



Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**Estudio del Rendimiento en la Incorporación de Vidrio
Reciclado para una Mejor Resistencia del Concreto**

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

Autora

Camacho Pintado, Karime Dayane
<https://orcid.org/000-0002-8261-0771>

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

2024

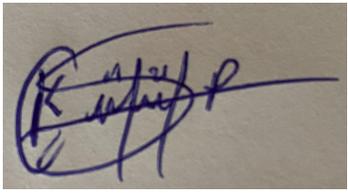
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la DECLARACIÓN JURADA, soy **egresada** 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:

ESTUDIO DEL RENDIMIENTO EN LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO RECICLADO PARA UNA MEJOR RESISTENCIA DEL CONCRETO

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:

Camacho Pintado, Karime Dayane	DNI: 71126367	
--------------------------------	---------------	---

Pimentel, 26 de agosto de 2024

21% 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

- 17%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 9%  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

En primer lugar, a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino, por darme la sabiduría y la perseverancia necesarias para alcanzar mis metas. A mis padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido mi mayor inspiración y motivación para seguir adelante. Este logro es también suyo.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por su presencia constante en mi vida, por darme la fortaleza y el valor necesarios para superar los desafíos que encontré en este camino académico.

Agradezco también a mis docentes, por compartir su conocimiento y por guiarme con paciencia y dedicación a lo largo de mi formación. Su sabiduría y apoyo han sido fundamentales para mi crecimiento académico y personal.

Finalmente, a mi familia, especialmente a mis padres, quienes han sido mi pilar en todo momento. Su amor, comprensión y sacrificio me han dado el impulso necesario para llegar hasta aquí. Gracias por creer en mí y por estar a mi lado en cada etapa de este viaje.

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	11
1.3. Hipótesis	11
1.4. Objetivos	11
1.5. Teorías relacionadas al tema	11
II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	18
III. RESULTADOS	20
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	27
4.1. Discusión	27
4.2. Conclusiones	28
V. REFERENCIAS	29
ANEXOS	37

Índice de tablas

Tabla I Proceso de Temperatura en la cual son sometidos el VD	21
Tabla II Propiedades físicas del VD	21

Índice de figuras

Fig. 1. Máquina de Resistencia a la Compresión	14
Fig. 2. Producción Anual de Residuos del VD en millones de tonelada	20
Fig. 3. Resistencia a la compresión del Concreto en base al % de Adición del VD	23
Fig. 4. Resistencia a la Compresión del Concreto con la incorporación del VD	23
Fig. 5. Resistencia a la Flexión del Concreto con la adición del VD	24
Fig. 6. Resistencia a la Flexión del Concreto con la adición del 0.3% y 0.6% de VD	25
Fig. 7. Resistencia a la Tracción con la adición en diferentes porcentajes de VD.	26

Resumen

El concreto es uno de los materiales estructurales más utilizados en la construcción, y su desempeño depende de los componentes y el diseño de la mezcla. La incorporación de vidrio reciclado (VD) se presenta como una alternativa viable y ecológica para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Se buscaron artículos científicos y de revisión sistemática en diferentes bases de datos indexadas, como Scopus, ScienceDirect, EbscoHost e IOPScience, con un rango de antigüedad de hasta 5 años (2019-2023). Las palabras clave utilizadas fueron: “glass powder + concrete”, “glass powder residue + concrete”, “crushed glass + concrete properties” y “powdered glass + properties of concrete”. Esta estrategia permitió identificar estudios previos y literatura relevante sobre el uso de vidrio reciclado en la construcción. Los resultados indican que la adición de VD dentro de los rangos mencionados mejora tanto la resistencia a la compresión como la durabilidad del concreto, sin comprometer su integridad estructural. Estos hallazgos sugieren que el VD no solo actúa como un refuerzo efectivo, sino que también contribuye a la sostenibilidad al utilizar materiales reciclados.

Palabras Clave: Concreto, vidrio, construcción, sostenibilidad, propiedades mecánicas.

Abstract

Concrete is one of the most commonly used structural materials in construction, and its performance depends on its components and mix design. The incorporation of recycled glass (RG) emerges as a viable and eco-friendly alternative to improve the mechanical properties of concrete. Scientific and systematic review articles were searched in various indexed databases, such as Scopus, ScienceDirect, EbscoHost, and IOPScience, with a maximum age range of 5 years (2019-2023). The keywords used were: “glass powder + concrete,” “glass powder residue + concrete,” “crushed glass + concrete properties,” and “powdered glass + properties of concrete.” This strategy allowed for the identification of previous studies and relevant literature on the use of recycled glass in construction. The results indicate that adding RG within the mentioned ranges improves both the compressive strength and durability of concrete, without compromising its structural integrity. These findings suggest that RG not only acts as an effective reinforcement but also contributes to sustainability by utilizing recycled materials.

Keywords: Concrete, glass, construction, sustainability, mechanical properties.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El concreto es uno de los materiales más empleados en la construcción, sin embargo, su comportamiento mecánico se verá influenciado por sus componentes, relación agua – cemento y la homogeneidad de las mezclas; al mismo tiempo, el tamaño de las partículas, nivel de reemplazo, la edad y la temperatura de curado juegan un rol muy importante [1], [2]. Ahora bien, la alta producción del concreto ha originado la sobreexplotación de los recursos naturales y con ello la emisión de altos porcentajes de gas de efecto invernadero (CO_2); por ende, en la búsqueda de la sostenibilidad ambiental, se ha propuesto la incorporación de materiales que permitan al concreto reforzar sus características mecánicas y microestructurales [3], [4]. Por ejemplo, Jayan et al. mencionan que al incorporar materiales sostenibles al concreto han otorgado una alta resistencia/peso, durabilidad/rigidez, amortiguación, resistencia a flexión y, principalmente, buena resistencia a la corrosión, desgaste, impacto y el fuego [5], [6].

