

Reciclaje y reaprovechamiento de los residuos de concreto en pavimentos

Sara del Rocio Ochoa Averos ¹  Julio César Bizarreta Ortega ¹  Angel Chicaiza Ortiz ^{2,3} 

¹ Universidad Federal de Integración Latino-Americana

² Universidad Regional Amazónica Ikiam, Grupo Interdisciplinario de Estudios en Arquitectura y Construcción Sostenible, Tena 150102, Ecuador

³ Universidad Regional Amazónica Ikiam, Urban Planning and Amazon cities, Tena 150102, Ecuador

✉ Correspondencia: saradelrociochoa@gmail.com 📞 + 55 45991484028

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj51015>

Resumen: El modelo de producción actual es responsable por el consumo del 75 % de los recursos naturales ocasionando graves problemas urbanos. El resultado de esta cadena productiva es el aumento desenfrenado de residuos de construcción en las diferentes etapas de la obra. Ante este problema ambiental, social y financiero, fue necesario investigar alternativas para reaprovechar los residuos de construcción civil que satisfagan los criterios técnicos y económicos del consumidor. Por tanto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el reaprovechamiento de la fracción fina de residuos de concreto (RC-fino) para el refuerzo de la subrasante. Por lo tanto, el residuo fue tratado mecánicamente (triturado y tamizado), utilizando partículas con un diámetro inferior a 2mm, fue analizada la caracterización del material a través del ensayo de termogravimetría. Se analizaron las características físicas, parámetros de compactación y capacidad portante, tanto del suelo como de las mezclas con RC-fino en proporciones de 20, 40 y 60 % en peso. Al adicionar RC-fino, existe una disminución en los límites de Atterberg, densidad específica de los sólidos y expansión. Por otra parte, el índice de CBR incrementa con relación al suelo. Se enfatiza que al adicionar residuo satisface las exigencias establecidas en las normas brasileras para refuerzo de subrasante.

Palabras claves: Sustentabilidad; residuo de construcción y demolición; reaprovechamiento.

Recycle and reuse of concrete residues in pavements.

Abstract: The current production model is responsible for consuming 75 % of natural resources, causing severe urban problems. This production chain is the unbridled increase in construction waste in the different stages of the work. For this environmental, social, and financial problem, it is necessary to investigate alternatives to reuse civil construction waste that meets the technical



Cita: Ochoa Averos, S. del R., Bizarreta Ortega, J. C., & Chicaiza Ortiz, A. (2022). Reciclaje y reaprovechamiento de los residuos de concreto en pavimentos. Green World Journal, 5(1), 015.

<https://doi.org/10.53313/gwj51015>

Received: 15/February /2022

Accepted: 30/March/2022

Published: 01/April/2022

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2022 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

and economic criteria of the consumer. Therefore, this work aims to evaluate the reuse of the fine fraction of concrete waste (RC-fine) for the reinforcement of the subgrade. Therefore, the residue has treated mechanically (crushed and sieved), using particles with a diameter of less than 2mm, the characterization of the material was analyzed through the thermogravimetry test. Physical characteristics, compaction parameters, and bearing capacity of the soil and the mixtures with RC-fino in proportions of 20, 40, and 60 % by weight have been analyzed. There is a decrease in the Atterberg limits, the specific density of solids, and expansion by adding RC-fine. On the other hand, the CBR index increases about the soil. It is emphasized that adding residue satisfies the requirements established in the Brazilian standards for subgrade reinforcement.

Keywords: Sustainability; construction and demolition waste; reuse.

1. Introducción

La industria de la construcción es importante para transformar y mejorar la calidad de vida de la población, satisfaciendo las necesidades de bienes de consumo y déficit habitacional. Sin embargo, el modelo de producción actual es responsable por el consumo de hasta el 75 % de los recursos naturales generando problemas ambientales, económicos y sociales [1]. La gran cantidad de residuos de construcción ha planteado grandes desafíos para la sostenibilidad del desarrollo económico y social. Por ejemplo, en el año 2020 fueron colectados por los municipios brasileros cerca de 47 millones de toneladas de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) [2]. Sin embargo, muchos residuos no son contabilizados al ser descartados en lugares inadecuados. El descarte incorrecto genera degradación en el ambiente urbano, impactos en la salud al ser foco de proliferación de transmisores de vectores como *leptospirose*, polución visual, sedimentación en los afluentes hídricos al obstruir los sistemas de drenaje. Además de las consecuencias ambientales, la remoción de estos residuos acumulados irregularmente aumenta el gasto público municipal [1].

El Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) en el año 2015, a través de la Resolución N. 469 define al RCD como agregados provenientes de construcciones, restauraciones y reparaciones de obras de construcción civil, tales como, ladrillos, bloques cerámicos, concretos, suelos, rocas, metales, resinas, etc. Estos residuos pueden ser clasificados en cuatro clases: A, B, C y D. En la clase A, se encuentran los residuos que pueden ser reutilizados o reciclados para la producción de agregados, esta categoría engloba materiales provenientes de: construcción, fabricación, demolición, reparación o restauraciones de obras de infraestructura o pavimentos. En la clase B, se localizan los materiales que pueden ser reutilizados en otros ámbitos, de los cuales hacen parte: el plástico, papel, metales, vidrios, maderas, embalajes, pintura y yeso. Las clases C y D no pueden ser reaprovechados, en el caso de la clase C no fueron desarrolladas tecnologías para ser reutilizadas o son inviables económicamente, mientras, la clase D engloba residuos peligrosos, contaminados y perjudiciales para la salud [3].

En la literatura los RCD son clasificados como heterogéneos debido a la falta de disciplina en la descarga, amplia variedad de materiales utilizado en construcciones típicas, elevado costo en la separación de los materiales, áreas insuficientes para la descarga de desechos, desconocimiento, etc. El reciclaje del RCD se reconoce como un componente integrado a la ley de las 3R (reducir, reutilizar y reciclar), al ser parte de la construcción sostenible. El reciclar cuenta con algunas ventajas, tales como, disminuir el volumen de residuos sólidos en vertederos, aumento de la vida útil de los materiales, reduciendo así de la explotación de materias primas protegiendo los recursos naturales no renovables y aliviando las presiones ambientales para la construcción [4,5].

Entre los principales desafíos está el promover el reciclaje debido a las barreras impuestas por las partes interesadas ante la aversión a los productos con materiales reaprovechados, debido a la falta de información sobre las propiedades técnicas y económicas, necesitando mayores garantías con respecto a la calidad. La viabilidad económica depende de múltiples factores, incluyendo el tipo de material, elementos de construcción, la distancia de transporte y el contexto político (políticas públicas) [4,5].

El reciclaje puede ser impulsado por los legisladores al incrementar un impuesto para el uso de vertederos y una multa para los vertederos ilegales, esta medida disminuiría el consumo de energía, emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, conservando y/o preservando áreas de tierra a través de la abertura de nuevos vertederos y el aumento de la vida útil de los vertederos existentes. Además, los gobernantes pueden incentivar y subsidiar los agregados reciclados, o invertir en investigaciones que mejoren la calidad de los materiales reaprovechados.

El RCD puede ser reciclado dentro y fuera del cantero de obras. Para la primera alternativa, es necesario un equipo (molino de martillo) que sea capaz de transformar residuos de cerámica, enlucido y concreto en agregado. En la segunda alternativa el material es transportado a una Central de Reciclaje de Residuos [1].

El residuo puede ser reaprovechado como agregado de enlucidos, ladrillos y bloques prefabricados (bordillos, veredas) al tener componentes con un gran potencial. Sin embargo, cuanto mayor la resistencia necesaria, normalmente hay menos interés del uso de agregados reciclados, debido a las características como cantidad de finos, porosidad, resistencia del grano y absorción de agua [4].

Otra alternativa interesante es en obras geotécnicas, debido a es necesario grandes volúmenes de agregados, además de la facilidad para cumplir las exigencias de las normas técnicas. El agregado puede ser utilizado en las diferentes capas del pavimento como refuerzo, relleno o en la mezcla del pavimento [6–9].

