

[VOLVER AL ÍNDICE](#)

## ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA COMPONENTES DE CERRAMIENTO VERTICAL DE MATERIAL RECICLADO

Julián González Laría ([juliangonzalezlaria@gmail.com](mailto:juliangonzalezlaria@gmail.com)); Alejandro Pablo Arena ([aparena@gmail.com](mailto:aparena@gmail.com)); Gaggino Rosana ([rgaggino@ceve.org.ar](mailto:rgaggino@ceve.org.ar)); Kreiker Jerónimo ([jkreiker@ceve.org.ar](mailto:jkreiker@ceve.org.ar)); Positieri María ([mpositieri@gmail.com](mailto:mpositieri@gmail.com))

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE) - Arg.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza (UTN-FRM) - Arg.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN-FRC) - Arg.

**Palabras clave:** perfiles de aberturas, plástico reciclado, análisis de ciclo de vida

*Dentro del campo de los nuevos materiales existen numerosos estudios sobre la tecnología para el reciclado de los plásticos. La mayoría de estos se basa en su reutilización como áridos en mezclas cementicias.*

*Una alternativa para la reutilización de plásticos, consiste en la producción de piezas moldeadas. La desarrollada por nuestro equipo de investigación, es la producción de un material compuesto por polietileno-tereftalato (PET) y polietileno (PE) reciclados para la producción de perfiles para aberturas. El material posee propiedades mecánicas y físicas que lo hacen apto para este uso, incluso con un comportamiento térmico ventajoso frente a otros existentes en el mercado.*

*La tecnología para producción de los perfiles es una modificación de una extrusión simple y la fabricación del componente constructivo ventana con estos perfiles, se realiza con técnicas de carpintería tradicional, con resultados satisfactorios de calidad y estética.*

*En el presente trabajo se presenta un análisis del ciclo de vida (ACV) preliminar de este componente, durante todo su proceso productivo hasta obtener el componente final (de la cuna a la puerta). La categoría de impacto ambiental considerada es el Consumo acumulado de Energía.*

*Este análisis forma parte del estudio de viabilidad de esta tecnología, el cual abarca el cumplimiento de objetivos ecológicos, económicos y técnicos planteados inicialmente en el proyecto. Se la considera más ecológica que otras tradicionales por utilizar un 100 % de materiales reciclados. El ACV permitirá avanzar sobre el cálculo de la estructura de costo de producción de estos componentes, y también para determinar la sustentabilidad ecológica de los mismos.*

*Los resultados muestran que el Consumo energético en esta tecnología se debe principalmente a la obtención de los plásticos reciclados molidos, utilizando molinos industriales eléctricos, y a su extrusión posterior a temperatura alrededor de 245 °C, en una extrusora tradicional. El valor final del consumo acumulado de energía, resulta inferior a los de ventanas de perfiles de madera de diseño comercial.*

*Por no estar incluidas las etapas de uso y mantenimiento, donde la perfilería plástica es normalmente superior, los resultados parecen prometedores, pero deberá ampliarse el análisis.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Dentro del campo de los nuevos materiales existen numerosos estudios sobre las tecnologías para el reciclado de los plásticos y su posterior aplicación en la construcción. La mayoría de los mismos se basan en la aplicación de estos, luego de su procesado, en mezclas cementicias como agregados o fibras de refuerzo (Siddique, Khatib, & Kaur, 2008). Si bien esto permite incorporar el residuo en un nuevo circuito productivo, la mayoría de los

áridos plásticos no otorgan propiedades beneficiosas a los hormigones. Y en el caso de las fibras, aportan mejoras en la resistencia a tensiones menores, fisuras por dilatación o frente a la heladicidad (Chandra, Aavik, & Berntsson, 1982)(Won, Jang, Lee, Lee, & Kim, 2010).

