



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Frómeta-Salas, Zenaida Paulette; Vidaud-Quintana,
Ingrid Noelia; Font-Morales, Elaine; Negret-Ortiz, Daniela
**Empleo del vidrio reciclado triturado en sustitución parcial del
árido fino para elaborar hormigón con fines de sostenibilidad**
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 4, 2020, Octubre-, pp. 64-81
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181366194006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

EMPLEO DEL VIDRIO RECICLADO TRITURADO EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL ÁRIDO FINO PARA ELABORAR HORMIGÓN CON FINES DE SOSTENIBILIDAD

EMPLOYMENT OF THE RECYCLED GLASS CRUSHED LIKE PARTIAL SAND SUBSTITUTE IN ORDER TO ELABORATE SUSTAINABILITY CONCRETE

Autores:

Zenaida Paulette Frómeta-Salas, paulette@uo.edu.cu¹

Ingrid Noelia Vidaud-Quintana, ingrid@uo.edu.cu¹

Elaine Font-Morales, cpc@megacen.ciges.inf.cu. Empresa Contratista
ESCOPAS. Santiago de Cuba, Cuba.

Daniela Negret-Ortiz, cpc@megacen.ciges.inf.cu¹

¹Universidad de Oriente, Facultad de Construcciones, Departamento de
Ingeniería Civil. Santiago de Cuba. Cuba.

RESUMEN

Los residuos constituyen hoy una preocupación a nivel mundial. El vidrio reciclado es un producto que no tiene salida en el mercado, por lo que se convierte en un problema ambiental. En esta investigación se desarrolló un programa experimental para evaluar las características del vidrio reciclado triturado como sustitución parcial del árido fino en el hormigón. Se le realizaron ensayos físicos que permitieron obtener la composición granulométrica, peso específico, absorción y módulo de finura. A partir de la revisión bibliográfica se concluyó que el vidrio reciclado triturado puede sustituir parcialmente el árido fino en el hormigón en proporciones de 10 %, 20 %, 30 % y 40 %.

Palabras clave: hormigón, residuos, reciclaje, vidrio reciclado triturado, hormigón sustentable, adiciones al hormigón.

ABSTRACT

This article is about the important of residuals. The residuals constitute a concern at the global level, today. The recycled glass is a product that doesn't have exit in the market; for the one which is converted in an environmental problem. In this investigation an experimental program developed in order to evaluate the influence of the recycled glass crushed like partial sand substitute in concrete. Physical rehearsals were carried out to the recycled crushed glass; getting the granulometric composition, specific weight, absorption, and fineness module. It's concluded that this product could be employed in the concrete in partial substitution of the arid fine; with percents of 10%, 20%, 30% and 40%.

Keywords: *concrete, residuals, recycling, recycled crushed glass, sustainability concrete, concrete additions.*

INTRODUCCIÓN

Cada día se generan más desechos, lo que contribuye a que esto sea un gran problema a nivel mundial. Un informe del Banco Mundial (20 septiembre, 2018), refiriéndose al panorama de la gestión de los desechos sólidos hasta 2050 en el mundo, evidencia que si no se actúa urgentemente la generación de residuos aumentará en un 70 %, impulsada por la rápida urbanización y el crecimiento de la población.

Para atender esta problemática, los gobiernos, instituciones y la sociedad en general optan por la opción de reciclar. Varias de estas opciones consideran que el proceso de reciclar atiende a cualquier proceso donde materiales de desperdicio; es decir, residuos, son recolectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o como materias primas, lo cual trae consigo innumerables beneficios (Reyes, *et. al.*, 2015, p.158); entre estos: generar empleos, reducir la cantidad de vertederos, evitar la contaminación por la fabricación de nuevos elementos, así como ahorrar energía y recursos naturales.

En la literatura especializada se evidencia que en la industria de la construcción hoy se abre un importante espacio a los materiales reciclados a nivel mundial. Algunos de los materiales reciclados que se utilizan en la actualidad son los plásticos, el papel y cartón, los metales y el vidrio en países como México, Perú, Estados Unidos, España, Colombia, entre otros. Esta experiencia ya se extiende por todo el planeta.