Visto de esta forma, en la búsqueda de la sostenibilidad ambiental, se está optando por emplear materiales como el vidrio (VD), ya que pruebas experimentales han demostrado que la aplicación de estos materiales mejoró el comportamiento mecánico del concreto [7]. Concerniente al VD, Li et al. en su estudio cuando aplica el 20% de VD como agregado fino alcanzaron una mayor resistencia a la compresión, tracción por división y flexión del concreto [8]. Así mismo, Çelik et al. cuando añadió proporciones del 10% y 50% de VD, incrementaron la resistencia a la tracción del concreto hasta un 14% [9].

En efecto, el concreto elaborado con materiales industriales ha ganado una atención significativa en la industria de la construcción [10]; puesto que según Kočí et al. afirman que cuando se añadió hasta un 1.5% de fibras como refuerzo en el concreto han permitido incrementar sus puntos más frágiles del concreto [11]; no obstante, Elsayed et

al. encontraron que la resistencia del concreto disminuyó cuando se reemplazó totalmente el agregado grueso por el VD; pero concluyeron que este comportamiento surgió porque existió una mala homogeneidad entre el cemento y las partículas de VD [12], dejando en evidencia que aún se requiere mayores estudios, ya que se ha observado algunas discrepancias en sus resultados [13], [14]; a su vez, es necesario destacar que llevar a cabo prácticas de reciclaje beneficiarán a todo un país, ya que, aparte de reducir los riesgos ambientales causados por el vertido y la contaminación por los desechos industriales; conlleva al mejoramiento de la industria de la construcción [15].

De hecho, algunas investigaciones han considerado que emplear VD, subsanaron las debilidades que suelen observarse en el concreto, desde su baja resistencia a la compresión, tracción y la baja ductilidad [16], [17], [18]; ya que según Najaf et al. mencionan que la combinación del 1.5% de fibra y 25% de VD alcanzaron una resistencia a la compresión y tracción de 1.7 y 1.6 veces más a la muestra patrón [19]; demostrando mejoras en las propiedades mecánicas que se consideran más frágiles del concreto [20]; por lo que se deja en evidencia que si se les da un buen uso a los materiales alternos mejoraría la resistencia a la flexión y una mayor resistencia contra el agrietamiento en el concreto; y por ende, como argumentan Orouji et al. puede ser aplicado en losas de suelo, elementos prefabricados y revestimientos de túneles de concreto proyectado [21].

En definitiva, esta investigación se justifica de modo que existe una necesidad de emplear nuevos materiales en la industria de la construcción en lugar de optar por componentes naturales que se utilizan en la fabricación del concreto. Además, actualmente debido al incremento urbanístico y el uso excesivo de los recursos naturales se está generando problemas ambientales, por ende, brindar un mayor aprovechamiento de aquellos materiales de desecho a través del reciclaje favorecerán tanto a la industria de la construcción como al medio ambiente. Es así, que el objetivo de este artículo de

revisión es resaltar los métodos de mejora de las propiedades mecánicas y microestructurales del concreto combinando con el VD.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera la incorporación de vidrio reciclado en la mezcla de concreto influye en la resistencia y durabilidad del material comparado con el concreto convencional, y cómo puede esta práctica contribuir a la reducción de desechos y promoción de la sostenibilidad en la industria de la construcción?

1.3. Hipótesis

La incorporación de vidrio reciclado en el concreto mejora su resistencia en comparación con el concreto convencional.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el impacto de la incorporación de vidrio reciclado en la resistencia del concreto.

Objetivos específicos

- Analizar las características físicas y mecánicas del vidrio reciclado.
- Analizar el rendimiento del concreto modificado con vidrio reciclado.
- Comparar la resistencia del concreto con vidrio reciclado frente al concreto convencional.
- Determinar la viabilidad técnica y económica de utilizar vidrio reciclado en la mezcla de concreto.

1.5. Teorías relacionadas al tema

- Concreto

La industria de la construcción contribuye al desarrollo económico y social masivo en todo el mundo. Sin embargo, tiene una huella de carbono amplia debido al alto consumo de energía, desde la fase de producción de materias primas hasta la fase de

construcción de estructuras. El concreto, ha sido identificado como uno de los elementos estructurales que emiten mayores porcentajes de dióxido de carbono (CO_2) en su proceso de fabricación. El cemento funciona como el polvo aglutinante convencional para la producción de concreto y mortero [22].

Se prepara mediante la conglomeración de cemento, árido fino y árido grueso en proporciones de mezcla adecuadas con una relación agua-cemento óptima análoga al concreto convencional. Dado que el concreto es un material heterogéneo compuesto, la homogeneidad y la estabilidad de las mezclas de concreto deben mantenerse en todas las etapas. Las etapas de producción del concreto incluyen dosificación, mezcla, transporte, colocación y compactación en el encofrado deseado [23].

- **Propiedades del Concreto**

El concreto es un material cuasi-frágil que puede fallar sin ceder. Si bien es fuerte en compresión, el concreto es débil en tensión. Para superar sus desequilibrios estructurales y mejorar su resistencia y ductilidad general, al concreto se le agregan muchos tipos de refuerzo a la sección que inicia la fisura [24]. Posteriormente, los materiales que constituyen el concreto pueden experimentar deterioro o agotamiento [25].

- **Propiedades físicas**

a) **Concreto Fresco**

Trabajabilidad: Se define como el esfuerzo necesario para manipular una cantidad de concreto recién mezclado con una pérdida mínima de homogeneidad. Generalmente se sabe que esta propiedad del concreto afecta la consistencia, fluidez, bombeabilidad, compactibilidad y aspereza de una mezcla de concreto. Por lo tanto, es un factor muy importante puesto que de esta propiedad la producción de un concreto de alta calidad [26].