Otra alternativa de mejor resultado, es la reutilización de plásticos en procesos de extrusión o moldeo, que permiten obtener distinto tipos de componentes, en el caso que se presenta en este trabajo de investigación, perfiles para aberturas. Si bien en estos se producen algunos efectos de degradación, con menores prestaciones que los de materiales vírgenes (Itim & Philip, 2015), sus propiedades técnicas tienen la aptitud necesaria para ser utilizados en carpinterías, según la normativa vigente en nuestro país. De esta forma se aprovechan las características ventajosas de los polímeros, principalmente elasticidad y resistencia.

Un ejemplo es la producción de un material compuesto por polietilen-tereftalato (PET) y polietileno (PE) (Navarro, Ferrándiz, López, & Seguí, 2008) reciclados aplicable para la producción de perfiles para aberturas. El material constituido totalmente por plásticos de residuos, puede ser procesado y extruido y posee propiedades mecánicas y físicas suficiente para su utilización en estos componentes no portantes(Laria Gonzalez, Positieri, Gaggino, Kreiker, & Peisino, 2018). El PET es obtenido del reciclaje de envases de alimentos de los residuos solidos urbanos (RSU) triturados y el polietileno del reciclado de Silobolsas, films utilizados en la actividad agrícola.

Por otra parte ya se ha demostrado que en el consumo energético mundial actualmente, el costo de la climatización de edificios es una gran parte y en este las ventanas son un componente clave (Weir, Muneer, Tobergte, & Curtis, 2016). Debido a la alta conductividad térmica que implican las superficies vidriadas y a la infiltración debido al diseño y materiales de la periferia utilizadas (Shakouri & Banihashemi, 2016).

Sólo en un análisis teórico, el coeficiente de Transmitancia térmica (K) de una ventana prototipo arrojó valores similares a las fabricadas con perfiles de producidas con madera e inferiores a las fabricadas con perfiles de aluminio simples (Gonzalez Laría et. al, 2018) .

En el presente trabajo se presenta un análisis del ciclo de vida (ACV) preliminar de este componente, durante todo su proceso productivo hasta obtener el componente final (de la cuna a la puerta). La categoría de impacto ambiental considerada es el Consumo Acumulado de Energía (CAE).

Este análisis forma parte del estudio de viabilidad de esta tecnología, más ecológica que otras tradicionales por utilizar un 100 % de materiales reciclados y aportar a la reducción del consumo energético en climatización de edificios.

## 2. OBJETIVOS

Es objetivo del presente trabajo, obtener el valor de CAE (kw) de la tecnología de fabricación de ventanas con perfiles de plástico reciclado, para un componente prototipo. A su vez comprender y describir las etapas del proceso y la influencia de estas en el costo energético final y compararla con valores de componentes similares.

### 2.1. Alcance

#### 2.1.1. Unidad funcional: Ventana de 1.20 x 1.20 m.

#### 2.1.2. Sistema - Componentes principales:

- Plástico reciclado PE - Pelletizado comercial
- Plástico reciclado PET - Molido obtenido de RSU
- Vidrio - Doble vidriado hermético (DVH) 6-12-6, con aire atmosférico interior
- Caucho - Pequeñas cantidades en burletes agregados al proceso
- Sellador - Pequeña cantidad para sellado del vidrio

### 2.1.3. Diagrama de procesos

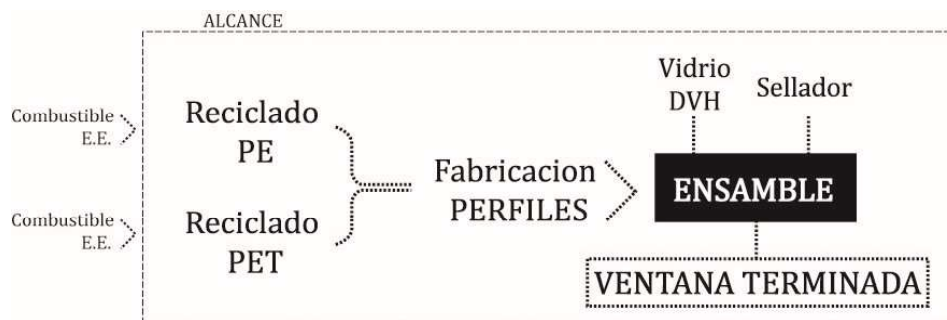


Figura 1. Diagrama de procesos

## 2.2. Limites del sistema

Se consideran los componentes de incidencia mayor al 5% durante el proceso. La energía requerida en la fabricación y obtención del vidrio y fabricación del DVH, así como del sellador utilizado para la hermeticidad del mismo en el ensamblaje, son calculadas en base a valores obtenidos de bibliografía.

