



PROYECTO

“Optimización termo-mecánica de sistema de forjado de alto aislamiento para la disminución de emisiones ambientales en edificación (ECO-ENLUFOR)”

Informe de ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA de un módulo de forjado reticular FOREL, fabricado en poliestireno expandido, con canto 25+5 cm y 12 cm de ancho de nervio, montado in situ en obra, con acabado inferior en yeso proyectado

Peticionario: TURQUEPLAST

Autor: INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN DE CASTILLA Y LEÓN



SUMARIO

ANTECEDENTES	4
OBJETO	4
EQUIPO	4
INFORME DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	5
A.- Información general.....	6
A.1.- La organización.....	6
A.2.- Información del producto	6
A.3.- Aplicación del producto.....	8
B.- Objetivo del ACV	9
C.- Normas, métodos y referencias consideradas.....	9
D.- Información sobre el ACV	9
D.1.- Alcance del ACV	9
D.2.- Proceso de fabricación casetones y montaje del forjado.....	10
D.3.- Unidad declarada.....	10
D.4.- Vida útil de referencia (RSL).....	11
D.5.- Límites del sistema	11
D.6.- Criterios de asignación y de corte	11
D.7.- Representatividad, calidad y selección de los datos	11
D.8.- Otras reglas de cálculo e hipótesis	12
D.9.- Metodología de evaluación de impacto aplicada	12
D.10.- Tipo de revisión crítica.....	12
E.- Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV).....	13
Procesos de fabricación del producto (A1- A3)	13
Transporte y proceso de construcción (A4-A5)	13
Etapa de uso (B1-B7)	15
Fin de vida (C1-C4)	15
Beneficios y cargas fuera de los límites del sistema del edificio	17
F.- Resultados de la Evaluación de impactos del ACV	18
F.1.- Impactos ambientales potenciales	18
F.2.- Impactos ambientales potenciales en la fase de producción A1-A3 desglosados por productos ..20	
G.- Información ambiental adicional.....	22
H.- Interpretación del ciclo de vida	22
H.1.- Conclusiones respecto de los potenciales impactos analizados	22
H.2.- Evaluación de la calidad de los datos.....	24





ANTECEDENTES

La empresa TURQUEPLAST está desarrollando el proyecto ECO-ENLUFOR centrado en la optimización termo-mecánica de sistema de forjado de alto aislamiento para la disminución de emisiones ambientales en edificación.

Dentro de las actividades del proyecto se encuentra la caracterización del comportamiento ambiental de la solución a través de la realización de un Análisis de Ciclo de Vida.

Con ello se pretende cuantificar el impacto ambiental de la solución constructiva que se indica en este informe y facilitar información que pueda ser incorporada en los cálculos del impacto ambiental asociado a los edificios en los que se emplea.

OBJETO

El objeto de este informe es **cuantificar y documentar los impactos ambientales asociados al ciclo de vida de un** forjado reticular, fabricado con casetones no recuperables de poliestireno expandido, de canto 25+5 cm y 12 cm de ancho de nervio, montado in situ en obra, con acabado inferior en yeso proyectado.

Para ello se ha realizado un análisis de ciclo de vida de la solución elegida utilizando la metodología establecida en la norma UNE-EN ISO 14040:2006.

En esta actividad se ha llevado a cabo:

- Definición del objetivo y el alcance del ACV
- Análisis del Inventario del ciclo de vida (ICV) recopilando la información disponible en la empresa sobre los flujos de entradas de materias primas y energía y las salidas del proceso como emisiones a la atmósfera, efluentes, residuos y subproductos.
- Evaluación del impacto de la solución (EICV), calculando los resultados de los diferentes indicadores en cada una de las categorías de impacto.
- Interpretación del ciclo de vida, en la que se facilita información sobre oportunidades de mejora de los procesos enfocadas a la reducción de impactos ambientales.

EQUIPO

Este trabajo ha sido desarrollado por el INSTITUTO de la CONSTRUCCIÓN de CASTILLA y LEÓN.

Para ello se configuró un equipo de trabajo integrado por las siguientes personas:

- Felipe Romero Salvachúa, Arquitecto. Director Técnico de ICCL
- Cristina Gutiérrez Cid. Área de Proyectos de ICCL
- Laura Ruedas Pérez, Arquitecta Técnica. Área de Proyectos de ICCL.
- Bárbara Rodríguez Oraá, Ingeniera Industrial. Área de Proyectos de ICCL.
- José Javier Vielba García, Ingeniero Técnico Industrial. Área de Certificación de ICCL
- Mario Santiago Herrera, ICCRAM – UBU
- Sonia Martel Martín, ICCRAM – UBU
- Rocío Barros García, ICCRAM – UBU



INFORME DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Módulo de forjado reticular FOREL, fabricado en poliestireno expandido, con canto 25+5 cm y 12 cm de ancho de nervio, montado in situ en obra, con acabado inferior en yeso proyectado

TURQUEPLAST

Calle Turquesa, 15, 47012, Valladolid

Fecha de emisión: 4.10.2023

A.- Información general

A.1.- La organización

FOREL es un grupo industrial español con una dilatada tradición y experiencia dentro del sector de transformación del poliestireno expandido, y en especial en la fabricación y comercialización del conocido Sistema FOREL, sistema constructivo para la ejecución de forjados aligerados.

TURQUEPLAST es una de las empresas que forman parte del grupo FOREL.

La fábrica en la que se producen los módulos de poliestireno expandido que forman el forjado reticular objeto de este estudio se encuentra en Valladolid, en la calle Turquesa, situada en el Polígono Industrial de San Cristóbal. Cuenta con tecnología de última generación y personal altamente cualificado y con experiencia suficiente para asegurar un proceso de fabricación controlado.

A.2.- Información del producto

Este informe analiza los impactos ambientales asociados un sistema constructivo de forjado ligero basado en elementos de EPS que actúan como piezas de entrevigado no recuperable. El sistema está dotado adicionalmente de aislamiento térmico intrínseco. Este sistema cuenta con un Documento de Idoneidad Técnica Nº 406R/21.