Tal y como refieren los especialistas, uno de los materiales más utilizados en el sector constructivo a nivel internacional es el vidrio. Se refiere que es un material inorgánico, duro, frágil, transparente y amorfo; que tiene innumerables aplicaciones y una gran variedad de productos, que al final de su vida útil se convierten en residuos con muchas potencialidades para reciclar (Pearson, 2009).

En Cuba la actividad de gestión de residuos es desarrollada por el Grupo Empresarial de Reciclaje (GER). Es la entidad estatal encargada de la recuperación, procesamiento y comercialización de los materiales y desechos reciclables que se generan en la industria, los servicios y la comunidad. Dedicar su actividad fundamental al reciclaje del vidrio, principalmente de botellas de cervezas partidas, con un importante volumen de desechos sin uso definido. Es un desecho disponible que demanda urgente respuesta para su deposición, sin afectar el medioambiente.

A partir de las incertidumbres en el comportamiento del vidrio reciclado triturado producido en la Empresa Provincial de Recuperación de Materias Primas (EPRMP) de Santiago de Cuba como adición al hormigón, esta investigación tuvo como propósito fundamental valorar el empleo de este producto en sustitución parcial del árido fino para elaborar hormigón con fines de sostenibilidad.

Residuos vs. reciclaje

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 2007; citado por Bustos, 2009) define residuos como todo lo que es generado como producto de una actividad, ya sea por la acción directa del hombre o por la actividad de otros organismos vivos, que forma una masa heterogénea que, en muchos casos, es difícil de reincorporar a los ciclos naturales. En las últimas décadas la generación de residuos se ha convertido en un problema prácticamente indetenible. Su inadecuada gestión puede destruir ecosistemas completos y afectar la salud humana.

Entre las causas que han provocado el aumento vertiginoso de los residuos en el planeta están fundamentalmente el consumismo actual y al aumento de la población mundial (Banco Mundial, 20 septiembre, 2018). Existen formas de mitigar este problema, en este contexto muchos países e instituciones aplican la

regla de las 3R (reducir, reutilizar y reciclar) como procesos que se han de cumplir para reducir el impacto negativo de los residuos.

El vidrio reciclado en el sector de la construcción

Según la *American Society for Testing Materials* (ASTM) (ASTM International 2018), el vidrio es un producto inorgánico de fusión enfriado hasta un estado rígido, pero sin sufrir cristalización. Como material reciclado ha sido ampliamente estudiado en la construcción y con distintas aplicaciones (Mas et al., 2016; Columbié-Lamorú et al., 2020; Trezza y Rahhal, 2018; Catalan, 2013; Aldás y Peñafiel, 2016).

Ventajas y limitaciones del vidrio reciclado triturado como adición al hormigón

Según los estudios, los hormigones con adición de vidrio reciclado triturado no presentan diferencias significativas con respecto a las principales propiedades (tanto en estado fresco como endurecido) que manifiesta un hormigón convencional. Entre estas propiedades se citan el color, peso, laborabilidad, exudación, consistencia, entre otras. Los especialistas coinciden en que con la proporción correcta se pueden obtener valores de resistencia a la compresión superiores a los de los hormigones convencionales.

La reacción álcali-sílice es uno de los efectos que más preocupa a los investigadores cuando utilizan el vidrio en sustitución del árido. Esta reacción se produce cuando la disolución alcalina en los poros del hormigón y los minerales silíceos de algunos áridos reaccionan para formar un gel, que con el agua aumenta de volumen (Rivera, 2018).

El hormigón elaborado con vidrio reciclado triturado puede ser utilizado en elementos estructurales que no estén expuestos a la intemperie o en contacto con el agua porque puede manifestarse la reacción álcali-sílice y causar graves daños en el comportamiento estructural de los elementos.