## 3. METODOLOGÍA

El método de evaluación utilizado será el propuesto por la SETAC, evaluando los materiales o energía utilizada y todos los descartes liberados al ambiente natural en ese proceso. La categoría de impacto considerada es el Consumo Acumulado de Energía (CAE).

### 3.1. Proceso de fabricación

Esta tecnología incluye varios procesos donde se requiere el uso de energía eléctrica, iluminación, provisión de materias primas, entre otros, comenzando con la obtención de los materiales de fabricación a partir del reciclado de residuos.

En este caso el plástico polietileno-tereftalato (PET) y polietileno (PE), componentes de la mezcla, provienen de procesos diferenciados.

El PET, proveniente de residuos sólidos urbanos, comienza con el transporte de los residuos desde un centro de acopio, donde es depositado por los usuarios. Luego de tener disponibles los materiales en la planta de producción, es necesario realizar la molienda de los mismos, obteniendo escamas del plástico a utilizar. En este caso tenemos el costo energético (CE) del combustible líquido, utilizado para el transporte del residuo a una planta modelo y la energía eléctrica para la molienda de los envases plásticos.

Por otra parte, el PE proviene del reciclado de los Silobolsas, un insumo de la actividad agrícola, y se obtiene por el lavado y molienda del film plástico. Luego fundido y pelletizado para su reutilización. En este caso el costo surge del combustible líquido utilizado para su transporte a planta, la energía eléctrica consumida para su lavado y molienda y por último la utilizada para su extrusión y pelletizado.

En una segunda etapa al CE del proceso se suma la energía utilizada para la extrusión a temperatura de 245°C. La energía eléctrica se divide a su vez en dos componentes, el calentamiento con resistencias eléctricas previo y durante todo el proceso del ciclo de producción, acoplado parcialmente al consumo del motor eléctrico, que impulsa la mezcla solo durante la extrusión.

Finalmente durante el ensamble, la ventana se fabrica termo fusionando los perfiles entre sí, seguidamente se atornillan el marco móvil (o de la hoja) y el marco fijo, se fijan bisagras y trabas y el vidrio se incluye en la hoja móvil y es sellado. Detalles en Figura 2.



Figura 2. Momentos del proceso de fabricación y montaje

### 3.2 Análisis de inventario

De acuerdo al diagrama de flujos del sistema y el alcance del estudio, se consideran los siguientes subsistemas: 1. Reciclado PE - 2. Reciclado PET - 3. Fabricación Perfiles - 4. Fabricación del DVH - 5. Ensamble. Detallado en la Figura 3.