El sistema analizado es un forjado reticular, fabricado in situ con hormigón, acero y casetones no recuperables de poliestireno expandido, y acabado inferior en yeso proyectado. Los materiales que componen el producto llegan a obra por separado, donde se montan empleando para ello una estructura auxiliar, encofrado, que, una vez el producto es apto para entrar en servicio, se desmonta y reutiliza un número limitado de veces. El producto finalmente queda integrado en la estructura del edificio.

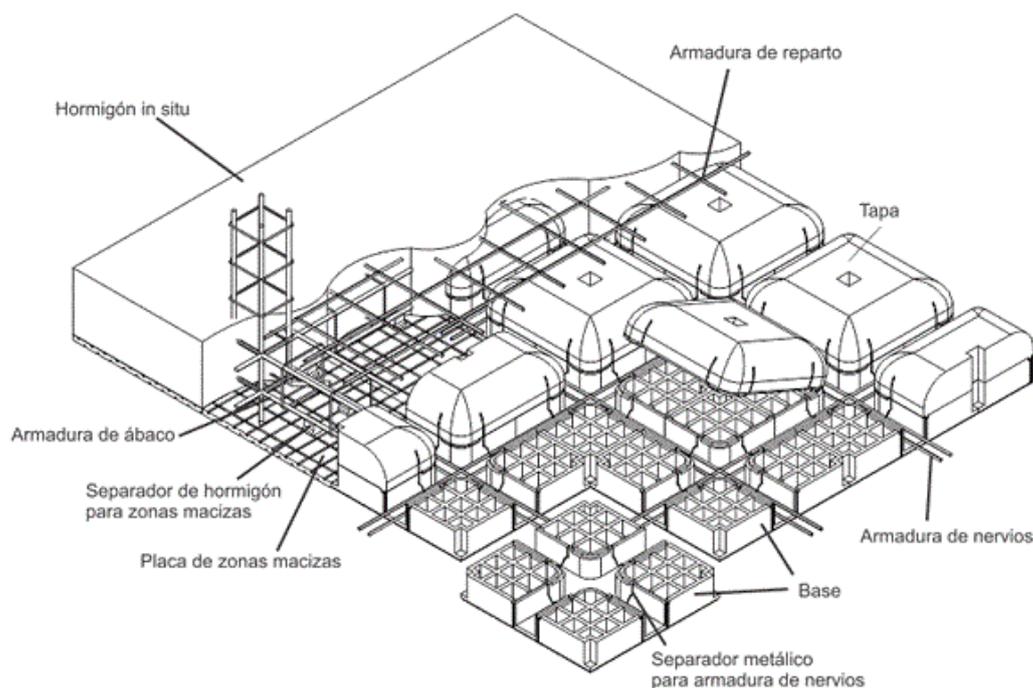


Composición del producto

La solución constructiva estudiada se compone de casetón no recuperable de poliestireno expandido, nervios resistentes de hormigón armado HA-25 y acero B-500 S, de 12 cm de anchura, formando una retícula de 80x80, y capa de compresión superior, canto total de la solución 25+5, y yeso por la cara inferior.

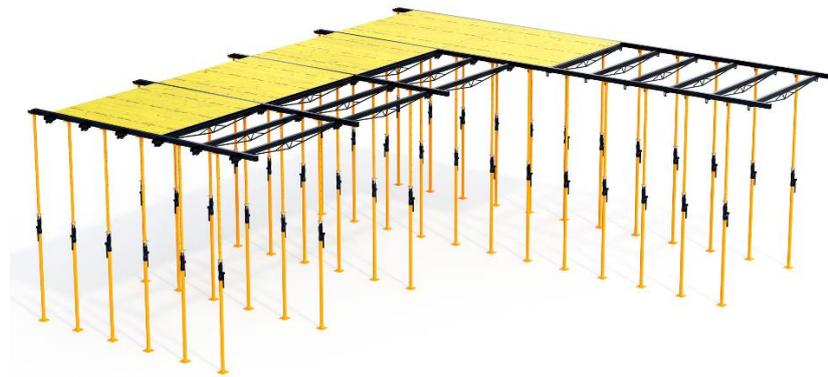
La composición promedio por metro cuadrado de la solución estudiada y declarada por el fabricante, es:

Componente	Densidad (kg/m ³)	Contenido	Unidad /m ²	Peso (kg/m ²)	% peso /m ²
Bovedilla de EPS	19,65	2,27	kg	2,27	0,64
Hormigón HA-25	2.300	0,140	m ³	322	91,66
Acero corrugado B 500 S	7.850	14	kg	14	4,00
Yeso aligerado para proyectar	850	13	kg	13	3,70
Peso total del sistema constructivo				351,27	100



Durante el ciclo de vida del producto no se utilizan sustancias peligrosas listadas en “Candidate List of Substances of Very High Concern (SVHC) for authorisation” en un porcentaje mayor al 0,1% del peso del producto.

En fase de construcción es preciso utilizar una estructura portante auxiliar, que se denomina encofrado. Este elemento se compone de piezas de acero y madera, con distinta función, y se monta y desmonta de forma manual con ayuda de medios de elevación, pudiendo reutilizarse un número limitado de veces en función del material y uso. En de forjados con casetones no recuperables, el sistema que se utiliza es de tipo cuajado, similar al de losas. El caso más habitual es el siguiente:



En el caso de un forjado reticular de 80x80, se montará una sopanda por nervio formando la retícula del forjado, y por cada metro lineal de nervio al menos 3 puntales. Sobre las sopandas se apoyará el tablero inferior de madera. En los perímetros de borde y huecos se colocarán las tablas para contener el hormigón en tanto fragua.

Para esta estructura auxiliar, que no forma parte del elemento constructivo analizado, pero que es imprescindible se ha estimado un número de usos, conforme a los rendimientos medios habituales, siendo superior en los elementos de acero laminado y menor en los de madera.