Asentamiento: Proporciona una medida de trabajabilidad. Usando esta prueba, el asentamiento se puede derivar midiendo la caída desde la parte superior del hormigón fresco desplomado. En la tarea de diseño de mezclas de concreto, la predicción de la

fluidez del concreto es fundamental para la construcción en el sitio. A medida que aumenta la complejidad de la construcción con hormigón, existe una presión cada vez mayor sobre los ingenieros de materiales para lograr una alta trabajabilidad y mantener las propiedades mecánicas necesarias para cumplir con las especificaciones de diseño [27].

Segregación: El proceso de segregación aparece cuando el agregado grueso se separa de la pasta y se deposita cuando el concreto se encuentra en estado plástico después de su colado. Debido a que los granos de diferentes tamaños se comportan de manera diferente, la segregación puede ocurrir después de cualquier movimiento de mezcla. Si el contenido de agua supera cierto valor, las fricciones disminuyen y se produce una separación por sedimentación. Así, los granos gruesos se asientan rápidamente, mientras que los finos son arrastrados por el agua. De otro modo, la segregación puede ocurrir en los siguientes casos: (1) composición granulométrica incorrecta de los agregados; (2) uso de grandes cantidades de agua y/o mezcla (superplastificante); (3) transporte; (4) implementación; (5) compactación intensa, etc [28].

b) Concreto Endurecido

Densidad: Depende del peso unitario de los materiales constituyentes y del volumen del espacio vacío [29].

Compacidad: Es el factor determinante para el aumento de resistencia en los morteros. En efecto, la modificación de esta propiedad altera el índice de vacío, la absorción de agua por capilaridad, la R_c y, en consecuencia, la durabilidad y aplicabilidad [30].

Contracción: El mecanismo de contracción del cemento endurecido es un misterio en el campo de la ingeniería del concreto. Aunque el diseño de la estructura es posible con un margen de seguridad apropiado con una gran cantidad de experiencias de mediciones de contracción del concreto, la comprensión profunda del mecanismo de contracción contribuirá a mejorar la seguridad y la capacidad de servicio de las

estructuras de concreto [31].

- **Propiedades Mecánicas**

Resistencia a la Compresión (Rc)

Es la capacidad del concreto para soportar cargas antes de fallar. De los ensayos a los cuales se le somete el elemento estructural, el ensayo de Rc es el más importante, ya que da una idea de las características de este [32]. Asimismo, en la Fig. 1. se muestra la máquina que permite determinar la resistencia a la compresión del concreto.



Fig. 1. Máquina de Resistencia a la Compresión

De la Fig. 1. se muestra la máquina que se emplea para determinar la capacidad de soporte del concreto. Adaptado de Jaya [32].

Resistencia a la flexión (FR)

Es la capacidad del material para soportar la deflexión por flexión cuando se aplica energía a la estructura [33]. Por otro lado; según Dhir, consideran que, es una medida indirecta de la resistencia a la tracción del concreto y se puede determinar a partir de una prueba de carga en el tercer punto y en el punto central. A pesar de que la prueba es difícil de realizar debido a problemas en el manejo y prueba de muestras. Se usa comúnmente en el diseño de pavimentos de concreto, ya que la prueba simula la flexión del pavimento bajo la carga del vehículo [34]

Resistencia a la tracción

Podría determinarse utilizando diferentes métodos de prueba de varios modelos de muestras, como tracción directa, flexión, división, tracción anular y pruebas de doble punzón. Es difícil aplicar una carga de tensión directa a las muestras de concreto. Asimismo, los métodos de prueba de tracción tradicionales sufren varios inconvenientes importantes asociados con los desafíos identificados del mecanismo de carga, como la excentricidad de la carga, la falta de uniformidad de la tensión o la deformación y la concentración de la tensión en los extremos de la muestra, lo que provoca la fractura de los extremos de las muestras [35].

Módulo de elasticidad

El módulo elástico se ve afectado por una amplia variedad de parámetros, algunos de los cuales son la capacidad de compresión de la muestra, su edad, el tipo de agregado utilizado, el tipo de cemento utilizado, la tasa de carga y el tamaño de la muestra de prueba. Una estimación precisa del módulo de elasticidad de acuerdo con las pautas aceptadas es un proceso desafiante que requiere protocolos de carga especializados y monitoreo continuo de la tensión [36]. Entre tanto, según Ahmadi & Kioumarsi, argumentan que, el módulo elástico (EM) es una medida utilizada para caracterizar la rigidez de los materiales sólidos. Este criterio es una de las PM de los materiales sólidos elásticos lineales. El módulo de Young diferirá según el tipo de material bajo investigación y la temperatura. Usando este parámetro, es posible determinar la relación entre el estrés y la deformación de un material. Los materiales sólidos se deforman debido a la carga. Cuando la forma del material vuelve a su estado original después de haber sido cargado, esto se conoce como deformación elástica. La relación deformación-esfuerzo es lineal en la región donde la relación entre la carga y la deformación permanece constante. Además, se requeriría una fuerza infinita para deformar un material absolutamente rígido, y el módulo de Young del material tendería a infinito. Un material con un módulo de Young muy alto se puede considerar rígido y cambia su forma solo ligeramente bajo cargas elásticas [37].

- **Relación agua – cemento (w/c)**

Es otra característica que debe ser considerada en la definición de la mezcla óptima de áridos de un material cementoso. Esta característica influye directamente en las propiedades tecnológicas, como la resistencia mecánica. Los trabajos han revelado que el cambio de la relación agua/aglutinante alterará las propiedades de la mezcla cementosa y afectará directamente el desempeño del material utilizado en la construcción civil [30]

- **Agregados**

Consiste en piedra triturada manufacturada y arena creada al triturar el lecho rocoso, y arena y grava no consolidadas que ocurren naturalmente. Alrededor del 80 % del volumen del concreto se debe a la grava. Generalmente, el cemento y los agregados gruesos son productos fabricados en fábrica y su calidad y estándares se controlan y mantienen fácilmente [38].