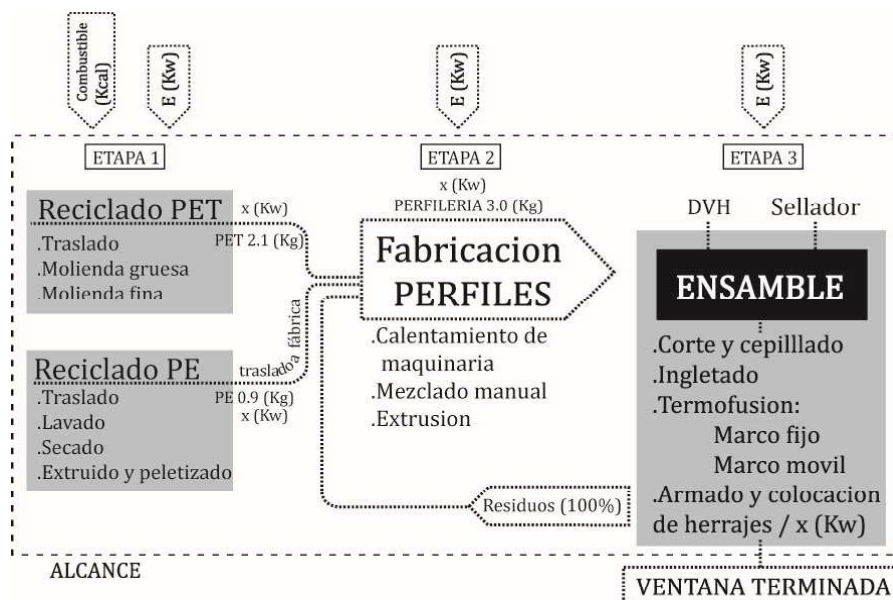


Figura 3. Análisis general de inventarios

En todos los casos la energía utilizada está compuesta principalmente por energía eléctrica de línea (EE) o combustible líquido de vehículos. En este último caso se realiza la conversión para igualar en unidades de kWh.

La utilización de un DVH, en reemplazo al vidrio simple, se debe a la estrategia de mejoramiento de la conductividad térmica del componente como fue determinado en trabajos anteriores (Arena, 2010). También por ser la forma más utilizada en las aberturas de similares prestaciones, el consumo energético de estos procesos es obtenido de datos bibliográficos.

La energía de la producción del sellador será despreciada por su bajo impacto y también de los herrajes, por ser iguales a los demás casos con los que quiere realizarse la comparación.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. En la primera etapa se encuentran los consumos energéticos derivados de la obtención del PE y PET. En el primer caso los datos surgen del análisis del proceso de reciclado en sus tres etapas, triturado del film plástico de silobolsas, secado posterior y extruido y pelletizado del material final. Los costos energéticos en las Tablas 1 y 2 respectivamente.

De esta forma podemos determinar que CAE de producción (CAE p) que tiene el material reciclado, en todo ese proceso.

**Tabla 1.** Consumo energético primera línea de producción de PE

Maquinaria	Nº	Potencia (Hp)	Consumo (kWh)	Función
Molino	1	100	75	Triturado de films
Decantador de paletas	2	2	2	Limpeza con agua del triturado
Decantador	3	2	2	
Chimango	4	5	4	Forzado de la circulación
Centrifuga 1	5	20	15	Secado
Centrifuga 2	6	20	15	Secado
Turbina 1	7	10	8	Circulación de aire
Turbina 2	8	10	8	Circulación de aire
Turbina 3	9	10	8	Circulación de aire
Resistencias	10	-	24	Calentamiento de aire
Agrumadora	11	75	56	Secado final
Turbina	12	3	2	Circulación de aire
<b>Total</b>		<b>257</b>	<b>193</b>	

**Tabla 2.** Consumo energético segunda línea de producción de PE

Maquinaria	Nº	Potencia (Hp)	Consumo (kWh)	Función
Extrusora	1	60	45	Fusión del molido
Resistencias	2	-	27	Calentamiento
Forzador	3	3	2	Forzado de la circulación
Central hidráulica	4	-	-	Acumulación de agua
Bomba de agua	5	2	2	Circulación de agua
Pelletizador	6	5	4	Cortado de pellets
<b>Total</b>		<b>70</b>	<b>67</b>	

El PE de “Silobolsa” es un producto de uso agrícola, este material proviene de las zonas rurales de un radio de hasta 250 km de la planta de procesado, por esto es esencial la inclusión del costo en transporte en el análisis. Tomando que el recorrido promedio es de 150 km, en camiones de carga de hasta 20 toneladas y con perfiles de consumo de combustible de los modelos de camiones más utilizados, según datos de Argentina<sup>3</sup>. El consumo debido al transporte puede calcularse en 48 l de combustible diesel en promedio. Entonces el costo energético aplicable a 1 Kg del material es el de 0.0024 l, por lo que el CAE en toda la obtención del material, corresponde a la siguiente expresión:

$$CAE (PE) = 0.0024l/kg * 38.43 MJ/l + CAE p = 0.092MJ + 0.935Kwh$$

<sup>3</sup> Informe extraído del Sistema de Información Online del Mercado Automotor Argentino de 2018: <http://www.siomaa.com/InformeSector/Reportes>

Los valores en MJ del gasto de combustible, son valores directos. Sin embargo el gasto energético en kWh deberá transformarse en el costo en MJ del combustible en las turbinas de generación utilizadas para su producción, la cuales afecta un valor de eficiencia. Esto será determinado mas adelante.