Componente	Peso unitario	Cantidad/m ²	Peso (kg/m ²)	Nº de usos
Tablero de madera *	13 kg/m ²	1	13	25
Sopanda de acero laminado	6,6 kg/ml	4	26,4	150
Puntal de acero laminado	3,13 kg/ml	12	37,56	150
Tablas de madera de pino**	550 kg/m ³	1	3,96	10

*Tablero tricapa de abeto o pino, encolado con resina melamina de 27 mm de espesor total

** Tablones de 300x24 mm que marcan el perímetro del forjado y contienen el hormigón en tanto fragua

A.3.- Aplicación del producto

El forjado reticular es un elemento estructural dentro del subgrupo de estructuras horizontales, aunque se pueden ejecutar con cierta inclinación. Carece de vigas y se apoya directamente sobre los elementos de la estructura vertical, muros o pilares. La capacidad portante se la otorga un conjunto de nervios dispuestos en dos direcciones, normalmente ortogonales, dando lugar una retícula resistente que se unen en la cabeza mediante la capa de compresión. Desde un punto de vista constructivo la base de este forjado es el hormigón y el acero, y de casetón no recuperable de EPS.

Por su diseño es un forjado capaz de soportar grandes cargas con grandes luces, y su equivalente lo encontramos en reticulares de casetón recuperable o de otro material, también en losas macizas de hormigón armado y en forjados de productos prefabricados como losas alveolares o similares.

B.- Objetivo del ACV

El objetivo de este ACV es **cuantificar y documentar los impactos ambientales asociados al ciclo de vida de un** forjado reticular, fabricado con casetones no recuperables de poliestireno expandido, de canto 25+5 cm y 12 cm de ancho de nervio, montado in situ en obra, con acabado inferior en yeso proyectado.

La empresa TURQUEPLAST está desarrollando el proyecto ECO-ENLUFOR centrado en la optimización termo-mecánica de sistema de forjado de alto aislamiento para la disminución de emisiones ambientales en edificación. Dentro de las actividades del proyecto se encuentra la caracterización del comportamiento ambiental de la solución a través de la realización de un Análisis de Ciclo de Vida.

Con ello se pretende **cuantificar los impactos ambientales de la solución constructiva que se indica en este informe y facilitar esta información a los clientes de la compañía**, con el fin de puedan utilizarla para realizar el ACV de sus soluciones estructurales aplicadas a edificios.

C.- Normas, métodos y referencias consideradas

- UNE-EN ISO 14040:2006/A1:2021. Gestión Ambiental. Evaluación del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia. Modificación 1. (ISO 14040:2006/Amd 1:2020).
- Norma UNE-EN ISO 14044:2006/A1:2021. Gestión Ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Requisitos y directrices. Modificación 2. (ISO 14044:2006/Amd 2:2020).
- UNE-EN 15804:2012+A2:2020 Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.
- RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN, de 9 de abril de 2013, sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida (Publicada en DOCE el 4/05/2013).

D.- Información sobre el ACV

D.1.- Alcance del ACV

El alcance del estudio es “cuna a puerta con opciones”, declarando los módulos A1, A2, A3, A4, A5, C1, C2, C3, C4 y D.

Han sido excluidas del análisis las etapas de uso ya que no se esperan impactos durante la vida útil del elemento constructivo debido a su naturaleza estructural.

Este análisis puede no ser comparable con otros desarrollados, especialmente si se han realizado con documentos de referencia distintos o conforme a otras normas, al igual que si el origen de los datos es distinto, no se incluyen todos los módulos de información pertinentes o no se basan en los mismos escenarios.

Los datos específicos del proceso productivo de los casetones y montaje, utilizados en el estudio ACV proceden de las instalaciones y obras realizadas por FOREL durante el año 2022.

Los datos secundarios y no específicos se han extraído de la base de datos de Ecoinvent v3.8, incluida en el software SimaPro v9.3 Pré Consultants.

D.2.- Proceso de fabricación casetones y montaje del forjado

El proceso comprende las siguientes actividades:

- a) Producción casetones de EPS
 - Compra de perlas de EPS
 - Extrusión de los casetones en un proceso térmico de fusión de las perlas y posterior enfriamiento.
- b) Compra o alquiler de los encofrados auxiliares necesarios para la ejecución del forjado.
- c) Compra de hormigón ya mezclado, barras y mallazos de acero y yeso en polvo.
- d) Traslado a obra de los anteriores productos y los encofrados que se reutilizan en múltiples obras.
- e) Montaje de encofrados
- f) Montaje de casetones EPS y barras/mallazos de acero
- g) Vertido del hormigón
- h) Desmontaje del encofrado y traslado almacén/otra obra
- i) Proyección de la cara inferior del forjado con yeso.
- j) Uso de la estructura que no necesita mantenimiento.
- k) Fin de vida, demolición/desmontaje y tratamiento de los productos que lo constituyen.

