



USO DEL CONCRETO Y VIDRIO RECICLADO EN LA CAPACIDAD DE CARGA DE SUELOS ARCILLOSOS: UNA REVISION LITERARIA

Dante Jair Perea Huamán¹ ✉

Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad César Vallejo. ✉ e-mail: dpereah@ucvvirtual.edu.pe

Palabras clave: Concreto y vidrio reciclado, estabilización, suelos arcillosos.

Resumen: Los progresos de la tecnología en los suelos expansivos llevan a estudiar la generación de nuevos materiales con residuos sólidos que otorguen una mejora en las propiedades mecánicas de la arcilla y que va de la mano con la colaboración a reducir la contaminación del medio ambiente. El presente documento tiene como objetivo realizar una investigación sistemática sobre la inclusión de concreto y vidrio reciclado en las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos. Se revisaron los resultados de 50 publicaciones depositadas en bases de datos indexadas tales como Scopus y EBSCO entre los años 2016 al 2021. Dando resultados positivos con un uso de 15% de concreto reciclado triturado y un 15% de polvo de vidrio reciclado para mejorar las características mecánicas de los suelos arcillosos, estos materiales reciclados tienen un debido proceso de tratamiento en el laboratorio. Concluyendo que es factible usar el concreto y el vidrio reciclado para disminuir el asentamiento, mejorar la estabilización y aumentar la carga ultima en los suelos arcillosos.

USE OF RECYCLED CONCRET AND GLASS IN LOADING CAPASITY OF CLAY

Keywords:

Recycled concrete and glass, stabilization, clay soils.

Abstract: Advances in technology in expansive soils lead to study the generation of new materials with solid residues that provide an improvement in the mechanical properties of clay and that goes hand in hand with the collaboration to reduce environmental pollution. The present document aims to carry out a systematic investigation on the inclusion of concrete and recycled glass in the mechanical properties of clay soils. The results of 50 publications deposited in indexed databases such as Scopus and EBSCO between the years 2016 to 2021 were reviewed. Giving positive results with a use of 15% of crushed recycled concrete and 15% of recycled glass dust to improve the mechanical characteristics of clay soils, these recycled materials have a due process of treatment in the laboratory. Concluding that it is feasible to use recycled concrete and glass to decrease settlement, improve stabilization, and increase ultimate load in clay soils.

Rec.: 09/08/2021

Acep.: 02/10/2021



INTRODUCCION

Puesto que las construcciones y las demoliciones son eventos esenciales en la actualidad da lugar a un constante aumento (Ashmawy, Elansary, & Abdalla, 2021). Los residuos sólidos que derivan de las demoliciones contribuyen a la contaminación si no son reutilizados, originando cerca de 100 mil millones de toneladas anuales en el mundo (Luo, Liu, Zhang, Meng, & Zhan, 2021). El vidrio también forma una parte significativa de todo el residuo sólido, es muy preocupante ya que todo ello va a parar a los vertederos originando un problema al medio ambiental (Pascual, Tognonvi, & Tagnit-Hamou, 2021). Ocasionando males y afectando directamente a la salud de los seres vivos, así como en la naturaleza (Rai, Singh, & Tiwari, 2020). Ya que afecta directamente al agotamiento de la capa de ozono que trae consigo el cambio climático a causa de la emisión de gases de efecto invernadero (Maduabuchukwu Nwakaire, Poh-Yap, Chiu Chuen, Wah Yuen, & Adebayo Ibrahim, 2020). Estos materiales como el concreto y el vidrio reciclado se pueden usar como un remplazo de muchos materiales para la mejora en las propiedades de resistencias y estabilización de las bases arcillosas (Xiao, y otros, 2020). Además al usar estos materiales reciclados como un nuevo e innovador aditivo en la construcción no solo protegería el medio ambiente, sino incluso traería ahorros en costos de la obra (Zhang, Li, Zhou, Huang, & Wang, 2021). Las nuevas e innovadoras tecnologías que se emplean para reciclar materiales que se usan en las demoliciones

está acompañado de su trituración de los residuos de escombros como son el vidrio y el concreto (Zolotukhin, y otros, 2021). Dado que estos materiales transformados poseen propiedades fisicoquímicas adecuadas según los estudios (Scheuermann Filho, Beck Saldanha, da Rocha, & Consoli, 2021). Mostrando su potencial en que estos desechos se pueden dar un segundo uso como material estabilizante de construcción para mayor resistencia de los suelos para obras de ingeniería civil (Vishnu & Singh, 2021).

