



Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**USO DEL POLVO DE VIDRIO COMO AGREGADO
FINO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO:
UNA REVISIÓN LITERARIA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER
EN INGENIERIA CIVIL**

Autor

Jimenez Risco Angel Sleyter
<https://orcid.org/0000-0001-8869-4227>

Asesor

Dr. Muñoz Pérez, Sócrates Pedro
<https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

Línea de Investigación

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la
Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

Sublínea de Investigación

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño
e Infraestructura**

Pimentel – Perú

2025



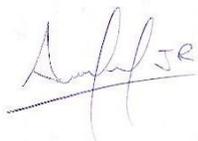
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la DECLARACIÓN JURADA, soy **egresado** del Programa de Estudios de **INGENIERIA CIVIL** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autora del trabajo titulado:

USO DEL POLVO DE VIDRIO COMO AGREGADO FINO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: UNA REVISIÓN LITERARIA

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y auténtico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Jimenez Risco Angel Sleyter	DNI: 70825058	
-----------------------------	---------------	---

Pimentel, 27 de enero del 2025

20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 19%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

A mi familia, por su apoyo incondicional, y a mis profesores, cuya orientación ha sido clave en mi formación.

Agradecimientos

A todos quienes contribuyeron a este proyecto, especialmente a mis asesores por su valiosa orientación, y a mis compañeros por su colaboración constante.

Índice

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos	4
Índice de tablas.....	6
Índice de figuras.....	6
Resumen	7
Abstract.....	8
I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema.....	10
1.3. Hipótesis	10
1.4. Objetivos.....	11
1.5. Teorías relacionadas al tema	11
II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	14
III. RESULTADOS	15
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	20
4.1. Discusión	20
4.2. Conclusiones	21
V. REFERENCIAS	23
ANEXOS.....	31

Índice de tablas

Tabla I Proceso de Temperatura en la cual son sometidos el PV	16
Tabla II Propiedades físicas del VD	16

Índice de figuras

Fig. 1. Producción anual de polvo de vidrio o vidrio triturado en millones de tonelada.....	15
Fig. 2. Resistencia a la compresión del concreto incorporando PV	17
Fig. 3. Resistencia a la flexión del concreto con PV	18
Fig. 4. Resistencia a la flexión del concreto con 0.3 y 0.6% de PV.....	18
Fig. 5. Resistencia a la tracción con diferentes porcentajes de PV.....	19

Resumen

El concreto es un material fundamental en la construcción, cuyo rendimiento depende de la mezcla y sus componentes. La incorporación de polvo de vidrio (PV) se presenta como una alternativa ecológica para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Se llevó a cabo una revisión sistemática de artículos científicos y revisiones en bases de datos indexadas como Scopus, ScienceDirect, EbscoHost e IOPScience, con un rango de publicaciones entre 2019 y 2023. Se utilizaron palabras clave como “glass powder + concrete”, “glass powder residue + concrete”, “crushed glass + concrete properties” y “powdered glass + properties of concrete”. Los resultados muestran que la adición de PV mejora la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto sin comprometer su integridad estructural, destacando su potencial como refuerzo y contribuyendo a la sostenibilidad al incorporar materiales reciclados.

Palabras Clave: Concreto, polvo de vidrio, propiedades mecánicas, sostenibilidad, resistencia a la compresión.

Abstract

Concrete is a fundamental construction material whose performance depends on the mix and its components. The incorporation of glass powder (PV) is presented as an environmentally friendly alternative to improve the mechanical properties of concrete. A systematic review of scientific articles and reviews in indexed databases such as Scopus, ScienceDirect, EbscoHost and IOPScience was carried out, with a range of publications between 2019 and 2023. Keywords such as “glass powder + concrete”, “glass powder residue + concrete”, “crushed glass + concrete properties” and “powdered glass + properties of concrete” were used. The results show that the addition of PV improves the compressive strength and durability of concrete without compromising its structural integrity, highlighting its potential as reinforcement and contributing to sustainability by incorporating recycled materials.

Keywords: Concrete, glass powder, mechanical properties, sustainability, compressive strength.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El concreto es uno de los principales elementos estructurales en el ámbito de la ingeniería civil, aunque sus principales características dependen de diversos factores, como componentes, agua y la homogeneidad en las mezclas. Al mismo tiempo, el tamaño de las partículas, el porcentaje de reemplazo, el tiempo de curado y la temperatura desempeñan un papel crucial [1], [2]. Por otro lado, la elevada demanda de concreto ha intensificado la explotación de las reservas naturales y por ende, ha ocasionado mayores porcentajes de contaminación como es el CO₂. En este sentido, se han planteado alternativas para añadir materiales que no solo mejoren las características mecánicas del concreto, sino que también promuevan la sostenibilidad ambiental [3], [4]. Por ejemplo, diversos estudios señalan que, al incluir materiales sostenibles en el concreto, se logra una alta resistencia y durabilidad [5], [6].

La búsqueda de alternativas más sostenibles ha llevado al uso de materiales como el polvo de vidrio (PV), cuyas propiedades mejoran el desempeño del concreto, según diversas pruebas experimentales [7]. Por ejemplo, Li et al. evidenciaron que al sustituir un 20% del agregado fino por PV, el concreto alcanzó una mayor capacidad de resistencia, ya sea a compresión (f_c), tracción (f_t) y módulo de rotura (M_r) [8]. Por su parte, Çelik et al. [9], demostraron que al incorporar un 10% y un 50% de PV, la f_t del concreto aumentó hasta un 14%. De hecho, el concreto modificado con materiales alternos ha captado la atención en la ingeniería [10].

Entre tanto, según Kočí et al. [11]; indican que la adición de hasta un 1.5% de materiales alternos contribuyó a mejorar las zonas más vulnerables del concreto; sin embargo, Elsayed et al. [12], detectaron que reemplazar completamente el agregado grueso por PV redujo la resistencia del concreto, atribuyéndose a una mala homogeneidad de todos los componentes que conforman el concreto. Esto pone de manifiesto la

necesidad de realizar más estudios, dado que algunos resultados muestran discrepancias [13], [14]. Aun así, es importante destacar que fomentar prácticas de reciclaje no solo mitigará los riesgos ambientales derivados de los desechos industriales, sino que también impulsará el desarrollo de la ingeniería de la construcción [15].