La reactividad de la sílice es inversamente proporcional a su grado de cristalización; es decir, mientras mayor sea el grado de ordenamiento de las moléculas el potencial de reactividad es menor (Catalan, 2013). Cuando existe probable reactividad se recomienda tomar precauciones para mitigar este riesgo a través de una serie de medidas, tales como: empleo de cemento con bajo contenido de álcalis (menor a 0.6 %) y uso de adiciones minerales como remplazo parcial del cemento.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el vidrio reciclado se advierte un material con posibles usos, pero debe ser investigado para conocer sus posibles prestaciones y con ello garantizar un empleo pertinente. Las botellas de vidrio que se reciclan en la EPRMP de Santiago de Cuba no tienen un productor definido y tampoco son de producción nacional. Los envases son importados de diferentes países; lo que genera diversas interrogantes frente a sus principales propiedades y su posterior desempeño en el hormigón.

La investigación comenzó con un acercamiento a la fundamentación teórica del empleo del vidrio reciclado triturado como adición al hormigón en el mundo y Cuba. Se caracterizó el término residuos y el proceso de reciclaje y se identificaron los materiales reciclados más utilizados en el sector de la construcción. También se evaluaron posibles ventajas y limitaciones del hormigón adicionado con vidrio reciclado triturado en sustitución del árido fino.

La segunda etapa de la investigación tuvo como propósito identificar las etapas del programa experimental para la caracterización del vidrio reciclado triturado. En esta etapa se identificaron los ensayos químicos, físicos y mecánicos que permitirían caracterizar el vidrio reciclado triturado producido en la EPRMP de Santiago de Cuba, para su empleo en sustitución del árido fino en la fabricación del hormigón. También se identificaron las etapas del programa experimental y se

desarrollaron ensayos de granulometría, peso específico, porcentaje de absorción y peso volumétrico. Por último, se propusieron recomendaciones para el empleo del vidrio reciclado triturado producido en la EPMP de Santiago de Cuba en sustitución del árido fino en la fabricación de hormigón.

Entre los principales métodos científicos que se emplearon en la investigación estuvieron la revisión bibliográfica y el análisis documental. El método de experimentación se utilizó en la realización de los diferentes ensayos al vidrio reciclado triturado. Asimismo, el empleo de los métodos estadísticos y las técnicas apoyaron el procesamiento de la información para alcanzar los resultados.

RESULTADOS

Programa experimental para evaluar la influencia del vidrio reciclado triturado en el hormigón

A partir de la revisión bibliográfica realizada se verificó que el vidrio reciclado triturado se estudia bajo las mismas normativas de ensayo y caracterización que el árido fino. En sentido general el programa experimental se describe en la Figura 1. En la revisión bibliográfica no se identificó una norma que definiera los ensayos químicos que deben realizársele al vidrio reciclado triturado como sustituto parcial del árido fino. En este programa experimental se propuso realizar tres ensayos químicos para caracterizar esta materia prima.

En primer lugar, se determinó la composición química fundamental del vidrio en estudio; igualmente, la posible actividad puzolánica, dado que el vidrio posee una alta actividad de este tipo por su alto contenido de sílice y alúmina.

Figura 1. Programa experimental para evaluar la influencia en el hormigón del vidrio reciclado triturado como sustitución parcial del árido fino



Fuente: autores

También se realizó el ensayo de impurezas orgánicas, ya que el vidrio reciclado triturado puede contener restos de papel, pegamento y otros materiales.

De igual manera, se le efectuaron los mismos ensayos físicos que se hacen a la arena, puesto que este cumple la función de sustituto parcial del árido fino. No

debe obviarse que el vidrio es un material procedente de las minas de arena, por lo que tienen características similares.