En vista que no en todos los suelos se pueden construir sobre ellos directamente, puesto que algunos tienen baja capacidad de carga y deformaciones (Kusumastuti & Sepriyanna, 2019). Que afectan directamente a las construcciones situadas en estos suelos problemáticos, por ello se tiene que hacer un previo mejoramiento de suelos (Haeri & Valishzadeh, 2021). Ya que los comportamientos físicos y mecánicos de las arcillas son alórmate dado que pueden ser de baja resistencia, alta compresibilidad, altos cambios volumétricos y potencial de hinchamiento (Ural, 2021). Esto es debido por efectos de la humedad puesto que el agua infiltra originando una inestabilidad interna (Golhashem & Uygur, 2019). Problemas como grietas y hundimiento de cimientos o subrasantes posteriormente la obra ingenieril podría desplomarse causado por el suelo incompetente como la arcilla (Fajana, 2021). Para prevenir estos desastres se necesita estudiar e investigar métodos para modificar sus propiedades para ganar carga portante y estabilización

(Javadzadeh , 2019). Con el fin de mitigar los comportamientos adversos de las arcillas que se debe mejorar a antes de cimentar sobre ellos (Karami, y otros, 2021).

Esta revisión sistemática con dos enfoques comprobados que van de un reciclaje para la sostenibilidad de nuestro medio ambiente a tratamientos de estabilización y ganancia de carga portante en suelos arcilloso empleando materiales de desecho como el concreto y el vidrio (Browne, 2020). Siendo una investigación que proyecta concretamente un futuro codiciable y satisfactorio para la humanidad (Sim, Ju, & Lee, 2017). El objetivo de este artículo es revisar y analizar las investigaciones acerca del uso de vidrio y el concreto reciclado en la ganancia de carga portante de suelos arcillosos, asimismo los resultados de esta revisión se estudian y se discuten ya que nos puede otorgar nuevos e importantes conocimientos acerca de la utilidad del concreto y vidrio reciclado sobre la arcilla.

DESARROLLO

Metodología de investigación

La presente revisión se realizó tomando en cuenta los tiempos de publicación desde el 2016 hasta el 15 de mayo de 2021, previamente se reconoció el material bibliográfico que se va a utilizar efectuando la búsqueda con las siguientes palabras clave que estuvo acorde a nuestro tema y fueron: “recycled concrete and glass”, “stabilization”, “clay soil”, en la base de datos, Scopus y EBSCO. Luego se aplicando un criterio de exclusión donde

se escogieron 50 artículos, distribuidos de la siguiente manera, 1 en el año 2016, 1 en el año 2017, 1 en el año 2018, 15 en el año 2019, 15 en el año 2020 y 17 en el año 2021, los cuales se examinaron de forma muy minuciosa de la mano con nuestro criterio de inclusión: Uso de concreto y vidrio reciclado en la capacidad de carga de suelos arcilloso, también por áreas temáticas como son de ingeniería, ciencias de los materiales, ciencias de la tierra y planetarias y temas relacionados a la ingeniería civil. Para mejor claridad la tabla numero 1 da a conocer los artículos conforme a la base de datos y año de publicación.

Tabla 1: Artículos distribuidos según la base de datos y el año de publicación

Base de datos	Año de publicación						Total
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Scopus	1	1	1	13	15	16	47
EBSCO	0	0	0	2	0	1	3
Total	1	1	1	15	15	17	50

Fuente: Elaboración propia

MATERIALES Y METODOS

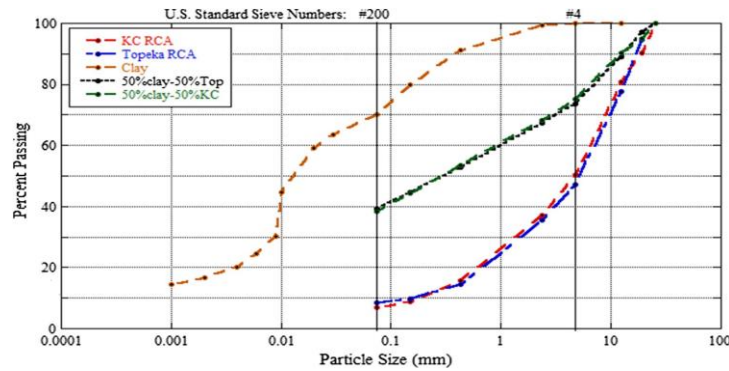
Procesamiento del material

Los residuos sólidos de concreto para un material agregado de concreto reciclado (RCA) debe poseer una resistencia mínima de 30 MPa en la compresión por la prueba del martillo de rebote (Giwangkara, y otros, 2019). Luego se procede a triturar hasta alcanzar un límite máximo de 25 mm de los granos, como lo indica la figura 01,

en su mayoría al tamaño de una graba las cuales mayor al 50% se debería quedar en la malla N° 4 según la clasificación de

suelos (Tavakol, Kulesza, Jones, & Hossain, 2020).

