

vidrio triturado	g/cm ³	de humedad, %	CBR,
0	1.464	34.00	3.00
4	1.480	31.25	7.29
6	1.490	28.00	12.80
8	1.470	30.00	7.20

Estudio del impacto del agregado de vidrio triturado en las características físico-mecánicas de los suelos de subrasantes

Study of the impact of adding crushed glass on the physical-mechanical properties of subgrade soils

DOI: <https://doi.org/10.21703/0718-2813.2024.36.3007>

Fecha de entrega: 17 de marzo 2024
Fecha de aceptación: 4 de octubre 2024

José Antonio Condori y Helffer J.A. Gutiérrez

Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Civil, Lima, Perú, jocondorich@ucvvirtual.edu.pe, hegutierrezma@ucvvirtual.edu.pe

El propósito de esta investigación fue evaluar cómo la incorporación de vidrio triturado (VT) influye en las propiedades físico-mecánicas de las subrasantes. Se realizaron tres calicatas para obtener muestras. Los resultados de los ensayos de laboratorio revelaron que, en términos de límites líquidos (LL), límites plásticos (LP) e índice de plasticidad (IP), el suelo patrón y las adiciones en diferentes porcentajes de VT mostraron ser no plásticos N.P. El suelo patrón exhibió una máxima densidad seca ρ_{dmax} de 2.00 g/cm³, contenido óptimo de humedad w_{op} de 10.3%, CBR(95%) de 33.6% y CBR(100%) de 53.5%. Al agregar un 5% de VT, ρ_{dmax} fue de 2.08 g/cm³, w_{op} del 10.0%, CBR(95%) de 46.3% y CBR(100%) de 62.1%. La adición del 6% resultó en $\rho_{dmax} = 2.13$ g/cm³, $w_{op} = 9.8\%$, CBR(95%) = 50.8% y CBR(100%) = 62.1%. Finalmente, al agregar un 7%, $\rho_{dmax} = 2.11$ g/cm³, $w_{op} = 10.2\%$, CBR(95%) = 42.9% y CBR(100%) = 54.8%. En conclusión, se determina que la proporción de adición más eficaz es del 6% de vidrio triturado.

Palabras clave: máxima densidad seca, contenido óptimo de humedad, CBR, subrasante, vidrio triturado

The purpose of this research was to assess how the incorporation of crushed glass (CG) influences the physical-mechanical properties of subgrades. Three soil pits were excavated to obtain samples. The results of the laboratory tests revealed that, in terms of liquid limits (LL), plastic limits (PL), and plasticity index (PI), our standard soil and additions at different percentages of CG showed no plasticity N.P. The standard soil exhibited a maximum dry density ρ_{dmax} of 2.00 g/cm³, an optimal moisture content w_{op} of 10.3%, a CBR(95%) of 33.6%, and CBR(100%) of 53.5%. Adding 5% CG resulted in ρ_{dmax} of 2.08 g/cm³, with w_{op} of 10.0%, CBR(95%) of 46.3%, and CBR(100%) of 62.1%. The addition of 6% resulted in $\rho_{dmax} = 2.13$ g/cm³, $w_{op} = 9.8\%$, CBR(95%) = 50.8%, and CBR(100%) = 62.1%. Finally, adding 7%, $\rho_{dmax} = 2.11$ g/cm³, with $w_{op} = 10.2\%$, CBR(95%) = 42.9% and CBR(100%) = 54.8%. In conclusion, it was found that the most effective addition ratio is 6% of crushed glass.

Keywords: maximum dry density, optimal moisture content, subgrade, crushed glass

Introducción

En suelos con alto contenido de limo y arcilla, la aplicación de cargas puede resultar en un asentamiento significativo. Estos suelos tienden a experimentar una expansión considerable al entrar en contacto con el agua y a contraerse al perderla. Este comportamiento de expansión y contracción del suelo puede ocasionar daños en diversas estructuras que descansan sobre dichos suelos, representando un riesgo potencial en proyectos de construcción. Es imperativo abordar estas limitaciones y desarrollar soluciones que permitan optimizar la estabilidad

de las estructuras y mitigar los riesgos asociados con estas propiedades del suelo.