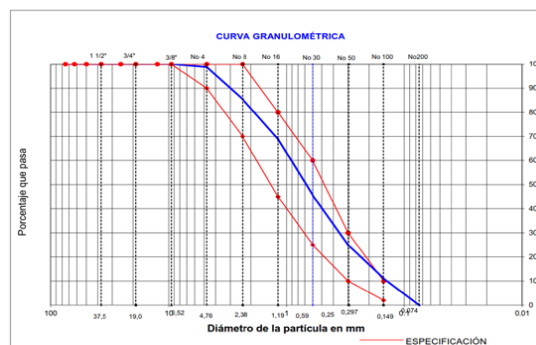
Como parte de los ensayos mecánicos se le realizó el ensayo de abrasión para conocer la resistencia al desgaste de las partículas.

Ensayo de granulometría y módulo de finura al vidrio reciclado triturado

El ensayo de granulometría se efectuó con el objetivo de determinar la distribución granulométrica de acuerdo con la NC 178:2002 (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, abril, 2002). La granulometría obtenida se evaluó a partir de las especificaciones de la NC 251: 2018 (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, julio, 2018). Se empleó una tamizadora tipo STSJ-3, y una serie de tamices de 4.75 mm - 0.15 mm. Se determinó el módulo de finura según NC 178:2002 (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, abril, 2002). En la figura 2 pueden advertirse los resultados de la muestra 1.

Figura 2. Resultados del ensayo de granulometría al vidrio reciclado triturado

Tamiz pulg.	mm	Masa retenida	% Ret.	% pasa	Especificación	
					min.	máx.
3/8"	9.5	0.0	0.0	100.0	100	100
No. 4	4.75	6.3	1.2	98.8	90	100
No. 8	2.36	67.7	13.3	85.5	70	100
No. 16	1.18	84.4	16.6	68.9	45	80
No. 30	0.6	118.4	23.2	45.7	25	60
No. 50	0.3	105.6	20.7	25.0	10	30
No. 100	0.15	70.8	13.9	11.1	2	10
No. 200	0.075	56.4	11.1	0.0		
TOTAL		509.6	100.0			



a) Resultados del ensayo granulométrico

b) Curva granulométrica

Fuente: autores.

El vidrio reciclado triturado de la EPRMP de Santiago de Cuba cumple con los requisitos que establecen tanto la NC-251: 2018 (Cuba. Oficina Nacional de

Normalización, julio, 2018) como la ASTM C33 (ASTM International 2018), excepto en el tamiz № 100, donde los porcentos son superiores a los de las especificaciones. Asimismo, se obtuvo el módulo de finura en un rango de 2.38 a 2.85, por lo que también se encuentra entre los valores establecidos para el árido.

Ensayo de absorción y peso específico al vidrio reciclado triturado

Con el objetivo de conocer el peso específico (corriente, saturado y aparente), así como determinar la capacidad de absorción de agua, se realizaron estos ensayos conforme a la NC 186: 2002 (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, 2002). para el árido fino. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Valores promedio de peso específico y absorción	
Peso específico corriente	2.52
Peso específico saturado	2.54
Peso específico aparente	2.53
Por ciento de absorción	0.15

Fuente: autores

Los resultados de este ensayo corroboran que el peso específico se encuentra dentro de los valores normales que tiene un vidrio común. Se puede observar que la absorción de agua del vidrio es prácticamente nula. Aunque las normas no dan un límite, se aconseja que el árido fino debe tener un porciento de absorción menor al 5 %. Además, si se compara con los valores de peso específico de la arena se comprueba que son similares, aunque el porciento de absorción de la arena es mayor que la del vidrio reciclado triturado.

Ensayo de peso volumétrico al vidrio reciclado triturado

Los pesos volumétricos se determinaron por medio de pesadas del material contenido en recipientes calibrados de volumen conocido al vidrio reciclado triturado. Antes de determinarlos, las muestras se secaron a una temperatura que

oscilaba entre 105 - 110 °C, hasta un peso constante. Los resultados pueden consultarse en la tabla 2.