Entre tanto, varios estudios han evidenciado que el PV redujo algunas deficiencias comunes en el concreto, como su limitada f_c y f_t , así como su baja ductilidad [16], [17], [18]. Por su lado, Najaf et al. [19]; demuestran que la combinación de un 25% de PV con fibras incrementó la f_c y f_t en 1.7 y 1.6 veces, respectivamente, en comparación con las muestras estándar. Esto demuestra una mejora significativa en las propiedades del concreto [20]. Además, el uso adecuado de materiales alternativos puede potenciar el M_r y reducir la formación de grietas, lo que, según Orouji et al. [21]., amplía su aplicación en elementos como losas, estructuras prefabricadas y revestimientos de túneles.

En conclusión, este estudio se justifica por la necesidad de indagar sobre la aplicación de nuevos materiales como el PV como agregado en lugar de depender exclusivamente de recursos naturales en la fabricación de concreto, dado que el incremento de la urbanización y el consumo excesivo de los mismos han generado preocupaciones ambientales. Por ello, la utilización del PV contribuirá a la sostenibilidad ambiental y al mismo tiempo promoverá la innovación en el sector de la construcción. Así, el propósito de este artículo de revisión es analizar el uso del PV como agregado fino en las propiedades del concreto.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la incorporación de PV como agregado fino en la mezcla de concreto?

1.3. Hipótesis

La incorporación de PV como agregado fino mejora sus propiedades del concreto.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Analizar el impacto de la incorporación de PV como agregado fino en las propiedades del concreto.

Objetivos específicos

- Revisar la producción mundial del PV.
- Establecer la temperatura de quemado del PV.
- Revisar las propiedades físicas del PV
- Revisar las características físicas y mecánicas del PV.

1.5. Teorías relacionadas al tema

- Concreto

La construcción desempeña un papel importancia en el desarrollo tanto económico y social a nivel mundial; sin embargo, genera un gran porcentaje de agentes contaminantes debido al consumo de energía que se genera desde la fabricación de materias primas hasta la construcción de elementos estructurales. Ahora bien, se ha evidenciado que el concreto o también llamado hormigón es uno de los principales elementos que emite CO₂ durante su producción [22]. Asimismo, este elemento, se prepara combinando cemento, árido fino y grueso en proporciones específicas con una relación agua-cemento adecuada; además, es preciso señalar que durante el proceso de preparación y fabricación la mezcla debe obtener una adecuada homogeneidad para conseguir una alta resistencia en el elemento estructural [23].

Entre las características del concreto, algunos estudios mencionan que es un material que muestra gran f'c, pero es débil cuando se somete a tensión; no obstante, para mejorar sus características estructurales se han incorporado diversos tipos de refuerzo en las áreas propensas a la fisuración [24]. Además, los materiales que conforman el concreto pueden experimentar desgaste o deterioro con el tiempo [25].

Las propiedades físicas y mecánicas del concreto son esenciales influyendo en la calidad y durabilidad estructural. En estado fresco, la trabajabilidad determina la facilidad de manipulación sin pérdida de homogeneidad, afectando consistencia, fluidez y bombeabilidad [26]. Por otro lado, el asentamiento, medido con el cono de Abrams, asegura mezclas adecuadas para cada aplicación [27]. Además, es vital controlar la segregación, evitando que los componentes se separen por exceso de agua o mala granulometría [28].

Ahora bien, una vez endurecido, la densidad y compacidad mejoran la resistencia al reducir vacíos [29] y absorción de agua [30]. Por último, la contracción, asociada a la reducción de volumen tras el fraguado, plantea desafíos importantes para la estabilidad y durabilidad de las estructuras [31].

Las propiedades mecánicas del concreto son fundamentales para su desempeño estructural. La f_c es la propiedad más relevante, ya que mide la capacidad del concreto para soportar cargas antes de fallar, siendo clave para su caracterización [32]. El M_r refleja su capacidad para resistir fuerzas que inducen su doblado, esencial en pavimentos, aunque difícil de medir por la complejidad del procedimiento [33], [34]. La f_t , medida mediante pruebas de tracción directa o flexión, es limitada por la naturaleza frágil del concreto, lo que complica su precisión [35]. Por último, el módulo de elasticidad (ME) indica la rigidez del material y depende de factores como el tipo de cemento y la edad del concreto [36], siendo esencial para evaluar su deformabilidad bajo carga [37].

De otro modo, la relación del agua y cemento es crucial en la fabricación del concreto, dado que influye directamente en la capacidad de resistir cargas del elemento estructural [30]. Por su lado, el cemento, actúa como el aglutinante que proporciona resistencia y cohesión a la mezcla de concreto [38]; por otro lado, el agua, es crucial en el proceso de fraguado del cemento y la formación de las propiedades del concreto, ya que, ya que impurezas en el agua pueden disminuir la resistencia del concreto y afectar la durabilidad de las estructuras [39].

A su vez, la calidad de los agregados es esencial para obtener un concreto con las propiedades deseadas [40]. Por un lado, el árido fino con un tamaño menor a 4.75 mm, se utiliza para asegurar la cohesión adecuada en la mezcla de concreto [41], y el grueso, con un tamaño superior a 4.75 mm, se considera fundamentales en la mezcla del concreto, brindando estructura y resistencia [42].

Finalmente, el reciclaje de residuos de vidrio es una estrategia efectiva para reducir la dependencia de materiales naturales en la fabricación de concreto. Al ser utilizado como reemplazo parcial del agregado fino, el PV puede mejorar algunas propiedades del concreto [43]. Según Hamada et al. [44], el vidrio es un material ampliamente utilizado y fundamental a nivel global. Tras su uso, el vidrio desechado puede ser procesado, limpiado y fundido nuevamente para la creación de nuevos productos. Sin embargo, la presencia de impurezas, la variedad en tipos y colores, y la falta de infraestructuras adecuadas para su clasificación dificultan su reutilización, lo que a menudo resulta en su acumulación en vertederos. Este tipo de residuos representa un riesgo ambiental en muchos vertederos alrededor del mundo, ya que el vidrio no es biodegradable, y la escasez de espacios para nuevos vertederos en ciudades densamente pobladas agrava la situación. Por ello, reciclar estos residuos se presenta como una opción más eficiente para conservar los recursos naturales y reducir tanto el espacio destinado a los vertederos como el consumo de energía y los costos asociados.