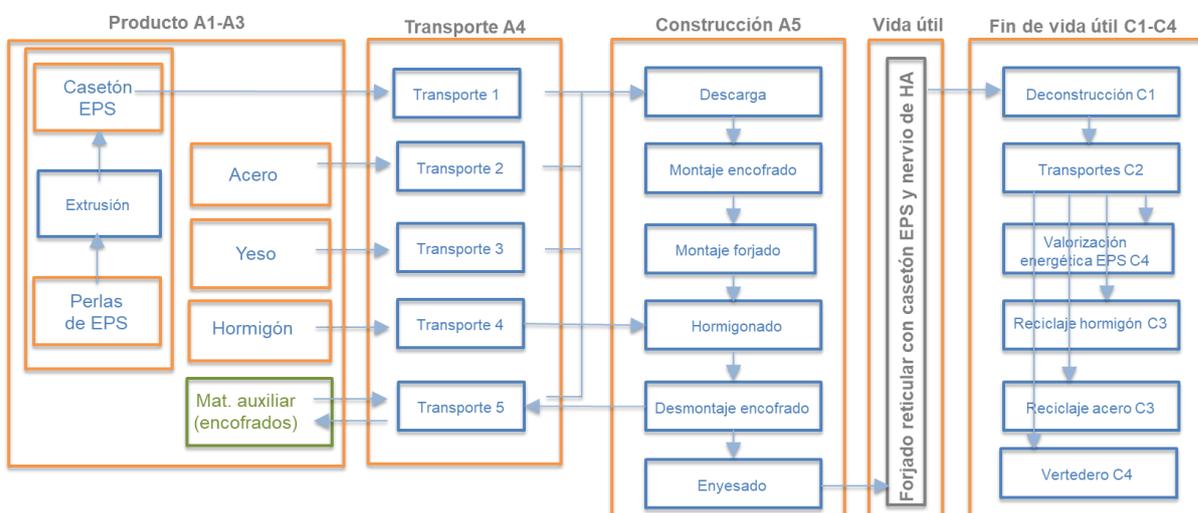


Diagrama del proceso

D.3.- Unidad declarada

La unidad declarada es “1 m² de la solución constructiva propuesta (forjado reticular ejecutado in situ mediante casetón no recuperable de PE, canto 25+5 y nervio de 12 cm con acabado inferior de yeso proyectado) para proporcionar soporte estructural y aislamiento a una edificación de referencia”.

D.4.- Vida útil de referencia (RSL)

No especificada. Se considerará la vida útil de referencia del edificio construido.

D.5.- Límites del sistema

Se han estudiado las siguientes fases del ciclo de vida del producto:

- ✓ A1, de producción de las materias primas que forman parte del producto final y de la energía consumida en el proceso de fabricación.
- ✓ A2, de transporte de materias primas a las instalaciones.
- ✓ A3, de producción de los componentes en la fábrica de Valladolid; y el transporte y gestión de los residuos generados.
- ✓ A4, de transporte de los componentes hasta el lugar de montaje.
- ✓ A5, de instalación del forjado reticular, considerando productos auxiliares.
- ✓ C1, de deconstrucción.
- ✓ C2, de transporte de los materiales desmontados hasta el lugar de tratamiento de residuos o de disposición final.
- ✓ C3, de tratamiento de residuos para su reutilización, recuperación y/o reciclaje.
- ✓ C4, de eliminación de residuos, incluyendo el pretratamiento físico y la gestión en el lugar de eliminación y el uso de energía y agua asociado.
- ✓ D, de potencial de reutilización, recuperación y/o reciclaje, expresados como cargas y beneficios netos.

D.6.- Criterios de asignación y de corte

Se ha aplicado un criterio físico, de masa, para asignar las entradas y salidas del sistema del producto, en función de los flujos asociados al proceso productivo, como el transporte y generación de residuos.

En el ACV se han incluido todos los materiales de manera que se obtenga al menos el 99% del peso de la unidad de producto. No ha habido ninguna exclusión de consumos, y se han considerado los materiales auxiliares necesarios para el proceso de montaje y la puesta en obra.

D.7.- Representatividad, calidad y selección de los datos

Los datos de inventario han sido recopilados por FOREL que ha aportado al equipo redactor de este informe los datos de composición y puesta en obra del producto estudiado.

Estos datos alcanzan a la totalidad de los procesos necesarios para la instalación del producto y corresponden a una obra tipo con valores medios.

La totalidad del producto objeto del presente informe ha sido fabricado y distribuido en España y es representativo de la instalación de dicha solución constructiva.

Los datos secundarios y no específicos se han extraído de la base de datos de Ecoinvent v3.8, incluida en el software SimaPro v9.3 Pré Consultants.

Siempre que ha sido posible, se han seleccionado datos de inventario relativos a Europa Occidental, en el caso de que no estuvieran disponibles para España.

D.8.- Otras reglas de cálculo e hipótesis

En la realización de los cálculos se han tenido en consideración las siguientes hipótesis:

- Para la distancia de transporte de los productos se han tomado valores medios extraídos de la base de datos.
- La distancia de distribución a obra de la bovedilla de poliestireno expandido es de 200km.
- La distancia de distribución a obra del yeso es de 100km.
- El hormigón y el acero se distribuyen desde distancias más cercanas, 15 y 25km respectivamente.
- Los encofrados también se alquilan a una distancia de 15 km.
- Los consumos energéticos de la fase de edificación se han asimilado a los de una máquina de construcción que funciona con diésel, incluyendo los transportes internos durante esta fase.
- Se ha supuesto un escenario de valorización completa del residuo de poliestireno expandido, del que se obtienen 40MJ de energía en forma de calor por cada kilo.
- Para los residuos inertes se ha asumido su reciclado en una planta para dicho fin, al no contar con datos disponibles para su fin de vida más común que es el de reutilización como árido.
- Algunos elementos menores, como son la madera y los encofrados, se han incluido en el análisis, considerando que son productos reutilizables en otras obras, y para el que no se requiere una gran cantidad su impacto final se vería reducido hasta valores prácticamente despreciables.
- Se ha tenido en cuenta el hecho de que los montajes en obra se produce residuos, estimándolos en un 5% del material servido en obra.
- Los datos han sido contrastados para su interpretación con valores extraídos de EPD's verificadas por tercera parte.

D.9.- Metodología de evaluación de impacto aplicada

Mediante el software SimaPro v9.3 Pré Consultants se ha creado el modelo y se han realizar los cálculos, empleando los métodos de caracterización de impactos previstos en la Environmental Footprint de la Comisión Europea recomendada en la norma UNE-EN 15804:2012+A2.

Además, se ha realizado un segundo análisis de contraste utilizando la metodología de impacto recogida por el "International EPD System" de ENVIRONDEC para la realización de EPDs, utilizando a su vez datos disponibles en DAP verificadas, en el caso del hormigón, el poliestireno, el yeso y el acero, recogiendo así con más fidelidad los impactos de materiales que sí son proveídos, con total seguridad, desde España.

