
ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA
JURÍDICA
DISTRITAL
BOGOTÁ

Reutilización de residuos de vidrio en firmes viales: aportes al desarrollo urbano desde la ingeniería de materiales

Reuse of Glass Waste in Road Pavements: Contributions to Urban Development from Materials Engineering

Emmanuel Guerra Pinilla: Ingeniero civil especializado en pavimentos e infraestructura vial. Docente investigador con experiencia en geotecnia, caracterización de materiales y diseño de pavimentos. Su trabajo integra investigación aplicada y formación académica en ingeniería del transporte. Correo electrónico: emmanuel.guerra@scrd.gov.co

Evaristo Rafael Moreno: Ingeniero con más de 30 años de experiencia en materiales asfálticos, economía circular, seguridad laboral e I+D+i. Ha dirigido obras, plantas industriales y laboratorios, y ha sido docente e investigador en la Universidad de Jaén. Participa activamente en asociaciones y congresos técnicos del sector. Correo electrónico: ferml0001@red.ujaen.es

Franciscos Corpas Iglesias: Ingeniero civil con formación avanzada en materiales y sostenibilidad. Doctorando en la Universidad de Jaén y profesor universitario. Trabaja en la Secretaría de Cultura en proyectos de infraestructura y patrimonio con enfoque sostenible. Correo electrónico: acorpas@ujaen.es

Harold Zambrano: Doctor Ingeniero especializado en materiales y metalurgia. Autor de numerosas publicaciones y titular de diversas patentes. Su trayectoria combina investigación, innovación y dirección de proyectos en ingeniería y ciencia de materiales. Correo electrónico: hlzambranou@udistrital.edu.co

RESUMEN

La generación y el tratamiento de residuos es uno de los temas más importantes en la actualidad, y es una preocupación global. El informe "Los desechos 2.0: Un panorama mundial de la gestión de desechos sólidos hasta 2050", realizado por el Banco Mundial, concluyó que en 2016 se produjeron 2.010 millones de toneladas de residuos en todo el mundo (ONU, Objetivos de Desarrollo Sostenible, S.f.; DANE, 2018; Banco Mundial, 2018). La situación es preocupante, ya que se estima que la producción de residuos aumentará un 70% para 2050, lo que significa que se producirán 3.400 millones de toneladas de residuos por año (Banco Mundial, 2018). Solo América del Sur produjo 231 millones de toneladas de residuos por año, mientras que América del Norte produjo 289 millones y Asia y Europa, 392 millones (Banco Mundial, 2018). En Colombia en 2016, se produjeron aproximadamente 12 millones de toneladas de basura, lo que equivale a 725,000 camiones de desechos sólidos. Las áreas más afectadas fueron Bogotá, Antioquia y Atlántico (DANE, 2018). A pesar de esta situación, la oferta de residuos sólidos en Colombia se ha mantenido constante de 2012 a 2018, lo que indica que no se han implementado estrategias efectivas para el aprovechamiento de los residuos (DANE, 2018). Este escenario destaca la urgencia de tomar medidas concretas para impulsar una gestión sostenible de residuos y mitigar su impacto ambiental. En este contexto, el trabajo se enfoca en el ámbito de la construcción, contribuyendo al aplicar los principios de la economía circular en la conservación y reparación de firmes ordinarios. Esto se logra mediante el aprovechamiento de residuos de vidrio y el reciclado de firmes deteriorados. La calle 87a sur, en Bogotá, Colombia, es el modelo de estudio para esta investigación que pretende mejorar las propiedades mecánicas del suelo firme.

Palabras Clave: Economía circular, sostenibilidad, reciclado, vidrio, vías firmes.

ABSTRACT

Waste generation and treatment is one of the most important issues today and a global concern. The World Bank report, "Waste 2.0: A Global Outlook on Solid Waste Management to 2050," concluded that 2.01 billion tons of waste were produced worldwide in 2016 (UN, Sustainable Development Goals, n.d.; DANE, 2018; World Bank, 2018). The situation is alarming, as waste production is estimated to increase by 70% by 2050, reaching 3.4 billion tons per year (World Bank, 2018). South America alone produced 231 million tons of waste annually, while North America produced 289 million tons, and Asia and Europe, 392 million tons (World Bank, 2018). In Colombia in 2016, approximately 12 million tons of garbage were produced, which is equivalent to 725,000 trucks of solid waste. The most affected areas were Bogotá, Antioquia, and Atlántico (DANE, 2018). Despite this situation, the supply of solid waste in Colombia remained constant from 2012 to 2018, indicating that effective waste management strategies have not been implemented (DANE, 2018). This scenario highlights the urgent need for concrete measures to promote sustainable waste management and mitigate its environmental impact. In this context, this work focuses on the construction sector, contributing by applying circular economy principles to the conservation and repair of ordinary pavements. This is achieved through the use of glass waste and the recycling of deteriorated pavements. Calle 87a Sur in Bogotá, Colombia, serves as the case study for this

research, which aims to improve the mechanical properties of the pavement.

Keywords: Circular economy, sustainability, recycling, glass, paved roads.

SUMARIO

I. El uso de residuos sólidos como materiales de construcción alternativos: un enfoque sostenible para la construcción. II. Metodología aplicada para llevar a cabo la investigación. III. Resultados y discusión. IV. Conclusiones. V. Referencias.

I. EL USO DE RESIDUOS SÓLIDOS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN ALTERNATIVOS: UN ENFOQUE SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN

La construcción es una de las principales actividades humanas que contribuyen al cambio climático, ya que la producción de materiales como el hormigón y el acero genera grandes cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero (Banco Mundial, 2018). Para reducir el impacto ambiental, una estrategia útil es emplear materiales alternativos más sostenibles, y entre ellos, los residuos sólidos, poseen un considerable potencial.

