



IX SIMPOSIO IBEROAMERICANO DE
INGENIERÍA DE RESIDUOS
PANAMÁ, 20 al 23 SEPTIEMBRE del 2021

LIBRO DE ACTAS



Evaluación de ecoeficiencia del uso de plástico reciclado en paneles constructivos

Alejandrino, Clarisa^{1,2}; Ojeda, Juan Pablo^{1,2}; Mercante, Irma¹

¹Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario (M5502KFA), Casilla de correo 405, Mendoza, Argentina, Argentina,

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina,
clarisa.alejandrino@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Resumen

La industria de la construcción es una de las más importantes desde el punto de vista económico a nivel mundial, pero también es responsable de cuantiosos impactos ambientales. Por esta razón, durante los últimos años numerosas investigaciones se han centrado en el desarrollo de materiales novedosos que reduzcan los costos e impactos. Un material con gran potencial es el mortero celular alivianado con incorporación de plástico reciclado como agregado fino. El objetivo de este trabajo fue comparar la ecoeficiencia de paneles de mortero alivianado sin y con agregados reciclados de polietileno de tereftalato (PET). La metodología empleada se dividió en dos etapas. Primero se evaluaron técnicamente seis dosificaciones, considerando criterios de trabajabilidad, peso específico y resistencia a la compresión. A continuación, se comparó la ecoeficiencia de aquellas mezclas que cumplieron los requerimientos técnicos de la primera etapa. La evaluación de ecoeficiencia se realizó mediante la aplicación conjunta de análisis de ciclo de vida (ACV) y costos de ciclo de vida (CCV). Se obtuvo que solo una de las dosificaciones con agregado plástico (5% en volumen) superó los requisitos técnicos. Se verificó que esta dosificación presentó reducción de impactos ambientales y de costos respecto del panel original. Se concluye que la utilización de PET reciclado como agregado fino en paneles de mortero celular resulta técnicamente viable y ecoeficiente.

Abstract

The construction industry is one of the world most important ones from the economic point of view, but it is also responsible for considerable environmental impacts. For this reason, in recent years many researches have focused on the development of novel materials to reduce costs and impacts. A material with great potential is lightweight foamed mortar with the incorporation of recycled plastic as a fine aggregate. The aim of this work was to compare the eco-efficiency of foamed mortar panels with recycled polyethylene terephthalate (PET) aggregates. The methodology used was divided into two stages. First, six dosages were technically evaluated, considering criteria of workability, specific weight and compressive strength. Next, the eco-efficiency of those mixtures that met the technical requirements of the previous stage was compared. The eco-efficiency assessment was carried out through the joint application of life cycle analysis (LCA) and life cycle costs (LCC). It was found that only one of the dosages with plastic aggregate (5% by volume) fulfill the technical requirements. It was verified that this dosage presented reduction of environmental impacts and costs compared to the original panel. It is concluded that the use of recycled PET as a fine aggregate in cellular mortar panels is technically feasible and eco-efficient.

Palabras clave: construcción, residuos plásticos, reciclaje, enfoque de ciclo de vida, ecoeficiencia

Keywords: construction, plastic waste, recycling, life cycle perspective, ecoefficiency.

1. Introducción

El sector de la construcción consume grandes cantidades de recursos y genera importantes impactos ambientales a nivel mundial. Es por ello que se considera uno de los sectores prioritarios en la transformación hacia una economía circular (European Commission, 2020; Hossain et al., 2020). Durante los últimos años numerosas investigaciones se han centrado en el desarrollo de materiales novedosos que reduzcan los costos e impactos ambientales, como los materiales constructivos livianos. Pueden producirse hormigones y morteros livianos mediante el uso de agregados livianos, aditivos espumígenos o una combinación de ambos (Samson et al., 2017). Los agregados livianos pueden ser de origen natural como la pumita o manufacturados, como los plásticos.

