



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Toussent-Pérez, Fernando; González-Díaz, Liliana;
Vidaud-Quintana, Ingrid Noelia; Cruz-Cruz, Liliana
Recomendaciones con criterios de sostenibilidad para el empleo del
politereftalato de etileno reciclado en la elaboración de hormigones
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 1, 2022, Enero-Marzo, pp. 66-80
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181372324010>

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

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

Recomendaciones con criterios de sostenibilidad para el empleo del politereftalato de etileno reciclado en la elaboración de hormigones

Recommendations for the employment of the recycled Politereftalato de etileno in the concretes with sostenibility criteria

Autores:

Fernando Toussent-Pérez, papo@escopas.co.cu. Teléfono: 52095460.

Empresa Contratista ESCOPAS. Santiago de Cuba, Cuba.

Liliana González-Díaz, liliana@uo.edu.cu¹

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

Liliana Cruz-Cruz, ncruz@aei-ucmbat.co.cu. Teléfono: 52077697.

Proyecto Roca Norte 1. Cayo Paredón. UCM ECOT, Cayo Coco. Ciego de Ávila, Cuba.

¹Universidad de Oriente, Facultad de Construcciones. Teléfono: 22601265. Santiago de Cuba. Cuba.

RESUMEN

La tendencia al agotamiento de las reservas naturales de áridos, así como las afectaciones medioambientales que genera su extracción y procesamiento, imponen la búsqueda de alternativas viables para la fabricación del hormigón. Esta investigación tuvo como objetivo estudiar el empleo de residuos de plástico reciclado; además, se proponen recomendaciones para el empleo de las hojuelas de Politereftalato de etileno (PET) reciclado como sustitución parcial del árido fino en el hormigón. Conjuntamente, se presenta un programa experimental para el ensayo de las materias primas y el hormigón. Se parte del análisis crítico de las fuentes bibliográficas consultadas, que permitió evidenciar que el empleo del PET en sustitución parcial del árido fino en el hormigón propicia una baja absorción de agua del material, así como una disminución del peso específico y peso unitario y en proporciones menores que el 20% no se ven afectadas notablemente las resistencias de los hormigones. De igual manera se precisaron aspectos relativos a la caracterización de los materiales, los ensayos y las recomendaciones de uso.

Palabras clave: hormigón, residuos, reciclaje, plástico reciclado, hormigón sustentable, sustitución parcial del árido fino, adiciones al hormigón.

ABSTRACT

The tendency to the exhaustion of the natural arid reservations, as well as the negative environment impact that generates their extraction and production, imposes the search of viable alternatives for the fabrication of the concrete. This investigation has like objective study the employment of residuals of recycled plastic, and they propose recommendations for the employment of the flakes of plastic Politereftalato de etileno (PET) recycled like partial sand substitute in the concrete. It also proposes an experimental program for the rehearsal of the materials cousins and concrete. It was based on the critical analysis of the bibliographic sources consulted, which allowed to show that the use of PET in substitution of fine aggregate in concrete favors a low absorption of water by the material, as well as a decrease in the specific weight and unit weight and in smaller proportions, than 20%, the strength of the concrete is not noticeably affected. In the same way, aspects related to the characterization of the materials, the tests and the recommendations for use were specified.

Keywords: concrete, residuals, recycling, recycled plastic, sustainability concrete, partial sand substitute, concrete additions.

INTRODUCCIÓN

La sociedad contemporánea se caracteriza por un consumo desmedido, que provoca un incremento en el volumen de los residuos, muchos de ellos no tratados y algunos de difícil degradación. “Los residuos sólidos son aquellos materiales, artículos, productos, desechos, basuras o desperdicios generados por actividades humanas, que son descartados por no ser de utilidad” (Pineda, 2018, p.3).

Los gobiernos, instituciones y la sociedad en general, optan por la opción de reciclar algunos de estos desechos. El reciclaje es el proceso donde materiales de desperdicio, son recolectados y transformados en nuevos materiales; que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos, o como materias primas. Ello trae consigo innumerables beneficios entre los que pueden citarse: generar empleos, reducir la cantidad de vertederos, evitar la contaminación por la fabricación de nuevos elementos, así como ahorrar energía y recursos naturales (Reyes, 2013).