Figura 1: Curva de trituración del tamaño del grano de concreto

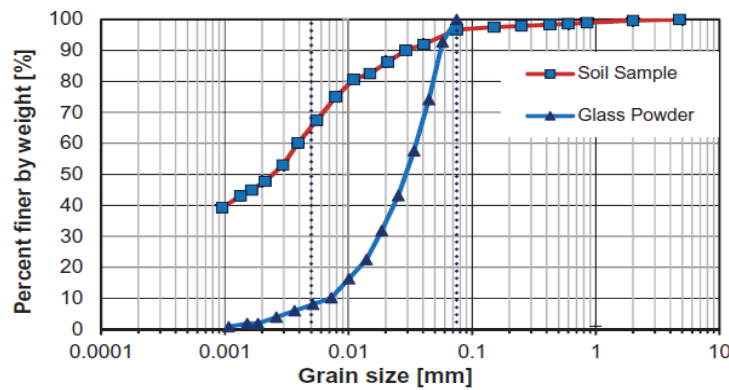


Fuente: (Tavakol, Kulesza, Jones, & Hossain, 2020)

Los desechos de residuos de vidrio pasan por un proceso de lavado para eliminar impurezas, luego concretamente secadas pasan por medio de una trituradora para ser pulverizados (Onyelowe, Igboayaka, Orji, Ugwuanyi, & Bui Van, 2019). Este proceso las convierte en partículas de

vidrio PV (polvo de vidrio) proveniente de reciclamiento de vidrios desechados, posteriormente se tamiza a través de la malla N° 200, como lo señala la figura 2, al ser más finos pueden adherirse mejor y tener mejor estabilización (Ibrahim, Mawlood, & Alshkane, 2021).

Figura 2: Curva de distribución del tamaño de grano para la muestra de suelo y polvo de vidrio.



Fuente: (Ibrahim, Mawlood, & Alshkane, 2021)

RESULTADOS

Existen pocas investigaciones sobre los impactos de las partículas óptimas de concreto y vidrio en las propiedades mecánicas en los suelos arcillosos. Estas

investigaciones afirman que la sustitución de muchos materiales de compactación, podría ser el concreto reciclado y triturado para ser aplicada en cimentaciones y subrasantes, la cual dio efectos positivos impidiendo el asentamiento de la muestra

de suelo (Mohammed Al-Waily, 2019). También la información proporcionada sobre el polvo de vidrio estudiado demostró ser un material correcto para la compactación y ganar resistencia en suelos como la arcilla (Baldovino, Izzo, Silva, & Rosa, 2021). El vidrio pulverizado fue investigado por AASHTO M315 en el 2015 mencionando que el vidrio pulverizado tiene un gran potencial como material de relleno y estabilización en la construcción de carreteras (Bilgen, 2020).

Influencia de los estabilizadores en diferentes tipos de casos

Las investigaciones estudian para demostrar que el uso de concreto y vidrio dan efectos positivos a la capacidad portante, propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos.

Influencia con concreto

En la aplicación de concreto reciclado se utilizó un tipo de suelo que paso en su mayoría a el 50% en la malla número 200, para los experimentos teniendo que sacar la prueba de limite líquido y limite plástico como en este caso se obtuvo que es la arcilla de alta plasticidad CH que se obtuvo según el sistema de clasificación de suelos (SUCS), esenciales para llevar a cabo más pruebas como la humedad óptima para la densidad seca máxima del suelo (Timsina, y otros, 2019).

Teniendo a razón el porcentaje de 3.5% en hinchamiento de la arcilla si mezclar con ningún material (Çabalar, Zardikawi, & Abdulnafaa, 2019). Posteriormente

cuando se mezcla el material RCA Los resultados que se obtuvo para una cimentación tuvo una buena relación en la capacidad de carga, mejorando el hinchamiento, haciendo que las dimensiones de las zapatas disminuyeran considerablemente (Maki Jafar Mohammed, 2019).

Los suelos utilizados de muestra para subrasante con sus propiedades físicas como los límites de Atterberg con el estudio granulométrico. (Chen, Sanger, Ritchey, Edil, & Ginder-Vogel, 2020). En la estabilización de pavimentos el material RCA cumplió con la estabilidad de subrasante con agregados triturados máximos de pulgada, utilizado este caso para estudio de una carretera que corresponde a la clasificación AASHTO A-6 con un límite líquido de 38 y limite plástico de 23 (Tavakol, Hossain, & Tucker-Kulesza, 2019).