El mortero celular, o alivianado mediante espumígeno, es un material que presenta una alternativa de gran interés respecto al mortero tradicional. Entre las principales ventajas del mortero celular están la densidad reducida y gran aislación térmica, que reducen costos e impactos ambientales durante las etapas de transporte y uso, frente al mortero tradicional. Entre sus desventajas se pueden nombrar un gran consumo de cemento y la reducción de la resistencia respecto a morteros tradicionales. Antecedentes científicos han demostrado que el uso de materiales reciclados, como los plásticos, puede potenciar las ventajas del mortero celular y reducir sus desventajas (Mercante et al., 2018).

Para obtener resultados integrales y orientados a la toma de decisiones es recomendable analizar en conjunto el desempeño técnico, ambiental y económico de nuevos materiales y productos (ISO, 2012). El objetivo de este trabajo fue evaluar técnica, económica y ambientalmente alternativas de morteros livianos utilizando agregados reciclados de polietileno de tereftalato (PET).

2. Metodología

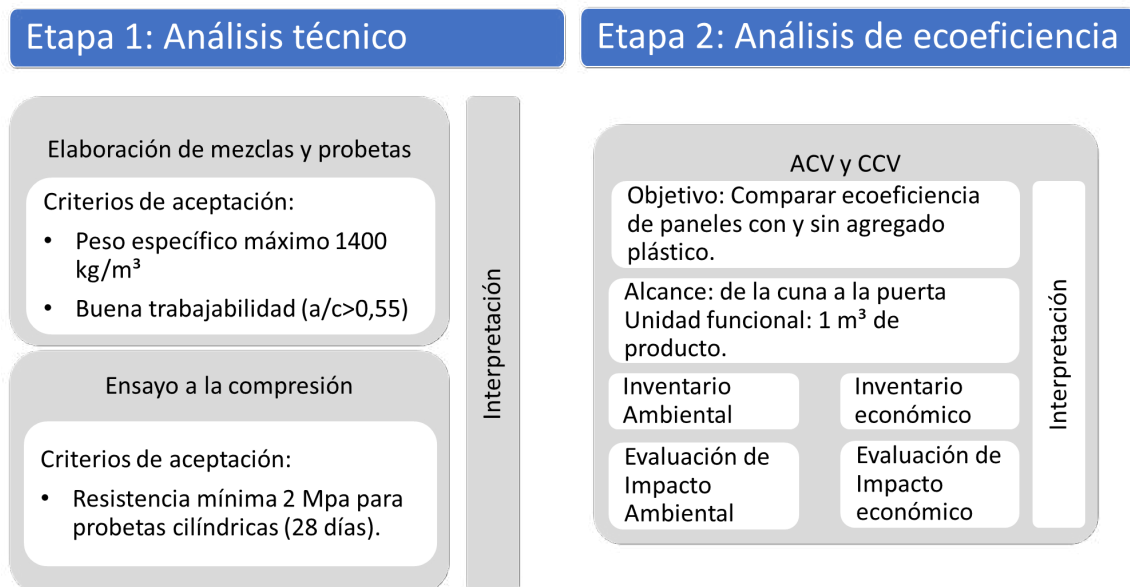


Figura 1. Metodología

La metodología utilizada se presenta en la Figura 1. En referencia al análisis técnico, primero se elaboraron las mezclas y probetas según 6 dosificaciones (Tabla 1) a partir de los siguientes materiales: cemento portland compuesto (CPC 40), agua potable para la elaboración y el curado, arenas silíceas de origen fluvial como agregados naturales y agregado de escamas trituradas de PET reciclado (Figura 2).



Figura 2. PET reciclado utilizado (Ojeda y Mercante, 2020)

Las dosificaciones propuestas buscaron cubrir rangos de porosidad entre 5% y 50%, contenido de plástico de 0 a 340 kg/m³ y relación agua/cemento adecuada al requisito de trabajabilidad. Se utilizaron probetas cilíndricas gemelas de 200 mm de altura y 100 mm de diámetro para ensayos de compresión. Estas fueron curadas en forma sumergida a temperatura controlada durante 28 días. Luego fueron pesadas y ensayadas a compresión utilizando una máquina de ensayo universal, obteniendo el valor medio de las determinaciones como resultado de cada ensayo según norma IRAM 1546 (IRAM, 2017).