Los artículos de consumo más comúnmente reciclados en los países desarrollados incluyen: latas de aluminio y acero, polietileno de alta densidad, envases plásticos, botellas de cristal, cartón, periódicos, entre otros. Estos, por lo general, son compuestos de un solo tipo de material que son difícilmente biodegradables, y relativamente fáciles de reciclar en nuevos productos (Cuétara, 2018).

Entre los tipos de plásticos reciclables se encuentra el Polietileno de tereftalato, conocido también como PET. Es un poliéster aromático, un tipo de termoplástico derivado del petróleo. Fue descubierto en el año 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson, que lo patentaron como un polímero para la fabricación de fibras. En 1952 se comenzó a utilizar en forma de film para envasado de alimentos (Paz, 2016). A partir de 1976 el PET se comienza a emplear en la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes.

Entre los beneficios medioambientales y económicos del reciclaje de material plástico se encuentran: la reducción del consumo de petróleo; para cada kilogramo

de plástico no reciclado se necesitan 2 kilogramos de petróleo crudo. De igual manera en el proceso de extracción y fabricación, se ahorra entre un 30 y un 70 % de la energía, a la vez que evita la contaminación del aire. En el proceso de industrialización del plástico se liberan 3,5 kilogramos de CO₂ a la atmósfera; si se utiliza el PET reciclado, se reduce a 1,7 kilogramos de CO₂. Además, se aprovechan materiales que pueden ser reutilizados (Heinrich, 2014).

En Cuba, la recuperación de desechos reciclables responde, a lo establecido en la Ley No. 1288 del 2 de enero de 1975. Asimismo, la actividad de gestión de residuos es desarrollada por el Grupo Empresarial de Reciclaje (GER), 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. Específicamente la producción de plásticos reciclados anual alcanza un volumen de 3 877,7 toneladas en el 2013 y 4 647,3 toneladas en el 2017, lo cual significa que ha ido creciendo cada vez más su producción en el país (Santiesteban, 2018).

Esta entidad se encarga del reciclaje del PET, principalmente en hojuelas; a partir del residuo de botellas con un importante volumen de desechos. Es un desecho disponible que demanda respuesta para su deposición, sin afectar el medio ambiente.

La Empresa Provincial de Recuperación de Materias Primas (EPRMP) de Santiago de Cuba; en el año 2019 comercializó un volumen de 184 toneladas de plásticos, de las cuales, 12 toneladas eran de PET y hasta junio del año 2020 se contaba con un volumen de 11,4 toneladas de este material, lo que evidencia su amplia disponibilidad. No obstante, se manifiestan incertidumbres en la incidencia de las hojuelas de PET reciclado en el comportamiento del hormigón, por lo cual este artículo tiene como propósito fundamental proponer recomendaciones para el empleo de este producto en sustitución parcial del árido fino en el hormigón, con fines de sostenibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Investigaciones precedentes advierten la factibilidad del uso del plástico PET reciclado en sustitución parcial de áridos en hormigones. Sin embargo, debe ser investigado para conocer sus posibles prestaciones; y con ello garantizar un adecuado empleo.

En la fase inicial de la investigación se valoraron los principales referentes en el uso de las hojuelas de plástico reciclado en el hormigón, a nivel internacional y en Cuba. También se evaluaron las posibles ventajas y limitaciones del hormigón elaborado con este.

En una segunda y última fase se identificaron y establecieron las etapas del programa experimental; así como los ensayos y normativas asociadas a cada una. Por último, se propusieron las recomendaciones para el empleo de las hojuelas de PET reciclado en el hormigón, en sustitución parcial del árido fino. Estas recomendaciones atendieron a: dosificación, proceso de elaboración, así como caracterización de las materias primas.