D.10.- Tipo de revisión crítica

El informe de ACV se va a someter a verificación por tercera parte al objeto de asegurar que:

- Los métodos de ACV empleados son coherentes con las normas aplicables y válidos técnica y científicamente.
- Los datos son apropiados y razonables en relación con el objeto de estudio.
- Las interpretaciones reflejan las limitaciones identificadas y el objetivo del estudio.
- El informe es transparente y coherente.

E.- Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

Procesos de fabricación del producto (A1- A3)

En esta fase (formada por los módulos A1, A2 y A3) se han inventariado todos los materiales elementales asociados a la fabricación del producto y su instalación en obra a partir de datos primarios sobre cantidad y tipología de materias primas, incluyendo información relativa a procesos upstream, como son la extracción de recursos, transportes, y consumos en su fabricación a partir de las bases de datos.

ETAPA DE PRODUCTO (A1-A2-A3)				
Materias primas	Unidad	Valor	Información adicional	Comentarios
Bovedilla de EPS	Kg/Ud	2,27*	por 1kg caseton = 6,6 kg de agua, 0,736kWh eléctricos y 6,67 kWh calor	La información adicional aportada se refiere al consumo de agua y energía realizados en fábrica durante la fabricación de la bovedilla
Hormigón	Kg/Ud	322*	Hormigón HA-25	Se considera el tipo de hormigón establecido para estructuras sometidas a condiciones normales de trabajo
Acero	Kg/Ud	14*	Acero BS500	Se ha considerado una cuantía media de acero por m2 de solución constructiva
Yeso	Kg/Ud	13*	por 1kg de yeso = 0,733l de agua)	La cantidad de agua es la utilizada durante la construcción y se corresponde con la dosificación de agua necesaria para proyectar del yeso. Esta agua se evapora posteriormente.
* Estos valores son los que estrictamente componen la unidad declarada, pero dado que en fase de montaje se producen residuos, los valores de cálculo han sido mayorados en un 5%.				
Tablero de madera	Kg/Ud	13	Tablero tricapa de abeto o pino, encolado con resina de melamina y un espesor total de 27 mm	Su impacto se ha considerado teniendo en cuenta su reusabilidad hasta 25 veces
Sopandas	Kg/Ud	26,4	Travesaños de acero laminado, peso medio 6,6 kg/ml que se colocan bajo los nervios del forjado	Su impacto se ha considerado teniendo en cuenta su reusabilidad hasta 150 veces.
Puntales	kg/Ud	37,6	Apeos tubulares de acero laminado para soporte de las sopandas en tanto el hormigón fragua, peso medio 3,3 kg/ml	Su impacto se ha considerado teniendo en cuenta su reusabilidad hasta 150 veces. Se ha considerado una altura media de puntal de 3 metros.
Tabicas	Kg/ud	4	Tablones de madera de pino de 30-40 cm de anchura y 25 mm de espesor que se colocan en los perímetros para contener hormigón	Estos elementos son los que más sufren del encofrado y sólo se puede considerar una reusabilidad de 10 veces.

Transporte y proceso de construcción (A4-A5)

En el módulo A4 se han considerados los transportes desde el lugar de fabricación al de aplicación.

Para el módulo A5 se han tenido en cuenta los consumos energéticos producidos durante la construcción, en la que se produce el siguiente flujo de actividades: descarga de material, montaje del encofrado, colocación de bovedillas y armado -montaje forjado-, vertido del hormigón, retirada del encofrado y



aplicación del yeso, empleando la siguiente maquinaria: grúa para el movimiento de cargas, bomba de hormigón, herramienta eléctrica de mano y equipo para proyectar yeso.

ETAPA DE PROCESO DE CONSTRUCCIÓN (A4-A5)					
TRANSPORTE A4					
Transporte	Unidad	Valor	Información adicional	Comentarios	
Bovedilla de EPS	km	200	Trailer articulado, diésel	Dado el volumen se considera que es posible transportar 400 m2 de forjado, lo que se traduce en 0,953 Tn. Se considera ida en carga, vuelta en vacío.	
Hormigón	km	15	Camión hormigonera diésel	8m3 por camión es la carga habitual, lo que se traduce en 18,4 Tn, ida en carga y vuelta en vacío.	
Acero	km	25	Trailer articulado, diésel	Se estima una carga de 22 Tn, ida en carga y vuelta en vacío.	
Yeso	km	100	Trailer articulado, diésel	Se estima una carga de 20 Tn, ida en carga y vuelta en vacío.	
Encofrados	km	15	Camión, diésel	Todos los elementos se transportan juntos, es estima una carga de 25 Tn, ida en carga y vuelta en vacío. En este caso se considerar también el traslado de vuelta a almacén, una vez que el encofrado ha sido desmontado.	
CONSTRUCCIÓN A5					
Proceso 1: Descarga de material en obra					
Inputs		Unidad	Valor	Referencia e información extra	Comentarios
Consumo de energía	Casetón EPS	kwh	0,01665	hipótesis considerada 0,000333 h/Ud x 50 kW	Descarga mediante grúa eléctrica
	Yeso	kwh	0,01665	hipótesis considerada 0,000333 h/Ud x 50 kW	Descarga mediante grúa eléctrica
	Acero	kwh	0,0333	hipótesis considerada 0,000666 h/Ud x 50 kW	Descarga mediante grúa eléctrica
	Encofrados	kwh	0,0333	hipótesis considerada 0,000666 h/Ud x 50 kW	Descarga mediante grúa eléctrica
Proceso 2: Montaje del Encofrado					
Inputs		Unidad	Valor	Referencia e información extra	Comentarios
Consumo de energía	Montaje encofrado	kwh	0,3	Hipótesis considerada 0,006 h/Ud x 50 kW	Izado con grúa eléctrica
	Ajuste tabicas	kwh	0,004	hipótesis considerada 0,002 h/Ud x 2 kW	Trabajo con una radial de mano
Outputs		Unidad	Valor	Referencia e información extra	Comentarios
Residuos	Ajuste tabicas	kg	0,03	hipótesis considerada 10% de pérdidas por ajuste	La madera se separa y gestiona para incineración
Proceso 3: Montaje del Forjado					
Inputs		Unidad	Valor	Referencia e información extra	Comentarios
Consumo de energía	Montaje bovedilla	kwh	0,015	hipótesis considerada 0,0003 h/Ud x 50 kW	Izado con grúa eléctrica
	Montaje acero	kwh	0,15	hipótesis considerada 0,003 h/Ud x 50 kW	Izado con grúa eléctrica
	Ajustes acero	kwh	0,01	hipótesis considerada 0,005 h/Ud x 2 kW	Trabajo con una radial eléctrica