II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para esta investigación se utilizó una metodología basada en una revisión sistemática de la literatura, con un enfoque cuantitativo para analizar datos empíricos sobre la incorporación de vidrio reciclado en el concreto. Este enfoque permitió evaluar de forma objetiva las propiedades mecánicas del material y detectar patrones relevantes para su viabilidad en la construcción. Las preguntas de investigación exploraron cómo la adición de vidrio reciclado en distintas proporciones afecta la resistencia del concreto. Se revisaron artículos de bases de datos indexadas como Scopus, ScienceDirect y EbscoHost, publicados entre 2019 y 2023. Las palabras clave incluyeron "glass powder + concrete" y "crushed glass + concrete properties", identificando estudios relevantes sobre el tema; mientras que se excluyeron aquellos estudios que no especificaran el tipo o proporción de PV o que se centraran en materiales distintos al concreto.

III. RESULTADOS

En las últimas décadas, la ingeniería civil ha explorado el uso de materiales naturales y sintéticos en concreto, destacándose el polvo de vidrio (PV) como material reciclado en su refuerzo [5], [45]; por lo que, este artículo analiza, mediante una revisión sistemática, la integración de PV en el concreto.

A nivel mundial, el PV o también llamado vidrio triturado (VT) es un subproducto significativo. Según un informe del Banco Mundial, en el periodo 2018 se generaron aproximadamente 2010 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos, con una proyección de aumento a 3400 millones de toneladas para 2050 [46]; no obstante, para ilustrar esta tendencia, se presenta en la Fig. 1 un desglose de los países y las cantidades de residuos generados

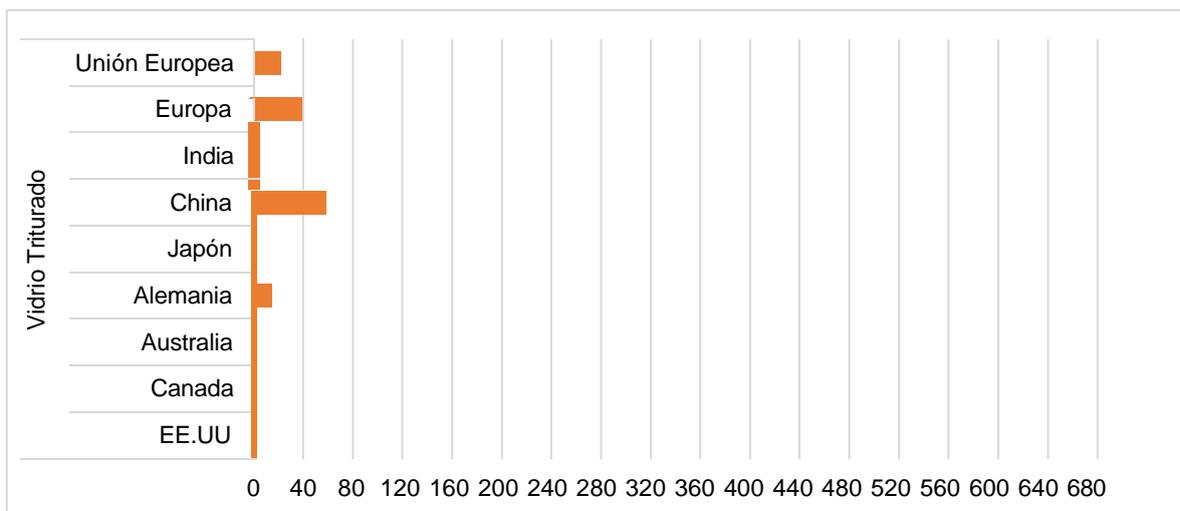


Fig. 1. Producción anual de polvo de vidrio o vidrio triturado en millones de tonelada

La Fig. 1 muestra la producción global de polvo de vidrio, destacando a China, Europa y la Unión Europea como los principales generadores de este material [47], [48], [49].

Entre tanto, estos residuos antes de ser utilizado como parte del concreto, el PV pasa por una serie de pruebas de temperatura. Los resultados obtenidos durante estos ensayos se detallan en la Tabla I:

Tabla I

Proceso de Temperatura en la cual son sometidos el PV

Residuo	Temperatura	Tiempo	Observaciones	Referencia
Polvo de vidrio	150°C - 600°C	2h	Durante el calentamiento, la superficie de las partículas cambiaba de brillante a oscuro y luego regresaba a brillante.	[8]
	200°C - 800°C	1,5 horas (a 5°C/min).	La incorporación de residuos de vidrio hasta un 22.5% incrementó la f'c residual a 800°C (41 MPa).	[50]

Nota: En la Tabla I se presentan los residuos de vidrio, las temperaturas alcanzadas y las observaciones realizadas durante los ensayos.

En cuanto a las propiedades del concreto con la incorporación del polvo de vidrio, se detallan a continuación:

– **Propiedades físicas**

La Tabla II muestra las propiedades físicas del PV:

Tabla II

Propiedades físicas del VD

Color	Gravedad específica [kg/m ³]	Densidad kg/m ³	Referencia
Blanco – Gris Claro	2450	-	[51]
	2660	910	[52]
	3200	Van desde 2265, 2254 y 2223.	[53]
		~600	[48]
Blanco	-	Van desde 2436, 2448 y 2457	[54]
		para los 7, 28 y 90 días de curado	

Nota. En la Tabla III se resumen las propiedades físicas obtenidas.

– **Propiedades mecánicas**

Resistencia a la Compresión a los 28 días

La resistencia es crucial para determinar las cargas máximas que un elemento estructural puede soportar. En la Fig. 2. al agregar entre un 5 y 15% de PV al concreto, se obtuvieron resistencias superiores, con valores de 48 y 55 MPa; sin embargo, al aumentar el porcentaje de PV a 15, 20 y 30%, la capacidad de carga disminuyó, alcanzando valores de 32, 31.15 y 30.79 MPa respectivamente [8], [13], [55], [56]. En otro análisis, como se muestra en la Fig. 2. la máxima resistencia se logró con un 10% de PV, obteniendo valores de 60 y 85 MPa, y solo dos estudios reportaron valores de hasta 100 y 80 MPa para concentraciones de 20 y 30% de PV [57], [58], [59], [60].

