

PLACAS AISLANTES DE EPS RECICLADO: FACTORES CRÍTICOS Y POTENCIALIDADES PARA LA VIABILIDAD PRODUCTIVA DE UN EMPRENDIMIENTO EN EL PARTIDO DE LA PLATA¹

RECYCLED EPS INSULATION PLATES: CRITICAL FACTORS AND POTENTIALITIES FOR THE PRODUCTIVE FEASIBILITY OF A VENTURE IN THE DISTRICT OF LA PLATA

PLACAS ISOLANTES DE EPS RECICLADO: FATORES POTENCIAIS E CRÍTICOS PARA A VIABILIDADE PRODUTIVA DE UM EMPREENDIMENTO NO DISTRITO DE LA PLATA

Laura Elena Reynoso

Diseñadora Industrial

Becaria doctoral, Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Buenos Aires, Argentina

<https://orcid.org/0000-0002-2450-0697>

lauereynoso@gmail.com

Graciela Melisa Viegas

Doctora en Ciencias- Área energías Renovables

Investigadora Adjunta, Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Buenos Aires, Argentina

<https://orcid.org/0000-0001-6248-4678>

gachiviegas@yahoo.com.ar

Gustavo Alberto San Juan

Doctor en Ciencias- Área energías Renovables

Investigador Principal, Director del Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Buenos Aires, Argentina

<https://orcid.org/0000-0001-8924-9918>

gustavosanjuan60@hotmail.com

1 Agradecimientos al proyecto de investigación código PICT 2019-04135 "Plan de mejoramiento integral de viviendas en sectores poblacionales en riesgo socio-territorial localizados en asentamientos informales del Partido de La Plata. Estrategias orientadas a la envolvente edilicia, el saneamiento y el acceso a la energía", financiado por la La Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnología (ANPCyT) Y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina

RESUMEN

Investigaciones previas han permitido desarrollar y caracterizar un material aislante a partir de descartes de poliestireno expandido (EPS) que puede utilizarse para la fabricación de placas, brindando oportunidades laborales a grupos sociales desocupados o vulnerables. Trabajando en articulación con una cooperativa de recicladores local, se determinaron los procesos productivos necesarios para su fabricación en una escala apta para su comercialización. El objetivo de esta investigación es analizar estos procesos productivos e identificar los aspectos críticos para la viabilidad de ejecución y gestión de esta tecnología. La metodología utilizada implica: i. la adecuación del producto; ii. la determinación de los insumos y recursos para su viabilidad; iii. la detección de los procesos productivos con mayor criticidad; y iv. la adecuación al caso particular de aplicación. Se obtiene un conjunto de requerimientos considerados mínimos para el desarrollo de un emprendimiento productivo. Además, se identifican en el contexto local los procesos de mayor criticidad, relativos a la separación y la obtención del EPS y su provisión continua en el tiempo. Los resultados condensan aportes para contribuir a la replicación y la sostenibilidad de esta experiencia.

Palabras clave

aislamiento térmico, materiales alternativos, ingeniería de la producción.

ABSTRACT

Previous research has allowed developing and characterizing an expanded polystyrene waste (EPS) based insulation material that can be used to manufacture plates, providing job opportunities to unemployed or vulnerable social groups. By working together with a local recycling cooperative, the production processes needed for their manufacture on a scale suitable for commercialization were determined. The goal of this research is to analyze these production processes and identify the critical aspects that make the technology's implementation and management viable. The methodology used involves i. the product's adaptation; ii. determining supplies and resources for its feasibility; iii. detecting the most critical production processes; and, iv. adapting to the particular case of application. A set of minimum requirements is obtained to develop a productive venture. In addition, the most critical processes related to the separation and obtaining of the EPS and its continuous supply over time, are identified. The results summarize contributions to replicate and make this experience sustainable.

Keywords

thermal insulation, alternative materials, production engineering

RESUMO

Pesquisas anteriores desta equipe permitiram desenvolver e caracterizar um material isolante a partir de poliestireno expandido (EPS) descartado que pode ser utilizado na fabricação de placas, oferecendo oportunidades de trabalho a grupos sociais desempregados ou vulneráveis. Trabalhando em coordenação com uma cooperativa local de recicladores, foram determinados os processos de produção necessários para sua fabricação em escala adequada para a comercialização. O objetivo desta pesquisa é analisar os processos produtivos envolvidos e os aspectos críticos que tornam viável a execução e gestão desta tecnologia. A metodologia utilizada implica: i. a adequação do produto; ii. a determinação dos insumos e recursos para sua viabilidade; iii. a detecção dos processos com maior criticidade; e iv. a adaptação ao caso particular de aplicação. Obtém-se um conjunto de requisitos considerados mínimos para o desenvolvimento de um empreendimento produtivo. Além disso, são identificados no contexto local os processos mais críticos relacionados à separação e obtenção do EPS e seu fornecimento contínuo ao longo do tempo. Os resultados condensam contribuições que têm por objetivo a replicação e sustentabilidade desta experiência.

Palavras-chave

isolamento térmico, materiais alternativos, engenharia de produção.

INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica, una de cada tres familias habita en viviendas inadecuadas, ya sea por su construcción con materiales precarios o por la falta de servicios básicos (Bouillon, 2012). En 2010, en Argentina, alrededor del 35 % de las viviendas se encontraban en condiciones recuperables con necesidades de mejora en cuanto a la calidad de sus materiales (INDEC, 2010). Es bien conocido que el uso de materiales inadecuados o insuficientes para el cerramiento y la aislación de la vivienda impacta en la habitabilidad y el confort térmico, así como también en el aprovechamiento y el uso racional de la energía (Abu-Jdayil, Mourad, Hittini, Hassan y Hameedi, 2019). Este problema es particularmente acentuado en los barrios populares² donde las viviendas suelen estar elaboradas con paredes de madera simple, con cubiertas de chapa (di Virgilio y Rodríguez, 2018). A nivel local, este déficit cualitativo de la vivienda se manifestó en el Consejo Social de la Universidad Nacional de La Plata³, espacio de articulación entre distintos sectores públicos y la comunidad para debatir y proponer respuestas a las principales problemáticas sociales de la región. El grupo de trabajo del cual deriva el presente artículo ha realizado aportes a esta problemática, uno de ellos referido al desarrollo de materiales de aislamiento térmico.

Los materiales utilizados para el aislamiento térmico se caracterizan por tener una baja conductividad térmica, coeficiente que expresa su habilidad para permitir el flujo de calor. Si bien los materiales tradicionales como las lanas minerales y los plásticos son eficientes en estos términos (Abu-Jdayil *et al.*, 2019; Aditya *et al.*, 2017), el uso de materiales alternativos de origen reciclado o natural han mostrado desempeños térmicos con potencialidad de aplicación en la vivienda (Durakovic, Yildiz y Yahia, 2020; Kumar, Alam, Zou, Sanjayan y Memon, 2020; Hasan, Khan, Akhtar y Kirmani, 2021; Zhao, Zheng, Tang, Sun y Wang, 2022; Meng, Ling y Mo, 2018; Li, Saberian y Nguyen, 2018; Flores-Alés, Jiménez-Bayarri y Pérez-Fargallo, 2018; Steyn, Babafemi, Fataar y Combrinck, 2020). Se destaca, en ese marco, el uso de fibras naturales, provenientes de subproductos de cosecha y el uso de materiales reciclados derivados

de productos industriales de gran demanda, tanto para su incorporación en morteros de cemento como para aplicaciones aislantes. En este sentido, el mencionado grupo de trabajo ha propuesto y caracterizado un material de aislamiento térmico alternativo a partir del reciclaje de los descartes de poliestireno expandido (EPS) que actualmente no tienen un destino post-consumo a nivel local (Viegas, Walsh y Barros, 2016; San Juan, Viegas y Jodra, 2018; Reynoso, Carrizo, Viegas y San Juan, 2021). Ante las necesidades expresadas por los grupos sociales involucrados en esta investigación, surgió la necesidad de buscar alternativas que añadieran valor a dicho residuo.