Entre los principales métodos científicos empleados; se encuentran el método histórico-lógico, análisis y síntesis, abstracción-concreción, inducción-deducción, e hipotético-deductivo. También se emplearon técnicas para el procesamiento de la información como: la Revisión bibliográfica y el Análisis documental.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El reciclaje del polietileno de tereftalato (PET) para su uso en la construcción

Hoy se buscan alternativas para la producción de materiales de construcción que sean resultado del empleo de materias primas a partir de residuos y desechos. Esta práctica, conlleva a encontrar soluciones para el mejoramiento de las propiedades de los nuevos materiales (Flores, 2014) (Comisión Económica para América Latina (CEPAL), 2019). Los residuos plásticos son los que más tardan en degradarse y pueden durar de 6 a 1000 años en hacerlo; por lo que el reciclaje es

una de las mejores opciones para el nuevo uso del material y la protección del medio ambiente (Muñoz de Solano, 2019).

Existen dos formas de reciclaje del plástico: mecánica y química. La mecánica consiste en recoger el plástico, limpiarlo, molerlo o trocearlo en pequeños trozos, luego lavarlo y enfardarlo. Este material, separado en calidades y colores, se utiliza para crear nuevos productos mediante extrusión o inyección. Asimismo, el reciclaje químico consiste en degradar el plástico para conseguir moléculas simples, con métodos como la pirolisis, hidrogenación, gasificación, u otro.

Como se ha dicho el PET, es uno de los plásticos más empleados, ofrece una serie de cualidades que aseguran varias opciones efectivas de reciclaje. Sánchez (2015), afirma que puede ser reciclado con propiedades mecánicas superiores a las de cualquier otro material desechado; debido a la naturaleza de las reacciones de polimerización que le dan origen. Es preferido por sus excelentes propiedades como: resistencia a la corrosión, aislante térmico y acústico, así como bajo costo frente a otros materiales constructivos. También es resistente a grasas y aceites, y a otras sustancias como: soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes. Se caracteriza por ser altamente reutilizable y reciclable (Pilato, 2010).

Entre los principales usos que se ha dado al PET reciclado se encuentran la elaboración de hormigones y morteros, y de otros materiales de construcción como: bloques, ladrillos, adoquines, entre otros. La manera en que se emplea, según Casanova y Vázquez (2012), es en forma de fibras, pellets, gránulos, triturados, escamas y hojuelas. En dependencia de esta forma de presentación, es definido su empleo.

Ventajas y limitaciones del uso del PET reciclado en el hormigón

Cuando se utiliza el PET reciclado en hormigones se pueden favorecer algunas de sus propiedades a partir de las ventajas que presenta, pero de igual manera puede resultar perjudicial para otras. Al analizar las propiedades del hormigón, se deben recordar las múltiples variables que pueden actuar sobre este,

modificándolo. El hormigón debe ser durable y resistente, pero también laborable. La versatilidad, durabilidad, sustentabilidad y economía del hormigón lo han convertido en uno de los materiales de construcción, más ampliamente utilizados a nivel mundial.

Acevedo y Posada (2019) evidencian que al reemplazar el árido fino por hojuelas de PET reciclado, en sustituciones del 5 %, 10 %, 15 % y 20 %, la mezcla de hormigón se muestra muy laborable; no así en dosificaciones con mayores porcentajes de sustitución. Este comportamiento se atribuye a que el aumento de PET genera un esponjamiento; provocando un incremento de los vacíos. Sin embargo, este esponjamiento produce también una disminución significativa del peso; que puede significar una considerable reducción de la carga muerta en las estructuras. En este orden, Waroonkun *et al.* (2017) evidencian un método para determinar el porcentaje óptimo de PET en copos, escamas u hojuelas, como sustitución parcial del árido fino en mezclas de hormigón; a partir de la consideración de la relación agua – cemento y la mezcla adecuada entre el cemento y el plástico. Se verifica en ello que la relación agua - cemento es determinante para los diseños de mezcla y sus propiedades.