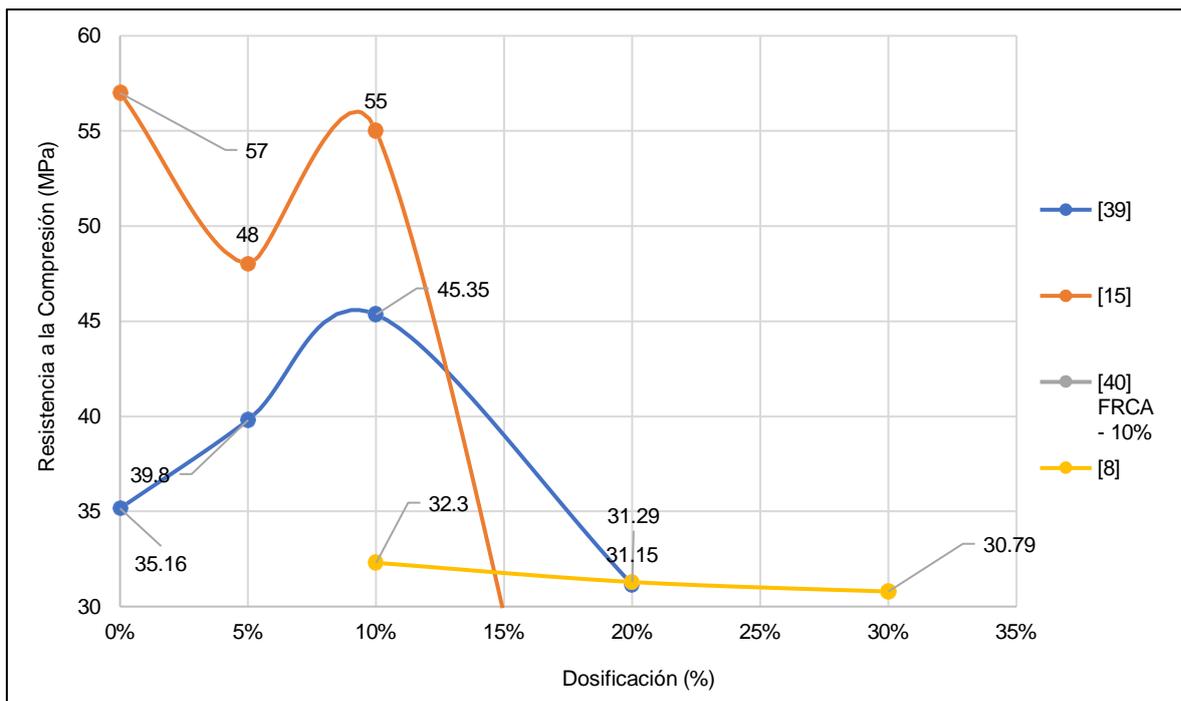


Fig. 2. Resistencia a la compresión del concreto incorporando PV

Entre tanto, según, Pauzi et al. [61] en su estudio al emplear un 0.6% de PV; obtuvo la mayor f_c , siendo esta del 63.94 MPa a los 56 días de curado [61].

Resistencia a la Flexión a los 28 días

Evalúa la capacidad de los materiales para resistir la deflexión bajo carga. Con la adición de 10 y 20% de PV, como se muestra en la Fig. 3 se lograron los mayores valores de resistencia, aunque no superaron los de la muestra de referencia. Un estudio reportó una resistencia de 4.2 MPa con 30% de PV, en comparación con un valor patrón [56], [59]. Además, con 0.6% de PV, la resistencia aumentó a 8.5 MPa [62].

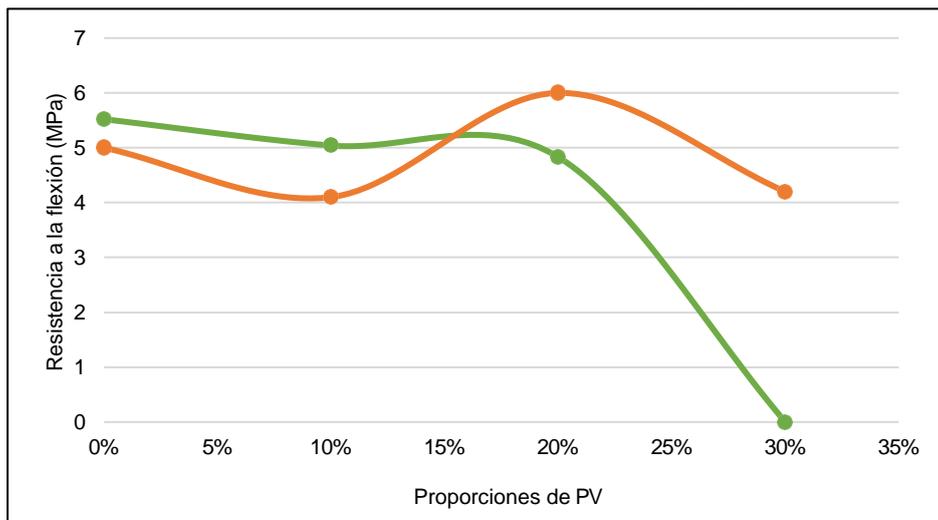


Fig. 3. Resistencia a la flexión del concreto con PV

Nota. De la Fig. 3 se muestra el M_r del concreto con PV, encontrándose en un rango de 4.1 a 6 MPa [56], [59].

