consulta: 10 de diciembre del 2021].

Disponible en: <https://www-journals.elsevier.com/journal-of-cleaner-production>.

ZEGARDŁO, B., SZELA, M., OGRODNIK, P. y BOMBIK, A. Physico-mechanical properties and microstructure of polymer concrete with recycled glass aggregate. *Materials* [en línea]. Julio 2018, n° 11. [Fecha de consulta: 10 de diciembre del 2021]. Disponible en: <http://doi.org/10.3390/ma11071213>