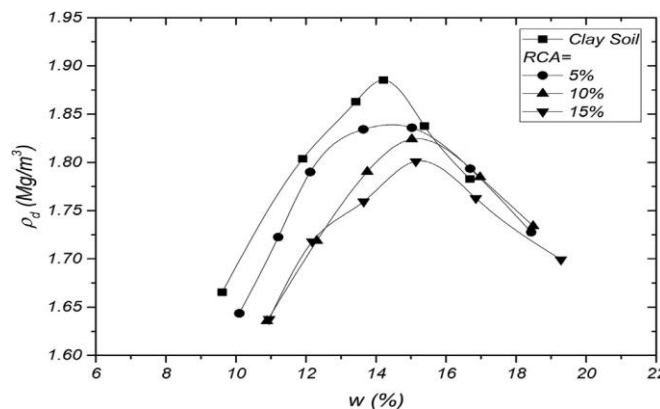
La adición de residuos de concreto triturado reciclado mejora en gran parte la cohesión de la arcilla, hallando se así que hay mejora notable con proporciones entre 5%, 10% de masa, pero se recomienda usar 15% para mayor cohesión optima (Tong, Ma, & Hu, 2019). La mezcla de muestra se preparó con un óptimo contenido de humedad variado de 10% y 15.5% de acuerdo a la proporción de RCA, para la prueba Proctor modificado compactado con la energía AASHTO. después de 7 días se vio que no tenía hinchamiento haciendo lograr que la prueba de CBR crezca eficazmente de su estado natural (Kalantar Hormozi, Jorkesh, Ajalloeian, & Mortazavi Gelsefidi, 2021).

La prueba de CBR para subrasante, es la que indica la capacidad de carga que puede resistir la subrasante, preparando la mezcla más el reciclado con la humedad óptima para la prueba de compactación dando resultados de CBR de los residuos sólidos de concreto la mezcla siendo de 97.66% cumpliendo con los requisitos de una subrasante (Al-Obaydi, Abdulnafa, Atasoy, & Çabalar, 2021). Conociendo que la compactación obtenida en el caso de subrasante se debe de tener un mínimo de 95% de grado de compactación (Tavira,

Jiménez, Ledesma, López-Uceda, & Ayuso, 2020).

La curva compactación para suelos arcilloso con agregado de concreto reciclado tenido 3 contenidos diferentes de RCA, mezclándose uniformemente la arcilla y el RCA se alcanzó la gravedad específica promedio de $G_s = 2.609$ en la compactación Proctor modificado con material RCA variado de 5%, 10%, 15% para las mezclas como se muestra en la figura 3 (Kianimehr, Shourijeh, Binesh, Mohammadinia, & Arulrajah, 2019).

Figura 3: Curva de compactación para suelos arcillosos y mezcla de diferentes Proporciones de RCA-Arcilla



Fuente: (Kianimehr, Shourijeh, Binesh, Mohammadinia, & Arulrajah, 2019)

Características de compresión

Con el uso de material RCA en un 15% óptimo para una mejorara significativa en las características mecánicas de los suelos arcillosos, se llegó a una resistencia a la compresión de 205 kPa (Kianimehr, Shourijeh, Binesh, Mohammadinia, & Arulrajah, 2019). así mismo la muestra con RCA se mejoró en la reducción del ángulo de fricción a 37.9° de su estado natural, esto deduce que los sólidos reciclados pueden otorgar mejoras

significativas en la capacidad de suelos arcillosos (Zhang, Gu, & Zhang, 2019).

Influencia con vidrio

El uso de vidrio para estabilizar suelos arcillosos cumplió con las expectativas, llegándose a una relación de vacíos de las capas de 4.5% o menos en la compactación, lo que le suministra la impermeabilidad requerida (Kučera, y otros, 2021). Para esfuerzos de valores que oscilan entre 13.5 y 15.5 kN/m³ con una

variación de hasta 1.0 kN/m³ para la calidad de modelo (Baldovino, Dos Santos Izzo, Rosa, & Avanci, 2020).

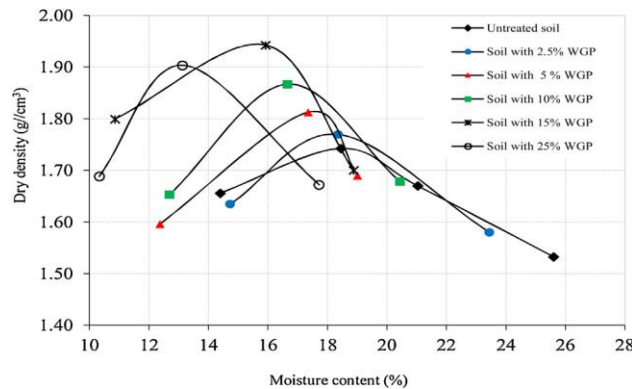
Teniendo los límites de Atterberg resultados obtenidos fueron: Límite líquido 34.4, Límite plástico de 14.4, con esto tenemos que nuestro índice de plasticidad es de 15.1 según la prueba de laboratorio (Más-López, García Del Toro, Patiño, & García, 2020). Siendo investigadas según las normas ASTM tenido del suelo estudiado que este compuesto de por 98.1% de finos y un 1.9 de arena, obteniéndose así según el sistema de clasificación de suelos (SUCS) como una arcilla arenosa de baja plasticidad (CL) y según la clasificación AASHTO un suelo A-7-6 como principiante a suelo arcilloso para subrasante (Jara, Barrionuevo, & Díaz, 2020).