El poliestireno expandido es un material ampliamente utilizado como aislante y como embalaje para proteger productos frágiles. Se caracteriza por ser sumamente liviano, debido a su composición mayoritaria por aire y solamente un 2% de poliestireno. Debido a su bajo peso y gran volumen es un material poco rentable para su reciclaje, por lo que termina mayormente en el relleno sanitario (Marten y Hicks, 2018; Oliveira, Luna y Campos, 2019). En 2011, el consumo mundial de EPS fue de alrededor de 5.8 Mt (Jang, Shim, Han, Song y Hong, 2018). Según el Instituto Petroquímico Argentino, más de 25.000 toneladas de EPS se consumieron en 2018, lo que significa un consumo anual de alrededor de 570 gr/hab. en el país (IPA, 2018).

Para los recicladores, la venta del material en bruto no es una opción rentable, por lo que es necesario el procesamiento del material para su reinserción en el circuito de mercado y de uso. Desde esta perspectiva, se han podido identificar dos alternativas de procesamiento de poliestireno expandido de descarte en Argentina. Algunas cooperativas trituran los embalajes para su uso como relleno liviano para la construcción o como relleno de almohadones y artículos similares. Estas cooperativas desarrollan, en determinados casos, productos terminados como ladrillos o bloques para la construcción. En este punto, destacan en el país la ONG PuntoVerde y la cooperativa Reciclando Conciencia. Existen otras cooperativas o empresas que se ocupan de reducir el EPS a poliestireno y producen "terminados" a partir del material -útiles escolares, cubiertos, entre otros-, como la empresa Sirplast y la cooperativa Creando Conciencia. Sirplast recicla EPS a nivel industrial, habiendo recuperado en 2018 el 1.2% del total del EPS consumido ese año.

2 Barrios populares donde viven al menos 8 familias y más de la mitad de la población no tiene título de propiedad del suelo ni acceso regular a dos, o más, de los servicios básicos (agua corriente, energía eléctrica y/o red cloacal) (RENABAP, 2020).

3 El Consejo Social de la Universidad Nacional de La Plata está integrado por dependencias del Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, representantes de las cámaras legislativas, los municipios de la Región Capital, centrales sindicales, organizaciones territoriales, cooperativas, organismos de ciencia y tecnología y diferentes actores de la comunidad universitaria. Entre sus objetivos, se propone reunir a todos los actores de la región para analizar las principales problemáticas socio-económicas, políticas, culturales, y ambientales, y discutir conjuntamente posibles estrategias de abordaje mediante políticas locales y nacionales.

Estas cifras exponen lo que se evidencia también en las propias calles, es decir, la gran disponibilidad del material y su potencialidad para proyectos que impliquen su reutilización.

Distintas investigaciones han evaluado el uso del EPS triturado o reciclado mecánicamente en mezclas para la construcción. Algunos estudios proponen su uso como agregado liviano en mezclas de concreto, para el desarrollo de paneles portantes o de cerramiento (Fernando, Jayasinghe y Jayasinghe, 2017; Dissanayake, Jayasinghe y Jayasinghe, 2017; Dixit, Dai Pang, Kang y Moon, 2019; Maaroufi, Belarbi, Abahri y Benmahiddine, 2021). También se han analizado mezclas sugeridas para su uso en morteros, rellenos aislantes o paneles de aislamiento (Laukaitis, Žurauskas y Kerien, 2005; Madariaga y Macia, 2008; Aciu, Manea, Molnar y Jumate, 2015). El material desarrollado, fruto de la investigación de este grupo de trabajo, se distingue por emplear materiales y métodos sencillos para su fabricación, lo que permite dar respuesta a una necesidad concreta de sectores de la economía social y desarrollar un producto evaluado técnicamente mediante distintos ensayos estandarizados. El proyecto en cuestión fue seleccionado en el año 2020 por la Fundación INVAP, por su impacto económico, social y ambiental, en la elaboración de respuestas que acerquen la ciencia y la tecnología a las necesidades reales de la población. La mezcla desarrollada y caracterizada utiliza el EPS triturado en tamaños entre 4 y 10 mm que se aglutinan con una mezcla cementicia (San Juan *et al.*, 2018). El aislante se caracteriza por tener una conductividad térmica de entre 0.0603 y 0.0706 W/ m·K, no presentar riesgos en la propagación de una pequeña llama, resistir el sobrecalentamiento eléctrico a altas temperaturas y poder almacenarse al aire libre sin producir grandes cambios en su capacidad aislante. Además, puede cortarse fácilmente para adaptarse a las superficies a aislar y sus propiedades mecánicas son apropiadas para el desarrollo de aplicaciones que no soportan cargas (Reynoso *et al.*, 2021).

Lo anterior determina la viabilidad del material para la realización de placas de aislamiento de paredes y cavidades interiores aplicables a la vivienda. Los procesos involucrados en la fabricación del material hacen factible tanto su autoproducción como su producción en una escala mayor para su comercialización. Este desarrollo se funda sobre el concepto de economía social y solidaria, que busca conformar sociedades aglutinadas y guiadas por el cuidado del ambiente y la generación de empleos dignos (Coraggio, 2009). Asimismo, el proyecto involucra la reintroducción de los descartes de EPS en las etapas de uso, que busca evitar la generación de nueva materia prima para este fin y potenciar la generación de empleo nuevo a partir de su reutilización. Estas lógicas difieren de la economía lineal basada en el principio de "tomar-hacer-desperdiciar", y se vinculan con la economía circular. La economía circular considera cada etapa del ciclo de vida del producto, antes y después de que llega al consumidor

y privilegia la restauración antes que la caducidad de los productos y materiales (Buren, Demmers, Van der Heijden y Witlox, 2016; Kirchherr, Reike y Hekkert, 2017).

Para llevar adelante una experiencia productiva de mayor escala, la investigación ha requerido un trabajo articulado con la cooperativa de recicladores Sol- Plat, ubicada en el partido de La Plata. La tarea de la cooperativa se enmarca en el programa de gobierno local de gestión de la recolección diferenciada por tipo de residuos. La gestión de los residuos sólidos urbanos generados es un problema ambiental prioritario a nivel global. En el ámbito local, el problema afecta principalmente a los barrios o asentamientos populares, en su mayoría desprovistos de infraestructura óptima para la recolección de residuos, entre otros aspectos clave para una correcta habitabilidad (Esparza, 2021). En este contexto, la cooperativa se dedica a la clasificación y venta de los residuos secos de la bolsa verde separada en origen y provista por el gobierno local. Los materiales que clasifican son: plásticos (PET, PE-LD y PE-HD, PS), materiales celulósicos (papel y cartón), tetrabrick, vidrio, aluminio, metales ferrosos, entre otros. Las instalaciones se componen de dos espacios productivos de 600 m², en uno de los cuales los descartes que ingresan se clasifican en *big bags*. En el segundo espacio productivo, los descartes se compactan mediante una máquina hidráulica, así como también se almacenan parte de los materiales clasificados.

La experiencia de trabajo en la cooperativa supuso la transición de los ensayos en laboratorio y la producción de muestras únicas, a una dimensión más concreta: pensar en cuáles son los ajustes que necesita el producto, cuáles son los procesos involucrados y qué requerimientos se requieren para la conformación de un emprendimiento de producción a escala. En este marco, los antecedentes de la investigación refieren mayormente a análisis cuantitativos de los productos y/o mezclas con EPS triturado, pero escasas investigaciones abordan el estudio de los procesos productivos involucrados para desarrollar una producción a mayor escala. Se detecta, así, la necesidad de abordar no sólo los aspectos técnicos del diseño de nuevos materiales, sino también los factores socio-productivos que pueden otorgarle éxito o fracaso a este tipo de estudios. Concretamente, la investigación que aquí se expone propone determinar, describir y analizar, a partir de la definición del producto, los procesos productivos involucrados en su fabricación, como también identificar los aspectos críticos en términos de viabilidad productiva y de gestión de esta tecnología en una escala apta para su comercialización. Se busca condensar los conocimientos generados desde la experiencia a nivel local, para que puedan servir de base para su replicación en otros contextos. El aporte radica en el esfuerzo de hacer viable un emprendimiento con base en investigación científico-tecnológica, de impacto social, ambiental y económico, en co-construcción con los actores sociales involucrados. La hipótesis postula que el análisis de los procesos productivos permite abordar

soluciones viables que respondan a las necesidades de un sector social con carencias estructurales en cuanto a las condiciones habitacionales y a la generación de trabajo genuino.