Tabla 2. Peso unitario suelto y peso unitario compactado del vidrio reciclado triturado				
Peso unitario suelto				
Peso molde + Muestra (g)	Peso molde (g)	Peso material (g)	Volumen del molde (v)	Peso unitario (g/cm³)
10920	3620	7300	4.9236	1482.65
10880	3620	7260	4.9236	1474.53
Promedio				1478.59
Desviación estándar				5.74
Coeficiente de variación (%)				0.39
Peso unitario compactado				
Peso molde + Muestra (g)	Peso molde (g)	Peso material (g)	Volumen del molde (v)	Peso unitario (g/cm³)
11840	3620	8220	4.9236	1669.51
11770	3620	8150	4.9236	1655.29
Promedio				1662.40
Desviación estándar				10.05
Coeficiente de variación (%)				0.60

Fuente: autores

Al comparar los resultados, puede afirmarse que el peso unitario suelto y compactado del vidrio reciclado triturado es similar al de la arena. Fueron comparados con los valores que aparecen en la NC 283: 2003 (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, 2003). En esta norma la arena natural suelta pesa

14.30 kN/m³ y compactada 16 kN/m³. Los valores del vidrio reciclado triturado estudiados resultaron 14.78 kN/m³ y 16.62 kN/m³, ligeramente superiores.

CONCLUSIONES

El uso del vidrio reciclado triturado como adición al hormigón tiene sus principales beneficios en la reducción de los residuos que afectan el medioambiente; asimismo, con su empleo en el hormigón (como sustitución parcial del árido fino) disminuye la explotación de este material, con la consiguiente reducción de los costos.

Es un producto que cumple con los requisitos de los ensayos físicos que establecen las NC 251: 2018 (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, julio, 2018) y ASTM C33 (ASTM International 2018) en cada uno de los tamices, excepto el tamiz No. 100, donde los porcentos pasados son superiores a los de la norma. Igualmente, los valores de módulos de finura no fueron superiores a 3, por lo que también se encuentra en los rangos establecidos por las normativas.

También se verifica que con la sustitución parcial del árido fino por vidrio reciclado triturado en el hormigón no se modifica de forma importante la densidad del material. El ensayo de peso volumétrico realizado al vidrio reciclado triturado demostró que este material tiene valores muy similares a los de la arena natural. Al comparar los resultados obtenidos del ensayo de peso volumétrico, se comprobó que el peso suelto y compactado del vidrio es similar al de la arena.

En general, el vidrio reciclado triturado de la EPMP de Santiago de Cuba se considera apto para ser utilizado como adición al hormigón en sustitución parcial del árido fino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldás, G.W. y Peñafiel Carrillo, D.A. (2016). *Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino*

Banco Mundial (20 septiembre, 2018) *Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes* (Comunicado de prensa N.º 2018/037/SURR). <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>

Catalan Arteaga, C.J. (2013). *Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20, Y H30* (Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles). Universidad Austral de Chile.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfcic357e/doc/bmfcic357e.pdf>

Columbié-Lamorú, L., Crespo-Castillo, R., Rodríguez-Suárez, L. y González-Batista, Y. (2020). Evaluación del uso de vidrio reciclado en la producción de hormigones cubanos. *Minería y Geología*, 36(2), 218-233. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122020000200218&lng=es&tlng=e .

76

lkb3MuQW4lQzMIQTFsaXNpcyUyMGdyYW51bG9tJUMzJUE5dHJpY28ucGRm&h=725c6319bc85109cca3939cf76ac3bde

Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2002). *NC 186: 2002 Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo*. La Habana, Cuba: autor.
<http://repositorio.cict.umcc.cu/vfm-admin/vfm-downloader.php?q=UmVwb3NpdG9yaW8vSW5nZW5pZXIIQzMIQURhJTlwQ2I2aWwvNHVvJTlwYSVDMYVCMW8vUGF2aW1lbnRvcy9Ob3JtYXMIIMjBQYXZpbWVudG8vTm9ybWVzJTlwZGUIMjBNYXRlcmhGVzLyVDMYU4MXJpZG9zL05DJTIwMTg2JTlwQXJlbnEuJTlwUGVzbyUyMGVzcGVjJUMzJUFEZmljbyUyMHkIMjBhYnNvcmluZG9zL05DJTIwMTg2JTlwQXJlbnEuJTlwYWd1YS4IMjBNJUMzJUE5dG9kbyUyMGRlJTlwZW5zYXlvLi5wZGY=&h=f887ed05b9bb8bbab986faec3f77ef86>

Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2003). *NC 283:2003 Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño*. La Habana, Cuba: autor.