De la misma forma que con el PE, para la obtención del costo energético del PET se tomaron los datos de consumo de la maquinaria utilizada en su molienda. En este caso el proceso de molienda en dos pasos, requiere del consumo de dos molinos de 7.46 Kw/h para obtener 30 Kg del material en molienda gruesa y 20 Kg en una segunda molienda fina de 3 mm posterior.

El costo energético total que se obtiene además deberá incorporar un agregado de transporte menor, de un radio de 10 Km para con lo cual el resultado final es el siguiente:

$$CAE (PET) = 0.00032l/kg * 38.43Mj + CAE p = 0.0123Mj + 0.633Kwh$$

4.2. En la segunda etapa deberá sumarse lo obtenido de la extrusión de los perfiles que, como fue explicitado anteriormente, corresponde al consumo de nueve resistencias eléctricas en una primera etapa de precalentamiento de 0.5 hs para una serie de 8 perfiles y luego el consumo de las mismas, mas el del motor propulsor de la extrusión durante el proceso de moldeado. Estas dos etapas representan los tiempos y consumos reflejados en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Consumo energético extrusión de perfilería plástica por pieza

Maquinaria	Nº	Tiempo (h)	Consumo (kW)	Consumo (kWh)	Función
Resistencias	1	0,063	5,4	0,34	Precalentamiento
Motor	2	0,075	2,2	0,16	Extrusión
Resistencias	3	0,075	5,4	0,40	Calentamiento en extrusión
Total				0.90	

De esta manera entonces impactará en el CAE, con lo analizado hasta aquí, la cantidad de material PET y PE utilizado, según los valores de la etapa anterior para 1,9 Kg de PET y 1,1 de PE. Agregando el proporcional de los consumos derivados de esta segunda etapa, aplicable en ambos casos, a cada pieza de 1,5 m lineales de producción.

El total del valor de CAE por metro lineal se obtiene de la energía del combustible utilizado y, en el caso de la energía eléctrica, de multiplicar el valor obtenido por un coeficiente de eficiencia. Es sabido que, según los sistemas de producción de la energía, producir un kWh en la red puede demandar distintos valores, siempre mayores, en energía primaria.

El cálculo de estos valores, impactados por un coeficiente promedio para nuestro país, se detallan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Consumo energético acumulado de perfilería plástica para ventana prototipo

Origen	Cantidad (kg)	Coeficiente de eficiencia	Consumo (kWh)	Consumo (Mj)	E primaria (Mj)
Producción PE	1,1	0,3839	0,935		9,6446
Producción PET	1,9	0,3839	0,633		11,2782
Transporte PE	1,1	1,0		0,1012	0,1012
Transporte PET	1,9	1,0		0,0234	0,0234
Total CAE PERFILERÍA (m)					21,0474

De esta manera obtenemos un valor final de CAE (m) según los metros lineales de perfilería producidos. Lo cual dependerá del modelo de abertura fabricado.

Tomando las medidas de ventana prototipo, podemos calcular por su perímetro los metros lineales de perfilería a utilizar. El diseño del prototipo corresponde al modelo para viviendas más utilizado en el mercado, comparable a otros casos de la bibliografía, ver Figura 4.