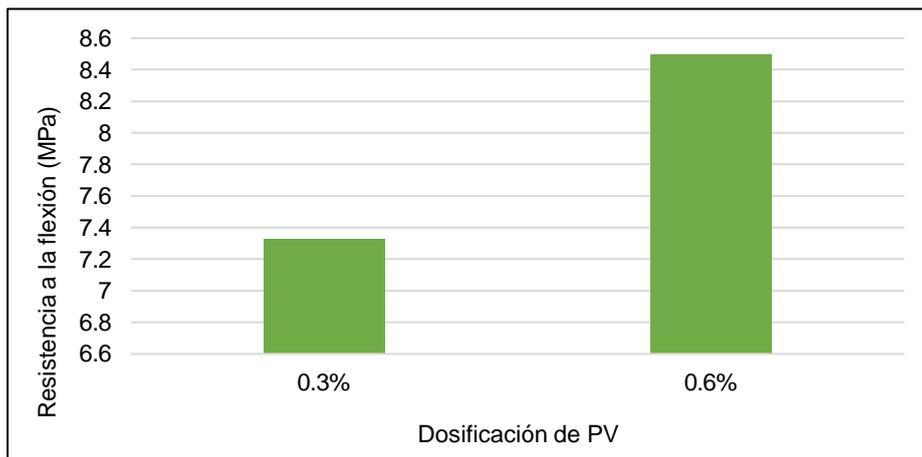


Fig. 4. Resistencia a la flexión del concreto con 0.3 y 0.6% de PV

Nota. De la Fig. 4. se muestra que el 0.6% de PV encontró la resistencia más alta, siendo su valor de 8.5 MPa con respecto al 7.33 MPa del 0.3% de PV [62].

Resistencia a la Tracción a los 28 días

En la Fig. 5 se muestra la f_t del concreto, donde los valores más altos se lograron con 1.2 y 10% de PV, alcanzando resistencias de 4.77 y 3.49 MPa, respectivamente [8], [62].

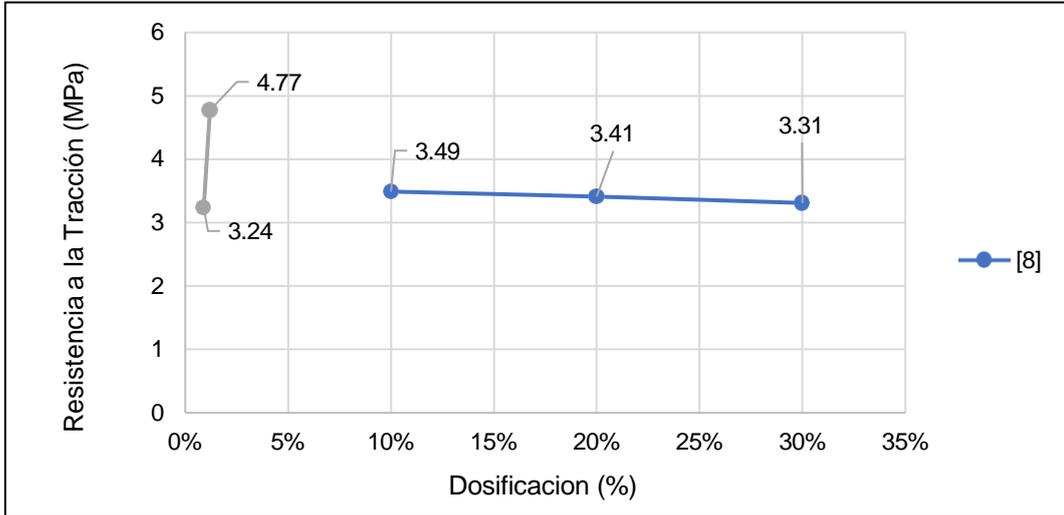


Fig. 5. Resistencia a la tracción con diferentes porcentajes de PV.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En base al OE1, se puede determinar que, a nivel global, la generación de residuos sólidos urbanos ha aumentado significativamente, y el polvo de vidrio es un subproducto considerable dentro de estos desechos. Según el Banco Mundial, en 2018 se produjeron alrededor de 2010 millones de toneladas de residuos sólidos, cifra que se proyecta aumentará a 3400 millones de toneladas para 2050 [46]. Dentro de este contexto, países como China, Europa y la Unión Europea se destacan como los principales generadores de PV, como se observa en la Fig. 1. Este panorama resalta la importancia de buscar soluciones sostenibles para la gestión de estos residuos, entre ellas, su posible reutilización en la industria de la construcción.

Respecto al OE2, la temperatura de quemado del PV es un aspecto crucial para su utilización en el concreto. Durante el proceso de incorporación del PV, se someten a diversas pruebas térmicas para evaluar cómo se comporta el material a diferentes temperaturas. Los resultados mostrados en la Tabla I indican que el PV fue sometido a rangos de temperatura de 150°C a 800°C durante varios períodos. Durante estos ensayos, se observó que la superficie de las partículas de vidrio pasaba de brillante a oscuro y luego recuperaba su brillo original [8], [50]. Estos cambios en el comportamiento térmico podrían afectar las propiedades del concreto, como la $f'c$, dependiendo de las condiciones de curado y la temperatura del PV.

Referente al OE3, el polvo de vidrio presenta una variedad de características físicas que son fundamentales para su aplicación en el concreto. La Tabla II resume las propiedades físicas del PV, destacando su color (blanco-gris claro), gravedad específica y densidad. Estos valores varían entre 2450 kg/m³ y 3200 kg/m³, lo que sugiere que el comportamiento del material podría depender de la fuente y el proceso de reciclaje del vidrio [51], [52], [53]. Estas propiedades son cruciales para evaluar cómo el PV influye en las características del concreto, como su resistencia, durabilidad y capacidad de carga.

Con referencia al OE4, los estudios indican que agregar hasta un 10% de PV mejora la f_c , con valores entre 60 MPa y 85 MPa [57], [58], [59], [60], sugiriendo que el PV refuerza el concreto sin comprometer su integridad. Sin embargo, al aumentar la proporción de PV al 20% y 30%, se observan resultados contradictorios. Algunos estudios reportan un aumento en la resistencia (hasta 100 MPa con 20% de PV) [57], [58], [59], [60], mientras que otros muestran una disminución en la capacidad de carga, alcanzando solo 30.79 MPa [8], [13], [55], [56]. Estas diferencias podrían deberse a variaciones en las metodologías de preparación del PV, tamaño de partículas o condiciones de curado. Además, los resultados en f_t y M_r también muestran inconsistencias, lo que indica una interacción compleja entre el PV y la matriz del concreto [8], [62].

4.2. Conclusiones

A nivel global, la producción de residuos sólidos urbanos ha aumentado considerablemente, y el PV se presenta como un subproducto significativo de estos desechos. Países como China, Europa y la Unión Europea son los principales generadores de este material, lo que subraya la necesidad urgente de desarrollar soluciones sostenibles para su gestión. La reutilización del PV en la industria de la construcción podría ser una de las alternativas más viables para reducir la huella ambiental del sector.