Cuba. Oficina Nacional de Normalización (julio, 2018). *NC 251:2018 Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos*. La Habana, Cuba: autor.

Pearson, C. (2009) *Manual del vidrio plano*. Buenos Aires: CAVIPLAN Cámara del Vidrio Plano y sus Manufacturas de la República Argentina.
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37089578/35812748-Manual-Vidrio-Plano.pdf?1427155804=&response-content-disposition=attachment%3B+filename%3DManual del Vidrio Plano CAVIPLAN Camara .pdf&Expires=1614579681&Signature=a~hyCXbJLsYTRyeGQrHydRpU2qzZU7LA569A3jri_oTSJjUHhee8Y5ov0Po9~6c24bcPAZwX6hX~qU4rvZlegP64XB88kqsgOrU0ZrRaWjcwRx2aXVpiRMLK77siJNIS~yBEe9eIT7YITvSig9MfHC3VlyEV~SwFjuTsnzBZ2c0fqDCaFOfb5kHYdxcGERamqcQkINi04wMgu-659nVZmxfHh-Zkcw7wIKYVmOfnkWGuPDatYHocSCXYFB7ieF-oqdZ62Wq7VXJRNZfuWYabMLlaVSZixg3ikHQfBGGWUVTzcKyhAH26ZUtlJ6pawJcXQzPd8uBHyDLmmk7Zu08Y~9g_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37089578/35812748-Manual-Vidrio-Plano.pdf?1427155804=&response-content-disposition=attachment%3B+filename%3DManual%20del%20Vidrio%20Plano%20CAVIPLAN%20Camara%20.pdf&Expires=1614579681&Signature=a~hyCXbJLsYTRyeGQrHydRpU2qzZU7LA569A3jri_oTSJjUHhee8Y5ov0Po9~6c24bcPAZwX6hX~qU4rvZlegP64XB88kqsgOrU0ZrRaWjcwRx2aXVpiRMLK77siJNIS~yBEe9eIT7YITvSig9MfHC3VlyEV~SwFjuTsnzBZ2c0fqDCaFOfb5kHYdxcGERamqcQkINi04wMgu-659nVZmxfHh-Zkcw7wIKYVmOfnkWGuPDatYHocSCXYFB7ieF-oqdZ62Wq7VXJRNZfuWYabMLlaVSZixg3ikHQfBGGWUVTzcKyhAH26ZUtlJ6pawJcXQzPd8uBHyDLmmk7Zu08Y~9g_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Mas, M.I., García, E.M., Marco, L.J. y de Marco, J. (2016). Análisis de la Viabilidad Ambiental de la Utilización de Morteros Fabricados con Polvo de Vidrio en la Estabilización de Suelos. *Información Tecnológica*, 27(5), 77-86.
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642016000500010

Reyes A., Pellegrini, N. y Reyes R. (2015). El reciclaje como alternativa de manejo de los residuos sólidos en el sector Minas de Baruta, Estado de Miranda, Venezuela. *Revista de Investigación*, 39(86) 157-170.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-291420150003000008&lng=es&tlng=es

Rivera Bernaldes, A. (2018). *Diseño del concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con vidrio molido (sódico cálcico) como reemplazo del agregado fino, para mejorar la resistencia a compresión* (tesis de pregrado). Universidad César Vallejo. Lima, Perú.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35134/Rivera_BAD.pdf?sequence=1

Trezza, M.A. y Rahhal, V.F. (2018). Comportamiento del residuo de vidrio molido en cementos mezcla: Estudio comparativo con microsilíce. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23(1).
<https://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0311>

Recibido: 6 de marzo de 2020

Aprobado: 18 de septiembre de 2020