En este sentido, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la posibilidad de reciclaje y reaprovechamiento del residuo de concreto. Esta alternativa fue analizada de acuerdo a los parámetros técnicos y exigencias establecidas en las normas brasileñas. En lo que respecta a las muestras del suelo natural y con RC-fino fueron estudiadas en laboratorio donde se obtuvo la caracterización física, límites de Atterberg, densidad específica de los sólidos, expansión e índice de CBR.

2. Materiales y métodos

La investigación es de carácter experimental y se llevó a cabo en la región sur del Brasil, en la ciudad de Foz de Iguazú, estado de Paraná. El método se desarrolló en seis etapas: obtención del material, trituración del RC para obtener RC-fino, dosificación de suelo con diferentes porcentajes de RC-fino, caracterización física, termogravimétrico y ejecución del ensayo de CBR, tanto del suelo natural como de las mezclas.

El suelo ha sido extraído del Campo Experimental del Grupo de Investigación en Geotecnia de la UNILA (25°28'38.1"S,54°35'12.3"W) (Figura 1a), a 80 cm de profundidad, este material se

transportó en sacos de tela al laboratorio para ser almacenados en la cámara húmeda a temperatura ambiente. Luego, se realizó el proceso de disgregación de los terrones y homogenización del material natural.

Las muestras de residuo de construcción se obtuvieron del vertedero de inertes de Foz de Iguazú (25°27'48.1"S,54°36'22.3"W) (Figura 1b), los residuos recolectados eran procedentes de concreto sin restos contaminantes. Luego, se procedió a una trituración con el empleo de la Máquina de Abrasión Los Ángeles, donde el residuo ha sido sujeto a choques con seis esferas de acero inoxidable por un periodo de 6 horas. El agregado resultante ha sido tamizado por una malla N°10 (2mm), generando residuo de concreto fino (RC-fino) y almacenado en cilindros plásticos con tapa en la cámara húmeda. En la Figura 2, se observa los materiales analizados.



Figura 1. Ubicación de lugares de extracción de suelo y residuos de concreto: (a) Campo Experimental del Grupo de Investigación en Geotecnia de la UNILA; (b) Vertedero de inertes de Foz do Iguazú.



Figura 2. Materiales analizados: (a) Suelo; (b) Residuo de concreto fino.

La tercera etapa consistió en realizar tres mezclas de suelo con RC-fino en proporciones de 20, 40 y 60 % en peso. Para determinar el porcentaje de material natural y residuo seco, se determinó la humedad higroscópica, 8.5 y 2.2 %, respectivamente. A partir de esta información se calculó la proporción de cada material. Las mezclas fueron homogenizadas y almacenadas en la cámara húmeda.

La caracterización física y el análisis termogravimétrico ha sido basado en las Normas Técnicas Brasileñas (NBR), *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *International Organization for Standardization* (ISO), con los ensayos que se referencian en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización física y mineralógica del material natural y las tres mezclas.

Ensayo	Norma
pH	Bowles [10]
Densidad específica de los sólidos (δ)	NBR 6508 [11]
Límite líquido (LL)	NBR 6459 [12]
Límite plástico (LP)	NBR 7180 [13]
Granulometría	NBR 7181 [14] ISO 1320 [15]
Análisis termogravimétrico	ASTM E 2550 [16]

En el análisis del pH se colocó 3 gramos de material y 30ml de agua desionizada, la solución fue agitada por 5 minutos. Luego, se sumergió el papel de pH por 15 segundos, evitando el contacto con la base del vaso, se retiró el papel, se esperó 5 minutos y se estimó el valor del pH. En la Figura 3 se presentan los materiales utilizados y las tonalidades de colores de acuerdo al pH.



Figura 3. Ensayo de pH: (a) Materiales utilizados; (b) Tonalidades de colores y su respectivo pH.

El ensayo de granulometría para las partículas finas fue realizado a través del granulómetro a láser de marca CILAS, modelo 1190. La lectura de los granos por el granulómetro comprende de 0.04 a 2500 μ m con un índice de oscurecimiento medio del 25 %. Ha sido utilizada agua desionizada, con un tipo de dispersante que depende del pH de la muestra. Para muestras alcalinas se ha utilizado hexametáfosfato de sodio a una concentración de 45.7g/L, mientras para muestras ácidas se ha utilizado hidróxido de sodio con una concentración de 1mol/L [17].