Outputs		Unidad	Valor	Referencia e información extra	Comentarios
Residuos	Ajuste bovedillas	kg	0,11	hipótesis considerada 5% de pérdidas por ajuste	En obra el EPS se separa para incineración
	Ajustes acero	kg	0,7	hipótesis considerada 5% de pérdidas por ajuste	En obra el acero se separa para reciclado
Proceso 4: Hormigonado					
Inputs		Unidad	Valor	Referencia e información extra	Comentarios/Cuestiones
Consumo de energía	Vertido hormigón	kwh	1	hipótesis considerada 0,008 h/Ud x 125 kW	Se considera el uso de bomba diésel
	Batido hormigón	kwh	0,3	hipótesis considerada 0,008 h/Ud x 3,5 kW	Trabajo con un vibrador eléctrico
Outputs		Unidad	Valor	Referencia e información extra	Comentarios/Cuestiones
Residuos	Restos de hormigón	kg	16,1	hipótesis considerada 5% de pérdidas por ajuste	En obra el hormigón se separa para reciclado
Proceso 5: Desmontaje y carga de los encofrados					
Inputs		Unidad	Valor	Referencia e información extra	Comentarios/Cuestiones
Consumo de energía	Desmontaje	kwh	0,3	hipótesis considerada 0,006 h/Ud x 50 kW	Izado con grúa eléctrica
	Carga	kwh	0,0333	hipótesis considerada 0,000666 h/Ud x 50 kW	Izado con grúa eléctrica
Proceso 6: Enyesado					
Inputs		Unidad	Valor	Referencia e información extra	Comentarios/Cuestiones
Consumo de energía	Mezcla de yeso	kwh	0,004	hipótesis considerada 0,002 h/Ud x 2 kW	Se considera el uso de un batidor eléctrico manual
M auxiliar	Agua	kg	9,6	Conforme especificación DIT y Ficha técnica yeso	El agua se evapora de forma natural
Outputs		Unidad	Valor	Referencia e información extra	Comentarios/Cuestiones
Residuos	Restos de yeso	kg	0,65	hipótesis considerada 5% de pérdidas por ajuste	En obra el yeso mezcla en RCD para reciclado

Etapa de uso (B1-B7)

Al tratarse de un producto pasivo dentro de una construcción, la etapa de uso no añade ningún impacto en el ciclo de vida, por lo que se consideran módulos no relevantes. Durante la vida útil del producto no se requieren intervenciones relevantes de mantenimiento, reparación ni sustitución.

Fin de vida (C1-C4)

Para el módulo C1, de deconstrucción y demolición, se ha tenido en cuenta el gasto energético de la maquinaria que trabaja en esta fase.

El módulo C2 refleja los transportes del residuo a los lugares de procesamiento. Se estima el tratamiento del residuo procedente de la bovedilla de poliestireno expandido en una planta de valorización energética, cuyos impactos se muestran en el módulo C3, y el inerte del hormigón se recicla para disposición final en el módulo C4.



ETAPA DE FIN DE VIDA (C1-C4)					
DESMONTAJE C1					
Proceso 1: Desmontaje forjado					
Inputs		Unidad	Valor	Información extra	Comentarios/Cuestiones
Consumo de energía	Desmontaje	kwh	6,8	hipótesis considerada 0,08 h/Ud x 85 kW	Martillo neumático en una retro. Energía diésel
	Corte	kwh	0,02	hipótesis considerada 0,01 h/Ud x 2 kW	Radial eléctrica manual para realizar cortes
Outputs		Unidad	Valor	Información extra	Comentarios/Cuestiones
Residuos	Hormigón limpio	kg	306	Hipótesis: recuperación de un 95% del hormigón	En obra se separa y gestión para reciclado
	EPS	kg	1,47	Hipótesis: recuperación de un 65% del EPS	En obra se separa y gestión para incineración
	Acero	kg	12	Hipótesis: recuperación 85% del acero en obra	El 15% restante va con el hormigón a reciclado
	RCDs mezcla	kg	31,8	Hipótesis: 9% del producto genera mezcla RCD	Este residuo contiene yeso y termina en depósito vertedero
Proceso 2: Carga residuos					
Inputs		Unidad	Valor	Información extra	Comentarios/Cuestiones
Consumo de energía	Hormigón	kwh	1,02	Hipótesis: 0,06 h/m3 Ud x 85 kW (0,2 m3/m2)	Pala en retroexcavadora. Energía diésel
	Mezcla de RCDs	kwh	0,02	hipótesis: 0,06 h/m3 UD x 85 kW (0,025 m3/m2)	Pala en retroexcavadora. Energía diésel
<i>El acero y el EPS se separan y cargan de forma manual sobre camión</i>					
TRANSPORTE (C2)					
Material		Unidad	Valor	Información extra	Comentarios/Cuestiones
Bovedilla de Poliestireno Expandido		km	200	Camión diésel de 5 Tm	Considerar ida en vacío y vuelta en carga
Hormigón		km	50	Camión diésel de 20 Tm	Considerar ida en vacío y vuelta en carga
Acero		km	200	Camión diésel de 20 Tm	Considerar ida en vacío y vuelta en carga
RCDs mezcla		km	20	Camión diésel de 10 Tm	Considerar ida en vacío y vuelta en carga
RECICLAJE (C3)					
Inputs		Unidad	Valor	Información extra	Comentarios/Cuestiones
Consumo de energía	Hormigón	kwh	0,4174	hipótesis: carga de molino, trituración, clasificación y lavado	Datos obtenidos DAP: GlobalEPD EN15804-026 rev1
	Acero	kwh	5,12	hipótesis: cizallamiento, separación y fusión en horno	Datos obtenidos DAP: GlobalEPD 001-002 renova 1
Agua	Hormigón	kg	18	hipótesis: carga de molino, trituración, clasificación y lavado	Datos obtenidos DAP: GlobalEPD EN15804-026 rev1
	Acero	kg	0,018	hipótesis: cizallamiento, separación y fusión en horno	Datos obtenidos DAP: GlobalEPD 001-002 renova 1
ELIMINACIÓN (C4)					
Inputs		Unidad	Valor	Información extra	Comentarios/Cuestiones
Consumo de energía	EPS	kwh	0,176	hipótesis: incineración *	Datos obtenidos DAP: EPD-EUM-20160271-IBG1-EN
	RCDs	kwh	0,352	hipótesis: deposito en vertedero	Datos obtenidos DAP: GlobalEPD 004-003