Para el análisis de ecoeficiencia se emplearon Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y Costo de Ciclo de Vida (CCV) en forma integrada (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011). El inventario ambiental se construyó a partir de datos primarios (Alejandrino et al., 2019) y de datos secundarios (Ecoinvent, 2020) mientras que el inventario económico se construyó a partir de datos primarios recabados especialmente para el presente trabajo. Para la evaluación de impacto ambiental se analizaron los impactos de punto medio mediante el método CML-IA *baseline* V3.05, y se modeló con el *software* SimaPro. Se utilizaron las categorías de impacto ambiental recomendadas para los productos de construcción (CEN, 2014). Para la evaluación de impacto económico se consideró el costo de ciclo de vida medido en ARS, moneda de Argentina.

Tabla 1. Dosificación de mezclas estudiadas

Denominación	a/c	% plástico	% porosidad
Original	0.61	0	45
a	0.60	5	37
b	0.53	10	6
c	0.56	19	49
d	0.56	25	35
e	0.56	0	31

El caso de estudio utilizado es una industria de la Provincia de Mendoza, Argentina que fabrica elementos constructivos premoldeados a base de mortero alivianado (Figura 3). El plástico reciclado a utilizar proviene de una planta de reciclaje de PET ubicada en la cercanía del caso de estudio (Alejandrino et al., 2019).



Figura 3. Paneles constructivos de mortero alivianado

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis técnico

La Figura 4 presenta los resultados obtenidos en esta etapa, en la misma se integran los resultados del análisis de las características de las mezclas y de los ensayos realizados. Se obtuvieron dos mezclas que cumplieron los criterios de aceptación previamente definidos: la mezcla original (actualmente utilizada) y la mezcla “a”. La primera posee un peso específico de 1400 kg/m³ y 2 MPa de resistencia a la compresión y la segunda alcanzó los 2,3 MPa y 1330 kg/m³. La mezcla “b” tuvo muy buena resistencia, pero un elevado peso, “c” y “d” tuvieron bajo peso, pero poca resistencia y “e” no cumplió ninguno de los requisitos.

Se identificó que para valores altos de contenido plástico (mezcla “c” y “d”) el problema se debe a la resistencia lograda. Frente a esto surgen dos recomendaciones a futuro. Una opción es estudiar otros tamaños o formatos para el material reciclado, ya que esta propiedad se ve altamente influenciada por la forma del agregado. Esta posibilidad se ve condicionada por la falta de oferta de plástico reciclado en la zona. Otra opción es el empleo de la mezcla para otro producto constructivo que no requiera tales niveles de resistencia, por ejemplo, adoquines. En ese caso, el criterio de aceptación bajaría y permitiría la aceptación de otras dosificaciones.