Gutiérrez (2015), al ensayar a compresión probetas cilíndricas de hormigón, concluye que la línea de falla se ubica sobre la línea de acomodamiento del PET; debido a la poca adherencia entre el hormigón y el material. Asimismo, según Léctor y Villareal (2017), la densidad del hormigón disminuye conforme el porcentaje de agregado plástico se incrementa; pues el material adicionado tiene menor peso. La disminución se precisa de 5 a 13 %, teniendo como particularidad que no es directamente proporcional a la cantidad de plástico; sino a la aglomeración de sus partículas entre sí, las que provocan el aumento del contenido de aire en el hormigón fresco; por donde se podría producir la falla. Estas oquedades o vacíos en el hormigón con PET reciclado se relacionan con la forma de este último. En este sentido son recomendadas las formas que más se acerquen a las partículas del árido.

En otro orden, el módulo de deformación de los hormigones convencionales oscila entre 250 000 a 350 000 kg/cm² y se relaciona directamente con la resistencia a la compresión y en relación inversa con la relación agua - cemento. En tal sentido, se recomienda que una vez adicionado el PET reciclado al hormigón se debe medir su módulo de deformación, para corroborar su capacidad de deformación. Cuétara (2018) sustituye 0,5 % y 1 % de PET en forma de escamas al hormigón, evidenciando que no se presentan afectaciones en la resistencia a compresión.

En general, a medida que aumenta el porcentaje de hojuelas de PET reciclado en la mezcla de hormigón disminuyen sus resistencias mecánicas; específicamente la resistencia a compresión, que puede verse más afectada a partir del 20%. En caso de sustituciones superiores, se puede recomendar su uso en elementos de cierre y no se recomienda para la construcción de elementos estructurales.

Programa experimental para la caracterización del hormigón con hojuelas de PET reciclado como sustitución parcial de árido fino

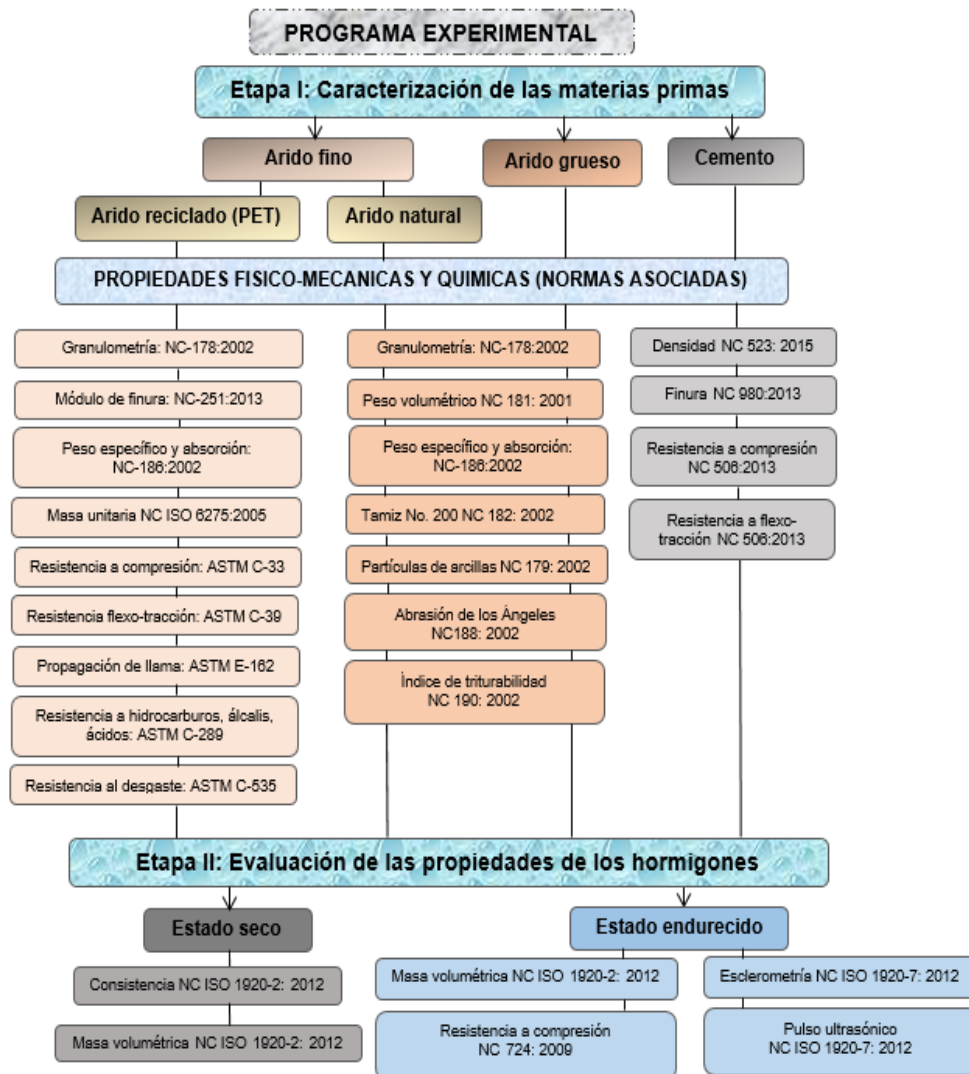
El primer paso es la obtención de botellas de plástico PET de un mismo tipo. Se recolectan las botellas (de PET verde, azul o transparente sin corrugas), y se separan por partes (se desechan la partes superior e inferior de la botella). Luego se corta el cuerpo para obtener una hojuela de plástico de 2mm hasta 5mm (en función del tamaño del árido fino que se sustituirá) (Cuétara, 2018) (Infante y Valderrama, 2019); corte que puede ser con láser, guillotina o tijera.