Para abordar esta investigación, fue esencial examinar la realidad del manejo global de residuos sólidos y explorar la aplicación de materiales no convencionales en la construcción. Al considerar la sustitución de materiales convencionales por residuo de vidrio, se destaca la necesidad de evaluar el impacto económico y ambiental en la industria de la construcción.

Según el informe "Los desechos 2.0" del Banco Mundial, la generación y tratamiento de residuos sólidos son problemas críticos a nivel mundial. En específico, Colombia generó alrededor de 12 millones de toneladas de basura en 2016, con Bogotá produciendo diariamente 6.308 toneladas. Estas cifras alarmantes resaltan la urgencia de medidas coordinadas para gestionar los residuos de manera sostenible (DANE, 2018; Banco Mundial, 2018).

A pesar de que en Colombia, y particularmente en Bogotá, se han implementado prácticas de reciclaje desde la década de los cincuenta, el sistema actual continúa presentando deficiencias significativas. Según el DANE (2018), solo se logró un aprovechamiento del 11%. Aunque los recicladores realizan esfuerzos importantes para generar ingresos y garantizar su subsistencia, enfrentan condiciones laborales precarias y cuentan con oportunidades limitadas para optimizar sus canales de comercialización. (Cámara de Representantes, 2021; Sarmiento 2016; León et al, 2016).

En este contexto, en el ámbito de la construcción, el uso extensivo de concreto ha generado un impacto ambiental considerable, lo que ha impulsado la exploración del reciclado de vías firmes como una alternativa sostenible. Esta técnica busca aprovechar de manera integral los materiales envejecidos de las vías afirmadas, fomentando así métodos de construcción más sostenibles y contribuyendo a la reducción del impacto ambiental (Fontana et al, 2007). La rehabilitación y el reciclado de vías ofrecen beneficios al renovar las capas deterioradas, prolongando la vida útil de las vías y mejorando su resistencia (Gutiérrez, 2022).

El progreso en equipos y métodos constructivos ha potenciado la práctica del reciclado de vías firmes, promoviendo la sostenibilidad y evitando la creación de nuevos vertederos mediante la explotación de áridos (Quispe, 2022; Avella, 2016; Gutiérrez 2018). Estas iniciativas buscan avanzar hacia métodos de construcción más sostenibles, reduciendo el impacto ambiental y fomentando la reutilización de materiales existentes (Balón et al, 2019; Castro, 2022; IDU, 2022).

Ahora bien, en Colombia, la práctica del reciclado de firmes in situ es escasa, y una de las razones es la desactualización de las metodologías empleadas en el país para la rehabilitación o reconstrucción de vías (Gutiérrez, 2022). Particularmente Bogotá, identifica 761,67 vías en superficie en afirmado sin intervenir, principalmente ubicadas en la zona de Usme, según datos del 2021 (Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial, 2021), y como se puede apreciar en la figura 1.

LOCALIDAD	Rígido	Flexible	Mixtos	Adoquín concreto	Adoquín arcilla	Afirmado	Tierra	Piedra laja
1. Usaquén	124,41	517,98	10,86	7,46	20,45	18,59	3,34	
2. Chapinero	45,01	244,17	10,6	1,8	6,62	4,34	0,49	
3. Santa Fe	67,73	97,3	7,4	4,39	5,29	3,41	0,07	0,21
4. San Cristóbal	339,88	153,97	11,84	3,01	7,27	39,61	0,95	0,1
5. Usme	201,41	91,56	6,59	6,63	8,86	170,74	1,37	0,1
6. Tunjuelito	38	169,28	3,02		4,25	4,32		
7. Bosa	167,11	315,53	15,9	13,86	32,67	79,85	0,62	
8. Kennedy	294,54	755,63	13,85	8,24	9,95	124,79	1	
9. Fontibón	104,39	363,29	16,4	4,75	11,24	26,91		
10. Engativá	218,13	748,73	7,34	8,03	24,52	27,58	4,2	0,13
11. Suba	200,92	845,92	18,27	18,43	70,97	72,39	17,44	0,18
12. Barrios Unidos	7,5	360,92	0,02	0,8	1,22	0,16	0,32	
13. Teusaquillo	19,18	339,52	2,03	0,12	3,2	2,5		
14. Los Mártires	23,82	218,88	1,59	0,86	1,17	1,67	0,06	
15. Antonio Nariño	10,21	162,16	0,32	0,75	0,59	0,37	0,11	
16. Puente Aranda	35,18	511,4	9,75	1,48	2,15	9,77	0,12	
17. Candelaria	13,14	28,71	1,81	2,46	5,54	1,36	0,6	1,59
18. Rafael Uribe Uribe	182,06	256,25	10,69	7,53	10,14	25,63	10,17	0,02
19. Ciudad Bolívar	364,77	237,05	13,14	19,04	15,54	147,68		
20. Sumapaz								
TOTAL	**2457,39**	**6418,25**	**161,42**	**109,64**	**241,64**	**761,67**	**40,86**	**2,33**

Figura 1. Superficies viales clasificadas y con su cantidad según la zona de la ciudad.

El presente estudio propone una técnica de reciclado in situ de firmes mediante la adición de residuos de vidrio. Esta técnica tiene el potencial de reducir el impacto ambiental de la construcción y el mantenimiento de infraestructuras viales, al aprovechar un material de desecho que, de otro modo, terminaría en un vertedero (Rumyantseva, 2020; Atahan, 2012).