La temperatura de quemado del PV juega un papel crucial en su integración con el concreto. Los ensayos térmicos realizados demuestran que el PV cambia de color al someterse a altas temperaturas, lo que podría afectar sus propiedades y comportamiento en el concreto. Las diferencias observadas en las propiedades térmicas pueden influir en la f_c del concreto, dependiendo de la temperatura de curado y las condiciones específicas del PV utilizado.

Las propiedades físicas del PV, como su color, gravedad específica y densidad, son factores determinantes en su comportamiento dentro de la mezcla de concreto. Los valores obtenidos para estas propiedades varían según el tipo de vidrio reciclado utilizado, lo que sugiere que el comportamiento del PV puede depender de su fuente y proceso de reciclaje.

Esto implica que el PV podría mejorar las propiedades mecánicas del concreto, pero su rendimiento dependerá de las características específicas del material.

El PV hasta un 10% mejora la resistencia a la compresión del concreto, lo que confirma su potencial como material de refuerzo. Sin embargo, el aumento de la proporción de PV al 20% o 30% presenta resultados contradictorios. Mientras algunos estudios reportan un aumento en la resistencia, otros muestran una disminución significativa en la capacidad de carga. Estas discrepancias sugieren que las metodologías de preparación, el tamaño de las partículas y las condiciones de curado del concreto son factores determinantes para obtener los mejores resultados en la utilización de PV

V. REFERENCIAS

- [1] S. A. Zamora-Castro *et al.*, “Sustainable development of concrete through aggregates and innovative materials: A review,” 2021. doi: 10.3390/app11020629.
- [2] M. N. N. Khan, A. K. Saha, and P. K. Sarker, “Reuse of waste glass as a supplementary binder and aggregate for sustainable cement-based construction materials: A review,” 2020. doi: 10.1016/j.jobe.2019.101052.
- [3] D. Wu, Z. Mao, J. Zhang, S. Li, and Q. Ma, “Performance evaluation of concrete with waste glass after elevated temperatures,” *Constr Build Mater*, vol. 368, 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130486.
- [4] S. H. Helmy, A. M. Tahwia, M. G. Mahdy, and M. A. Elrahman, “Development and characterization of sustainable concrete incorporating a high volume of industrial waste materials,” *Constr Build Mater*, vol. 365, 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.130160.
- [5] J. S. Jayan, S. Appukuttan, R. Wilson, K. Joseph, G. George, and K. Oksman, “An introduction to fiber reinforced composite materials,” in *Fiber Reinforced Composites: Constituents, Compatibility, Perspectives and Applications*, 2021. doi: 10.1016/B978-0-12-821090-1.00025-9.
- [6] B. C. Pu, B. Liu, L. Li, W. Pang, and Z. Wan, “Influence of polypropylene fibre factor on flowability and mechanical properties of self-compacting geopolymer,” *Materials*, vol. 14, no. 17, 2021, doi: 10.3390/ma14175025.
- [7] G. Loganathan, A. Sumathi, and K. S. R. Mohan, “Influence of waste glass powder and hybrid fibers on high strength concrete,” in *AIP Conference Proceedings*, 2020. doi: 10.1063/5.0029749.
- [8] S. Li *et al.*, “Properties of concrete with waste glass after exposure to elevated temperatures,” *Journal of Building Engineering*, vol. 57, 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.104822.
- [9] A. İ. Çelik *et al.*, “Mechanical Behavior of Crushed Waste Glass as Replacement

- of Aggregates,” *Materials*, vol. 15, no. 22, 2022, doi: 10.3390/ma15228093.
- [10] M. Chandra Sekhar, M. H. Kumar, S. Lova Raju, and I. Saikrishnamacharyulu, “Influence of Metakaolin and glass powder on mechanical behaviour of concrete,” *Mater Today Proc*, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.03.713.
- [11] V. Kočí *et al.*, “Basic physical, mechanical, thermal and hygric properties of reactive powder concrete with basalt and polypropylene fibers after high-temperature exposure,” *Constr Build Mater*, vol. 374, 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130922.
- [12] M. Elsayed, S. R. Abd-Allah, M. Said, and A. A. El-Azim, “Structural performance of recycled coarse aggregate concrete beams containing waste glass powder and waste aluminum fibers,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01751.
- [13] K. Gorospe, E. Booya, H. Ghaednia, and S. Das, “Effect of various glass aggregates on the shrinkage and expansion of cement mortar,” *Constr Build Mater*, vol. 210, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.192.
- [14] S. Ali, M. N. Sheikh, M. Sargeant, and M. N. S. Hadi, “Influence of polypropylene and glass fibers on alkali- activated slag/Fly ash concrete,” *ACI Struct J*, vol. 117, no. 4, 2020, doi: 10.14359/51723509.
- [15] H. K. Sultan and I. Alyaseri, “Effects of elevated temperatures on mechanical properties of reactive powder concrete elements,” *Constr Build Mater*, vol. 261, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120555.
- [16] H. Hosseinzadeh, A. Masoud Salehi, M. Mehraein, and G. Asadollahfardi, “The effects of steel, polypropylene, and high-performance macro polypropylene fibers on mechanical properties and durability of high-strength concrete,” *Constr Build Mater*, vol. 386, p. 131589, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131589.
- [17] S. Ahmed, Z. Al-Dawood, F. Abed, M. A. Mannan, and M. Al-Samarai, “Impact of using different materials, curing regimes, and mixing procedures on compressive strength of reactive powder concrete - A review,” 2021. doi:

- 10.1016/j.jobe.2021.103238.
- [18] S. Singh Rathore, "Investigation On, The Effect Of Polypropylene Fiber And Waste Glass Powder On High Performance Concrete," *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, vol. 24, no. 03, pp. 33–37, Mar. 2022, doi: 10.51201/JUSST/22/0254.
- [19] E. Najaf, M. Orouji, and S. M. Zahrai, "Improving nonlinear behavior and tensile and compressive strengths of sustainable lightweight concrete using waste glass powder, nanosilica, and recycled polypropylene fiber," *Nonlinear Engineering*, vol. 11, no. 1, 2022, doi: 10.1515/nleng-2022-0008.
- [20] E. Najaf, H. Abbasi, and S. M. Zahrai, "Effect of waste glass powder, microsilica and polypropylene fibers on ductility, flexural and impact strengths of lightweight concrete," *International Journal of Structural Integrity*, vol. 13, no. 3, 2022, doi: 10.1108/IJSI-03-2022-0039.
- [21] M. Orouji, S. M. Zahrai, and E. Najaf, "Effect of glass powder & polypropylene fibers on compressive and flexural strengths, toughness and ductility of concrete: An environmental approach," *Structures*, vol. 33, 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2021.07.048.
- [22] D. M. Iqbal, L. S. Wong, and S. Y. Kong, "Bio-Cementation in Construction Materials: A Review," *Materials*, vol. 14, no. 9, p. 2175, Apr. 2021, doi: 10.3390/ma14092175.
- [23] S. S. Vivek and G. Dhinakaran, "Strength and microstructure properties of self-compacting concrete using mineral admixtures. Case study I," in *Handbook of Sustainable Concrete and Industrial Waste Management: Recycled and Artificial Aggregate, Innovative Eco-friendly Binders, and Life Cycle Assessment*, 2021. doi: 10.1016/B978-0-12-821730-6.00010-3.
- [24] Y. J. Nam, Y. K. Hwang, J. W. Park, and Y. M. Lim, "Fiber-Reinforced Cementitious Composite Design with Controlled Distribution and Orientation of Fibers Using Three-Dimensional Printing Technology," in *3D Concrete Printing*

- Technology*, 2019. doi: 10.1016/b978-0-12-815481-6.00004-x.
- [25] A. O. Dawood, H. AL-Khazraji, and R. S. Falih, "Physical and mechanical properties of concrete containing PET wastes as a partial replacement for fine aggregates," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 14, 2021, doi: 10.1016/j.cscm.2020.e00482.
- [26] X. Rong, H. Liu, and C. Li, "A proposed method and monitoring system for evaluating workability of Portland cement concrete during mixing," *Heliyon*, vol. 8, no. 11, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11355.
- [27] Y. Li, J. Mu, Z. Wang, Y. Liu, and H. Du, "Numerical simulation on slump test of fresh concrete based on lattice Boltzmann method," *Cem Concr Compos*, vol. 122, 2021, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2021.104136.
- [28] F. Aghziel Sadfa, M. Ben Aicha, M. Zaher, A. Hafidi Alaoui, and Y. Burtschell, "New test for the determination of static segregation of self-compacting concrete: Three-circles test," *Mater Today Proc*, vol. 62, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.685.
- [29] Y. Zhuge, W. Duan, and Y. Liu, "Utilization of wood waste ash in green concrete production," in *Sustainable Concrete Made with Ashes and Dust from Different Sources: Materials, Properties and Applications*, 2021. doi: 10.1016/B978-0-12-824050-2.00007-3.
- [30] A. R. G. Azevedo *et al.*, "Analysis of the compactness and properties of the hardened state of mortars with recycling of construction and demolition waste (CDW)," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 3, 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.03.122.
- [31] M. Segawa, A. Aili, and I. Maruyama, "Comparison of shrinkage and mass change of hardened cement paste under gradual drying and rapid drying," *CEMENT*, vol. 10, 2022, doi: 10.1016/j.cement.2022.100047.
- [32] R. P. Jaya, "Porous concrete pavement containing nanosilica from black rice husk ash," in *New Materials in Civil Engineering*, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-

818961-0.00014-4.

- [33] A. M. Noor Azammi *et al.*, "Characterization studies of biopolymeric matrix and cellulose fibres based composites related to functionalized fibre-matrix interface," in *Interfaces in Particle and Fibre Reinforced Composites: Current Perspectives on Polymer, Ceramic, Metal and Extracellular Matrices*, 2019. doi: 10.1016/B978-0-08-102665-6.00003-0.
- [34] R. K. Dhir, J. de Brito, R. V. Silva, and C. Q. Lye, "Use of Recycled Aggregates in Road Pavement Applications," in *Sustainable Construction Materials*, 2019. doi: 10.1016/b978-0-08-100985-7.00012-1.
- [35] S. F. Resan, S. M. Chassib, S. K. Zemam, and M. J. Madhi, "New approach of concrete tensile strength test," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 12, 2020, doi: 10.1016/j.cscm.2020.e00347.
- [36] T. Sakthivel, R. Gettu, and R. G. Pillai, "Compressive Strength and Elastic Modulus of Concretes with Fly Ash and Slag," *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, vol. 100, no. 4, 2019, doi: 10.1007/s40030-019-00376-w.
- [37] M. Ahmadi and M. Kioumarsi, "Predicting the elastic modulus of normal and high strength concretes using hybrid ANN-PSO," *Mater Today Proc*, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.03.178.
- [38] A. Goyal *et al.*, "The physics of cement cohesion," *Sci Adv*, vol. 7, no. 32, 2021, doi: 10.1126/sciadv.abg5882.
- [39] N. S. Mohe, Y. W. Shewalul, and E. C. Agon, "Experimental investigation on mechanical properties of concrete using different sources of water for mixing and curing concrete," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e00959.
- [40] J. Tiegoum Wembe *et al.*, "Physical, mechanical properties and microstructure of concretes made with natural and crushed aggregates: Application in building construction," 2023. doi: 10.1016/j.clema.2023.100173.

- [41] R. Vandhiyan, T. J. Vijay, and M. Manoj Kumar, "Effect of fine aggregate properties on cement mortar strength," in *Materials Today: Proceedings*, 2020. doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.498.
- [42] N. Soni and D. K. Shukla, "Analytical study on mechanical properties of concrete containing crushed recycled coarse aggregate as an alternative of natural sand," *Constr Build Mater*, vol. 266, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120595.
- [43] Z. He, R. Hu, Z. Ma, X. Liu, C. Wang, and H. Wu, "Reusing thermoactivated construction waste spoil as sustainable binder for durable concrete: Microstructure and chloride transport," *Constr Build Mater*, vol. 398, p. 132553, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132553.
- [44] H. Hamada, A. Alattar, B. Tayeh, F. Yahaya, and B. Thomas, "Effect of recycled waste glass on the properties of high-performance concrete: A critical review," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01149.
- [45] R. Merli, M. Preziosi, A. Acampora, M. C. Lucchetti, and E. Petrucci, "Recycled fibers in reinforced concrete: A systematic literature review," *J Clean Prod*, vol. 248, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119207.
- [46] I. Mallum, A. R. Abdul, N. H. A. S. Lim, and N. Omolayo, "Sustainable Utilization of Waste Glass in Concrete: a Review," 2022. doi: 10.1007/s12633-021-01152-x.
- [47] A. I. Almohana, M. Y. Abdulwahid, I. Galobardes, J. Mushtaq, and S. F. Almojil, "Producing sustainable concrete with plastic waste: A review," *Environmental Challenges*, vol. 9, 2022, doi: 10.1016/j.envc.2022.100626.
- [48] E. Serelis and V. Vaitkevicius, "Utilization of glass shards from municipal solid waste in aluminium-based ultra-lightweight concrete," *Constr Build Mater*, vol. 350, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128396.
- [49] W. Ferdous *et al.*, "Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities," 2021. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105745.