Debido a ello, se decide estudiar y analizar los residuos de vidrio, siendo la principal fuente el vidrio reciclado. Son una categoría destacada de desechos sólidos, liderando la producción con aproximadamente 130 millones de toneladas a nivel mundial. Solo en Canadá se utilizan anualmente unas 750.000 ton de vidrio, pero solo se recupera el 40% para reciclaje, generando una considerable cantidad de residuos que acaban en vertederos, creando un

vidrio triturado	g/cm ³	de humedad, %	CBR
0	1.464	34.00	3.0
4	1.480	31.25	7.2
6	1.490	28.00	12.8
8	1.470	30.00	7.2

problema ambiental y un riesgo potencial para la salud (Ferdous *et al.*, 2021).

A nivel global, se ha notado un incremento en la construcción de infraestructuras viales. No obstante, es común encontrar suelos con propiedades físicas y mecánicas deficientes, las cuales representan un riesgo para el sistema de pavimentación construido sobre estos suelos. Es por tal problemática que se propone la inclusión de desechos de vidrio triturado en los suelos como subrasante durante la construcción de infraestructuras viales para abordar las limitaciones de las propiedades del suelo (Javed y Chakraborty, 2020; Perera *et al.*, 2022). Esta solución busca ser sostenible y económicamente viable, aprovechando el bajo costo del polvo de vidrio como residuo industrial. La mejora de suelos de baja resistencia mediante el uso de polvo de vidrio se presenta como una opción altamente rentable, con una gestión eficiente del residuo que mejora significativamente la capacidad de carga y resistencia a la compresión del suelo. Benny *et al.* (2017) tenían como propósito principal el analizar la aplicación de fragmentos o partículas de vidrio en forma de polvo en diversos usos geotécnicos en suelos arcillosos. Tabla 1 resume los resultados.

Tabla 1: Resultados de Benny *et al.* (2017)

% de polvo vidrio triturado	Densidad seca, g/cm ³	Óptimo contenido de humedad, %	CBR, %
0	1.464	34.00	3.00
4	1.480	31.25	7.29
6	1.490	28.00	12.80
8	1.470	30.00	7.20

Además, Keramatikerman *et al.* (2020), cuyo propósito central era mejorar las características mecánicas del suelo arenoso mediante la adición de polvo de vidrio, lograron destacar los resultados de la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados de Keramatikerman *et al.* (2020)

% de polvo vidrio triturado	Densidad seca, g/cm ³	Óptimo contenido de humedad, %
0	1.65	11.0
2	1.62	12.5
4	1.61	14.0
6	1.60	14.5

Por otro lado, la investigación de Gowtham *et al.* (2018) tuvo como propósito principal analizar la viabilidad de emplear polvo obtenido a partir de residuos de vidrio y plástico en diversas aplicaciones para el mejoramiento de suelos arcillosos. Los resultados de CBR obtenidos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados de Gowtham *et al.* (2018)

Adición de vidrio y plástico en polvo, %	CBR, %
0	2.45
2	6.13
4	8.91
6	9.40
8	8.11

Haro *et al.* (2021) centran su investigación principalmente en elevar la calidad del suelo arenoso con el fin de reducir los costos de materiales y garantizar la seguridad de los residentes. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Resultados de Haro *et al.* (2021)

% de polvo vidrio triturado	Densidad seca, g/cm ³	Óptimo contenido de humedad, %	CBR, %
0	1.936	10.51	18.24
6	1.951	10.66	28.46
8	1.946	11.18	25.78

Resultados

En esta investigación se analiza el efecto de incorporar vidrio triturado en las propiedades físico-mecánicas de las subrasantes en la provincia de Ilo en Perú en el año 2024. Al analizar tres muestras de arena limosa por cada adición de 0, 5, 6 y 7% de vidrio triturado (12 muestras) en relación con su límite líquido LL, se encontró la ausencia de este indicador, ya que el suelo pertenece al tipo SM (arena limosa), careciendo de cohesión, al igual que el vidrio, que no presenta plasticidad. Esta característica del suelo y la comparación con las propiedades del vidrio refuerzan la conclusión de la falta de presencia de límite líquido en las muestras, atribuible a la naturaleza no cohesiva del suelo de tipo SM y la similitud con las propiedades no plásticas del vidrio.