El reciclaje de firmes tiene una serie de ventajas, entre ellas el ahorro de recursos naturales. Por ejemplo, se puede ahorrar una tonelada de recursos naturales por cada tonelada de vidrio reciclado (Atahan, 2012; Ferdous, 2021; Smith, 2020).

Diversos estudios han investigado el uso potencial

de residuos sólidos en el hormigón; sin embargo, la inconsistencia de los resultados resalta la necesidad de estandarizar los ensayos y de realizar más investigaciones (ORDEN CIRCULAR 8/2001; Prieto, 2017). El reciclaje y la economía circular son fundamentales para la sostenibilidad, y las aplicaciones del reciclaje en la construcción resultan particularmente prometedoras (EPA, 2018; European-Commission, 2018).
En ese sentido, el presente trabajo se centra en la investigación de la viabilidad del reciclado de firmes ordinarios con residuos de vidrio y el aprovechamiento de materiales reutilizables presentes en el viario urbano. Concretamente, se realizó un estudio en la calle 87a sur, ubicada en el sector de Tihuaque, zona Usme, en Bogotá, Colombia, elegida como modelo de firme sobre el que actuar.



Figura 2. Vía en superficie en firme, caso de estudio ubicado en: la calle 87a sur, ubicada en el sector de Tihuaque, zona Usme.

II. Metodología aplicada para llevar a cabo la investigación

El reciclado de materiales es una práctica cada vez más extendida en la construcción. En el caso de las vías, el reciclado de firmes constituye una técnica con potencial para mejorar la sostenibilidad tanto de la construcción como del mantenimiento de la infraestructura vial. (Barrenechea et al, 2018; Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de conservación de carreteras., 2021; Martínez, 2018).

Diversos estudios consultados indican que la incorporación de vidrio pulverizado en mezclas cementicias puede ser una alternativa viable para mejorar propiedades del material y reducir el consumo de recursos naturales. Investigaciones realizadas por la Universidad Nacional de Cajamarca muestran que el hormigón que incorpora vidrio mantiene sus propiedades mecánicas, con un incremento aproximado del 12% en resistencia (Mohsenian et al, 2020; Tejada, 2014) . De forma semejante, un estudio desarrollado en la University of Michigan (EE. UU.) reportó mejoras en la permeabilidad, la resistencia y la durabilidad al emplear un 20% de vidrio en la mezcla (Pérez, 2016; Alonso et al, 2018).

Así las cosas, el presente trabajo se centra en la evaluación de la viabilidad del reciclado de firmes ordinarios mediante la incorporación de residuos de vidrio triturado. La metodología se estructura en cuatro fases, definidas a continuación:

- **Fase 1:** Caracterización del suelo firme. Se determinó el origen y las propiedades mecánicas del suelo firme mediante ensayos de granulometría, límite líquido,

Proctor y CBR.

- **Fase 2:** Preparación del vidrio triturado. El vidrio fue sometido a un proceso de limpieza para eliminar impurezas y garantizar la representatividad del agregado.
- **Fase 3:** Ensayos con mezclas de suelo firme y vidrio triturado. Se prepararon y ensayaron muestras de suelo con adición de vidrio triturado en proporciones de 10%, 15% y 20% (en masa). A cada combinación se le aplicaron los ensayos de granulometría, límite líquido, Proctor y CBR. Los resultados permitieron determinar las propiedades físicas del material reciclado y evaluar el porcentaje de vidrio más adecuado para cumplir requisitos técnicos
- **Fase 4:** Análisis de resultados. En esta fase se realizaron los ensayos instrumentales y se procedió al análisis comparativo:

Se ejecutó el ensayo de granulometría conforme a la norma INVIAS E-213-3, con el fin de clasificar los materiales y caracterizar el tamaño granular del vidrio triturado, elemento clave cuando se utiliza como agregado en el reciclado del suelo firme. Se llevó a cabo el ensayo de límite plástico según INVIAS E-125-13. Para la preparación de los especímenes se extrajeron porciones de 152 a 201 g de material que había pasado por el tamiz No. 40. En este procedimiento, el vidrio triturado —previamente tamizado con el No. 40— fue incorporado como agregado en las distintas mezclas de ensayo (Peñafiel, 2016).

El ensayo Proctor se realizó de acuerdo con INVIAS E-142-07 (método A). Se empleó suelo tamizado con tamiz No. 3/8 y se tomaron muestras de 2500 g. Cada ensayo consideró las tres proporciones de vidrio (10%, 15% y 20%) para establecer la curva entre contenido de humedad y masa de suelos compactados.

El análisis de resistencia mediante el ensayo CBR se efectuó siguiendo la norma INVIAS E-148-13, aplicable a suelos de subrasante, subbase y base. Para estos ensayos se tamizó la muestra con malla de 3/8" y se trabajó con lotes de 5000 g, incluyendo en cada lote residuos de vidrio en proporciones de 10%, 15% y 20%, conforme a la metodología empleada en las fases anteriores. Para determinar el CBR con contenido óptimo de humedad se prepararon tres especímenes por condición, utilizando el contenido de agua estimado a partir del ensayo de compactación modificado correspondiente a cada mezcla.

La compactación de cada espécimen se realizó aplicando golpes por capa de 56, 25 y 10, en concordancia con lo dispuesto en INVIAS E-148-13. Posteriormente, las muestras compactadas fueron sumergidas en agua durante 72 horas para evaluar el porcentaje de expansión previo al ensayo de penetración. Esta etapa es esencial para garantizar la comparabilidad y la validez técnica de los resultados obtenidos en el ensayo de CBR.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección, se abordarán los resultados obtenidos a través de los ensayos, destacando las observaciones y conclusiones relevantes de acuerdo con la normativa colombiana (INVIAS) y española (UNE).