El ensayo de compactación fue realizado de acuerdo con la NBR 7182 [18], usando un soquete de Proctor automático de la marca AMC, usando energía normal, cilindro pequeño y reutilización del material. Posteriormente se realizó el ensayo de CBR con base en la NBR 9895 [19] para todas las muestras, incluyendo el suelo natural. El control de la expansión del cuerpo de prueba sumergido en el tanque ha sido por 7 días, con lecturas en extensómetros cada 24 horas. Se realizó un incremento en el período de inmersión del cuerpo de prueba de 4 a 7 días ante la posibilidad de actividad cementicia de los residuos de concreto fino.

El análisis termogravimétrico (TG) y la termogravimetría derivada (DTG) tuvo en cuenta la pérdida de masa en diferentes temperaturas. El equipo utilizado para analizar las muestras es de marca Percking Elmer, modelo STA 8000, cuya temperatura varía de 15 a 1600 °C, el mismo se encuentra

disponible en el LADEMA. Para la realización del ensayo el material fue triturado hasta ser inferior a 0,15mm, después fue dejado por 1 hora dentro del equipo a 35°C, con el objetivo de separar el agua libre de las muestras según lo recomendado por Scrivener, Snellings, Lothenbach [20]. En la Figura 4, se muestran los materiales y el equipo utilizado para realizar el ensayo de análisis termogravimétrico.

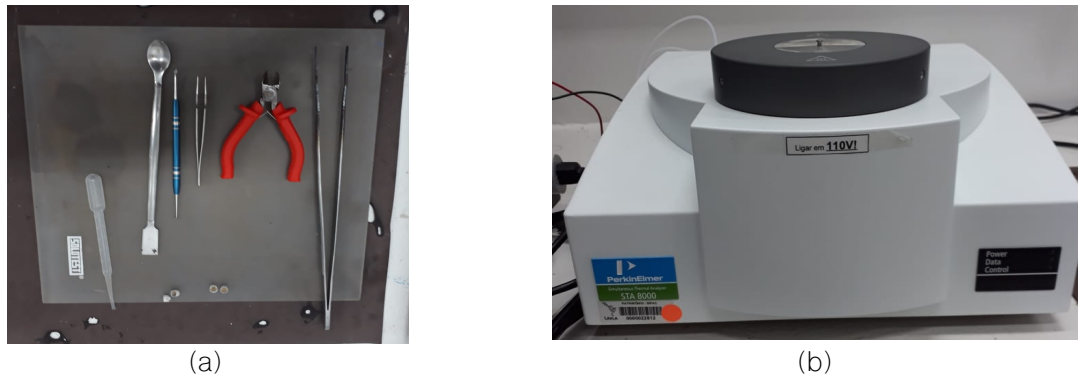


Figura 4. Análisis gravimétrico: (a) Materiales utilizados; (b) Equipo Simultaneous Thermal Analyzer (STA) 8000.

3. Resultados

La Tabla 2 presenta los valores encontrados en el ensayo de densidad específica de los sólidos y límites de Atterberg. Es importante enfatizar que se cumple la verificación del desvío padrón menor a 5 % del límite de plasticidad.

Tabla 2. Caracterización física.

Porcentaje de RC-fino (%)	δ (g/cm ³)	Límites de Atterberg		
		LL (%)	LP (%)	IP (%)
0	2.80	46.22	27.40	18.82
20	2.76	35.82	22.94	12.88
40	2.72	24.67	19.43	5.24
60	2.69	-	-	NP
100	2.62	-	-	NP

El pH del suelo analizado es 5.55 siendo clasificado como un material ácido, para este tipo de suelo ha sido utilizado el hidróxido de sodio como dispersante por 24 horas. Las mezclas con un porcentaje total o parcial de residuo han sido clasificadas como materiales básicos, por lo cual se utilizó el hexametáfosfato de sodio como dispersante por un periodo de 24 horas. Las curvas granulométricas del material natural, del residuo de concreto y las mezclas aparecen en la Figura 4.