METODOLOGÍA

Este trabajo busca articular la tecnología, entendida como producto y como conocimientos involucrados (Thomas, Juárez y Picabea, 2015), y la sociedad, para la generación de empleo para sectores sociales vulnerables o desocupados. Se plantea desde los postulados de la investigación acción participativa, involucrando distintos actores de la economía popular (de Sousa Santos, 2012). Específicamente, se involucra a integrantes de la cooperativa de recicladores Sol-Plat para colaborar, con el grupo de investigación responsable, en el desarrollo de un emprendimiento productivo basado en la producción de placas de aislamiento térmico alternativo. Las tareas realizadas por la cooperativa comprenden, en su mayor parte, la clasificación y la transformación de los materiales para el acopio y la venta de la materia prima. Esta propuesta de emprendimiento se orienta a la fabricación de productos de uso final, abarcando los eslabones finales de la cadena de valor de los residuos, para valorizar los residuos en bruto del EPS (Caló, 2009). Se apunta a fortalecer las capacidades de auto-gestión y co-gestión de los grupos organizados para mejorar sus condiciones económicas y, al mismo tiempo, promover mejoras en el medio ambiente y el hábitat (Enet, Romero y Olivera, 2008).

De acuerdo con las especificaciones técnicas mínimas requeridas para las placas aislantes y en función de la reducción de los costos directos de fabricación, se diseñó el diagrama de flujo del proceso productivo presentado en la Figura 1. Diseñar los procesos implica decidir el modo en que los recursos se transforman en bienes y servicios (Carro Paz y González Gómez, 2013), para lo cual se tienen en cuenta los materiales de entrada, la secuencia de operaciones y su conexión, los métodos y tiempos de trabajo, así como la calidad del producto a obtener.

El proceso comienza fuera de la instalación productiva, con la separación de los descartes de poliestireno expandido. Como vías de separación y acopio se consideran: a. la bolsa verde de recolección domiciliaria; b. los puntos limpios; y c. los grandes generadores del residuo. En la instalación productiva, los procesos iniciales corresponden a la recepción u obtención de las materias primas, esto es, el cemento y los embalajes de EPS en bruto. En caso de ser necesario, se realiza el acondicionamiento de los descartes de EPS, retirando etiquetas o cintas. Posteriormente, los embalajes se pre-trituran en trozos para facilitar su procesamiento en las etapas siguientes. A continuación, se realiza el triturado fino mediante maquinaria de molienda para

obtener una combinación de gránulos entre 4 y 10 mm. Una vez lista la materia prima reciclada, se elabora la mezcla que permitirá el moldeo de las placas. La mezcla aglutinante se compone de cemento y agua, los que se disponen inicialmente, para luego añadir gradualmente el EPS molido. Una vez conseguida una mezcla uniforme, se lleva a cabo la colada en los moldes previamente preparados con dimensiones, que pueden ser de 1 m x 0.50 cm x 0.07 cm, u otras medidas, según el proyecto. La mezcla en húmedo se comprime y se almacena para su secado a temperatura ambiente en un tiempo estimado entre 7 y 10 días. Transcurrido ese periodo, se retiran los moldes y, si las placas no tienen roturas o desperfectos superficiales, se identifican según su lote de producción y se acopian en pallets. En función de los pedidos particulares, se preparan las placas y se realiza su corte en tamaños especiales para su distribución.

La metodología de esta investigación se organiza en las siguientes etapas:

1. Adecuación del producto. A partir del material aislante desarrollado y caracterizado por el grupo de trabajo (Reynoso et al., 2021), se realizan ajustes para su producción en escala y comercialización, analizando los siguientes aspectos:

- a. Los costos directos del producto (C_{dir}) por metro cuadrado que se calculan considerando: los costos derivados del traslado del EPS en bruto necesario durante un mes, desde su origen hasta la instalación productiva; el costo de las materias primas comerciales involucradas y consumidas durante un mes; la mano de obra requerida para la fabricación del producto; y los metros cuadrados de placas aislantes producidas mensualmente (ecuación 1).

$$C_{dir} = \frac{\text{Traslado EPS} + \text{Materias primas comerciales} + \text{Mano de obra}}{\text{Metros cuadrados de material aislante/mes}} \quad (1)$$

- b. Los requerimientos técnicos exigidos, acordes con las especificaciones deseables en aplicaciones de aislamiento térmico.

2. Determinación de los insumos y recursos para la viabilidad de los procesos productivos. En esta etapa se analizan las maquinarias, las herramientas y los servicios pensados para dos casos posibles de disponibilidad del EPS en el contexto donde se inserta la experiencia. Los insumos y recursos planteados tienen estrecha relación con la diagramación de los tiempos de producción y con la mano de obra disponible.

3. Identificación de los procesos más críticos. Esto implica jerarquizar dichos procesos para establecer prioridades en la toma de decisiones (Mendoza, 2000). Se analiza cada uno de ellos a partir de las siguientes variables:

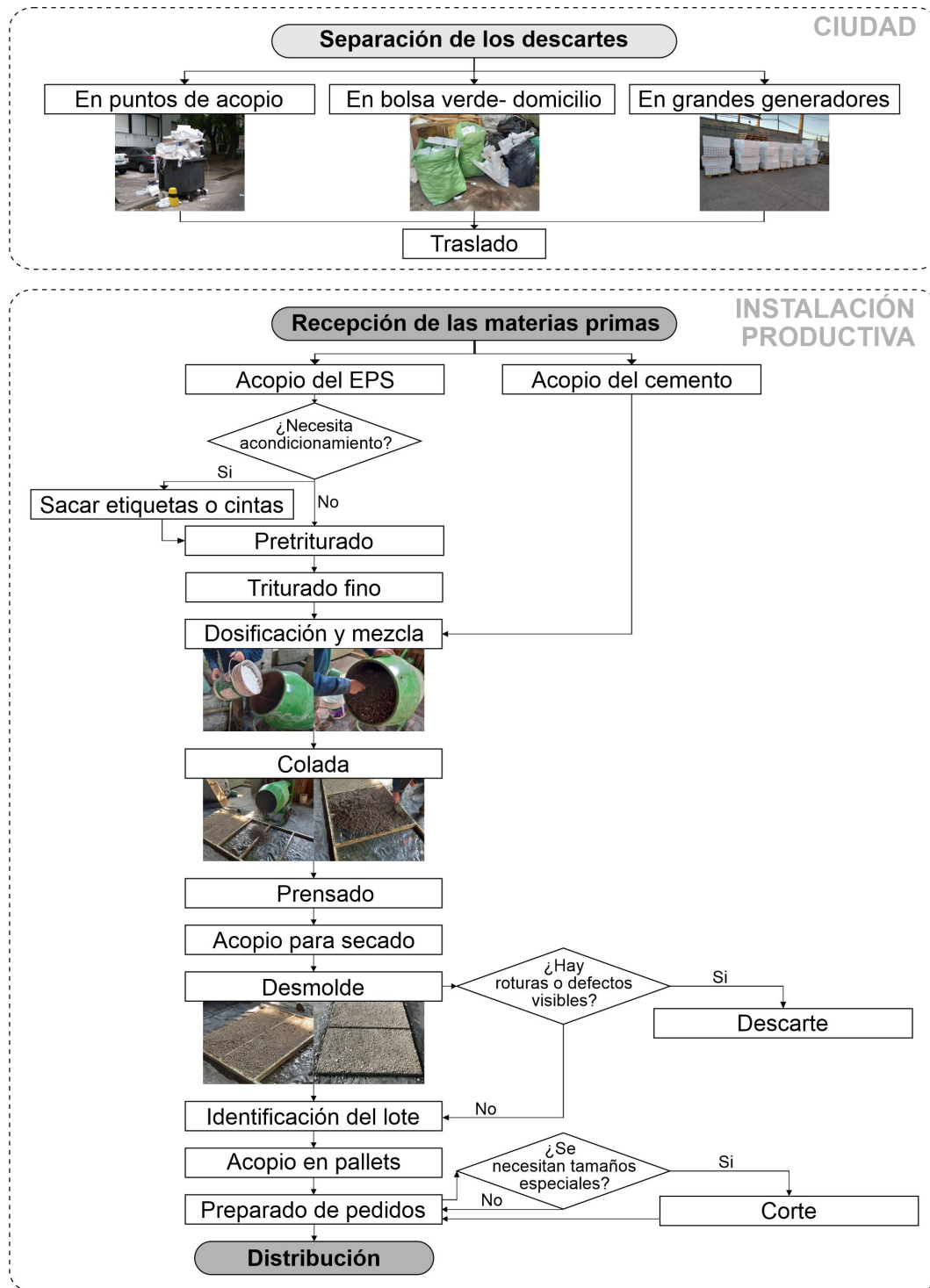


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de producción de las placas de aislamiento térmico alternativo. Fuente: Elaboración de los autores.