Las normas INVIAS y UNE establecen requisitos

diferentes para el ensayo de granulometría del suelo firme. La norma INVIAS exige que al menos el 50% del material pase por el tamiz N 4, mientras que la norma UNE exige que al menos el 15% del material pase por el tamiz N 230.

El ensayo de granulometría, ejecutado según la norma INVIAS E-213–3, no satisface el requisito correspondiente al tamiz N.º 230, lo que imposibilita su comparación con la norma UNE. La Figura 3 presenta la gráfica y los resultados obtenidos.

Por otra parte, el ensayo de granulometría del vidrio triturado, luego de pasar por la máquina de Los Ángeles, cumplió con los requisitos establecidos en las normas INVIAS y UNE. Se observó que el 67.1% del material pasó por el tamiz N.º 4, lo cual indica que el vidrio triturado es apto como agregado para el reciclado del suelo firme.

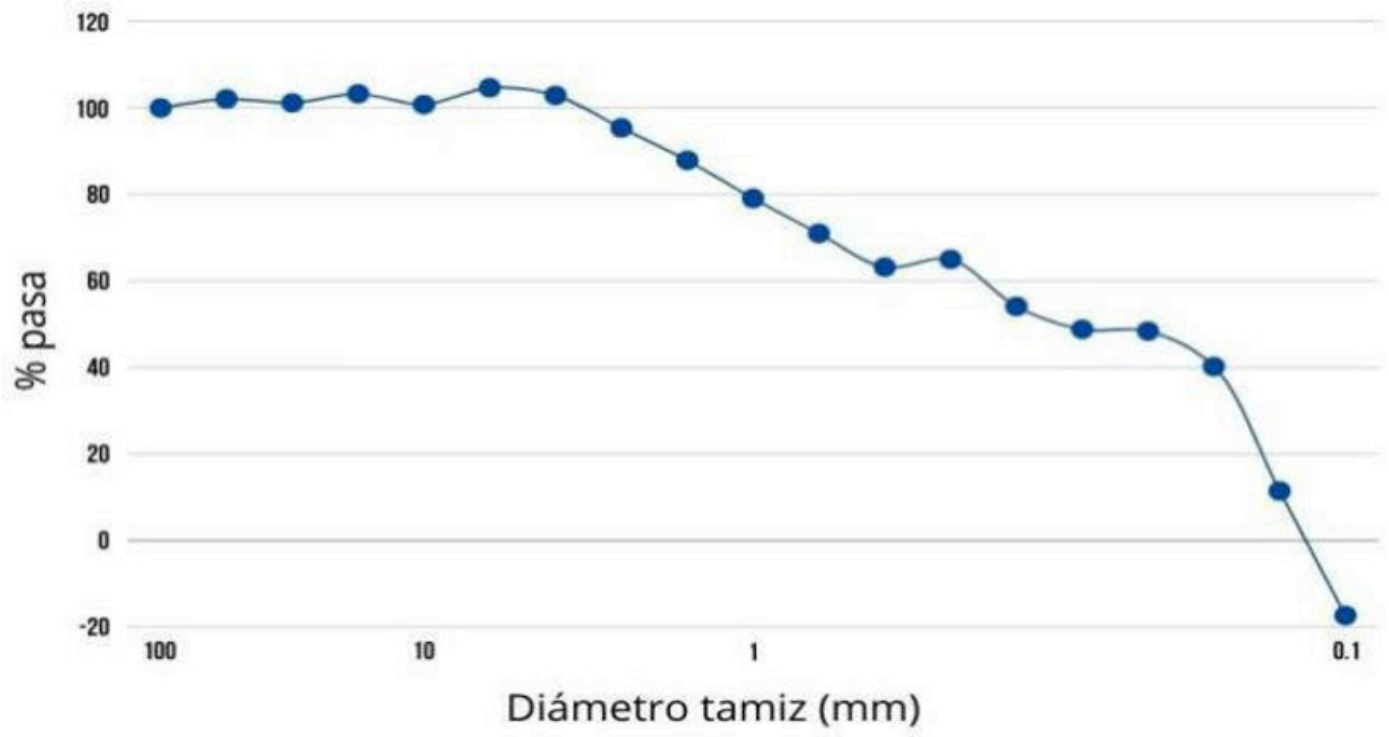


Figura 3. Gráfico ensayo de granulometría.