Posteriormente se procede al lavado y secado de las hojuelas; utilizando detergente o desincrustante para liberarlas de cualquier muestra extraña, suciedad o grasa. Se deja durante un período de 24 horas en maceración y se procede a lavar la muestra en agua tres veces para una mejor limpieza. Por último, se escurren las hojuelas limpias durante 15 minutos, y se secan en estufa a 60 °C para retirarle la humedad.

El programa experimental se diseña para caracterizar las materias primas y evaluar las propiedades del hormigón con sustitución parcial de árido fino por

hojuelas de PET reciclado (Figura 1). En este pueden constatarse no solo los ensayos; sino también las normativas que pueden ser contrastadas en Cuba.

Figura 1. Programa experimental para el ensayo de las materias primas y el hormigón con hojuelas de PET reciclado en sustitución del árido fino



Fuente: autores

Recomendaciones para el empleo de las hojuelas de PET reciclado producido en la Empresa de Recuperación de Materias Primas de Santiago de Cuba, como sustitución parcial al árido fino en el hormigón

Las recomendaciones propuestas, en general, atienden a diferentes aspectos de interés: mezclado (momento, tiempo, tecnología), dosificación (proporción), y tipo de hormigón en que puede ser empleado (estructurales, no estructurales, ligeros, u otros).

- Son recomendables sustituciones parciales de árido fino por hojuelas de PET reciclado que oscilen entre 10 - 15 %; al eliminar los finos se producen discontinuidades en el mortero (Alesmar *et al.*, 2008).
- El diseño del hormigón se realizará con la arena disponible en obra, y en su dosificación no es necesario realizar la corrección de la humedad; porque el PET no absorbe agua.
- El ensayo de fluidez es aplicable al rango de consistencia del hormigón que corresponde a valores de fluidez entre 340 mm y 620 mm, fuera de este rango no debe ser utilizado este producto.
- No es recomendable utilizar adición mineral de carbonato de calcio. Se recomienda el uso de un aglomerante o electro malla que mejore la adherencia entre los materiales y la resistencia a la compresión.
- Para el proceso de mezclado se debe verter el cemento sobre una superficie plana, seguidamente se vierte la arena y por último se agrega la grava y se mezcla todo muy bien. Con cuidado se agrega la cantidad de PET calculada según el porcentaje que se esté usando y nuevamente se mezcla todo hasta quedar homogéneo. Por último, se le agrega el agua mezclando todo rápidamente (Gutiérrez, 2015).
- Se considera que el curado a temperaturas más altas aporta mayor resistencia.
- En caso de no poder utilizar la máquina tamizadora porque las partículas de PET se incrusten en los orificios de los tamices, se recomienda hacerlo manualmente.
- Debe utilizarse el cemento Portland tipo I porque mejora la adherencia, lo que favorece la obtención de mayores resistencias en la mezcla.