- Dependencia en relación a las características técnicas de los productos finales: Evalúa en qué grado el proceso está vinculado con las características finales del producto resultante, acordes con los requerimientos del mercado.
- Dependencia respecto a factores externos: Evalúa en qué grado los responsables de llevar adelante el proceso son actores externos al propio emprendimiento.
- Probabilidad de retrasos, por demoras o fallas: Evalúa en qué grado es posible la ocurrencia de retrasos, considerando diversos motivos (fallos en las máquinas, demoras en las entregas por parte de terceros, retrasos por errores humanos, entre otros).
- Impacto de los retrasos en los procesos posteriores: Evalúa el grado en que los retrasos pueden afectar la continuidad de la cadena productiva y la materialización del producto, en función de las características técnicas esperadas.

| | Nivel alto | Nivel medio | Nivel bajo |
|---|---|---|---|
| Dependencia con las características técnicas del producto final | El proceso y su adecuada realización tienen relación directa con la obtención de las características técnicas apropiadas del producto para su comercialización. | El proceso y su adecuada realización afectan en cierto grado a la obtención de las características técnicas apropiadas del producto para su comercialización. | El proceso y su adecuada realización no interfieren en la obtención de las características técnicas apropiadas del producto para su comercialización. |
| Dependencia de factores externos | El proceso depende en su totalidad de terceros y de actividades de gestión y vinculación, para su concreción. | El proceso depende tanto de terceros como del equipo de trabajo para su concreción. | La realización del proceso depende exclusivamente del equipo de trabajo. |
| Probabilidad de retrasos, demoras o fallas | El proceso presenta retrasos o demoras regularmente. | El proceso puede presentar retrasos o demoras ocasionalmente. | El proceso puede presentar retrasos o demoras excepcionalmente. |
| Impacto de las demoras o fallas | Las demoras o fallas del proceso impiden la continuidad de la cadena productiva y/o afectan regularmente a las características técnicas del producto final. | Las demoras o fallas del proceso afectan ciertos procesos de la cadena productiva y/o afectan ocasionalmente a las características técnicas del producto. | Las demoras o fallas no afectan la continuidad de la cadena productiva y/o excepcionalmente afectan a las características técnicas del producto. |

Tabla 1. Variables empleadas para el análisis del nivel de criticidad de los procesos. Fuente: Elaboración de los autores.

Cada una de estas variables se clasificó para cada proceso productivo en: nivel alto, nivel medio y nivel bajo, según lo descrito en la Tabla 1. Tomando los niveles más frecuentes obtenidos en las cuatro variables, se determinó el nivel de criticidad resultante del proceso.

4. Adecuación al caso particular de aplicación. Se describe aquí la experiencia iniciada a nivel local, su punto de partida, así como los requerimientos para avanzar en su desarrollo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ADECUACIÓN DEL PRODUCTO

En articulación con la cooperativa de recicladores local, se trabajó para adecuar el material anteriormente desarrollado hacia la conformación de un producto con viabilidad de producción en escala. Dicho material mostró, en investigaciones previas, buenos desempeños en términos de aislamiento: una conductividad térmica de entre 0.0603 y 0.0706 W/m·K, medida en base a la norma ISO 8990 (Reynoso *et al.*, 2021). Adicionalmente, evidenció la capacidad de conservar estas propiedades aislantes luego de almacenarse al exterior. En cuanto a su combustibilidad, los ensayos realizados a partir de la norma ISO 11925-2 revelaron que el cemento actúa como retardador de llama, haciendo que el material no genere riesgos ante la propagación de una pequeña llama. Así también, los ensayos de inflamabilidad con hilo caliente, en función de la norma IEC 60695-2-11, mostraron que el material podría resistir sobrecalentamientos de hasta

960°C sin generar riesgos. Se determinó, de igual forma, el comportamiento de las muestras ante ensayos de compresión y flexión siguiendo los lineamientos de las normas ISO 844 e ISO 1209-1, respectivamente. En este sentido, el material resultó adecuado para aplicaciones que no soportan cargas según los requerimientos mínimos definidos por la norma ISO 4898. Por último, se determinó que el material puede ser fácilmente cortado mediante máquinas y herramientas para adaptarse a las superficies a aislar. Esta caracterización del material (Figura 2 punto a) definió la viabilidad del material para la producción de placas aislantes.

Teniendo en cuenta las variables de costo y los requerimientos técnicos, se realizaron ciertos cambios en la composición del material previamente descrito y en los procesos involucrados para su fabricación, dado que:

- El análisis de costos directos mostró que el aditivo vinílico utilizado en el aglutinante consumía alrededor del 35% de los costos de fabricación. En consecuencia, se advirtió la necesidad de sustituir o eliminar este componente para reducir el costo total del producto.
- Las placas fabricadas en tamaños de 0.5 x 1 x 0.05 m presentaban cierta fragilidad durante su manipulación, por lo que se requería incrementar la resistencia mecánica del producto.

En las pruebas para mejorar la resistencia mecánica de las placas finales, se apuntó a incorporar luego de la colada, el proceso de compresión de la mezcla. En conjunto con integrantes de la cooperativa Sol-Plat, se logró

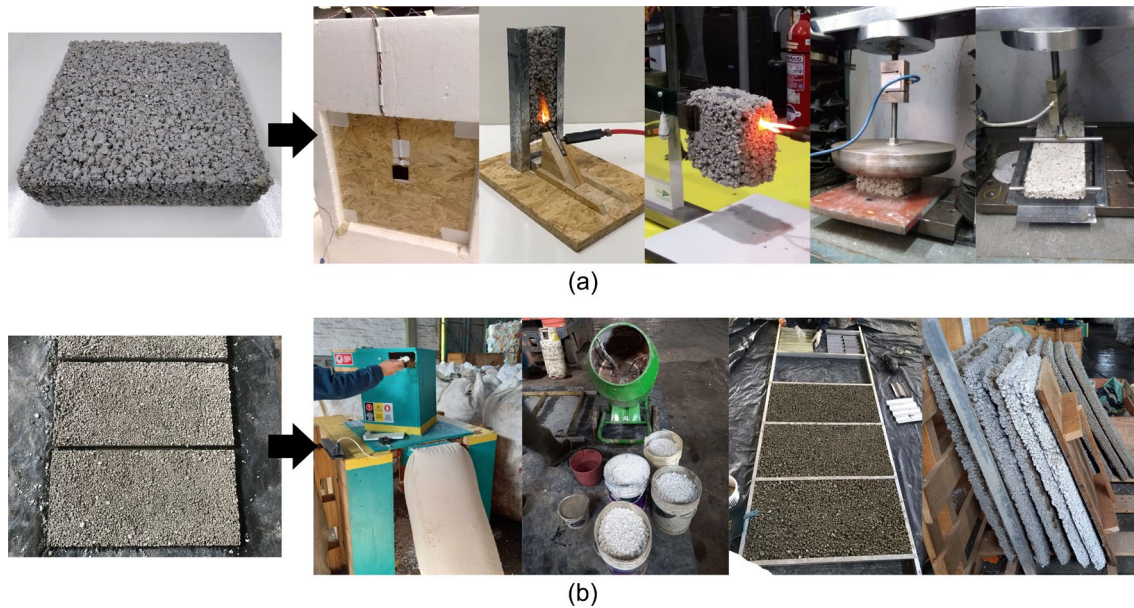


Figura 2. Desarrollos y actividades realizadas en el laboratorio y en la cooperativa: (a) Material aislante y ensayos técnicos basados en normativas internacionales; (b) Producto placa aislante y procesos productivos en mayor escala. Fuente: Elaboración de los autores.