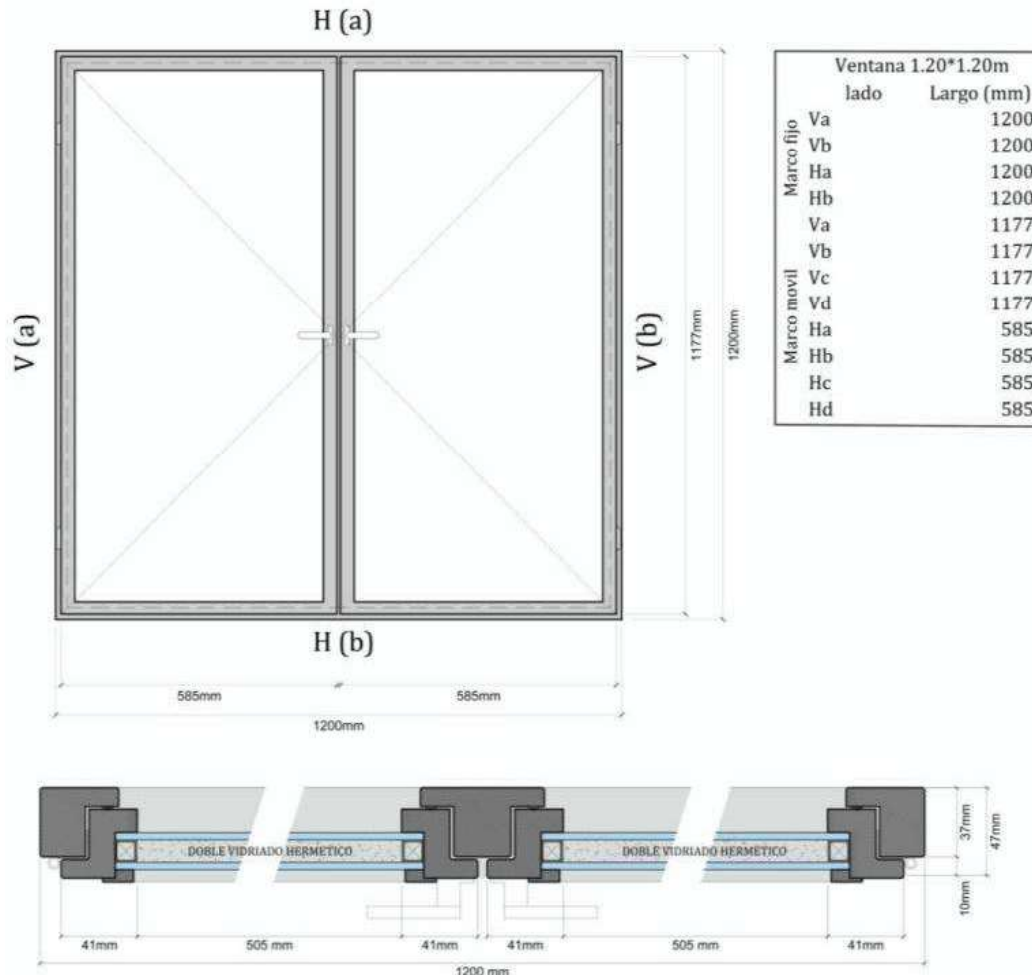


Figura 4. Unidad funcional componente de ventana

De esta forma la segunda etapa totaliza, para obtener los perfiles para la producción de la ventana y según los metros necesarios para esta, como sigue:

$$CAE = 21,05 \text{ Mj/m} * 11.85\text{m} = 249,44 \text{ Mj}$$

4.3. En la última etapa entonces solo resta agregar los valores de consumo energético que surgen de las máquinas eléctricas utilizadas para el corte e ingletado, además de la fusión térmica de las uniones entre perfiles también de consumo eléctrico. Se sumará el valor de producción del vidrio y fabricación del DVH.

Los consumos de las maquinarias utilizadas para estas funciones y los tiempos requeridos en las uniones de la abertura, resultan en un total de energía primaria de 5,16 Mj para todo el componente. Y el valor utilizado de costo energético de la producción del vidrio y fabricación del DVH corresponde al analizado por Arena (2010) en donde para una unidad funcional igual a la del presente análisis se obtuvo un valor general de 205,48 Mj.