- Las hojuelas de PET deben tener forma y dimensiones semejantes a la arena. En este sentido, se puede lograr una superficie rugosa que permita mejor adherencia en el hormigón si se pasa por la máquina de Los Ángeles. La geometría irregular de las partículas plásticas, así como la finura de la partícula proveen mayor adherencia y mejor comportamiento de la mezcla.
- Debe limitarse el tamaño máximo de las hojuelas de PET reciclado al tamiz No 16. Tamaños más grandes, como N°4 y/o N°8, generan una disminución en la resistencia de los materiales.
- El método de corte utilizado incide en la pérdida de resistencia del PET. Las muestras cortadas con láser presentan mayores pérdidas (hasta el 60%), mientras que las cortadas con guillotina pierden solamente alrededor del 15 % de su resistencia.
- Para el mezclado se vierten la arena y el cemento sobre una superficie plana, se agrega la grava y se mezcla muy bien. Luego se agrega con cuidado la cantidad de PET según el porcentaje calculado, y nuevamente se mezcla bien hasta quedar homogéneo. Por último, se le agrega el agua mezclando rápidamente. Es importante garantizar la homogeneidad mientras se agregan los materiales.
- Por su baja densidad se recomienda utilizar este material para disminuir las cargas en estructuras afectadas por sismos; pero en elementos no estructurales, por su limitada resistencia a los esfuerzos mecánicos. También se puede emplear en estructuras sometidas a altas temperaturas, por tener excelentes propiedades térmicas y gran deformabilidad al calor, ya que se extrusiona a temperaturas superiores a 250 °C, siendo su punto de fusión de 260 °C.
- Se considera que es un material durable y resistente a la corrosión; por lo que se puede emplear en estructuras sometidas a ataques químicos o ambientes agresivos, por su elevada resistencia a químicos, a la humedad y a la intemperie.

CONCLUSIONES

1. Las principales conclusiones de esta investigación atienden en primer lugar a que, a pesar del uso que en el contexto internacional ha tenido el PET como material de construcción, en Cuba hoy aún es limitado; manifestándose la carencia de una normativa que estandarice su producción y utilización como materia prima del hormigón.
2. El programa experimental diseñado se compone de dos etapas: (i) Caracterización de los áridos y (ii) Caracterización del hormigón. Este permite establecer un orden lógico y secuencial en el proceso de experimentación; al mismo tiempo, la posibilidad de contrastar con las normativas existentes en Cuba.
3. Pudo constatarse de la revisión bibliográfica que entre las principales propiedades reveladas se advierte que el empleo del PET en sustitución del árido fino en el hormigón propicia una baja absorción de agua del material, así como una disminución del peso específico y peso unitario.
4. En general, no se ven afectadas las propiedades del hormigón de manera significativa, siempre que el PET se utilice hasta un 15 – 20 % de sustitución parcial del árido fino. De la misma manera en que, a medida que se incrementa el porcentaje de árido reciclado en la mezcla de hormigón, disminuye su laborabilidad, dado por la granulometría empleada. Para ello y para mantener la consistencia adecuada en las mezclas de hormigón, es necesario incorporar el PET, cuyas formas y dimensiones sean semejantes a un árido fino; teniendo en cuenta que entre más fina sea la partícula mejor será la adherencia.
5. La literatura especializada confirma que el empleo del PET como árido reciclado en el hormigón es factible, siempre que se cumplan los requerimientos establecidos y se ensaye: granulometría, absorción, pesos específicos, pesos volumétricos, triturabilidad, impurezas orgánicas, y partículas de arcilla.