En caso del vidrio se obtuvo lo siguiente, Las combinaciones vidrio pulverizado se

realizó la prueba en una carretera como subrasante con el fin de determinarse el contenido de partículas de vidrio, la cual el estudio indica que un 15% de polvo de vidrio es el más óptimo para una estabilidad, rigidez adecuada, y para disminuir asentamiento (Kazmi, Williams, & Serati, 2020).

Las pruebas de compactación Proctor estándar se llevó a cabo para suelos arcillosos tratándolo con diferentes proporciones de vidrio pulverizado (2.5%, 5%, 10%, 15% y 25%) dando lugar a diferentes contenidos de humedad óptimas para alcanzar las máximas densidades secas de cada proporción de PV como se observa en la siguiente figura 4, luego se observó que aumentó el CBR de su estado natural hasta un 12.2% cuando se aplicó una proporción del 15% de RCA (Blayi, Sherwani, Ibrahim, Faraj, & Daraei, 2020).

Figura 4: Curva compactación para suelos arcillosos tratados con diferentes proporciones de polvo de vidrio



Fuente: (Blayi, Sherwani, Ibrahim, Faraj, & Daraei, 2020)

Teniendo que para el suelo más el polvo de vidrio PV uniformemente mezclado se alcanzó una gravedad específica $G_s=2.55$ en la compactación (Valipour, Shourijeh, & Mohammadinia, 2021). Dando que

polvo de vidrio tiene las características y capacidades correctas para mejorar las propiedades de los suelos arcillosos, pudiéndose utilizar correctamente y reducir el potencial al hinchamiento el

suelo dando porcentajes alentadores como la disminución de 5.5% a 1.65% de hinchamiento de la arcilla añadiendo un 12% de polvo de vidrio (Çanakçi, Al-Kaki, & Celik, 2016).

Características de compresión

El polvo de vidrio sobre la compresión y características de la arcilla con una adicción del 14% de vidrio pulverizado expresa en índice de compresión mejora de 0.275 a 0.072, índice hinchamiento mejorado de 0.043 a 0.012, relación de vacíos mejora de 0.697 a 0.511, potencial de hinchamiento mejorando de 3.9% a 0.5%, además de carga última inicial de 13,74 kPa a 93.42 kPa creciendo a 80kPa a 280kPa, con un índice de hinchamiento de 2% , mejorando significativamente el índice de compresión (Mujtaba, Khalid, Farooq, Elahi, & Shahzad, 2020)

Asimismo, el suelo natural poseía un Angulo de fricción de 35,16° posteriormente de agregar el vidrio pulverizado y contenido de humedad óptimo hubo una reducción significativa a 30.44° que sería un 13.42% de reducción en el ángulo de fricción (de Castro, y otros, 2019). El uso de vidrio también se comportó exitosamente en la compactación del suelo mostrando una resistencia en los 90 días de 6 N/mm² (Ghorab, Meawad, Yildirim, & Hassan, 2019).

Costos de procesamiento del vidrio y concreto

Los 2.020 millones toneladas provocado por el vidrio anuales de podría ser aprovechada por ser un bajo costo de tratamiento como, el proceso de reciclaje

del vidrio podría costar un aproximado de \$70 US por cada tonelada y el proceso de pulverización de residuos de vidrio tendría un costo promedio de \$57 US por tonelada, dando un costo total de \$ 127 US, por tonelada (Bilgen, 2020).

El costo para procesar concreto triturado RCA traería ahorro en costos notables con la competencia para usos de ingeniería, en proceso de reciclaje 12.75 US, la preparación de y trituramiento del material traería un costo de \$ 71 US, contando un total de \$ 83.75 US por cada tonelada (Reza, Wilde, & Izevbekhai, 2018).

CONCLUSIONES

La inclusión de partículas de concreto y vidrios reciclados debidamente tratado proveniente de botaderos, sustituye a materiales tradicionales, llamando la atención dado que es un estudio innovador en la búsqueda de materiales de residuos sólidos que otorguen mejoras en la capacidad de carga, estabilización, disminución del asentamiento de suelos arcillosos, en relación a ellos una gran parte de los investigadores recomiendan una inclusión de proporciones de concreto reciclado triturado RCA variado entre 5%, 10%, 15% y proporciones de vidrio reciclado pulverizado PV variado entre 5%, 10%, 15%, 25% que llevan a una compactación correcta aumentando su resistencia a la compresión a 205 kPa de la arcilla con inclusión de concreto RCA y 280 kPa de la inclusión de vidrio PV, recomendándose técnicamente usar ambos materiales en la construcción de obras de arte de la ingeniería civil puesto que traen efectos positivos en la mejora de las propiedades mecánicas de la arcilla,

pudiendo sustituir a materiales comúnmente usados como la cal para estabilizar suelos arcillosos.

El costo de proceso de tratamiento de partículas óptimas de estos materiales como el concreto y el vidrio son muy reducidos, logrando generar ahorros en costos de obra envista a su competencia.