Así es que arribamos finalmente a un valor total de producción de la unidad funcional completa de CAE = 460,08 Mj. Este valor incluye la producción completa de la abertura desde la obtención del material reciclado, hasta su finalización para ser instalada.

Comparativamente a otros componentes similares, podemos mostrar que el valor obtenido es relativamente menor al de ventanas de madera. En ese caso según analizó Llorente (Llorente Diaz, 2011) el valor total para una unidad funcional como la estudiada es:

$$CAE = 606,12Mj + 1854,43Mj = 2460,55Mj$$

Es un valor un 31% mayor al obtenido para los perfiles plásticos. De todas formas, en este total no han sido incluidos los valores necesarios durante el Uso y mantenimiento, que corresponden a un 89% de todo el proceso en el caso de la madera. Esto inclinaría el análisis hacia los perfiles plásticos de mantenimiento muy bajo, ver en Figura 5.

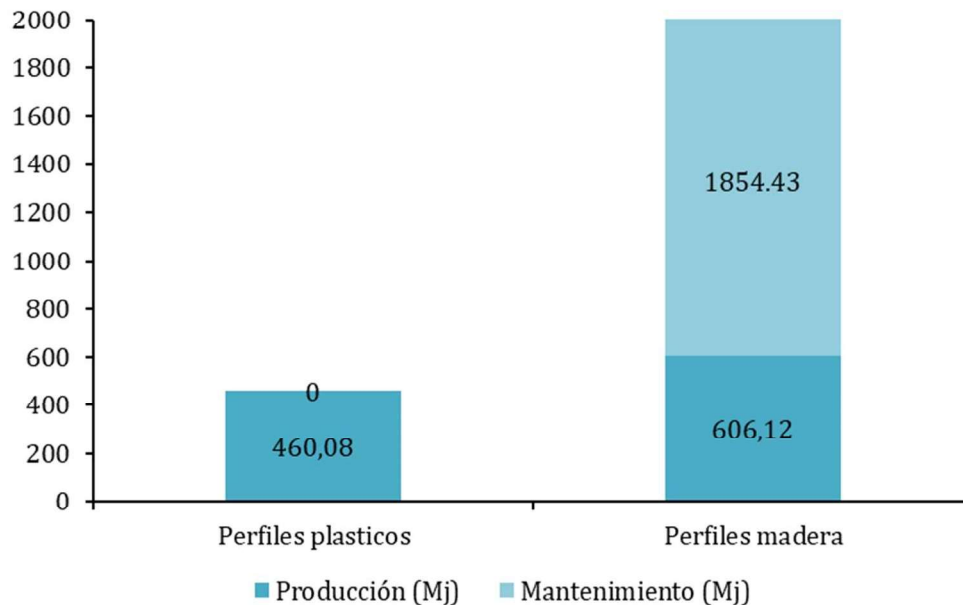


Figura 5. Comparación de CAE con ventanas de madera

Este valor de CAE de fabricación de ventanas de madera, que podría tomarse como una referencia aproximada a nuestro caso, deviene del gasto energético eléctrico de la producción y la conversión a energía eléctrica del combustible fósil utilizado. La diferencia radica en que este último, tiene un gran impacto en las primeras etapas de aserrado de la madera, mientras que en nuestro proceso solo impacta en el transporte de los residuos en su reciclado de los centros de acopio a la planta de producción.

También debe considerarse que en el caso de ventanas de madera una gran ventaja ambiental radica en la categoría de producción de CO<sub>2</sub>, que resulta en valores negativos de emisiones. Esto debido a que la fabricación, no llega a igualar la absorción de CO<sub>2</sub> que realizan las especies plantadas durante su desarrollo. En el caso de los polímeros, esta ventaja no existe.

El ensayo de envejecimiento acelerado de los perfiles por acción de los rayos ultravioleta aun no ha sido realizado. Tampoco se incorpora en el análisis el gasto de calefacción y refrigeración del ambiente, debido a la conducción de temperatura a través de la ventana.