6. Se recomienda el PET reciclado como árido para hormigones en la fabricación de elementos de obras civiles que no soporten grandes cargas; tales como: bloques, ladrillos, adoquines, morteros para paneles estructurales, elementos de cubierta, elementos divisorios, entre otros. El bajo peso y la limitada absorción de agua suelen ser ventajas muy bien utilizadas en estos productos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alesmar, L., Rendon, N. y Korody, M.E. (2008). Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) - cemento. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela UCV*, 23(1), 76-86. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000100006&lng=es&nrm=iso. ISSN 0798-4065
- Acevedo, A.B. y Posada J.E. (2019). Polietileno tereftalato como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(34), 45-56. <https://doi.org/10.22395/rium.v18n34a3>
- Casanova-del Ángel F. & Vázquez-Ruiz J.L. (2012). Manufacturing light concrete with PET aggregate. International Scholarly Research Network Civil Engineering. DOI: 10.5402/2012/287323
- Comisión Económica para América Latina (Cepal). (2019). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe>.
- Cuetara, J.R. (2018). Empleo de residuos de botellas de polietileno de tereftalato triturados en forma de escama como adición en la fabricación del hormigón. *Ciencia y Futuro*, 8(4). ISSN 2306-823X.
- Flores, J.A. (2014). *Efecto en las propiedades en tensión de un material compuesto base cemento reforzado con fibras de PET reciclado* (Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Materiales). Chihuahua, México.
- Gutiérrez, A.S. (2015). *Análisis del concreto con Tereftalato de polietileno (PET) como aditivo para aligerar elementos estructurales* (Proyecto de investigación). Universidad

Libre Seccional de Pereyra, Facultad de Ingenierías. Ingeniería Civil.
[https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17122/AN%C3%81LISIS%20DE
L%20CONCRETO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17122/AN%C3%81LISIS%20DE%20CONCRETO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Heinrich, M. (2014). *Guía de reciclaje para empresas*. Paraguay: Universidad Nacional de Asunción, Mesa de Medio Ambiente de la Red del Pacto Global.

Infante, J. y Valderrama, C. (2019). Análisis Técnico, Económico y Medioambiental de la Fabricación de Bloques de Hormigón con Polietileno Tereftalato Reciclado (PET). *Información Tecnológica*, 30(5), 25-36. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500025>

Léctor Lafitte, M.A. y Villareal, E.J. (2017). *Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de Nuevo Chimbote* (Tesis en opción al título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional del Santa, Áncash. Perú. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2799>

Muñoz de Solano, S. (2019). *Reciclado de los plásticos del océano*. (Trabajo de fin de grado). España: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. <https://oa.upm.es>

Paz, M. (2016). *Proyecto: "Reciclado de PET a partir de botellas post consumo"*. Perú: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Escuela de Ingeniería Industrial. <http://docplayer.es/162983104-Paz-maria-universidad-nacional-de-cordoba-reciclado-de-pet-a-partir-de-botellas-post-consumo.html>

Pilato, L. (2010). *Phenolic Resins: A century of Progress*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. http://www.ciando.com/img/books/extract/3642047149_lp.pdf

Pineda, J. (2018). *Contaminación por Basura*. <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/problema-ambiental-basura/>.

Reyes, C. (2013). *El pet como sistema alternativo para la construcción de muros en la vivienda* (Tesis para optar por el grado de Maestría en Diseño). Universidad Autónoma Metropolitana. México. <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/5519?show=full>

Sánchez, J.E. (abril 2015). El reciclaje de los residuos plásticos y sus oportunidades para Cuba. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. ISSN: 2254-7630. <http://xn--caribea-9za.eumed.net/2015/04/reciclaje.html>

Santiesteban, A. (2018) *La Empresa de Materias Primas de Santiago de Cuba apuesta por mejores resultados*. <http://www.sierramaestra.cu/index.php/titulares/19534-la-empresa-de-materias-primas-de-santiago-de-cuba-apuesta-por-mejores-resultado>.

Waroonkun, T., Puangpinyo, T. & Tongtuam, Y. (2017). The Development of a Concrete Block Containing PET Plastic Bottle Flakes. *Journal of Sustainable Development*, 10(6). <https://pdfs.semanticscholar.org/15f7/fa8d07260c385c5751ed005430bf957ff1b7.pdf>

Recibido: 24 de septiembre de 2021

Aprobado: 15 de noviembre de 2021