Esta investigación del uso de materiales reciclados como el vidrio y el concreto son alternativas que no solo dan un buen desempeño en el aspecto de la ingeniería civil como la mejora de las propiedades mecánicas de la arcilla, sino también en una idea ecológica sostenible que contribuye a la reducción de la contaminación ambiental, que en estas épocas es cuando más nos necesita.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios por brindar salud a mí y a mis seres queridos, a mi familia por apoyarme en cada decisión de mi vida, gracias a la vida por brindarme la oportunidad de hacer posible este estudio y a mi docente el Ingeniero Sócrates Pedro Muñoz Pérez por brindarnos sus conocimientos y guiarme al desarrollo de esta presente investigación sistemática.

REFERENCIAS

Al-Obaydi, M., Abdulnafaa, M., Atasoy, O., & Çabalar, A. (2021). Improvement in the field CBR values of the subgrade Land Use of construction and demolition materials. *Transport infrastructure Geotechnology*.

doi:<https://doi.org/10.1007/s40515-021-00170-x>

Ashmawy, M., Elansary, A., & Abdalla, H. (2021). Effect of recycled coarse aggregate on the physical and mechanical properties of concrete. *Advances in structural engineering*, 24(3), 583-595. doi:<https://doi.org/10.1177/1369433220963792>

Baldovino, J., Dos Santos Izzo, R., Rosa, J., & Avanci, M. (2020). Recycled-based geopolymers Glass Soil powder Stabilization. *Geotechnical and geological engineering*, 38(4), 4013 - 4031. doi:<https://doi.org/10.1007/s10706-020-01274-w>

Baldovino, J., Izzo, R., Silva, É., & Rosa, J. (2021). Close to the "sustainable use of Recycled-Glass Dust on the ground Stabilization" by Jair de Jesús Arrieta Baldovino, Ronaldo Luis dos Santos Izzo, Érico Rafael da Silva and Juliana Lundgren Rose. *Journal of materials in civil engineering*, 33(4). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003685](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003685)

Bilgen, G. (2020). Use of Powdered Glass as an additive in clay Floors. *Geotechnical and geological engineering*, 38(3), 3163 - 3173. doi:<https://doi.org/10.1007/s10706-020-01215-7>

Bilgen, G. (2020). Use of powdered glass in clays stabilized with lime ground with sea water. *Environmental Earth Sciences*, 79(19), 437. doi:<https://doi.org/10.1007/s12665-020-09195-w>

- Blayi, R., Sherwani, a., Ibrahim, H., Faraj, R., & Daraei, A. (2020). Improvement of the resistance of the expansive soil through the use of residues. powder glass. *Case studies in building materials*, 13, 00427. doi:https://doi.org/10.1016 / j.cscm.2020.e00427
- Browne, A. (2020). Maximizing Stabilization and Recycling Benefits for Sustainable Pavement Performance in New Zealand and Australia. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 76, 35 - 44. doi:https://doi.org/10.1007 / 978-3-030-48679-2_4
- Çabalar, A., Zardikawi, O., & Abdulnafaa, M. (2019). Use of construction and demolition materials with clay for subgrade road pavement. *Design of pavements and road materials*, 20(3), 702 - 714. doi:https://doi.org/10.1080 / 14680629.2017.1407817
- Çanakçı, H., Al-Kaki, A., & Celik, F. (2016). Stabilization of Clay with Residues of Soda lime Glass Powder. *Procedural engineering*, 161, 600 - 605. doi:https://doi.org/10.1016 / j.proeng.2016.08.705
- Chen, J., Sanger, M., Ritchey, R., Edil, T., & Ginder-Vogel, M. (2020). Neutralization of high pH and alkalinity effluents from recycled concrete aggregate by common subgrade soil. *Environmental Quality Magazine*, 49(1), 172-183. doi:https://doi.org/10.1002 / jeq2.20008
- de Castro, C., da Silva, R., Santos, L., Mendes, A., Lima, C., & da Frota, C. (2019). [Mechanical behavior of earth clay stabilized with glass residue in powder in ball and high energy mills]. *Materia Magazine*, 24(2). doi:https://doi.org/10.1590 / s1517-707620190002.0671
- Fajana, A. (2021). Geographical Hazard Characterization of Subsurface Materials Using Integrated Geophysical Methods for Post-Foundation Studies: A Case Study. *Modeling of terrestrial systems and environment*, 7(1), 403-415. doi:https://doi.org/10.1007 / s40808-020-00861-3
- Ghorab, H., Meawad, A., Yildirim, M., & Hassan, A. (2019). Advances in research on earth construction: earth fused with glass Waste, bypass of the cement kiln dust and activated clay. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 11(4), 433 - 439. doi:https://doi.org/10.1080 / 20421338.2018.1479141
- Giwangkara, G., Mohamed, A., Abd Khalid, N., Tampoco, H., Hainin, M., Jaya, R., . . . Aziz, M. (2019). Recycled concrete added as a base material for roads. *IOP Lecture Series: Materials Science and Engineering*, 527(1), 012061. doi:https://doi.org/10.1088 / 1757-899X / 527/1/012061
- Golhashem, M., & Uygur, E. (2019). Improvement of the internal stability of alluvial clay from Famagusta Bay, Cyprus, using styrene butyl acrylate copolymer. *Environmental &*