vidrio triturado	g/cm ³	de humedad, %	CBR, %
0	1.464	34.00	3.00
4	1.480	31.25	7.29
6	1.490	28.00	12.80
8	1.470	30.00	7.20

Similarmente, al examinar los resultados de 24 muestras, el límite plástico LP para el suelo clasificado como SM (arena limosa), carece de cohesión. Esta falta de cohesión es análoga a la ausencia de plasticidad en el vidrio. La coincidencia entre la naturaleza no cohesiva del suelo y la no plasticidad del vidrio explica la carencia de plasticidad.

Como resultado, el índice de plasticidad es nulo. Se concluye que el vidrio, al igual que el suelo ensayado, carece de plasticidad. Este fenómeno se vincula estrechamente con la naturaleza no cohesiva del suelo y la inherente ausencia de propiedades plásticas tanto en el suelo como en el vidrio añadido a las muestras.

Por otro lado, los resultados de densidad seca máxima se muestran en la Tabla 5. La densidad seca máxima se logra al incorporar un porcentaje del 6%. Este valor resalta al contrastarlo con la densidad del suelo patrón, así como con los porcentajes adicionales de adición. La observación de estos datos revela que el 6% de adición representa un punto óptimo para alcanzar la máxima densidad, sobrepasando tanto la densidad del suelo patrón como los otros niveles de adición examinados.

Tabla 5: Valores de la máxima densidad seca del suelo patrón y muestras adicionadas con vidrio triturado

Muestras	0%	5%	6%	7%
1	2.01	2.08	2.14	2.11
2	1.99	2.07	2.13	2.11
3	2.02	2.08	2.13	2.10
Promedio	2.00	2.08	2.13	2.11

Tabla 6: Contenido de humedad óptimo en el suelo de referencia y en las muestras mejoradas con la adición de vidrio triturado.

Muestras	0%	5%	6%	7%
1	10.5	9.5	10.0	10.0
2	10.5	10.0	10.0	10.0
3	10.0	10.5	9.5	10.5
Promedio	10.3	10.0	9.8	10.2

De la Tabla 6 se tiene que el contenido de humedad óptimo se logra alcanzar al agregar un 6% de vidrio triturado. Esta adición específica conduce a una reducción beneficiosa de la humedad en comparación con los otros niveles de adición evaluados. La incorporación del 6% de vidrio triturado se destaca por su capacidad excepcional para

optimizar la gestión de la humedad, superando de manera positiva los efectos de otros porcentajes de adición.

La Tabla 7 muestra que es evidente que la capacidad de soporte experimenta su punto máximo en el índice de soporte CBR, al agregar un 6% de vidrio triturado. Este hallazgo subraya de manera significativa la influencia positiva de esta adición específica en la mejora sustancial de la capacidad de soporte del material. La observación de estos resultados revela claramente cómo la inclusión del 6% de vidrio triturado tiene un impacto positivo destacado en la capacidad del material para resistir cargas, resaltando su eficacia para fortalecer las propiedades de soporte del suelo.

Tabla 7: Capacidad de soporte en el suelo estándar y en las muestras mejoradas con vidrio triturado con un índice de soporte CBR del 95%.

Muestras	0%	5%	6%	7%
1	32.0	47.4	51.0	43.2
2	29.5	44.6	51.2	43.6
3	39.2	47.0	50.3	41.8
Promedio	33.6	46.3	50.8	42.9

Al examinar los resultados recopilados en la Tabla 8, se evidencia que la adición de 5 y 6% de vidrio triturado emergen como las opciones igualmente efectivas. Estos resultados sobresalen en comparación con las otras proporciones evaluadas.

Tabla 8: Resultados del índice de capacidad de soporte CBR al 100% en el suelo patrón y en las muestras mejoradas mediante la adición de vidrio triturado.