Los resultados de este ensayo serán determinantes para establecer si es necesaria la incorporación de aditivos, o el recubrimiento con pinturas, para aumentar la resistencia a la intemperie de estos componentes. Así como también si el coeficiente K de la ventana implica un gasto mayor en energía de acondicionamiento climático del ambiente u otros gastos de mantenimiento de la unidad, que deberán ser incluidos en este análisis.



## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado un primer cálculo del consumo acumulado de energía de una ventana innovadora elaborada con plásticos reciclados, que brinda valores interesantes de conductividad térmica.

El Análisis de Ciclo de Vida limitado a la fase de fabricación (de la cuna a la puerta) arroja valores considerablemente inferiores a los de una ventana similar construida en madera. Debido a la no inclusión la etapa de Uso y mantenimiento, parecen valores muy prometedores, ya que se espera obtener mejores resultados en un futuro análisis, debido al bajo mantenimiento de los perfiles plásticos.

Tratándose de un prototipo, es esperable un amplio margen de mejora por economías de escala en caso de pasar a una etapa comercial. Aplicando también procesos productivos de mayor eficiencia en las etapas de mayor costo energético, molienda de los desechos y extrusión de piezas.

Por otra parte, ampliando los límites hasta incluir la fase de uso y la vida útil de ambas, las ventajas de una ventana de plástico que no requiere mantenimiento se harían evidentes.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arena, A. P. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida del Edificio y Sustentabilidad Ambiental de los Edificios. Experiencias en Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Argentina, 1–27.*
- Chandra, S., Aavik, J., & Berntsson, L. (1982). *Influence of polymer microparticles on freeze-thaw resistance of structural lightweight aggregate concrete. International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 4(2), 111–115. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(82\)90015-X](https://doi.org/10.1016/0262-5075(82)90015-X)*
- Itim, B., & Philip, M. (2015). *Effect of multiple extrusions and influence of PP contamination on the thermal characteristics of bottle grade recycled PET. Polymer Degradation and Stability, 117, 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.04.004>*
- Laria Gonzalez, J., Positieri, J. M., Gaggino, R., Kreiker, J., & Peisino, L. E. (2018). *Perfiles de plástico reciclado para aberturas. In U. Facultad de Arquitectura (Ed.), CRETA X (p. 11). La Plata.*
- Laria, J. G., Sulaiman, H., Gaggino, R., Kreiker, J., & Positieri, J. M. (2018). *Conductividad y transmitancia termica de perfiles para aberturas de plastico reciclado. In ASADES 2018 (p. 52).*
- Llorente Diaz, M. I. (2011). *Analisis del ciclo de vida de ventanas de madera. Universidad Politecnica de Madrid. Retrieved from [http://oa.upm.es/10912/1/Analisis del ciclo de vida de la ventana de madera](http://oa.upm.es/10912/1/Analisis%20del%20ciclo%20de%20vida%20de%20la%20ventana%20de%20madera)*
- Navarro, R., Ferrándiz, S., López, J., & Seguí, V. J. (2008). *The influence of polyethylene in the mechanical recycling of polyethylene terephthalate. Journal of Materials Processing Technology, 195(1–3), 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.04.126>*
- Shakouri, M., & Banihashemi, S. (2016). *Data in support of energy performance of double-glazed windows. Data in Brief, 7, 1139–1142. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2016.03.094>*
- Siddique, R., Khatib, J., & Kaur, I. (2008). *Use of recycled plastic in concrete: A review. Waste Management, 28(10), 1835–1852. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.011>*
- Weir, G., Muneer, T., Tobergte, D., & Curtis, S. (2016). *Energy and environmental impact analysis of double-glazed windows. Energy Conversion and Management, 39(s 3–4), 243–256. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(96\)00191-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(96)00191-4)*
- Won, J. P., Jang, C. II, Lee, S. W., Lee, S. J., & Kim, H. Y. (2010). *Long-term performance of recycled PET fibre-reinforced cement composites. Construction and Building Materials, 24(5), 660–665. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.11.003>*