- [50] A. M. Tahwia, M. A. Ellatief, G. Bassioni, A. M. Heniegal, and M. A. Elrahman, "Influence of high temperature exposure on compressive strength and microstructure of ultra-high performance geopolymer concrete with waste glass and ceramic," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 23, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.02.177.
- [51] M. Małek, W. Łasica, M. Kadela, J. Kluczyński, and D. Dudek, "Physical and mechanical properties of polypropylene fibre-reinforced cement–glass composite," *Materials*, vol. 14, no. 3, 2021, doi: 10.3390/ma14030637.
- [52] G. Jayakumar, M. E. Mathews, T. Kiran, B. S. K. Yadav, B. Kanagaraj, and N. Anand, "Development and strength assessment of sustainable high strength fiber reinforced concrete," in *Materials Today: Proceedings*, 2021. doi: 10.1016/j.matpr.2021.06.132.
- [53] S. Ramdani, A. Guettala, M. L. Benmalek, and J. B. Aguiar, "Physical and mechanical performance of concrete made with waste rubber aggregate, glass powder and silica sand powder," *Journal of Building Engineering*, vol. 21, 2019, doi: 10.1016/j.job.2018.11.003.
- [54] Z. Ali Hussain and N. Aljalawi, "Effect of Sustainable Glass Powder on the Properties of Reactive Powder Concrete with Polypropylene Fibers," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 12, no. 2, 2022, doi: 10.48084/etasr.4750.
- [55] C. Belebchouche, K. Moussaceb, S. E. Bensebti, A. Aït-Mokhtar, A. Hammoudi, and S. Czarnecki, "Mechanical and microstructural properties of ordinary concrete with high additions of crushed glass," *Materials*, vol. 14, no. 8, 2021, doi: 10.3390/ma14081872.
- [56] V. Letelier, B. I. Henríquez-Jara, M. Manosalva, and G. Moriconi, "Combined use of waste concrete and glass as a replacement for mortar raw materials," *Waste Management*, vol. 94, 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2019.05.041.
- [57] I. Almeshal, M. M. Al-Tayeb, S. M. A. Qaidi, B. H. Abu Bakar, and B. A. Tayeh,

- “Mechanical properties of eco-friendly cements-based glass powder in aggressive medium,” *Mater Today Proc*, vol. 58, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.03.613.
- [58] A. Kashani, T. D. Ngo, and A. Hajimohammadi, “Effect of recycled glass fines on mechanical and durability properties of concrete foam in comparison with traditional cementitious fines,” *Cem Concr Compos*, vol. 99, 2019, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2019.03.004.
- [59] V. Letelier, B. I. Henríquez-Jara, M. Manosalva, C. Parodi, and J. M. Ortega, “Use of waste glass as a replacement for raw materials in mortars with a lower environmental impact,” *Energies (Basel)*, vol. 12, no. 10, 2019, doi: 10.3390/en12101974.
- [60] K. S. Ghareeb, H. E. Ahmed, T. H. El-Affandy, A. F. Deifalla, and T. A. El-Sayed, “The Novelty of Using Glass Powder and Lime Powder for Producing UHPSCC,” *Buildings*, vol. 12, no. 5, p. 684, May 2022, doi: 10.3390/buildings12050684.
- [61] N. N. M. Pauzi, R. Hamid, M. Jamil, and M. F. M. Zain, “The effect of melted-spherical and crushed CRT funnel glass waste as coarse aggregates on concrete performance,” *Journal of Building Engineering*, vol. 35, 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2020.102035.
- [62] V. Gokulnath, B. Ramesh, and S. Suvesha, “Influence on flexural properties of glass powder in self compacting concrete,” in *Materials Today: Proceedings*, 2020. doi: 10.1016/j.matpr.2019.10.153.

ANEXOS

Anexo 1. Nivel de Producción del Vidrio

Residuo	País	Millones
Vidrio Triturado	EE.UU	11.4
	Canada	3.7
	Australia	2.5
	Alemania	15
	Japón	8
	China	59
	India	5.6
	Europa	35.62
	Unión Europea	22.33

Anexo 2. Matriz de Consistencia

ODS (Objetivos y metas de desarrollo sostenible)	Línea de investigación	Problema			
ODS: Producción y consumo responsables. Meta: Reducir significativamente la generación de desechos.	Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la Industria en un Contexto de Sostenibilidad	¿Cómo influye la incorporación de polvo de vidrio reciclado como agregado fino en la mezcla de concreto?			
PDRC (Plan de Desarrollo Regional Concertado)	Sublínea de investigación	Hipótesis	Objetivo General	Objetivos específicos	Método propuesto
No se especifica en el PDRC, pero el estudio puede contribuir a la sostenibilidad y eficiencia en la construcción en la región.	Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e Infraestructura	La incorporación de polvo de vidrio como agregado fino mejora las propiedades mecánicas del concreto.	Analizar el impacto de la incorporación de polvo de vidrio reciclado como agregado fino en las propiedades del concreto.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar la producción mundial del polvo de vidrio 2. Establecer la temperatura de quemado del polvo de vidrio 3. Revisar las propiedades físicas del PV. 4. Evaluar el rendimiento del concreto modificado con polvo de vidrio reciclado. 	Revisión sistemática de la literatura existente sobre el uso de polvo de vidrio reciclado en la mezcla de concreto, con un análisis crítico de los estudios previos y sus resultados.