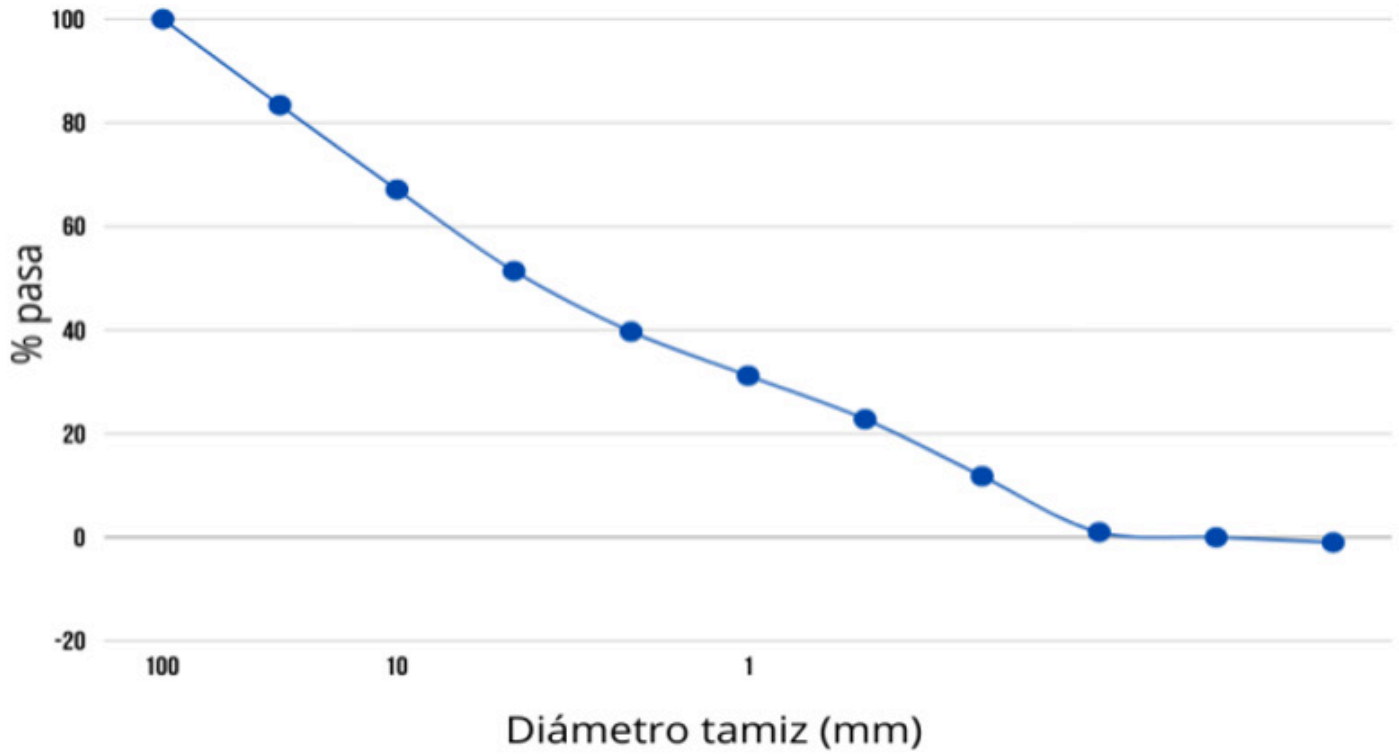


Figura 4. Gráfico ensayo de granulometría del residuo del vidrio.

El análisis de los resultados de los ensayos de límite líquido e índice de plasticidad se realizó conforme a las normativas colombianas INVIAS E-125-13 y E-126-13, así como a las normativas españolas UNE 103103 y UNE 103104.

De acuerdo con los resultados, el suelo firme sin vidrio y el suelo firme con un 10% de vidrio triturado como agregado cumplen con los requisitos de la norma española, que establece un límite líquido entre 35% y 40%. El suelo firme sin vidrio presentó un límite líquido de 22.02%, mientras que el suelo firme con un 10% de vidrio triturado obtuvo un valor de 21.87%.

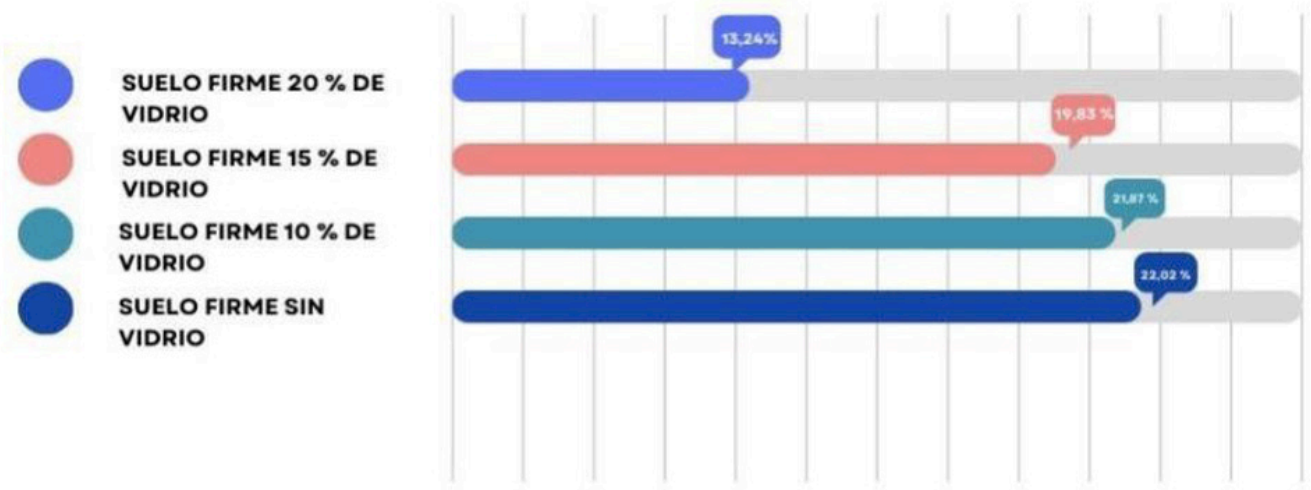


Figura 5. Porcentajes ensayo límite liquido de las cuatro muestras.

Los resultados de los ensayos de índice de plasticidad mostraron que ninguna de las muestras de suelo firme con vidrio triturado cumple con los requisitos establecidos. El índice de plasticidad de todas las muestras fue menor al 1.2%, mientras que el requisito mínimo es de 7% o igual o mayor que 12%. Además, la clasificación del suelo según Casagrande es limo arcilloso (OL, ML), lo que sugiere que el suelo tiene una proporción de granos finos de aproximadamente el 50%. El contenido de humedad de cada muestra disminuyó según el porcentaje de vidrio incorporado. El suelo firme con un 20% de vidrio triturado incorporado presentó el valor mínimo de humedad.