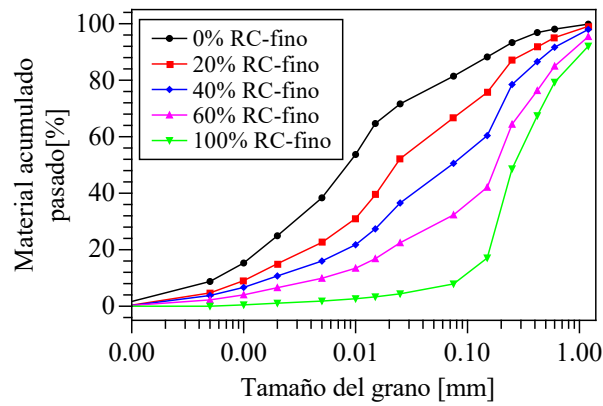


Figura 4. Curvas granulométricas.

La Figura 5 se observa los resultados de TG y DTG del cemento y del residuo de concreto reutilizado.

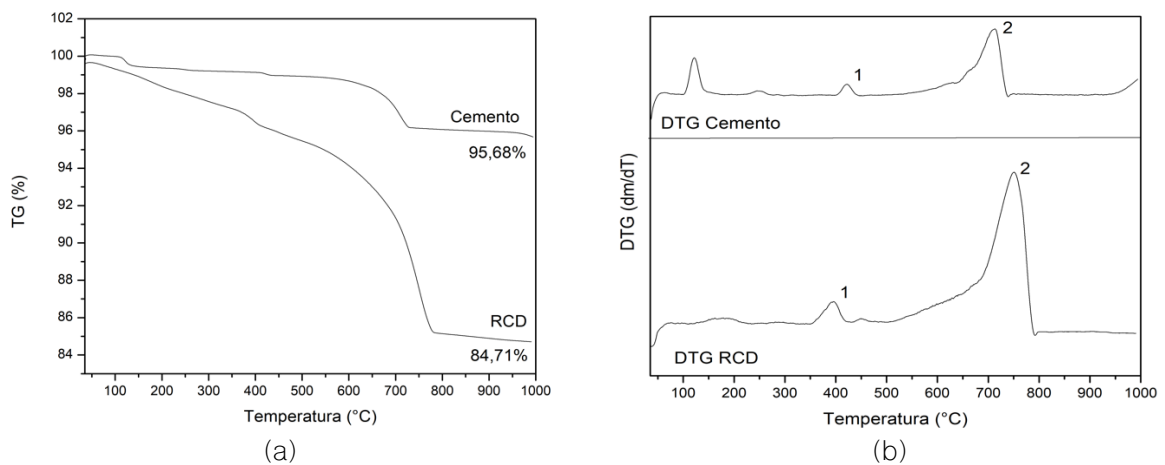


Figura 5. Ensayo termogravimétrico: (a) TG; (b) DTG.

La Tabla 3 presenta la clasificación de las muestras por dos sistemas: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO)[21].

Tabla 3. Caracterización SUCS y AASHTO.

Porcentaje de RC-fino (%)	SUCS	AASHTO
0	CL	A-7-6(13)
20	CL	A-6(7)
40	CL-ML	A-4(3)
60	SM	A-2-4(0)
100	SP-SM	A-3(0)

La Tabla 4 muestra los resultados de compactación con energía normal, considerando condiciones sin reutilización del material.

Tabla 4. Ensayo de compactación.

Porcentaje de RC-fino (%)	Humedad óptima, (%)	Masa específica aparente seca, (g/cm ³)
0	28.41	1.58
20	20.60	1.65
40	18.60	1.71
60	16.70	1.75

La Tabla 5 presenta los resultados encontrados en el ensayo de CBR, en la etapa de expansión y resistencia a la penetración. El valor de CBR del suelo no satisface el valor mínimo (2 %) para ser utilizado como capa de subrasante, por tanto, es necesario realizar la capa de refuerzo de la subrasante. Al adicionar residuo en el suelo verifican el parámetro de expansión (≤ 1 %) y CBR ($\text{CBR} \geq 12$ %), establecido por la norma brasilera [22], para ser utilizados como material de refuerzo. Mayores detalles sobre las etapas y cálculos del CBR se encuentra en [23].