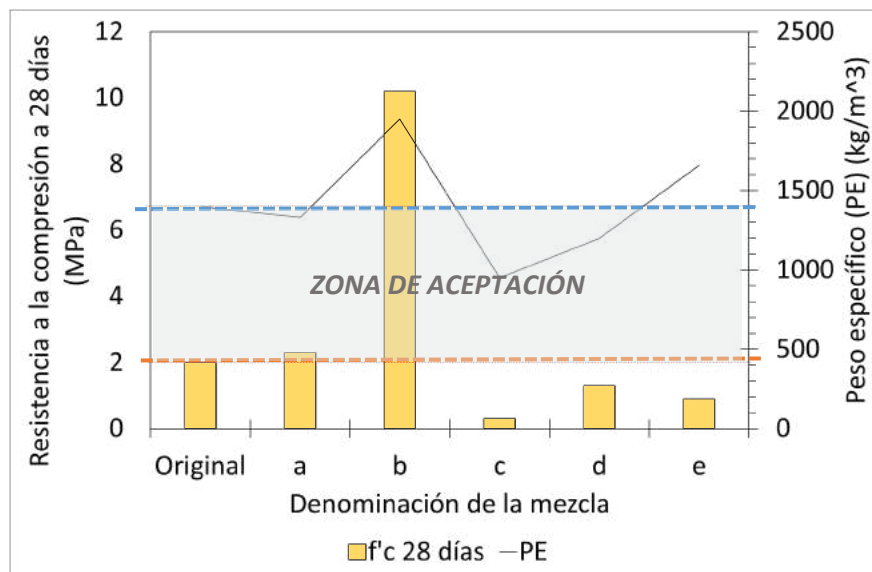


Figura 4. Resultados de evaluación técnica

3.2. Análisis de ecoeficiencia

La Tabla 2 presenta la cuantificación de flujos de entradas y salidas utilizadas para confeccionar los inventarios ambiental y económico de los paneles sin y con plástico reciclado. Se han incluido flujos que no varían entre ambas mezclas en estudio para analizar los cambios porcentuales. Los procesos de transporte se incluyeron en el inventario ambiental pero no en el económico ya que los precios de los materiales y servicios ya incluyen los costos de transporte. Se despreció el transporte de espumígeno, aceite lubricante y aditivos por ubicarse debajo de la regla de corte de 1% en volumen.

La evaluación de impactos ambientales (Figura 5) demostró que la utilización de la mezcla “a” para la fabricación de los paneles presenta mejoras significativas para las categorías de impacto de calentamiento global, afectación a la capa de ozono, oxidación fotoquímica y acidificación. Los impactos de las categorías

de agotamiento de recursos abióticos, toxicidad humana y eutrofización no se vieron reducidos debido a que son causados en mayor medida por el consumo energético del proceso productivo.

Un análisis detallado de las contribuciones de cada materia prima permitió identificar que la mayor parte de las contribuciones se debe a la producción del cemento y como la cantidad de cemento se reduce en el caso de la mezcla "a" se genera una disminución de los impactos. En este sentido se podría analizar como futura investigación el reemplazo parcial del cemento por otros agentes ligantes.

Tabla 2. Flujos de entradas y salidas (por m³)

		Distancia (km)	Entradas y salidas		
			Unidad	Original	"a"
Materiales e insumos	Cemento	260	kg	350.69	280
	Árido Fino	16	kg	898.09	815
	Agua	-	l	213	160
	Plástico	15	kg	0	79.2
	Espumígeno	-	l	8.77	7
	Diesel	-	kg	3.42	3.42
	Hierro	860	kg	26.17	26.17
	Aceite Lubricante	-	l	9.8x10 ⁻⁵	9.8x10 ⁻⁵
	Aditivo	-	kg	1.80	1.80
Energía	De red	-	kWh	33.39	33.39
Residuos	RCD	1	kg	274.51	274.51

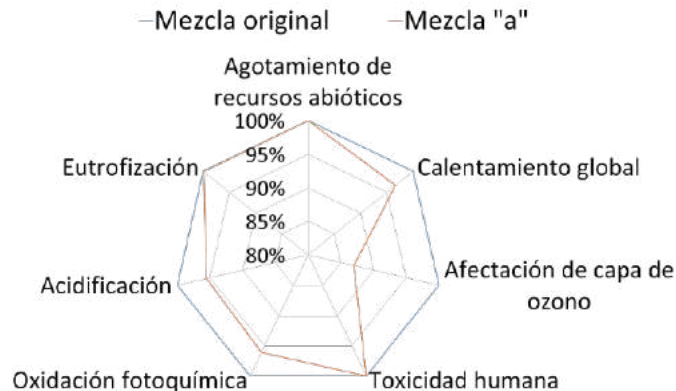


Figura 5. Resultados de la evaluación ambiental de punto medio

La evaluación del impacto económico arrojó que la mezcla "a" permite disminuciones del 7% del costo total de materiales e insumos necesarios para la fabricación de los paneles constructivos. En comparación con el costo total del producto, las reducciones fueron de baja magnitud. Se logró una reducción del 2% del costo total del producto sin considerar mano de obra, que normalmente se excluye en CCV.