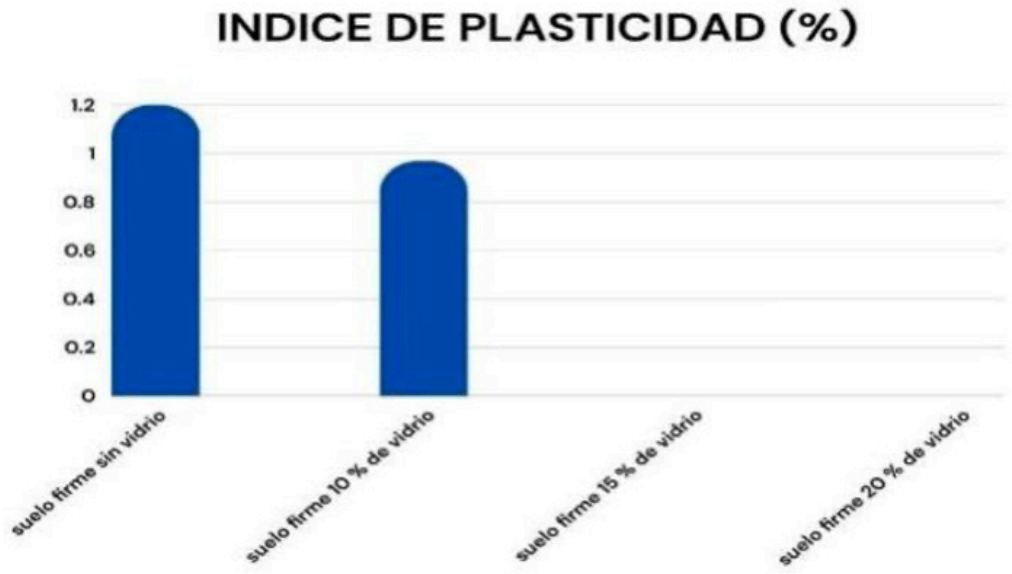


Figura 6. Porcentajes de una del ensayo de plasticidad.

Ensayo Proctor modificado de compactación: El ensayo modificado de compactación, realizado según la normativa INVIAS E – 142 – 07, proporcionó datos detallados en la tabla 1.

% DENSIDAD SECA MÁXIMA.	% *HUMEDAD ÓPTIMA*	% RESIDUO DE VIDRIO
90	10,6	sin vidrio
95	10.2	10
87	9.6	15
83	9	20

Tabla 1. Resultado en porcentajes en los cuatro ensayos Proctor modificado.

Los resultados del ensayo de compactación mostraron que el contenido de humedad óptima del suelo firme disminuye según la cantidad de vidrio triturado agregado. La muestra sin vidrio tiene el porcentaje más alto de humedad (10.6%), mientras que la muestra con un 20% de vidrio triturado agregado tiene un 9% de humedad óptima.

En cuanto a la densidad seca máxima, solo una de las cuatro muestras cumple con los requisitos de las normas INVIAS y UNE. La muestra de suelo firme con un 10% de vidrio triturado presenta una densidad del 95%, mientras que la muestra sin agregado de vidrio fue la más cercana a cumplir el requisito, con un 90% de densidad seca máxima. Las demás muestras disminuyeron en porcentaje de densidad a medida que aumentaba el porcentaje de vidrio triturado agregado, siendo la del 20% el resultado más bajo de todas las muestras, con un 83%. La figura 9 muestra la densidad seca frente al porcentaje de humedad de las cuatro muestras ensayadas.

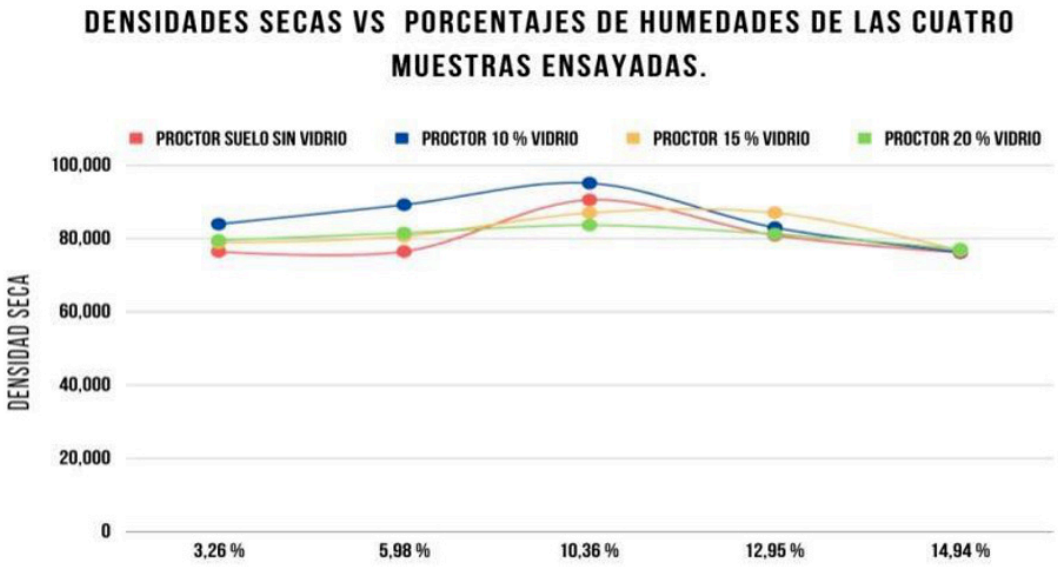


Figura 7. Densidad seca vs porcentaje de humedad de las cuatro muestras ensayadas.