Muestras	0%	5%	6%	7%
1	54.0	62.6	61.2	54.6
2	49.5	61.2	64.0	56.2
3	56.9	62.6	61.2	53.6
Promedio	53.5	62.1	62.1	54.8

Se concluye que la incorporación de vidrio triturado en porcentajes del 5%, 6% y 7% muestra que la concentración más efectiva es del 6% para potenciar las características de la subrasante. Esto significa que la adición del 6% de vidrio triturado se presenta como la elección más ventajosa en términos de mejorar tanto las propiedades físicas como mecánicas de la subrasante, asegurando un rendimiento y estabilidad óptimos.

vidrio triturado	g/cm ³	de humedad, %	CBR
0	1.464	34.00	3.0
4	1.480	31.25	7.2
6	1.490	28.00	12.0
8	1.470	30.00	7.2

Conclusiones

Se concluye que el mejor porcentaje de adición de vidrio triturado es del 6%, ya que tiene un impacto positivo en las propiedades del suelo. Dado que el vidrio no posee plasticidad y la arena limosa SM no exhibe cohesión, no se observaron mediciones que tuvieran impacto en los límites líquido y plástico, así como en el índice de plasticidad. Esto sugiere que no hubo influencia significativa en las propiedades de flujo y plasticidad del suelo debido a la interacción con el vidrio. Se evidenció una notable mejora en la densidad máxima seca, especialmente al emplear un porcentaje de un 6% de vidrio triturado, logrando así una densidad de 2.13 gr/cm³. Este resultado subraya la eficacia de la incorporación de vidrio triturado para mejorar las propiedades de compactación del material en estudio. Además, se alcanzó un nivel óptimo de humedad, también al incluir un 6% de vidrio triturado, resultando en un contenido del 9.8%. Estos hallazgos sugieren que la incorporación de vidrio triturado en esta proporción puede desempeñar un papel clave en la estabilización de la humedad del material, lo que podría tener efectos positivos en su estabilidad.

En última instancia como conclusión final, con el fin de potenciar la resistencia y capacidad de soporte del suelo, se determinó que una adición del 6% de vidrio triturado es altamente recomendable. Esta proporción permitió alcanzar un índice de soporte California Bearing Ratio CBR del 50.8%, lo que representa una mejora sustancial del 51% en comparación con el suelo patrón utilizado como referencia. Estos resultados subrayan la eficacia del vidrio triturado como un agente de mejora para las propiedades mecánicas del suelo en aplicaciones de Ingeniería Civil.

Agradecimientos

Se desea expresar un sincero agradecimiento a INGESERVICIOS SAC, laboratorio de suelos, concreto y pavimento, por su valiosa colaboración y apoyo durante la realización de este estudio.

Referencias

- Benny, J.R., Jolly, J., Sebastian, J.M. and Thomas, M. (2017). Effect of glass powder on engineering properties of clayey soil. *International Journal of Engineering Research & Technology* 6(5), 228-231
- Ferdous, W., Manalo, A., Siddique, R., Mendis, P., Zhuge, Y., Wong, H.S., Lokuge, W., Aravinthan, T. and Schubel, P. (2021). Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction—A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. *Resources, Conservation and Recycling* 173, 105745
- Gowtham, S., Naveenkumar, A., Ranjithkumar, R., Vijayakumar, P. and Sivaraja, M. (2018). Stabilization of clay soil by using glass and plastic waste powder. *International Journal of Engineering and Technology* 4(2), 146-150
- Haro, L.M., Cerna, M.A. y Valdivieso, A.Y. (2021). Adición de polvo de vidrio reciclado en la estabilización de suelos en el AA. HH. Villa Hermosa, Nuevo Chimbote (Perú). *Revista Agunkuyâa* 11(2), 22-28
- Javed, S.A. and Chakraborty, S. (2020). Effects of waste glass powder on subgrade soil improvement. *World Scientific News* 144, 30-42
- Keramatikerman, M., Chegenizadeh, A. and Nikraz, H. (2020). Soil stabilization using glass powder. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology* 4(11), 339 - 342
- Perera, S.T.A.M., Saberian, M., Zhu, J., Roychand, R. and Li, J. (2022). Effect of crushed glass on the mechanical and microstructural behavior of highly expansive clay subgrade. *Case Studies in Construction Materials* 17, e01244