Beneficios y cargas fuera de los límites del sistema del edificio

En esta fase, que se muestra en el módulo D, se contabiliza la energía calorífica obtenida en la valorización energética del poliestireno expandido.

F.- Resultados de la Evaluación de impactos del ACV

F.1.- Impactos ambientales potenciales

Los resultados obtenidos de la evaluación de los impactos ambientales potenciales relativos a 1 m² de forjado reticular con casetón no recuperable de EPs y nervio de 12 cm, formando retícula de 80x80 son los siguientes:

Categoría de impacto	Unidad	A1 - A2 - A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	TOTAL
Cambio climático – total	kg CO2 eq.	8,14E+01	1,87E+00	1,26E+00	MNE	2,60E+00	3,25E+00	1,79E+00	4,81E+00	-6,71E-01	9,63E+01						
Cambio climático – fósil	kg CO2 eq.	8,20E+01	1,86E+00	1,26E+00	MNE	2,60E+00	3,24E+00	1,79E+00	4,81E+00	-6,71E-01	9,68E+01						
Cambio climático – biogénico	kg CO2 eq.	-6,06E-01	6,32E-03	1,62E-03	MNE	2,47E-03	1,02E-02	1,70E-03	1,62E-03	-3,08E-04	-5,82E-01						
Cambio climático – uso del suelo y cambio del uso del suelo	kg CO2 eq.	6,28E-02	7,66E-04	1,25E-04	MNE	2,10E-04	1,21E-03	1,45E-04	4,08E-05	-3,12E-05	6,52E-02						
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC 11 eq.	4,30E-06	4,24E-07	2,13E-07	MNE	5,54E-07	7,46E-07	3,81E-07	7,19E-08	-1,01E-07	6,59E-06						
Acidificación	mol H ⁺ eq.	2,99E-01	7,46E-03	9,17E-03	MNE	2,69E-02	1,31E-02	1,85E-02	1,91E-03	-6,29E-04	3,75E-01						
Eutrofización del agua dulce	kg PO4 eq.	1,93E-02	1,30E-04	4,20E-05	MNE	7,74E-05	2,11E-04	5,32E-05	1,21E-05	-9,77E-06	1,99E-02						
Eutrofización del agua marina	kg N eq.	7,23E-02	2,21E-03	3,95E-03	MNE	1,19E-02	3,92E-03	8,21E-03	8,05E-04	-2,54E-04	1,03E-01						
Eutrofización terrestre	mol N eq.	7,80E-01	2,41E-02	4,33E-02	MNE	1,31E-01	4,29E-02	9,00E-02	8,49E-03	-2,76E-03	1,12E+00						

Categoría de impacto	Unidad	A1 - A2 - A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	TOTAL
Formación de ozono fotoquímico	kg NMVOC eq.	2,72E-01	7,36E-03	1,20E-02	MNE	3,59E-02	1,31E-02	2,47E-02	2,29E-03	-8,06E-04	3,67E-01						
Agotamiento de los recursos abióticos – minerales y metales	kg Sb eq.	4,53E-04	6,94E-06	8,27E-07	MNE	1,40E-06	1,07E-05	9,64E-07	3,79E-07	-6,19E-07	4,73E-04						
Agotamiento de recursos abióticos – combustibles fósiles	MJ, valor calorífico neto	8,03E+02	2,79E+01	1,39E+01	MNE	3,55E+01	4,87E+01	2,44E+01	4,78E+00	-1,16E+01	9,46E+02						
Consumo de agua	m3 mundial eq.	3,41E+01	9,48E-02	1,33E-01	MNE	5,77E-02	1,58E-01	3,97E-02	2,44E-02	-7,02E-02	3,45E+01						
Emisiones de materia particulada	Incidencia de enfermedades	4,63E-06	1,49E-07	2,41E-07	MNE	7,23E-07	2,76E-07	2,86E-06	3,23E-08	-2,03E-09	8,92E-06						
Radiación ionizante, salud humana	kBq U235 eq.	3,98E+00	1,47E-01	6,44E-02	MNE	1,61E-01	2,54E-01	1,10E-01	2,27E-02	-2,92E-03	4,73E+00						
Ecotoxicidad (agua dulce)	CTUe	1,33E+03	2,24E+01	1,01E+01	MNE	2,07E+01	3,84E+01	1,42E+01	2,71E+01	-1,22E+00	1,47E+03						
Toxicidad humana, efectos cancerígenos	CTUh	1,93E-07	7,08E-10	3,29E-10	MNE	7,16E-10	1,15E-09	4,93E-10	2,49E-10	-4,69E-11	1,96E-07						
Toxicidad humana, efectos no cancerígenos	CTUh	1,20E-06	2,25E-08	6,72E-09	MNE	1,51E-08	3,93E-08	1,04E-08	1,06E-08	-1,14E-09	1,30E-06						
Impactos relacionados con el uso y calidad del suelo	adimensional	4,54E+02	1,76E+01	7,36E+00	MNE	4,51E+00	3,29E+01	3,10E+00	9,88E+00	-5,01E-01	5,29E+02						