| Procesos | Maquinarias/ Herramientas | Servicios |
|---|--|----------------------|
| Transporte/recepción de las materias primas | Transporte liviano (propio o tercerizado) | - |
| Acopio EPS | Elevador manual o hidráulica | - |
| Acopio cemento | Elevador manual o hidráulica | - |
| Acondicionamiento y pretriturado EPS | Cortador de hilo caliente o segelín múltiple | Electricidad |
| Triturado fino EPS | Máquina trituradora: modelo auto-construido (200 kg), o molino comercial (1000 kg) Big bags | Electricidad |
| Dosificación de componentes y mezcla | Hormigonera eléctrica 120 l (200 kg) y 400 o 600 l (1000 kg) Molde Polietileno Baldes | Agua Electricidad |
| Colada | Cuchara plana de albañil | Agua |
| Prensado | Prensa hidráulica | - |
| Acopio para secado | Estanterías | - |
| Acopio en pallets | Pallets Elevador manual o hidráulica | - |
| Preparación de pedidos | Elevador manual o hidráulica Sierra circular | Electricidad |
| Distribución | Transporte liviano (propio o tercerizado) | - |

Tabla 2. Maquinarias/herramientas y servicios necesarias para procesar 200 kg y 1000 kg de EPS en bruto al mes. Fuente: Elaboración de los autores.

determinar que una compactación del material con un peso mayor a 100 kg incrementa su resistencia, mientras que se utiliza como material aglutinante únicamente cemento y agua. Se evaluaron, asimismo, distintos grados de compresión, obteniendo que la relación de compresión (R_c) necesaria debía ser de entre 1.3 y 1.5. Se entiende por al cociente entre el volumen final y el volumen inicial que ocupa el material en el molde. Como resultado se obtuvieron placas aislantes (Figura 2 punto b) que consideran aspectos relevantes para su inserción

en el mercado actual, que tienen una adecuada aislación térmica, un apropiado comportamiento ante el fuego y un desempeño mejorado en términos de resistencia mecánica.

DETERMINACIÓN DE LOS INSUMOS Y RECURSOS PARA LA VIABILIDAD PRODUCTIVA

Los insumos y recursos necesarios se describen en base a dos casos posibles de disponibilidad del EPS en el

| Procesos | MES | | | | PERSONAS | |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|---------------|----------------|
| | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | (a) 200 kg | (b) 1000 kg |
| TRITURADO GRUESO | → | | | | 2 | 6 |
| TRITURADO FINO | → | | | | 2 | 6 |
| MEZCLADO Y COLADA | | → | | | 2 | 3 / 4 |
| ACOMODADO Y PRENSADO | | → | | | 2 | 8 / 9 |
| DESMOLDE Y PALLETIZADO | | | | → | 2 | 8 / 9 |

Figura 3. Diagrama de distribución de los procesos productivos durante un mes. Cantidad de personas encargadas en cada proceso para el caso 1 (a) y el caso 2 (b). Fuente: Elaboración de los autores.

contexto donde se inserta la experiencia. El primero (caso 1) se plantea en función del ingreso de 200 kg de EPS bruto al mes, considerando procesos de menor escala o automatización. El segundo (caso 2), en función del procesamiento de 1000 kg de EPS bruto al mes. Es importante considerar que las maquinarias y las herramientas descritas en cada caso, podrán variar de acuerdo a las posibilidades de inversión y a las potenciales demandas de las placas finales. En la Tabla 2 se presentan las maquinarias, las herramientas y los servicios que se requieren para el procesamiento de la materia prima, identificando modificaciones puntuales dadas por el volumen de EPS disponible mensualmente.

Como resultado del caso 1, se destaca que para esa cantidad de descartes es posible producir aproximadamente 200 m² de placas de 5 cm de espesor y que se requerirían alrededor de 1300 kg de cemento. En relación a las máquinas de trituración, se puede utilizar un modelo autoconstruido de bajo costo, propuesto por la ONG Punto Verde de Tandil (2018), Argentina. Bajo esta modalidad de molienda, se generan 120 l en aproximadamente 20 minutos. Para incrementar el volumen de trituración se puede considerar multiplicar las máquinas autoconstruidas con una baja inversión. En cuanto a la maquinaria de mezclado, se pueden emplear mezcladoras eléctricas de 120 l, que tienen capacidad para mezclar el material aislante necesario para producir un metro cuadrado de placas de 5 cm de espesor por ciclo. Referente a la mano de obra, se requieren como mínimo 4 personas dedicadas a la producción.

Para el caso 2, en función de la disponibilidad de 1000 kg de EPS bruto al mes, se producirían alrededor de 1000 m² de placas de 5 cm de espesor y se requerirían alrededor de 6500 kg de cemento. Estos volúmenes conllevan la necesidad de utilizar para la trituración molinos industriales, e incorporar mezcladoras hormigoneras de 400 o 600 l. En este sentido, se observa que existen opciones comerciales de maquinarias que permiten incrementar el volumen de mezcla con una inversión moderada, en tanto la incorporación de molinos industriales para el triturado, demanda una mayor inversión. Sin embargo, incrementar la capacidad productiva significa también reducir los

tiempos de ejecución y la mano de obra necesaria. Para la producción se estima que serían necesarias 12 personas, entre 3 y 4 personas para realizar la mezcla y la dosificación y entre 8 y 9 personas para realizar el colado en moldes y el prensado.

En ambos casos se requiere adicionalmente de una prensa hidráulica, diseñada para comprimir la mezcla en húmedo de manera uniforme. También se precisa de un cortador de hilo caliente múltiple, para fragmentar los descartes en bruto, y de una sierra circular de banco para cortar las placas, de acuerdo a las demandas específicas.

Respecto a la distribución en el tiempo de las actividades de producción, en ambos casos se plantean de forma que el proceso de molienda del EPS y la producción de placas se desarrollen de manera no simultánea. Esto es, de los 20 días hábiles considerados en un mes, se estima que la molienda del EPS se desarrolle durante los 5 días iniciales del mes y en los 15 días restantes se realice el armado de las placas, que incluye los procesos de mezclado, colada, prensado y acopio. Las placas se desmoldan aproximadamente 10 días después de realizada la colada. En la Figura 3 se presenta el diagrama de la distribución de los procesos en un mes, asignando una cantidad de personas encargadas para cada proceso y considerando necesarias en total 4 personas para el caso 1 y 12 personas para el caso 2.

DETECCIÓN DE LOS PROCESOS DE MAYOR CRITICIDAD

El nivel de criticidad de cada proceso se analizó según las siguientes variables: (a) dependencia con las características técnicas de las placas finales; (b) dependencia respecto a factores externos; (c) probabilidad de ocurrir retrasos, por demoras o fallas; y (d) impacto de estos retrasos en los procesos posteriores. La Figura 4 resume los resultados de cada proceso y su correspondiente nivel de criticidad.