Se ejecutó el ensayo CBR, conforme a la normativa INVIAS E-148-07, en muestras de suelo firme con distintos porcentajes de residuos de vidrio integrados y compactados en moldes específicos. Se compararon los resultados con las normas INVIAS E-142-07 y UNE 103502:1995 de España, evaluando los requisitos de cada norma detallados en la tabla 2.

CARACTERISTICA	NORMA COLOMBIA (INVIAS)	REQUISITO	NORMA ESPAÑA (SUELOS ESTABILIZADOS IN SITU)	REQUISITO
CBR	INV E - 148-07	3	UNE 103502	≥ 6
EXPANSIÓN (%)	INV E-804-07	≥2%	UNE-EN 13286-49	< 5%

Tabla 2. Requisitos de las normas INVIAS y UNE.

Considerando los requisitos de ambas normas, se evaluaron las muestras para determinar si eran aceptables en las características de CBR y expansión para estabilizar el suelo firme. Los resultados del ensayo mostraron que el suelo sin vidrio y el suelo con un 10% de vidrio agregado son los que más se expanden. En contraste, el suelo firme con un agregado del 10% de vidrio triturado y 56 golpes obtuvo el porcentaje más alto de CBR (52.46%), seguido del suelo firme con un 15% de agregado y 56 golpes (48.58%). Los resultados se aprecian en la figura 10 y 11.

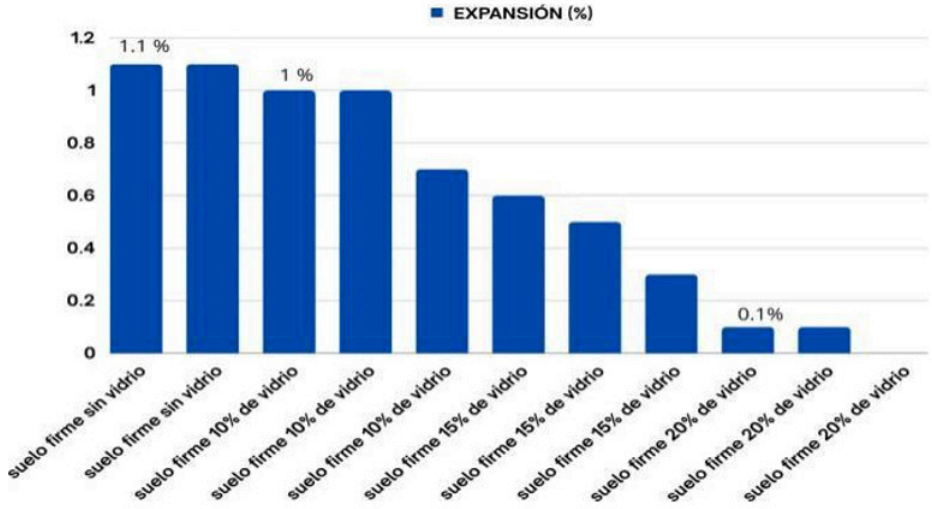


Figura 8. Resultado ensayo CBR de las 11 muestras con diferentes porcentajes de vidrio agregado.



Figura 9. Resultado de expansión de las 11 muestras con diferentes porcentajes de vidrio agregado.

El ensayo CBR mostró que el suelo firme con un 15% de vidrio agregado y 10 golpes tiene el porcentaje de humedad más alto (93.19%), mientras que el suelo firme con un 20% de vidrio agregado y 56 golpes tiene el porcentaje de humedad más bajo (58.91%).

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en esta investigación indican que la inclusión de vidrio triturado en el suelo firme conlleva una mejora significativa en sus propiedades mecánicas, especialmente en el índice de resistencia al esfuerzo cortante (CBR).

Resultados de Ensayos:

- En los ensayos de suelo firme con diferentes porcentajes de vidrio (10%, 15%, 20%), la muestra con un 10% de vidrio mostró los mejores resultados, alcanzando un CBR del 52.46% con 56 golpes.
- Se observó una disminución en los resultados a medida que aumentaba el porcentaje de vidrio, especialmente en el ensayo CBR, donde la muestra con 20% descendió a un 4.2%.

Rentabilidad y Beneficios Ambientales:

- El aprovechamiento del residuo de vidrio en lugar de enviarlo a vertederos destaca la transición hacia una economía circular, beneficiando al medio ambiente y reduciendo costos para empresas de mejoramiento vial.
- La práctica de reciclado de vías firmes es una forma de economía circular que contribuye al medio ambiente.
- Colombia se encuentra en una posición propicia para adoptar la técnica de reciclaje de vías firmes y emplear materiales no convencionales. Esto se debe a que aproximadamente el 60% de las vías terciarias del país presentan la oportunidad de mejorar significativamente su nivel de servicio.

Caracterización del Suelo Firme:

- La muestra del suelo firme se caracterizó, revelando un contenido de gravas del 5.7%, arenas del 74.1%, y finos del 20.8%. El tamiz N 4 permitió el paso del 100% del material.
- La primera fase experimental sin la adición de residuos de vidrio proporcionó datos cruciales para establecer un punto de referencia para los ensayos.

Preparación del Vidrio como Agregado:

- El vidrio utilizado como agregado fue pulverizado y estudiado para cumplir con requisitos granulométricos. Más del 60% del material pasó por el tamiz N 4. Se destacó la importancia de no alterar el vidrio durante la trituración, utilizando 500 revoluciones en la máquina de los ángeles para simular condiciones de recicladoras.

Optimización del Proceso:

- Se determinó que el porcentaje óptimo de vidrio para estabilizar y reciclar el suelo firme es del 10%. Se propone investigar porcentajes menores para obtener resultados precisos en futuras implementaciones.