Al igual que en el caso de los impactos ambientales, un análisis detallado de las contribuciones permite concluir que el cemento genera un porcentaje importante de costos. El estudio de alternativas de materiales ligantes también es de interés para reducir los costos de los paneles en estudio.

El análisis económico se basó solo en los costos de materiales, por lo que se excluyeron posibles cambios en las ventas o inversión necesaria y en el equipamiento producto del cambio de mezcla. Otros indicadores que consideren estos efectos podrían ser incluidos en futuros estudios (Alejandrino et al., 2021).

4. Conclusiones

Se concluyó que la incorporación de agregados livianos reciclados de PET para la producción de morteros alivianados, en un valor de 5% en volumen, cumplió los criterios técnicos, produjo reducciones en el impacto ambiental y en el costo del producto, por lo que resulta una alternativa ecoeficiente.

Es recomendable plantear dos nuevas líneas de investigación: el análisis de mezclas para otros productos como adoquines, que permitirían bajar la resistencia necesaria e incluir mezclas con mayor porcentaje de plástico reciclado y la evaluación de sustitutos de material ligante o cemento que produce grandes contribuciones al impacto ambiental y económico de los paneles. En ambos casos, se recomienda un análisis integral técnico y de ecoeficiencia como el realizado en el presente trabajo para lograr la visión sistémica necesaria para la toma de decisiones en el marco de la economía circular y el desarrollo sostenible.

Agradecimientos

A la Secretaría de Investigación, Internacionales y Posgrado de la Universidad Nacional de Cuyo por el financiamiento otorgado para la realización del proyecto bienal y a la Secretaría de Políticas Universitarias por el financiamiento otorgado para la realización del proyecto Universidades Agregando Valor.

5. Referencias

Alejandrino, C., Mercante, I., Bovea, M.D., 2021. Life cycle sustainability assessment: lessons learned from case studies. *Environ. Impact Assess. Rev.* 87, 106517. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106517>

Alejandrino, C., Mercante, I., Cereda, M., 2019. Perfil ambiental de ladrillo fabricado a partir de plástico reciclado, in: Gitto, J., Soengas, C., Biondi, L. (Eds.), *X EnIDI*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael, Mendoza, pp. 94–99. [https://doi.org/ISBN 978-950-42-0197-7](https://doi.org/ISBN%20978-950-42-0197-7)

Ecoinvent, 2020. Ecoinvent Database version 3.7.1. URL <https://www.ecoinvent.org/> (accessed 12.29.20).

European Commission, 2020. A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe.

European Commite for Standarization (CEN), 2014. EN 15804:2012 + A1:2013 Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.

Hossain, M.U., Ng, S.T., Antwi-Afari, P., Amor, B., 2020. Circular economy and the construction industry: existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 130, 109948. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109948>

IRAM, 2017. Norma IRAM 1546:2013 Mod. 2017. Hormigón de cemento pórtland. Método de ensayo de compresión. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Argentina.

ISO, 2012. ISO 14045: Environmental management — Eco- efficiency assessment of product systems — Principles, requirements and guidelines, International Organization for Standardization (ISO).

Mercante, I., Alejandrino, C., Ojeda, J.P., Chini, J., Maroto, C., Fajardo, N., 2018. Mortar and concrete composites with recycled plastic: A review. *Sci. Technol. Mater.* 30, 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.stmat.2018.11.003>

Ojeda J. P. y Mercante I. (2021). Reciclaje de residuos plásticos para la producción de agregados livianos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. En prensa.

Samson, G., Phelipot-Mardelé, A., & Lanos, C., 2017. A review of thermomechanical properties of lightweight concrete. *Magazine of Concrete Research*, 69 (4), 201–216. doi:10.1680/jmacr.16.00324

UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011. Towards a Life Cycle Sustainability Assessment.