- Engineering Geoscience journal*, 25(4), 389-300.
doi:<https://doi.org/10.2113/eeg-2205>
- Haeri, S., & Valishzadeh, A. (2021). Evaluation of the use of different nanomaterials to stabilize foldable loessial soil. *International Journal of Civil Engineering*, 19(5), 583-594.
doi:<https://doi.org/10.1007/s40999-020-00583-8>
- Ibrahim, H., Mawlood, Y., & Alshkane, Y. (2021). Using waste glass powder to stabilize highly plastic clay in the city of Erbil, Iraq. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 15(4), 496 - 503. doi:<https://doi.org/10.1080/19386362.2019.1647644>
- Jara, H., Barrionuevo, B., & Díaz, C. (2020). Application of glass and fan shells to a clay soil to increase its mechanical properties. *IOP Lecture Series: Materials Science and Engineering*, 1054(1), 012004.
doi:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1054/1/012004>
- Javadzadeh , P. (2019). Investigation of the effect of nanomaterials on the strength parameters of clay soil. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 9(2), 139-144.
doi:<https://doi.org/10.2478/jaes-2019-0019>
- Kalantar Hormozi, M., Jorkesh, Z., Ajalloeian, R., & Mortazavi Gelsefidi, S. (2021). Feasibility of use Recycling Combined construction and demolition waste for the road base and sub-base in Fooladshahr, Isfahan province, Iran: a case study. *Journal of Transportation Engineering Part B: Pavements*, 147(2).
doi:<https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000267>
- Karami, H., Robert, D., Costa, Susanga, Tostovrsnik, F., O'Donnell, B., & Setunge, S. (2021). Construction of work platforms on expansive soils using recycled concrete and stabilizers: a case study. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 94, 19-30.
doi:https://doi.org/10.1007/978-981-15-7222-7_3
- Kazmi, d., Williams, D., & Serati, M. (2020). Glass waste in civil engineering applications: a review. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 17(2), 529 - 554.
doi:<https://doi.org/10.1111/ijac.13434>
- Kianimehr, M., Shourijeh, P., Binesh, S., Mohammadinia, A., & Arulrajah, A. (2019). Utilization of recycled concrete aggregates for light stabilization of clay soils. *Construction and building materials*, 227, 116792.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116792>
- Kučera, P., Lidmila, M., Jasansky, P., Pýcha, M., Madriguera, M., & Ghataora, G. (2021). The feasibility of using asphalt. concrete with a high percentage of recycled asphalt material in a layer of railway track bed. *Transportation geotechnics*, 26, 100429. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100429>
- Kusumastuti, D., & Sepriyanna, I. (2019). Soft Earth Stabilization with rice husk ash

- and Glass Powder Based on physical characteristics. *IOP Lecture Series: Materials Science and Engineering*, 650(1). doi:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/650/1/012025>
- Luo, X., Liu, G., Zhang, Y., Meng, T., & Zhan, L. (2021). Estimation of the resilient modulus of demolition and cement-treated construction Residues with performance-related properties. *Construction and building materials*, 283, 122107. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122107>
- Maduabuchukwu Nwakaire, C., Poh-Yap, p., Chiu Chuen, O., Wah Yuen, C., & Adebayo Ibrahim, H. (2020). Utilization of recycled concrete aggregates for sustainable road pavement applications; a review. *Construction and building materials*, 235, 117444. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117444>
- Maki Jafar Mohammed, M.-W. (2019). Effect of partial replacement with crushed concrete on slump and load-bearing capacity of soft clay. *IOP Conference Series: Materials Science & Engineering*, 584(1), 012059. doi:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/584/1/012059>
- Más-López, M., García Del Toro, E., Patiño, A., & García, L. (2020). Ecological pavements made of glass Waste: Physical and mechanical characterization and its applicability on the ground. stabilization. *Materials*, 13(17), 3727. doi:<https://doi.org/10.3390/MA13173727>
- Mohammed Al-Waily, M. (2019). Effect of partial replacement with crushed concrete on the settlement and loading capacity of Soft clay. *IOP Lecture Series: Materials Science and Engineering*, 584(1), 012059. doi:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/584/1/012059>
- Mujtaba, H., Khalid, U., Farooq, K., Elahi, M., & Shahzad, H. (2020). Sustainable use of Powdered Glass to improve the mechanical behavior of grease Clay. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(12), 3628-3639. doi:<https://doi.org/10.1007/s12205-020-0159-2>
- Onyelowe, K., Igboayaka, C., Orji, F., Ugwuanyi, H., & Bui Van, D. (2019). Triaxial and density behavior of geopolymer cement based on quarry powder treated with crushed expansive soil Glass residues for pavement foundations. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 12(1), 78 - 87. doi:<https://doi.org/10.1007/s42947-019-0010-7>
- Pascual, A., Tognonvi, T., & Tagnit-Hamou, A. (2021). Glass residue optimization study Powder-based alkali-activated materials incorporating metakaolin: activation and curing conditions. *Cleaner Production Magazine*, 308, 127435. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127435>
- Rai, A., Singh, G., & Tiwari, A. (2020). Comparative study of soil stabilization with powdered glass, plastic and electronic waste: a review. *Today's Materials: Minutes*, 32, 771 - 776.

- doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.570>
- Reza, F., Wilde, W., & Izevbekhai, B. (2018). Sustainability of the use of recycled concrete aggregates as coarse aggregate in concrete pavements. *Transportation investigation record*, 2672(27), 99-108. doi:<https://doi.org/10.1177/0361198118801357>
- Scheuermann Filho, H., Beck Saldanha, R., da Rocha, C., & Consoli, N. (2021). Sustainable binders that stabilize dispersive clay. *Journal of materials in civil engineering*, 33(3). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003595](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003595)
- Sim, J., Ju, M., & Lee, K. (2017). Thirty years of research on the development of sustainable concrete technology. *MATEC conference website*, 138, 03008. doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201713803008>
- Tavakol, M., Hossain, M., & Tucker-Kulesza, S. (2019). Subgrade soil Stabilization Using low quality Recycled Concrete Add. *Geotechnical special publication*, 235 - 244. doi:<https://doi.org/10.1061/9780784482124.025>
- Tavakol, M., Kulesza, S., Jones, C., & Hossain, M. (2020). Poor quality effect Recycled Concrete Aggregate over stabilized Clay Properties. *Journal of materials in civil engineering*, 32(8), 04020196. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003263](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003263)
- Tavira, J., Jiménez, J., Ledesma, E., López-Uceda, A., & Ayuso, J. (2020). Full-scale study of a heavy traffic road built with on-site recycled demolition waste. *Cleaner Production Magazine*, 248, 119219. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119219>
- Timsina, S., Bhandari, P., Zaman, D., Ahmed, A., Hossain, M., & Thian, b. (2019). Effect of fine Clay Particles on the characterization of resistance of Flex-Base materials treated with cement. *Geotechnical special publication*, 382 - 390. doi:<https://doi.org/10.1061/9780784482124.039>
- Tong, c., Ma, Q., & Hu, X. (2019). Triaxial Shear Test on Lime Treated Hydrochloric Acid Contaminated Clay, Crushed Concrete, and Super Absorbent Polymer. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019. doi:<https://doi.org/10.1155/2019/3865157>
- Ural, N. (2021). The Importance of Scanning Electron Microscopy (SEM) Analysis on the Microstructure of Enhanced Clay: An Overview. *Open Geosciences*, 13(1), 197-218. doi:<https://doi.org/10.1515/geo-2020-0145>
- Valipour, M., Shourijeh, P., & Mohammadinia, A. (2021). Application of recycled tire polymer fibers and glass fibers for reinforcing clay. *Transportation geotechnics*, 27, 100474. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100474>
- Vishnu, T., & Singh, K. (2021). A study on the suitability of solid waste in pavement construction: a review. *International*

Journal of Pavement Research and Technology, 14(5), 625-637.
doi:[https://doi.org/10.1007 /
s42947-020-0273-z](https://doi.org/10.1007/s42947-020-0273-z)

Xiao, R., Polaczyk, P., Zhang, M., Jiang, X., Zhang, Y., Huang, B., & Hu, W. (2020). Glass Evaluation Dust-based geopolymer stabilized road bases containing Recycled Waste Glass Aggregate. *Transportation investigation record*, 2674(1), 22-32.
doi:[https://doi.org/10.1177 /
0361198119898695](https://doi.org/10.1177/0361198119898695)

Zhang, J., Gu, f., & Zhang, Y. (2019). Use of construction-related construction and demolition debris in road embankments: laboratory and field evaluations. *Cleaner Production Magazine*, 230, 1051-1060.
doi:[https://doi.org/10.1016 /
j.jclepro.2019.05.182](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.182)

Zhang, Y., Li, Y., Zhou, J., Huang, J., & Wang, Q. (2021). Application of industrial solid waste in the preparation of recycled concrete: a review. *IOP Lecture Series: Earth and Environmental Sciences*, 692(4), 042050. doi:[https://doi.org/10.1088 /
1755-1315 / 692/4/042050](https://doi.org/10.1088/1755-1315/692/4/042050)

Zolotukhin, S., Kukina, O., Artemova, E., Eremin, A., Volokitin, V., & Volokitina, O. (2021). New approaches to the development of construction technologies. *E3S conference website*, 247, 01014.
doi:[https://doi.org/10.1051 /
e3sconf / 202124701014](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701014)