- a) Agregado Fino**

El agregado fino con tamaño menor a 4.75 mm, se utiliza para asegurar la continuidad entre el cemento y la grava para la mejor cohesión del concreto. Del mismo modo, se puede argumentar que, el agregado fino, que es un componente principal en la producción de concreto, tiene un papel importante que desempeñar para influir en la resistencia del concreto. La arena se usa comúnmente como material estándar para un agregado fino [39].

- b) Agregado Grueso**

Los agregados son lo suficientemente grandes como para ser retenidos en el tamiz de 4,7 mm y generalmente constituyen agregados gruesos [40].

- **Cemento**

El cemento es el material más producido en el mundo. Es uno de los principales elementos del concreto que originan grandes porcentajes de emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, es el principal agente aglutinante en el concreto,

proporcionando una fuerza cohesiva que aumenta rápidamente durante el fraguado [41].

- **Agua**

El agua activa el cemento y otros materiales cementosos. Es un requisito absoluto de las reacciones que desarrollan la resistencia y la durabilidad, pero a pesar del gran poder químico del agua (se la conoce como el “disolvente universal”), quizás su mayor desventaja en el concreto es su baja densidad. Asimismo, las impurezas en el agua pueden reducir la resistencia del concreto e inducir la corrosión del refuerzo, por lo que la calidad del agua es crítica [42].

- **Vidrio Triturado (VD)**

Numerosas publicaciones relevantes han mostrado la utilización de residuos de concreto, ladrillo, vidrio y cerámica. Ahora bien, reciclar dichos desechos en agregados reciclados y polvo reciclado son dos métodos comunes y efectivos. En primer lugar, el agregado reciclado, derivado de la trituración de residuos de construcción y demolición inerte, se puede utilizar de manera efectiva como sustituto del agregado natural en la producción de mortero y concreto nuevos, y estos agregados reciclados hechos de diversos tipos de desechos tienen varios componentes y características. La utilización de áridos reciclados disminuye la dependencia de arena y piedra natural en morteros y concretos [43].

De otro modo, según Hamada et al., mencionan que, el vidrio es uno de los materiales más esenciales y comúnmente utilizados en todo el mundo. Después del uso final, el vidrio de desecho se puede tamizar, limpiar y volver a fundir para la fabricación de nuevos productos de vidrio. Sin embargo, las impurezas, el tipo múltiple, el color y la falta de instalaciones de detección constituyen una barrera para esta reutilización y, por lo general, terminan en pilas de almacenamiento o vertederos. Los desechos de vidrio (GW) son un peligro ambiental en muchos espacios de vertederos ocupados en todo el mundo. Esto se debe a la naturaleza no biodegradable de los residuos de vidrio y la falta de áreas extendidas para los nuevos vertederos en ciudades altamente pobladas. Por lo tanto, el

uso de estos desechos es una mejor opción para mantener los recursos naturales al reducir el área del vertedero y ahorrar dinero y energía [44].

II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Se optó por una metodología específica que se alinea directamente con los objetivos de la investigación. Se seleccionó un enfoque cuantitativo, centrado en la recolección y análisis de datos empíricos, ya que permite medir de manera precisa los efectos de la incorporación del vidrio reciclado en la resistencia del concreto. Entre tanto, el método cuantitativo fue elegido porque permite evaluar de manera sistemática y objetiva las propiedades mecánicas del concreto al incorporar vidrio reciclado. Este enfoque facilita la comparación de resultados y la identificación de tendencias, lo cual es crucial para determinar la viabilidad de este material reciclado en aplicaciones de construcción.

Ahora bien, las preguntas de investigación fueron diseñadas para explorar cómo la incorporación de vidrio reciclado afecta la resistencia del concreto en diferentes proporciones. Estas preguntas guían la recopilación de datos específicos, como la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto, asegurando que el estudio se mantenga centrado en su objetivo principal. Por su lado, para la investigación se buscaron artículos científicos y de revisión sistemática de diferentes bases de datos indexadas, distribuidos de la siguiente manera: Scopus, ScienceDirect, EbscoHost y de IOPScience; considerándose como máximo artículos con un rango de 5 años de antigüedad; siendo estos del 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023. Asimismo, las palabras clave fueron: “glass poder + concrete”; “glass powder residue + concrete”; “crushed glass + concrete properties” y “powdered glass + properties of concrete”. Esta estrategia permitió identificar estudios previos y literatura relevante que informan sobre el uso de vidrio reciclado en la construcción.

Finalmente, los criterios de inclusión y exclusión fueron: Incluyeron estudios que evaluaran la resistencia del concreto con vidrio reciclado, realizados en los últimos 5 años, y publicados en revistas revisadas por pares. Además, se consideraron aquellos que detallaban metodologías comparables y resultados cuantitativos claros; sin embargo,

se excluyeron estudios que no especificaran el tipo o la proporción de vidrio reciclado utilizado, aquellos con metodologías ambiguas, o estudios enfocados en materiales distintos al concreto.

Al aplicar este método, se asegura que los resultados obtenidos sean relevantes y confiables para evaluar el potencial del vidrio reciclado como un material que mejora la resistencia del concreto, contribuyendo a la sostenibilidad en la construcción.

III. RESULTADOS

Las últimas décadas han visualizado investigaciones interesantes en el área de la ingeniería civil, puesto que actualmente se están aplicando compuestos naturales o sintéticos en elementos estructurales como el concreto, a su vez, la viabilidad de utilizar diferentes materiales de desecho en el concreto reforzado con VD está atrayendo la atención de los profesionales [5], [45]; por lo que a través de una revisión sistemática de la literatura, el artículo analiza el refuerzo del concreto empleando materiales como el polvo de vidrio y las fibras de polipropileno.