El análisis expone que los procesos de mayor criticidad son la separación de los descartes de EPS en la ciudad y la obtención o recepción de la materia prima. Ambos

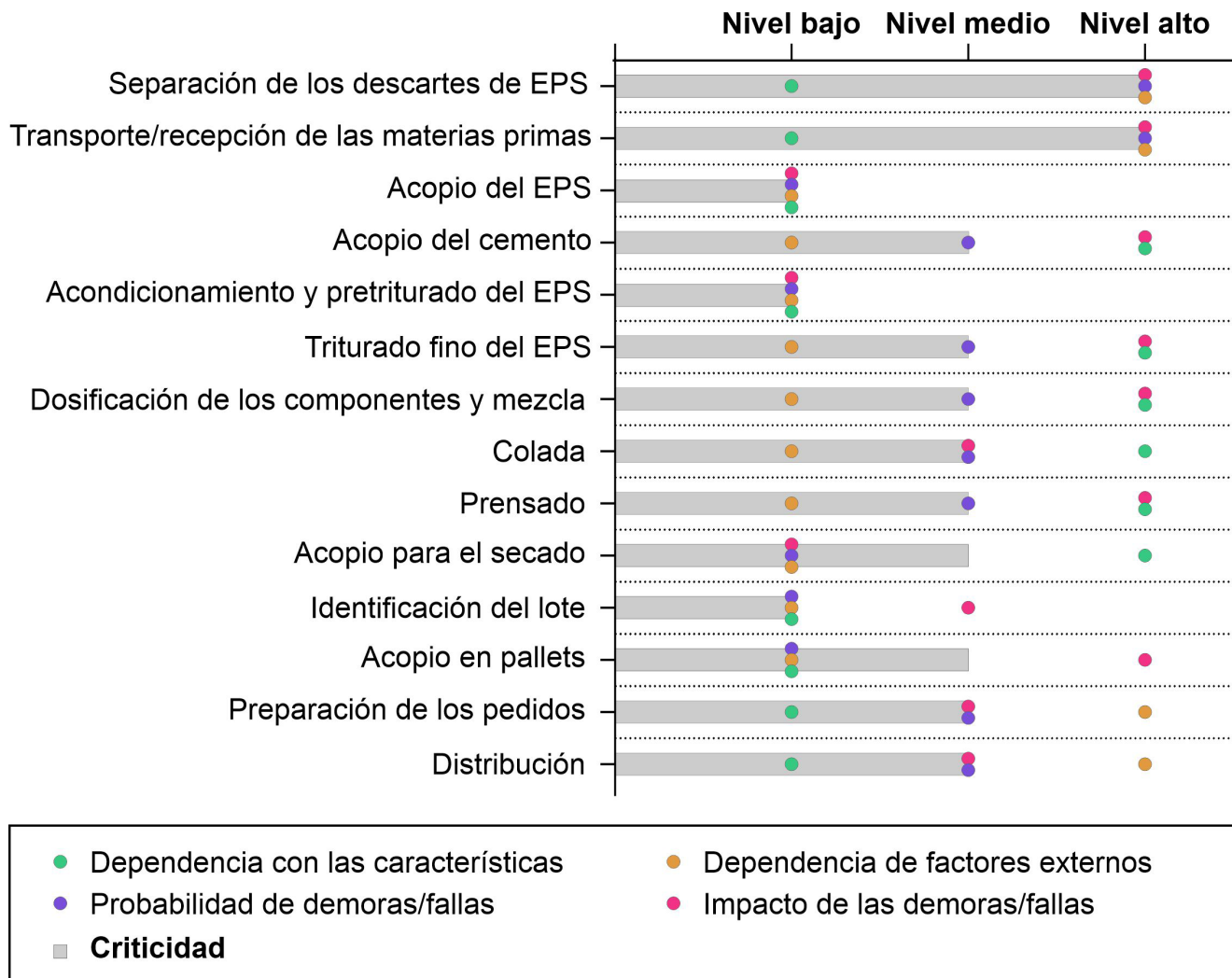


Figura 4. Nivel de criticidad de los procesos involucrados en la fabricación de las placas de aislamiento térmico alternativo. Fuente: Elaboración de los autores.

procesos pueden ser afectados por factores externos y dependen en gran medida de la gestión necesaria para llevarlos adelante. La separación del EPS, en el caso de efectuarse desde la recolección en la bolsa verde, requiere de la gestión con el gobierno de la ciudad en análisis. Para la instalación de puntos limpios es fundamental la vinculación con instituciones privadas o públicas. Es posible que la obtención de la materia prima mediante las dos modalidades anteriores, requiera un proceso de clasificación para separar los materiales que no correspondan al de interés. La tercera de las opciones de obtención del EPS es el contacto con grandes generadores del residuo, provenientes de la industria farmacéutica, de laboratorios, de la industria de electrodomésticos, entre otros. Esta última vía simplifica esfuerzos, permitiendo obtener un gran volumen de materia prima limpia en un sólo transporte.

Los procesos de criticidad media son: el acopio del cemento; el triturado fino del EPS; la dosificación de componentes y su mezcla; la colada; el prensado; el acopio para el secado; el acopio en pallets; la

preparación de pedidos; y la distribución de las placas. Estos procesos pueden dar lugar a demoras capaces de interrumpir procesos posteriores o generar la producción de placas finales que no cumplen las especificaciones requeridas. Por ello, el cemento para el aglutinante debe ser almacenado adecuadamente en el interior para asegurar su durabilidad, así como la calidad de las placas resultantes. Otro aspecto importante es el tamaño de triturado fino del EPS empleado, que determina las características técnicas de las placas. Es fundamental controlar regularmente la granulometría de salida de las máquinas trituradoras empleadas, en especial si se utilizan modelos autoconstruidos. Respecto a la dosificación de los componentes del material y su mezcla, se deben pesar o medir los componentes, los cuales se colocan en orden: agua, cemento y muy gradualmente los granos de EPS. Es preciso que la mezcla se efectúe de manera adecuada para que cada uno de los granos quede cubierto completamente por el aglutinante y se asegure la correcta cohesión y resistencia final. En la colada se debe tener en cuenta que el volumen dispuesto en cada uno de los moldes sea constante. Además, se debe

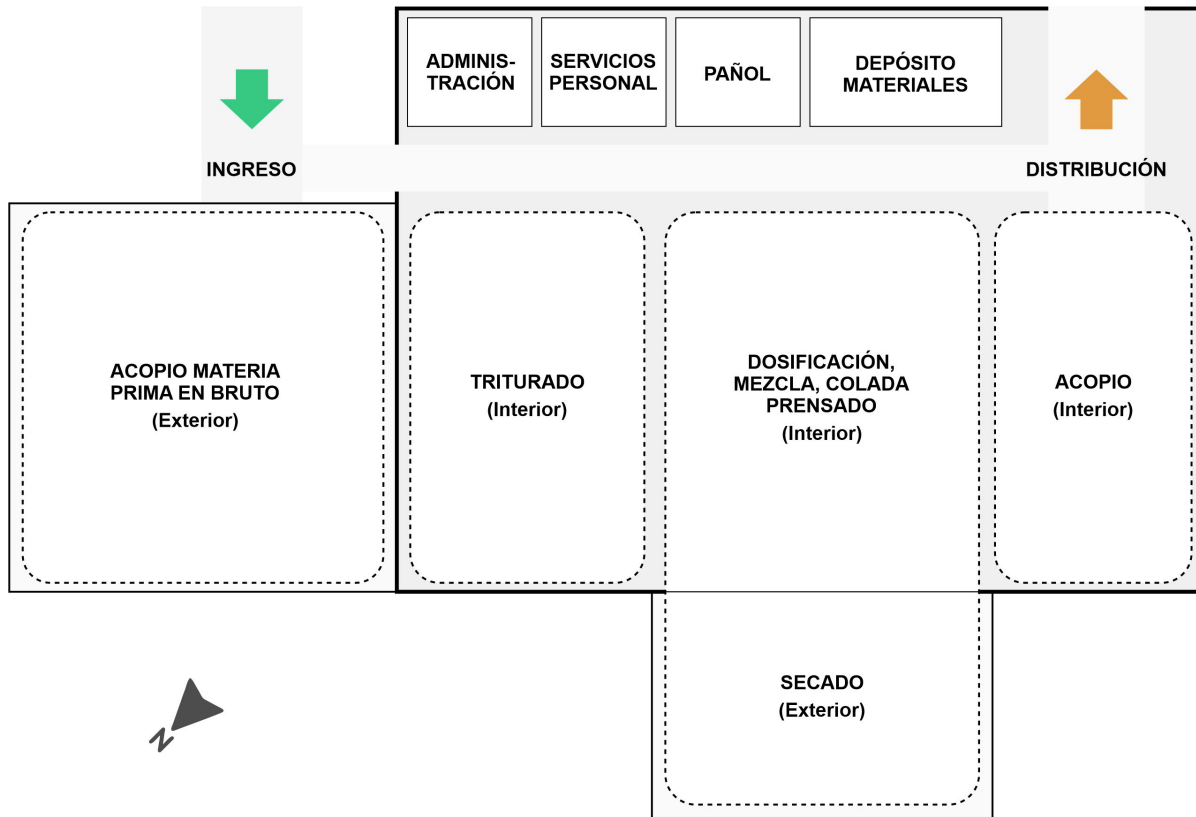


Figura 5. Esquema organizacional de la instalación productiva. Fuente: Elaboración de los autores.

aplicar desmoldante (aceite reutilizado) sobre los moldes, confeccionados en perfilera, que se disponen sobre un film plástico. Las placas se terminan de conformar con el prensado en húmedo; aspecto en el que es muy importante que la relación de compresión (volumen final / volumen inicial) sea la indicada y se mantenga constante. El acopio de las placas para su secado, así como su disposición en pallets, también requieren especial atención. Las placas se deben colocar en posición horizontal y es recomendable evitar grandes apilamientos. Por último, la preparación de los pedidos y su distribución implican la adaptación según cada encargo y su acopio, que deben realizarse apropiadamente para garantizar que las placas lleguen en el mejor estado al usuario final.