Perspectivas Futuras:

- Se propone utilizar el residuo de vidrio como agregado para otros tipos de superficies o mezclas bituminosas aprovechando 10 % de vidrio.

V. BIBLIOGRAFÍA

Alonso Moreno, L., y Puerto Porras, J. (2018). Desempeño de un concreto hidráulico adicionado con vidrio molido reciclado y EAFS. Recuperado de https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3083/1/TGT_1649.pdf

Atahan, A.O., Yücel, A.O.(2012). Crumb rubber in concrete: static and dynamic evaluation. Constr. Build. Mater., 36, 617–622.

Avella Escudero, J., Campos Franco, L., y Castañeda Herrera, J. (2016). Informe Nacional de Aprovechamiento 2016 | Superservicios - Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Recuperado de https://www.superservicios.gov.co/Sala-de-prensa/De-interes/Informe-Nacional-de-Aprovechamiento-2016

Barrenechea, E., González, I., y Croce, I. (2018). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Recuperado de https://cempre.org.uy/docs/biblioteca/030828_Informe_Final_de_Mercados_Barrenechea.pdf

Bailón Abad, E., Espinosa Guaricela, R., y Acevedo Catá, J. (2019). Bloque de suelo estabilizado en pequeño formato y tecnología de colocación en obra en vivienda de interés social. Rev. Ingeniería y Desarrollo, 37(1), 105-127.

Banco Mundial. (2018, septiembre). Los desechos 2.0: Un panorama mundial de la gestión de desechos sólidos hasta 2 0 5 0 (N.o5). Recuperado de ttps://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317

Camara.gov.co. (2021). Informe de ponencia para segundo debate del Proyecto de Ley No.
414 de 2020-Cámara. Recuperado de https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2021-04/Ponencia%20segundo%20debate%20PL%20414%20de%202020%202021.04.13%20PGIRS.pdf

Castro Ponte, A. (2022). Firmes e conservación de vías. Recuperado de https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/11399

DANE. (2018, julio). Cuenta Ambiental y Económica de Flujo de Materiales Residuos sólidos (N.o 1). Recuperado de https://www.dane.gov.co/index.php

EPA. (2018). Too good to waste: discussion paper on a circular economy approach for NSW. NSW Environment Protection Authority, Australia.

European-Commission. (2018). Circular economy: Closing the loop, an ambitious EU circular economy package.

European-Commission. (2017). EU commits €1bn of horizon 2020 funding to circular economy until 2020. resource.co.

Ferdous, W., et al. (2021). Static behaviour of glass fibre reinforced novel composite sleepers for mainline railway track. Eng. Struct., 229, 111627.

Fontana, R., Nesta, L., y Selosse, S. (2007). Innovation et sélection des firmes. Revue de l'OFCE, 100 (1), 121. https://doi.org/10.3917/reof.100.0121

Gutiérrez, F. (2018). https://www.upm.es/. Recuperado de https://www.trabit.com/wp-content/uploads/2014/03/Ficha-T%C3%A9cnica-suelo-estabilizado-in-situ.pdf

León Castro, R., Montenegro Rocha, V., y Montenegro Rocha, V. (2016). El problema de las basuras en Bogotá - Diseño de una idea de negocio para la creación de una empresa de reciclaje. Las empresas de reciclaje: ¿solución a la problemática de la contaminación ambiental en Bogotá?. Cuadernos Latinoamericanos de Administración, 6(10), 77-101.

Martínez-Arellano, M. (2018). Estudio del reciclado en frío de un paquete de firmes con la adición de escorias blancas de acería de horno eléctrico. Recuperado de http://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/1909

Mohsenian Hadad Amlashi, S., Carter, A., Vaillancourt, M., y Bilodeau, J. (2020). Propiedades físicas e hidráulicas del vidrio reciclado como materiales granulares para la estructura del pavimento. Revista Canadiense de Ingeniería Civil, 47 (7), 865-874.

Objetivos de las Naciones Unidas ONU. (s.f.). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollosostenible

ORDEN CIRCULAR 8/2001 (2001) Sobre reciclado de firmes. Recuperado de https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/1620100.pdf.

Pérez Gondar, D., y Ruiz Caturelli, M. (2016). Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio. *Scripta Theologica, 50*(1), 23-52.

Peñafiel Carrillo, D. (2016). Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino. Recuperado de http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23038

Prieto, A. (2017). Reciclado de firmes en frío in situ con emulsión. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3264/51035-3.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de conservación de carreteras. (2021). Artículo 21. Recuperado de http://www.carreteros.org/normativa/pg4/articulos/a_21.htm

Quispe Ponce, H. (2022). Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de un afirmado natural y estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4%, y 6% para base, Los Olivos - 2020. Recuperado de https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25464

Rumyantseva, A., Rumyantseva, E., Berezyuk, M. (2020). Waste recycling as an aspect of the transition to a circular economy. En IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

Smith, L. (2020). Plastic waste. House of

Commons Library, UK, p. 08515. MuniBajracharya, R., Manalo, A.C., Karunasena, W. (2014). An overview of mechanical properties and durability of glass-fibre reinforced recycled mixed plastic waste composites. Mater. Des., 62, 98–112.

Tejada Romero, G.(2014). Efecto en la resistencia a la compresión al reemplazar porcentualmente cemento por vidrio molido las mezclas de hormigón. Recuperado de http://repositorio.unc.edu.pe/handle/ UNC/519

DANE. (2018, julio). Cuenta Ambiental y Económica de Flujo de Materiales Residuos sólidos (N.o 1).

Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial. (2021). Registros de activos de información. Recuperado de https://www.umv.gov.co/portal/transparencia/