La mayoría de los países son grandes productores de materiales como el VD. Según un informe del Banco Mundial, desde el 2018 se generaron alrededor de 2010 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos y se predijo que esta cantidad aumentaría a 3400 millones de toneladas para 2050 [46]; sin embargo, para un mejor detalle se evidencia la Fig. 2. de los diferentes países y la cantidad de producción:

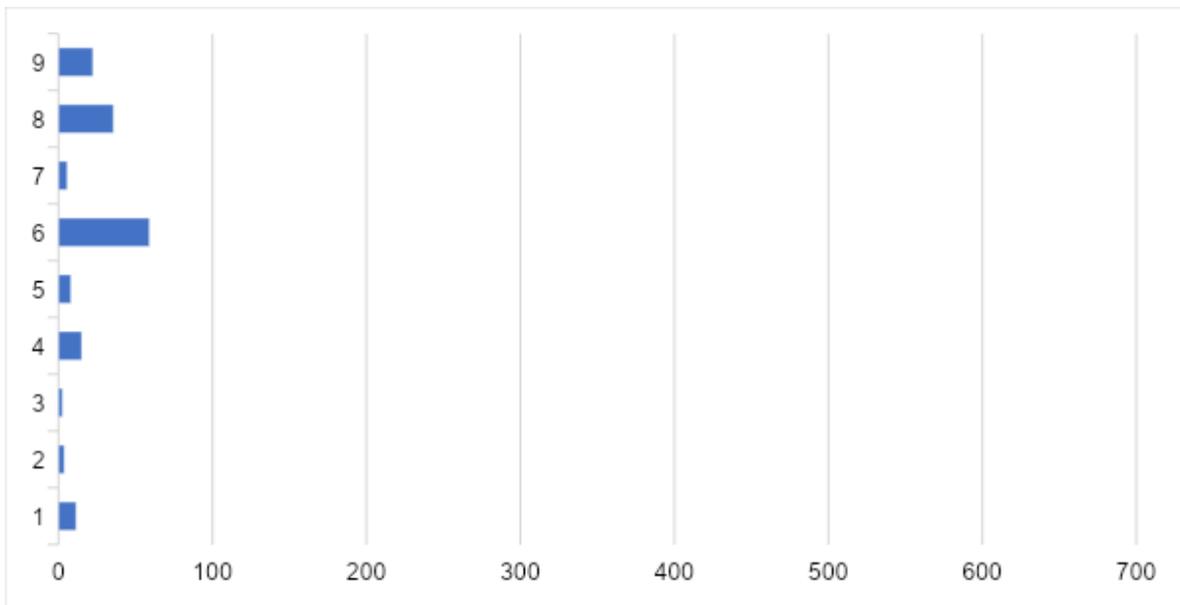


Fig. 2. Producción Anual de Residuos del VD en millones de tonelada

De la Fig. 2 se evidencia el nivel de producción del VD, destacándose que los mayores productores del VD son China, Europa y la Unión Europea [47], [48], [49].

Luego, estos materiales antes de ser incorporados como componente del concreto son sometidos a ensayos de temperatura, por ende, en la Tabla I se expondrá los niveles de temperatura y lo que se observó durante el proceso.

Tabla I

Proceso de Temperatura en la cual son sometidos el VD

Residuo	Temperatura	Tiempo	Observaciones	Referencia
Vidrio Triturado	150°C - 600°C	2h	A medida que las muestras se calentaban, el color de su superficie cambiaba de brillante a oscuro y luego volvía a ser brillante todas las partículas	[8]
	200°C - 800°C	Una velocidad de calentamiento de 5 °C/min durante 1,5 h.	La incorporación de residuos de vidrio hasta en un 22,5 % aumentó la resistencia a la compresión residual a 800 °C (41 MPa)	[50]

Nota. De la Tabla I se evidencia el residuo del VD, las temperaturas y las observaciones.

Ahora bien, las propiedades del concreto con la adición de VD fueron: Físicas y mecánicas:

- Propiedades físicas

Tabla II

Propiedades físicas del VD

Propiedades físicas	Color	Gravedad específica [kg/m³]	Densidad kg/m³	Referencia
	Blanco – gris claro	-	1,752	[19]
VD	-	-	Van desde 1,685 a 1,984	[20]

-	2450	-	[51]
	2660	910	[52]
	3200	Van desde 2265, 2254 y 2223.	[53]
		~600	[48]
		Van desde 2436, 2448 y 2457	
Blanco	-	para los 7, 28 y 90 días de curado	[54]

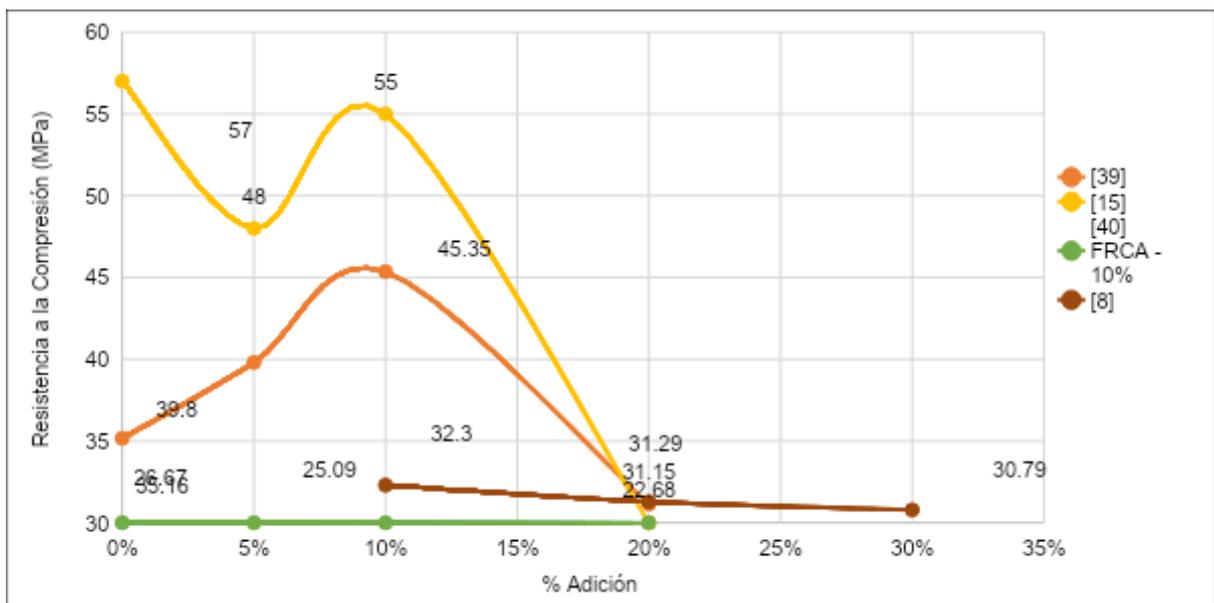
Nota. De la Tabla III se evidencia las propiedades físicas que se obtuvieron del VD.