Los procesos de menor criticidad son el almacenamiento de los descartes de EPS en bruto, su acondicionamiento y pretriturado, y la identificación de los lotes. En efecto, si estos procedimientos se ven retrasados o no son realizados adecuadamente, se advierten impactos muy bajos o nulos sobre el proceso y producto final.

ADECUACIÓN AL CASO PARTICULAR DE APLICACIÓN

A nivel local, el emprendimiento se ha puesto en marcha en la cooperativa de recicladores Sol-Plat localizada en la ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina. La actividad de producción de las placas se inserta en uno de los espacios productivos de la cooperativa, donde

se realiza también la compactación de los descartes. A fines de 2020 se inició la diagramación de la producción disponiendo de: a) una máquina trituradora de bajo costo, que replica el modelo difundido por la ONG Punto Verde de Tandil; b) un sistema de moldes de aluminio de 1 m x 0.5 m x 0.05 m fabricados en serie; c) una hormigonera eléctrica de 120 l; y d) el EPS en bruto, que proviene de un laboratorio ubicado en el partido de Gran Buenos Aires, gran generador del residuo, y que provee mensualmente alrededor de 270 kg de descartes. En la actualidad no se cuenta con fuerza de trabajo que esté dedicándose exclusiva y sostenidamente a las tareas productivas, sobre todo porque los ingresos de los miembros de la cooperativa dependen de la venta de los descartes que tradicionalmente se vienen procesando. Es por esto que los avances en las tareas de ejecución son paulatinos, tanto por el grupo investigador como por el grupo de la cooperativa. Este es un factor clave en la gestión del emprendimiento, debido a que los miembros de la cooperativa son actores sociales en estado de vulnerabilidad y que requieren de apoyo estatal. Debido a las características del proceso productivo, se considera la potencialidad de que el emprendimiento pueda ser desarrollado por grupos organizados de mujeres, con lo cual generar emprendimientos con perspectiva de género.

Hasta el momento, se ha podido iniciar la producción de placas a baja escala, determinando un producto mínimo viable, y se ha comenzado a triturar la materia prima

que ha sido recibida en diversas ocasiones, proveniente del gran generador. En función de la materia prima en bruto obtenida hasta el momento y de las posibilidades de inversión actuales, se definió que para continuar con el desarrollo del emprendimiento se requiere: i) la participación de 4 personas responsables de las tareas productivas; ii) el uso de 2 máquinas trituradoras de bajo costo; y iii) el uso de una prensa para la compresión de las mezclas. Bajo estas condiciones se estima que se producirán 270 m² de placas al mes, considerando la distribución de tareas y el diagrama de la instalación productiva que se presenta en la Figura 5. En el diagrama se incluye la realización de ciertas actividades en el interior y exterior de las instalaciones, para maximizar el aprovechamiento de los espacios.

CONCLUSIÓN

Esta investigación presenta un aporte original en cuanto al estudio analítico de los procesos productivos, los factores críticos y las relaciones entre actores necesarios para la generación de un emprendimiento productivo surgido de un desarrollo tecnológico científico-técnico con impacto social y ambiental en una localidad de Argentina. Se han expuesto los resultados en relación a la adecuación del producto para su producción en escala y las actividades y procesos requeridos para la conformación de un emprendimiento basado en la fabricación de placas de aislamiento térmico alternativo. El diseño de los procesos productivos fue resultado del método de investigación acción participativa que involucró a integrantes de una cooperativa de recicladores local. En el intercambio se generaron mejoras y aportes en el producto desarrollado y, por ende, en el proceso productivo. El desarrollo de esta investigación en articulación con los actores locales permitió llegar a las conclusiones que a continuación se exponen.

En primer lugar, se logró realizar las adecuaciones del producto para su fabricación en escala y comercialización considerando aspectos, económicos, técnicos y tecnológicos. Esto supuso hacer modificaciones en el material desarrollado previamente, sustituyendo componentes empleados y modificando procesos productivos para mejorar las prestaciones a un menor costo.

En segundo término, se describieron los insumos, los servicios y los recursos para la viabilidad del emprendimiento, en función de la disponibilidad de EPS en bruto, planteándose dos casos posibles de provisión de descartes. Se identificaron particularmente en cada caso las maquinarias clave, relativas a la trituración y el mezclado, para alcanzar la capacidad de producción requerida. También se observó que, si bien la mano de obra requerida aumenta en función de la provisión de descartes, la diagramación mensual de los procesos productivos podría conservarse. Es importante destacar que, tanto esta diagramación productiva, como los

recursos mencionados, se entienden como una forma de materializar el proyecto, más que como recomendaciones excluyentes para el desarrollo del emprendimiento.

Por otro lado, se planteó una metodología para determinar los niveles de criticidad de los procesos productivos, que puede aplicarse a otros casos y regiones. En el contexto local, y de acuerdo al estudio y la clasificación de cada uno de los procesos productivos, la provisión de materia prima y su sostenibilidad en el tiempo son los procesos de mayor criticidad para el emprendimiento. En ese sentido, se considera que la mejor vía de provisión de materia prima es el contacto con grandes generadores del residuo. Al mismo tiempo, es recomendable el almacenamiento de una cantidad excedente de provisión de materia prima para atenuar los impactos de los períodos de menor recepción de descartes.

El trabajo realizado en la cooperativa local puede considerarse como uno de los modos de comenzar la experiencia productiva a mayor escala. Se situaron las instancias de avance alcanzadas, así como aspectos sobre los que se deberán trabajar y recursos que se requerirán para el crecimiento de la experiencia. En tal contexto, se esquematizó la organización de las instalaciones productivas y se plantearon recursos humanos y materiales necesarios a incorporar en esta instancia de desarrollo.

El emprendimiento en desarrollo a nivel local propone un modo de reutilización del EPS que genera una oportunidad laboral a sectores vulnerables y desocupados a través de la economía social y solidaria. Desde ese enfoque, se entiende que, si bien el producto tiende hacia la búsqueda de una solución innovadora que alcance el paradigma de la economía circular, es deseable la sustitución o eliminación de ciertos componentes y procesos para maximizar la reducción de los impactos en el ambiente.