Tabla 5. Resultados de CBR: expansión y resistencia a la penetración.

Porcentaje de RC-fino (%)	Expansión (%)	CBR (%)
0	1.23	1.8
20	0.34	12
40	0.13	21.3
60	0.01	32

4. Discusión

El valor de la densidad específica del residuo de concreto varia en la literatura, debido a la heterogeneidad del material y el tamaño. La densidad del RC-fino está dentro del intervalo encontrado en otras investigaciones [24,25]. Por otro parte, al adicionar un porcentaje de residuo en el material natural, el comportamiento va a depender de la proximidad de las densidades específicas de los materiales originales, pudiendo ocasionar una variación lineal o mínima [26].

En el análisis de los límites de Atterberg, el suelo es un material plástico mientras el agregado reciclado no presenta plasticidad, por lo tanto, al adicionar porcentajes de RC-fino en las mezclas, se va reduciendo el índice de plasticidad, como ha sido observado en la literatura [26]. Este comportamiento también es encontrado al incrementar cemento al suelo [27]. Al parecer el cemento disminuye la plasticidad del suelo, y el agregado reciclado puede contener fracciones de cemento, que justificaría su acción estabilizadora.

A pesar del proceso de trituración del agregado de concreto, la mayoría de partículas de RC-fino son mayores que las del suelo analizado, lo que justifica que al adicionar residuo la tendencia de las curvas granulométricas a incrementar el porcentaje de gruesos y disminuir los finos. Sin embargo, esta característica no es notoria cuando no existe diferencia significativa entre la distribución granulométrica del material natural y el reaprovechado [28].

En los análisis de TG y DTG, del cemento y RC-fino, se observa diferentes porcentajes de masa residual de 95,68 % (cemento) y 84,71 % (RCD-C fino), a 1000°C. Ambos materiales muestran coincidencia en relación a la mayor pérdida de masa en el rango de 450 a 750°C. Otras coincidencias son los puntos (1) y (2), que de acuerdo con Rigo [29] corresponde a los hidróxidos de calcio y carbonatos de calcio, respectivamente. Los resultados de TG y DTG muestran algunas similitudes entre el cemento y el RCD-C fino.

Según la clasificación de AASTHO el suelo presenta características de regular a malo para ser aplicado como subrasante. Sin embargo, al adicionar RC-fino este calificativo pasa a ser de excelente a bueno.

El ensayo de CBR puede ser dividido en tres etapas: compactación, expansión y resistencia a la penetración. El suelo no cumple con el valor máximo (≤ 1 %) para expansión y el valor mínimo para CBR ($\text{CBR} \geq 2$ %), por lo que es necesario realizar una camada de refuerzo de la subrasante. Al mezclar suelo con 20, 40 y 60 %, satisface las exigencias para ser utilizado como refuerzo de la subrasante al tener una expansión ≤ 1 % y un $\text{CBR} \geq 12$ %.

Al adicionar residuo los valores de la expansión disminuyen, esto puede indicar una estabilización química, ya que el remanente del cemento presente en el residuo de concreto se hidrata y reacciona con las partículas arcillosas, endureciéndolas, y al endurecer la expansión de la muestra disminuye, por ejemplo, si en el RCD-C fino sólo hubiese partículas de cuarzo los mismos no van a reaccionar por lo tanto no se conseguiría reducir la expansión [6–8].

Al adicionar RC-fino al suelo existió un incremento en el valor del CBR, producto de la acción mecánica y química, posiblemente las partículas de suelo y RC-fino presentan rozamiento entre las partículas sólidas, debido al elevado estado de la compactación. Del mismo modo, las fuerzas cohesivas se pueden incrementar por la acción de los minerales de cemento remanentes en la mezcla durante los siete días de cura. Tendencias similares han sido observadas en la literatura, como es presentado por [6,7]. Resultados opuestos, es decir, disminución del CBR al incrementar residuo, fueron encontrados con 40 % de RCD [30].