- Propiedades mecánicas

Aplicación del Vidrio (VD)

Resistencia a la Compresión a los 28 días

Este ensayo es considerado uno de los más importantes, puesto que permitirá determinar las cargas que el elemento estructural podrá soportar antes de agrietarse. Ahora bien, en



la Fig. 5. se puede evidenciar el estudio de 4 autores, donde refleja que cuando se añadió porcentajes desde el 5% hasta el 15% de VD el concreto alcanzó mayores resistencias a

la compresión, siendo sus valores de 48MPa, 55 MPa; no obstante, en porcentajes del 15%, 20% y 30% el concreto pierde su capacidad de soportar cargas, denotando valores de 32 MPa, 31.15 MPa y 30.79 MPa [8], [13], [55], [56]. De otro modo, en la Fig. 3. se muestra que la mayor resistencia a la compresión se alcanzó con el 10% de VD, obteniendo valores de 60 MPa y 85 MPa; luego con el 20% y 30% solo en 2 estudios se observaron valores altos de 100 MPa y 80 MPa [57], [58], [59], [60].

Fig. 3. Resistencia a la compresión del Concreto en base al % de Adición del VD

De la Fig. 4 se observa la resistencia a la compresión del concreto cuando se añaden porcentajes de VD; siendo sus valores más altos entre los rangos de 45 MPa hasta 55 MPa [8], [13], [55], [56].

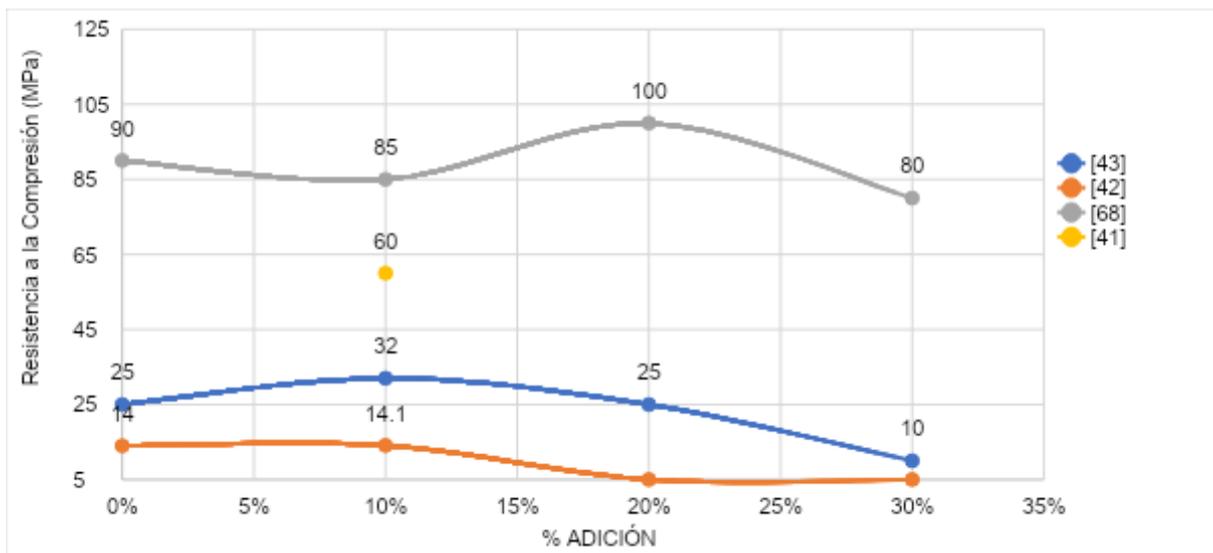


Fig. 4. Resistencia a la Compresión del Concreto con la incorporación del VD

Nota. De la Fig. 4 se observa que la mejor resistencia se obtuvo en 2 estudios, ya que cuando se añadió el 10% de VD el concreto alcanzó una resistencia promedio de 73 MPa, luego al 20% obtuvo una resistencia de 100 MPa y al 30% una resistencia de 80 MPa, resultados que otros investigadores discrepan dado que al momento de llevar a cabo esta investigación alcanzaron resistencias desde 10 MPa hasta 32 MPa [57], [58], [59], [60]

Finalmente, según, Pauzi et al. en su estudio empleó el 0.6% de vidrio triturado (VT) + 0.4% de VD; obteniéndose como resultado la mayor resistencia a la compresión, siendo esta del 63,94; seguido de las mezclas 0.4% VT + 0.6% VD, alcanzando una resistencia de 62.50 a los 56 días de curado [61].

Resistencia a la Flexión a los 28 días

Este ensayo se basa en la capacidad de los compuestos o materiales para resistir la deflexión por flexión cuando se aplica energía a la estructura. Desde esta perspectiva, en la Fig. 5. se muestra que los mayores valores se obtienen cuando se añade el 10% y 20% de VD; sin embargo, estos valores no superan a la muestra patrón; no obstante, en una de las investigaciones cuando se añade el 30% alcanza una resistencia de 4.2 MPa, pero en este caso no se tiene como base un valor patrón [56], [59]. Así mismo, de la Fig. 6 se puede evidenciar que la resistencia a la flexión del concreto es superior con la adición del 0.6% siendo su resistencia de 8.5 MPa [62].