Lo expuesto en esta investigación supone una serie de insumos para replicar la experiencia, así como también provee aportes relevantes para la organización y generación de instalaciones de producción en otros contextos. Replicar la experiencia en otros contextos, regiones o países donde estas problemáticas sean considerables, significa la generación de empleo, el aporte al mejoramiento de la calidad del hábitat, la reutilización de los descartes de EPS y, en última instancia, la reducción de los impactos ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se enmarca en dos proyectos de investigación: "Problemáticas ambientales del hábitat popular en la periferia del Gran La Plata. Políticas Públicas / Sociales, como respuesta, en el marco de la Producción Social del Hábitat (PSH) y la Tecnología para la Inclusión Social (TIS)" (San Juan y Discoli, 2018), financiado por el CONICET y la UNLP, Argentina; y "Plan de mejoramiento

integral de viviendas en sectores poblacionales en riesgo socio-territorial localizados en asentamientos informales del Partido de La Plata. Estrategias orientadas a la envolvente edilicia, el saneamiento y el acceso a la energía" (PICT 2019- 201904135), financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación Argentina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abu-Jdayil, B., Mourad, A-H., Hittini, W., Hassan, M. y Hameedi, S. (2019). Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview. *Construction and Building Materials*, 214, 709-735. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.102>

Aciu C., Manea D.L., Molnar L.M. y Jumate E. (2015). Recycling of polystyrene waste in the composition of ecological mortars. *Procedia Technology*, 19, (2015) 498-505. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.02.071>

Aditya, L., Mahlia, T.MI., Rismanchi, B., Ng, S.M., Hasan, M.H., Metselaar, H.SC., Muraza, O. y Aditya, H.B. (2017). A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1352-1365. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.034>

Bouillon, B. C. (Ed.). (2012). *Un espacio para el desarrollo. Los mercados de vivienda en América Latina y El Caribe*. New York: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Un-espacio-para-el-desarrollo-Los-mercados-de-vivienda-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Buren, N.V., Demmers, M., Van der Heijden, R. Witlox, F. (2016). Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments. *Sustainability*, 8(7), 647. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8070647>

Caló, J. (2009). *La cadena de valor del reciclado de residuos sólidos urbanos (RSU). La dinámica socio-técnica de los procesos de reciclado en las cooperativas de recuperadores urbanos surgidas a partir de los cambios económicos, sociales y tecnológicos de la crisis del 2001*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. Recuperado de: <https://biblio.unq.edu.ar/Record/1151>

Carro Paz, R. y González Gómez, D. (2013). *Diseño y selección de procesos*. Colección Administración de las operaciones. Universidad Mar del Plata. Recuperado de: http://nulan.mdp.edu.ar/1613/1/08_diseno_procesos.pdf

Coraggio, J.L. (2009). Los caminos de la economía social y solidaria. *Íconos*, 33, 29-38. DOI: <https://doi.org/10.17141/iconos.33.2009.314>

De Sousa Santos, B. (2012). La universidad en el siglo XXI. Para una reforma democrática y emancipadora de la universidad. En SENESCYT (Ed.), *Transformar la universidad para transformar la sociedad* (pp. 139-193). La Paz: Plural Editores.

Di Virgilio, M.M., Rodríguez, M.C. (2018). Hábitat, vivienda y marginalidad residencial. En J.I. Piovani y A. Salvia (Coords.), *La Argentina en el siglo XXI* (pp. 183-220). Buenos Aires: Siglo Veintiuno.

Dissanayake, D.M.K.W., Jayasinghe, C. y Jayasinghe M.T.R. (2017). A comparative embodied energy analysis of a house with recycled expanded polystyrene (EPS) based foam concrete wall panels. *Energy and Buildings*, 135, 85-94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.044>

Dixit, A., Dai Pang, S., Kang, S-H. y Moon, J. (2019). Lightweight structural cement composites with expanded polystyrene (EPS) for enhanced thermal insulation. *Cement and Concrete Composites*, 102, 185-197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.04.023>

Durakovic, B., Yildiz, G., Yahia, M.E. (2020). Comparative performance evaluation of conventional and renewable thermal insulation materials used in building envelopes. *Tehnički vjesnik*, 27(1), 283-289. DOI: <https://doi.org/10.17559/TV-20171228212943>

Enet, M., Romero Fernández, G. y Olivera Gómez, R. (2008). *Herramientas para pensar y crear en colectivo, en programas intersectoriales de hábitat*. Córdoba: CYTED- HABYTED-RED XIV.

Esparza, J. (2021). Clasificación y afectación por residuos sólidos urbanos en la ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37 (2021), 357-371. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.53758>

Fernando P.L.N., Jayasinghe M.T.R. y Jayasinghe, C. (2017). Structural feasibility of Expanded Polystyrene (EPS) based lightweight concrete sandwich wall panels. *Construction and Building Materials*, 139, 45-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.027>

Flores-Alés, V., Jiménez-Bayarri, V. y Pérez-Fargallo, A. (2018). Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 57(6), 257-265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bseccv.2018.03.001>

Hasan, S., Khan, S., Akhtar, I. y Kirmani, S. (2021). Study of natural insulation materials and compared it with no insulation building. *Materials Today: Proceedings*, 46(20), 10692-10697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.452>

INDEC (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010*. Recuperado de: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-CensoNacional-999-999-Censo-2010>

IPA (2018). 38ª Edición de información estadística de la Industria Petroquímica y Química de la Argentina. Instituto Petroquímico Argentino. Informe. 135 pp. Recuperado de: <https://noticiasutnfrn.files.wordpress.com/2020/04/anuario-ipa-2019.pdf>

Jang, M., Shim, W.J., Han, G.M., Song, Y.K. y Hong, S.H. (2018). Formation of microplastics by polychaetes (*Marphysa sanguinea*) inhabiting expanded polystyrene marine debris. *Marine Pollution Bulletin*, 131 A, 365-369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.017>

Kirchherr, J., Reike, D. y Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

- Kumar, D., Alam, M., Zou, P.X.W., Sanjayan, J.G. y Memon, R.A. (2020). Comparative analysis of building insulation material properties and performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110038>
- Laukaitis A., Žurauskas R. y Kerien J. (2005). The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. *Cement and Concrete Composites*, 27(1), 41-47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2003.09.004>
- Li, J., Saberian, M. y Nguyen, B.T. (2018). Effect of crumb rubber on the mechanical properties of crushed recycled pavement materials. *Journal of Environmental Management*, 218, 291-299. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.062>
- Maaroufi, M., Belarbi, R., Abahri, K. y Benmahiddine, F. (2021). Full characterization of hygrothermal, mechanical and morphological properties of a recycled expanded polystyrene-based mortar. *Construction and Building Materials*, 301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124310>
- Madariaga G.F.J. y Macia L.J. (2008). Mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola para su uso en la construcción. *Informes de la Construcción*, 60(509), 35-43. DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.2008.v60.i509.589>
- Marten, B. y Hicks, A. (2018). Expanded Polystyrene Life Cycle Analysis Literature Review: An Analysis for Different Disposal Scenarios. *Sustainability*, 11(1) 29-35. DOI: <https://doi.org/10.1089/sus.2017.0015>
- Mendoza, R. H. (2000). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. *Ingeniería Mecánica*, 3(4), 13-19. Recuperado de: <https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/364>
- Meng, Y., Ling, T.-C. y Mo, K.H. (2018). Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview. *Resources, Conservation and Recycling*, 138, 298-312. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.029>
- Oliveira, C.T., Luna, M.M.M. y Campos, L.M.S. (2019). Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain and its reverse logistics towards circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 235, 562-573. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.319>
- Punto Verde Tandil Asociación Civil (20 de agosto de 2018). TelgoBIT productos. [Archivo de video]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=DrjrU75ausk>
- RENABAP (19 de febrero de 2020). *Barrios populares*. Ministerio de Desarrollo Territorial y Hábitat. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/barrios-populares>
- Reynoso L. E., Carrizo R. A. B., Viegas G. M. y San Juan, G. A. (2021). Characterization of an alternative thermal insulation material using recycled expanded polystyrene. *Construction and Building Materials*, 301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124058>
- San Juan, G. A., Viegas, G. M. y Jodra, J. I. (2018). Aislación térmica alternativa, reutilizando poliestireno expandido de descarte, orientado a las necesidades de cooperativas de reciclado. En *X Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura*. La Plata, Argentina (29-31 de agosto).
- Steyn, Z.C., Babafemi, A.J., Fataar, H. y Combrinck, R. (2021). Concrete containing waste recycled glass, plastic and rubber as sand replacement. *Construction and Building Materials*, 269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121242>
- Thomas, H., Juárez, P. y Picabea, F. (2015). *Tecnología y desarrollo ¿Qué son las tecnologías para la Inclusión Social?* Universidad Nacional de Quilmes. Reditsa. IESTC.
- Viegas, G. M., Walsh, C. y Barros, M. V. (2016). Evaluación cuali-cuantitativa de aislaciones térmicas alternativas para viviendas. El caso de la agricultura familiar. *Revista INVI*, 31(86), 89-117. Recuperado de: <https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/62719>
- Zhao, J.R., Zheng, R., Tang, J., Sun, H.J. y Wang, J. (2022). A mini-review on building insulation materials from perspective of plastic pollution: Current issues and natural fibres as a possible solution. *Journal of Hazardous Materials*, 438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129449>