5. Conclusión

El residuo de concreto analizado satisface las exigencias brasileras para ser utilizado como material de refuerzo en la subrasante, tanto para las mezclas con 20, 40 y 60 % de RC-fino. Los ensayos realizados resaltan los siguientes puntos: (i) la densidad específica disminuye al incrementar porcentajes de agregado reciclado en el suelo; (ii) el suelo va disminuyendo su plasticidad al adicionar RC-fino, hasta perderla completamente como es el caso de la mezcla con 60% de RC-fino; (iii) al comparar el cemento y RC-fino en el TG y DTG, existen algunas similitudes con relación a la mayor pérdida de masa, y presencia de hidróxido de calcio y carbonatos de calcio; y (iv) existe una mejora en la capacidad de soporte del material al añadir residuo fino, posiblemente por procesos conjuntos de estabilización mecánica y química.

Por lo expuesto, el residuo de concreto fino es una alternativa con un elevado potencial para su reciclaje y reaprovechamiento, al cumplir con las exigencias técnicas y la cantidad necesaria para ser aplicado en el área de pavimentos, específicamente, en la estabilización de la subrasante.

Contribución de autores: Idea (J.C.B.O), Introducción (S.D.R.O.A), Metodología (S.D.R.O.A y J.C.B.O), Recopilación de datos (S.D.R.O.A), Redacción-revisión (S.D.R.O.A, J.C.B.O, A. C. O).

Financiamiento: Este trabajo fue financiado por la Universidad Federal de Integración Latino-Americana (UNILA).

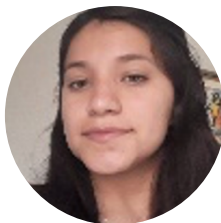
Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Miranda, L. *Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição: Teoria e Prática.*; Appris.; Curitiba, 2020;
2. Brasil. *Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil: 2021.*; São Paulo, 2022;
3. Resolucao-CONAMA-469-de-29-07-2015.
4. He, L.; Yuan, H. Investigation of Construction Waste Recycling Decisions by Considering Consumers' Quality Perceptions. *Journal of Cleaner Production* **2020**, *259*, 1–11, doi:10.1016/j.jclepro.2020.120928.
5. Shooshtarian, S.; Caldera, S.; Maqsood, T.; Ryley, T. Using Recycled Construction and Demolition Waste Products: A Review of Stakeholders' Perceptions, Decisions, and Motivations. *Recycling* **2020**, *5*, 1–16, doi:10.3390/recycling5040031.
6. Kerni, V.; Kumar Sonthwal, V.; Jan, U. Review on Stabilization of Clayey Soil Using Fines Obtained From Demolished Concrete Structures. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* **2015**, *3297*, 3204–3209, doi:10.15680/IJRSET.2015.0405106.
7. Paul, H.; Cyrus, S. Stabilization of Weak Subgrade Soil Using Demolished Concrete Aggregate. *Indian Geotech Conference IGC* **2016**, *2*, 93–105.
8. Singh, E.L.; Singh, E.S. Improvement in CBR Value of Soil Using Waste Concrete Fines. *IJSTE-International Journal of Science Technology & Engineering |* **2017**, *3*, 1–5.
9. Bowles, J. *Manual de Laboratorio de Suelos En Ingenieria Civil.*; McGRAW-HILL.; Bogotá, 1980; ISBN 968-451-046-2.
10. Brasil. *ABNT NBR 6508: Grãos de Solos Que Passam Na Peneira de 4.8mm: Determinação Da Massa Específica.*; Rio de Janeiro , 1984;
11. Brasil. *ABNT NBR 6459: Solo: Determinação Do Limite de Liqueidez.*; Rio de Janeiro , 2016;
12. Brasil. *ABNT NBR 7180: Solo: Determinação Do Limite de Plasticidade.*; Rio de Janeiro , 2016;
13. Brasil. *ABNT NBR 7181: Solo: Análise Granulométrica.*; Rio de Janeiro , 2016;
14. International Organization for Standardization (ISO). *ISO 13220: Particle Size Analysis: Laser Diffraction Methods.*; Ginebra, 2009;
15. American Society for Testing and Materials (ASTM). *ASTM E 2550: Standard Test Method for Thermal Stability by Thermogravimetry.*; West Conshohocken, 2009;
16. Mauri, J.; Ruiz, H.A.; Fernandes, R.B.A.; Ker, J.C.; Rezende, L.R.M. Dispersantes Químicos Na Análise Granulométrica de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2011**, *35*, 1277–1284.
17. Brasil. *ABNT NBR 7182: Solo: Ensaio de Compactação.*; Rio de Janeiro , 2016;
18. Brasil. *ABNT NBR 9895: Índice de Suporte de California: Requisitos.*; Rio de Janeiro , 2016;
19. Karen Scrivener, R.S.B.L. *A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials*; Scrivener, K., Snellings, R., Lothenbach, B., Eds.; CRC Press, 2018; ISBN 9781351228497.
20. Braja, M. *das Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones.*; Santa Fe, 2012;