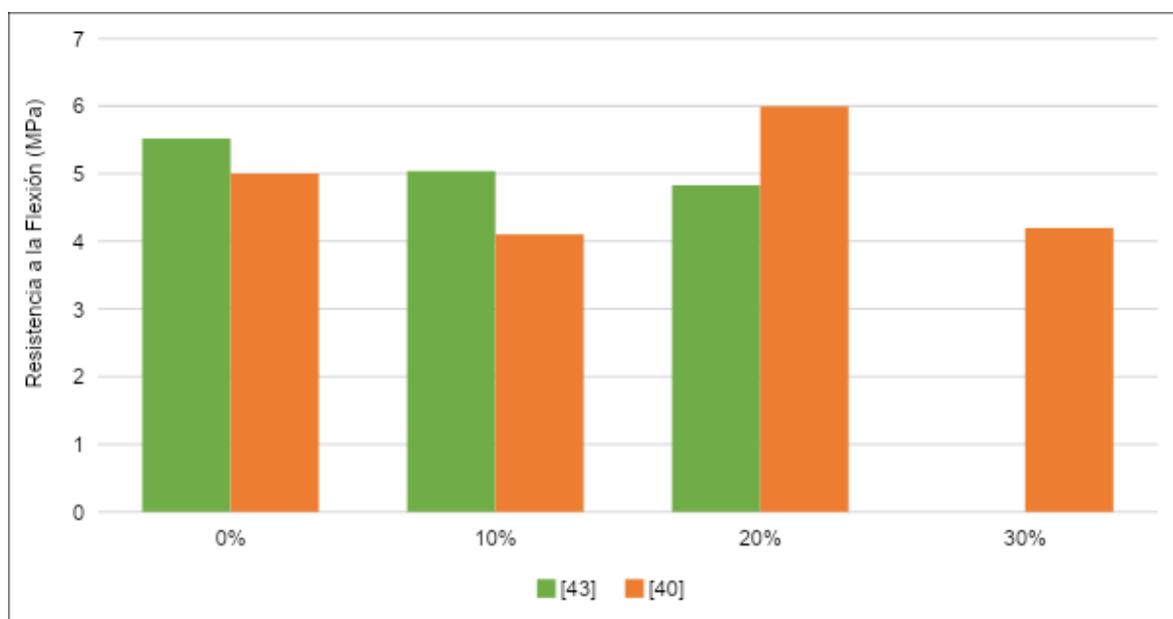


Fig. 5. Resistencia a la Flexión del Concreto con la adición del VD

Nota. De la Fig. 5 se muestra la resistencia a la flexión del concreto con la adición del VD se encuentra en un rango de 4.1MPa hasta 6 MPa [56], [59].



Fig. 6. Resistencia a la Flexión del Concreto con la adición del 0.3% y 0.6% de VD

Nota. De la Fig. 6. Se muestra la resistencia a flexión del concreto con la adición del 0.3% y 0.6% de VD, encontrándose la resistencia más con el 0.6%, siendo su valor de 8.5 MPa con respecto al 7.33 MPa [62].

Resistencia a la Tracción a los 28 días

Entre tanto en la Fig. 7. se observa la resistencia tracción del concreto, observándose que los valores más altos alcanzados fueron con el 1.2% y el 10%, siendo estas resistencias de 4.77 y 3.49 MPa respectivamente [8], [62].

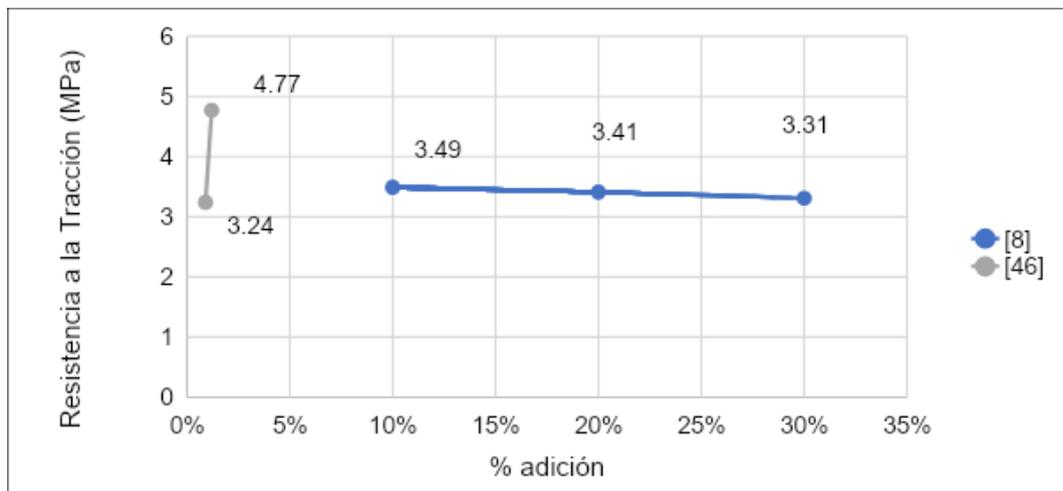


Fig. 7. Resistencia a la Tracción con la adición en diferentes porcentajes de VD.

Nota. De la Fig. 7. se muestra que mayores valores se alcanzaron solo con 2 porcentajes de VD; es decir el 1.2% y 10%; y la resistencia más baja se obtuvo con el 0.9% de VD [8], [62].

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

3.1. Discusión

La incorporación de vidrio reciclado (VD) en la fabricación de concreto ha generado un interés creciente en el campo de la ingeniería civil, debido a sus posibles beneficios tanto en términos de sostenibilidad como de mejoras en las propiedades mecánicas del concreto. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran una serie de coherencias y contradicciones que requieren una discusión detallada para comprender mejor sus implicaciones y orientar futuras investigaciones.

Los estudios revisados indican consistentemente que la adición de VD en proporciones moderadas, especialmente en torno al 10%, tiende a mejorar la resistencia a la compresión del concreto. Este hallazgo es coherente con los resultados obtenidos por varios investigadores, quienes reportaron resistencias que oscilan entre 60 MPa y 85 MPa con un 10% de adición de VD [57], [58], [59], [60]. Este comportamiento sugiere que el VD puede actuar como un refuerzo efectivo dentro de ciertos límites, mejorando las propiedades mecánicas del concreto sin comprometer su integridad estructural.

No obstante, se observaron contradicciones significativas cuando se aumentó la proporción de VD al 20% y 30%. Mientras que algunos estudios reportaron un aumento en la resistencia a la compresión (hasta 100 MPa con un 20% de VD) [57], [58], [59], [60], otros encontraron que estas proporciones reducían la capacidad de carga del concreto, con valores que descendieron a 30.79 MPa [8], [13], [55], [56]. Estas discrepancias podrían atribuirse a diferencias en las metodologías utilizadas, como la preparación del VD, el tamaño de las partículas, o las condiciones de curado del concreto. Asimismo, las variaciones en los resultados de la resistencia a la tracción y a la flexión con diferentes porcentajes de VD sugieren que la interacción entre el vidrio reciclado y la matriz del concreto es compleja y no completamente comprendida [8], [62].

3.2. Conclusiones

Los resultados obtenidos destacan la necesidad crítica de profundizar en la investigación sobre las condiciones óptimas para la incorporación de vidrio reciclado (VD) en el concreto. Es fundamental que futuras investigaciones se enfoquen en estandarizar los métodos de preparación y procesamiento del VD, asegurando la consistencia y confiabilidad de los resultados. Además, es imperativo evaluar los efectos a largo plazo del VD en estructuras de concreto, especialmente en aquellas expuestas a condiciones ambientales adversas. Explorar la combinación de VD con otros materiales de refuerzo podría revelar mejoras sinérgicas que optimicen las propiedades mecánicas del concreto, abriendo nuevas posibilidades en la ingeniería civil.

Desde una perspectiva práctica, los hallazgos sugieren que el VD tiene un gran potencial para ser utilizado eficazmente en proyectos de construcción sostenible, siempre que se mantenga en proporciones adecuadas. La adición de VD no solo podría mejorar la resistencia del concreto, sino que también podría desempeñar un papel clave en la reducción de la huella ambiental de la construcción, al aprovechar materiales reciclados. No obstante, para que esta práctica se adopte a gran escala, es crucial desarrollar guías técnicas claras que definan las mejores prácticas para la incorporación de VD en diversas aplicaciones estructurales, garantizando tanto la viabilidad técnica como la sostenibilidad ambiental.

La incorporación de vidrio reciclado en el concreto representa una solución innovadora con un considerable potencial para transformar la industria de la construcción. Sin embargo, su aplicación debe ser gestionada con cautela para maximizar sus beneficios y mitigar posibles riesgos. Las discrepancias observadas en los resultados actuales subrayan la importancia de continuar investigando y desarrollando un marco más robusto y confiable que permita su uso generalizado en la construcción, garantizando así su éxito a largo plazo.

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.job.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. Burtshell, “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. Kioumars, “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] 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.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] A. Goyal et al., “The physics of cement cohesion,” *Sci Adv*, vol. 7, no. 32, 2021, doi: 10.1126/sciadv.abg5882.
- [42] 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.
- [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.jobbe.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. Resistencia a la compresión a los 28 días

% Adición	[39]	[15]	[40] FRCA - 10%
0%	35.16	57	26.67

5%	39.8	48	-
10%	45.35	55	25.09
20%	31.15	-	22.68
% Adición	[8]	-	-
10%	32.3	-	-
20.0%	31.29	-	-
30%	30.79	-	-

Anexo 3. Resistencia a la flexión a los 28 días

% Adición	[43]	[40]
0%	5.52	5
10%	5.04	4.1
20%	4.83	6
30%	-	4.2

Anexo 4. Resistencia a la tracción a los 28 días

% Adición	[8]
10%	3.49
20%	3.41
30%	3.31
% Adición	[46]
0.9%	3.24
1.2%	4.77

Anexo 5. 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	¿De qué manera la incorporación de vidrio reciclado en la mezcla de concreto influye en la resistencia del material comparado con el concreto convencional, y cómo puede esta práctica contribuir a la reducción de desechos y promoción de la sostenibilidad en la industria de la construcción?			
PDRC (Plan de Desarrollo Regional Concertado)	Sublínea de investigación	Hipótesis	Objetivo General	Objetivos específicos	Método propuesto

<p>No se especifica en el PDRC, pero el estudio puede contribuir a la sostenibilidad y eficiencia en la construcción en la región.</p>	<p>Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e Infraestructura</p>	<p>La incorporación de vidrio reciclado en el concreto mejora su resistencia en comparación con el concreto convencional.</p>	<p>Evaluar el impacto de la incorporación de vidrio reciclado en la resistencia del concreto.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analizar las características físicas y mecánicas del vidrio reciclado. 2. Analizar el rendimiento del concreto modificado con vidrio reciclado. 3. Comparar la resistencia del concreto con vidrio reciclado frente al concreto convencional. 4. Determinar la viabilidad técnica y económica de utilizar vidrio reciclado en la mezcla de concreto. 	<p>Diseño experimental con muestras de concreto con diferentes proporciones de vidrio reciclado. Pruebas de resistencia a la compresión y tracción. Análisis estadístico de los resultados.</p>
--	--	---	---	--	---