21. Brasil. *ABNT NBR 15115: Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos Da Construção Civil: Execução de Camadas de Pavimentação: Procedimentos*; Rio de Janeiro, 2004;
22. Ochoa Averos, S. *Estudio Experimental Sobre La Estabilización de Una Subrasante Limo Arcillosa Con RCD-Concreto Fino (Partículas < 2mm) Para Aplicación En Pavimentos*; Foz de Iguazú, 2019;
23. Favaretto, P.; Hidalgo, G.E.N.; Sampaio, C.H.; de Almeida Silva, R.; Lermen, R.T. Characterization and Use of Construction and Demolition Waste from South of Brazil in the Production of Foamed Concrete Blocks. *Applied Sciences* **2017**, *7*, 1–15, doi:10.3390/app7101090.
24. Oliveira, T.C.F.; Dezen, B.G.S.; Possan, E. Use of Concrete Fine Fraction Waste as a Replacement of Portland Cement. *Journal of Cleaner Production* **2020**, *273*, doi:10.1016/j.jclepro.2020.123126.
25. Silva, A.C. da; Fucale, S.; Ferreira, S.R. de M. Efeito Da Adição de Resíduos Da Construção e Demolição (RCD) Nas Propiedades Hidromecânicas de Um Solo Areno-Argiloso. *Revista Materia* **2019**, *24*, doi:10.1590/s1517-707620190002.0670.
26. Joaquim, A.G. *Estudo de Dois Solos Tropicais Melhorados Com Cimento Ou Cal Para Emprego Em Camadas Superiores de Estradas Não Pavimentadas*., Campinas, 2017.
27. Santos, E.C.G. *dos Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) Em Estruturas de Solo Reforçado*., São Carlos, 2007.
28. Rigo, E. *Avaliação Do Potencial de Captura de CO2 de Concretos Com Resíduos de Construção de Demolição Devido à Carbonatação*., Foz de Iguazú, 2019.
29. Araújo, C.C.L.; Sales, N. da S. *Análise Da Mistura Do Agregado Reciclado de RCD Associado Ao Solo Laterítico Para Utilização Na Camada de Base de Pavimentos*. In *Proceedings of the 9° Forum Internacional de Resíduos Sólidos*; Porto Alegre, 2018; pp. 1–10.

Author's review:



Sara del Rocío Ochoa Averos Maestranda en Ingeniería Civil de Infraestructura – Materiales y desempeño de las construcciones en la Universidad Federal de Integración Latino-Americana (UNILA), bolsista CAPES. Graduada en Ingeniería Civil por la misma institución. Miembro del grupo de investigación GEOUNILA



Julio César Bizarreta Ortega Doctorando en ingeniería Civil – Geotecnia por la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro (PUC-Rio). Profesor en la Universidad Federal de Integración Latino-Americana (UNILA). Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Líder del grupo de investigación en geotecnia GEOUNILA en Brasil



Angel Chicaiza Ortíz Máster en Ingeniería Civil – Construcciones Civiles del Instituto Politécnico de Leiria (Portugal), estudios realizados con una beca completa financiada por la SENESCYT. Profesor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam; Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ayudante de laboratorio en la Universidad Técnica de Ambato y ha colaborado con varias universidades del Ecuador. En el ámbito privado es fundador de Grupo Internacional de Fomento a la Excelencia.