F.2.- Impactos ambientales potenciales en la fase de producción A1-A3 desglosados por productos

Los resultados obtenidos de la evaluación de los impactos ambientales potenciales relativos a 1 m² de forjado reticular con casetón no recuperable de EPs y nervio de 12 cm, formando retícula de 80x80, se han desglosado por tipo de producto en la etapa de Producción A1-A3 con el fin de evaluar el impacto que cada uno aporta:

Categoría de impacto	Unidad	A1 - A2 - A3	Casetón EPS	%	Hormigón	%	Yeso	%	Acero	%	Material auxiliar	%
Cambio climático – total	kg CO2 eq.	8,14E+01	1,27E+01	15,60	3,49E+01	42,83	2,06E+00	2,54	3,20E+01	39,30	-2,11E-01	-0,26
Cambio climático – fósil	kg CO2 eq.	8,20E+01	1,26E+01	15,35	3,43E+01	41,84	1,96E+00	2,39	3,19E+01	38,90	1,24E+00	1,51
Cambio climático – biogénico	kg CO2 eq.	-6,06E-01	1,13E-01	-18,70	5,42E-01	-89,38	1,03E-01	-16,93	9,71E-02	-16,03	-1,46E+00	241,05
Cambio climático – uso del suelo y cambio del uso del suelo	kg CO2 eq.	6,28E-02	4,76E-03	7,58	3,11E-02	49,54	1,55E-03	2,47	1,78E-02	28,43	7,52E-03	11,98
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC 11 eq.	4,30E-06	6,28E-07	14,61	1,89E-06	43,92	2,14E-07	4,97	1,49E-06	34,67	7,88E-08	1,83
Acidificación	mol H ⁺ eq.	2,99E-01	3,96E-02	13,26	1,13E-01	37,95	1,30E-02	4,36	1,27E-01	42,41	6,04E-03	2,02
Eutrofización del agua dulce	kg PO4 eq.	1,93E-02	5,28E-04	2,73	4,75E-03	24,58	4,02E-04	2,08	1,30E-02	67,39	6,24E-04	3,23
Eutrofización del agua marina	kg N eq.	7,23E-02	6,72E-03	9,29	3,12E-02	43,18	3,28E-03	4,54	2,96E-02	40,86	1,55E-03	2,14
Eutrofización terrestre	mol N eq.	7,80E-01	7,16E-02	9,18	3,52E-01	45,07	3,57E-02	4,57	3,05E-01	39,09	1,63E-02	2,09
Formación de ozono fotoquímico	kg NMVOC eq.	2,72E-01	3,32E-02	12,19	9,22E-02	33,86	9,86E-03	3,62	1,31E-01	48,16	5,90E-03	2,17
Agotamiento de los recursos abióticos – minerales y metales	kg Sb eq.	4,53E-04	4,22E-06	0,93	1,75E-04	38,59	5,31E-06	1,17	1,96E-04	43,32	7,24E-05	15,99
Agotamiento de recursos abióticos – combustibles fósiles	MJ, valor calorífico neto	8,03E+02	2,63E+02	32,73	2,09E+02	26,01	2,47E+01	3,07	2,94E+02	36,57	1,30E+01	1,62
Consumo de agua	m3 mundial eq.	3,41E+01	8,31E+00	24,37	1,27E+01	37,21	1,83E-01	0,54	1,17E+01	34,19	1,26E+00	3,69
Emisiones de materia particulada	Incidencia de enfermedades	4,63E-06	3,89E-07	8,40	1,07E-06	23,10	1,69E-07	3,65	2,86E-06	61,64	1,49E-07	3,21
Radiación ionizante, salud humana	kBq U235 eq.	3,98E+00	4,42E-01	11,12	1,80E+00	45,37	1,32E-01	3,32	1,51E+00	38,06	8,50E-02	2,14
Ecotoxicidad (agua dulce)	CTUe	1,33E+03	5,37E+01	4,02	3,30E+02	24,76	7,57E+01	5,67	8,27E+02	62,01	4,71E+01	3,53
Toxicidad humana, efectos cancerígenos	CTUh	1,93E-07	2,32E-09	1,21	1,20E-08	6,26	9,32E-10	0,48	1,71E-07	88,67	6,51E-09	3,38
Toxicidad humana, efectos no cancerígenos	CTUh	1,20E-06	2,98E-08	2,48	3,35E-07	27,93	1,94E-08	1,62	7,76E-07	64,71	3,90E-08	3,25
Impactos relacionados con el uso y calidad del suelo	adimensional	4,54E+02	5,10E+00	1,12	2,02E+02	44,57	2,69E+01	5,94	9,65E+01	21,27	1,23E+02	27,09



G.- Información ambiental adicional

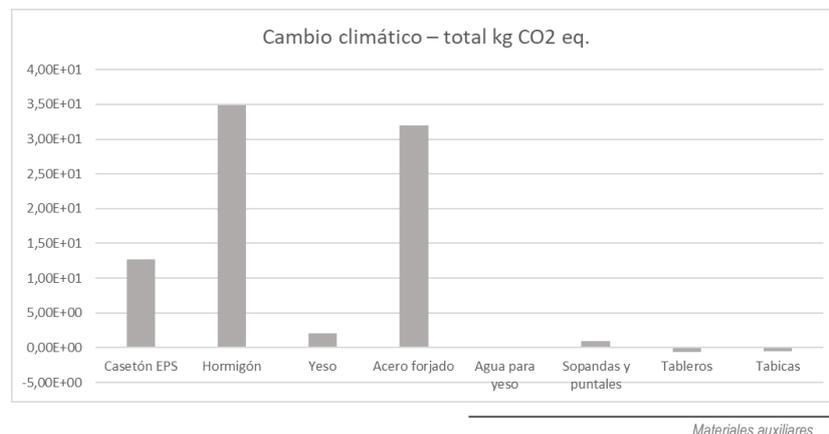
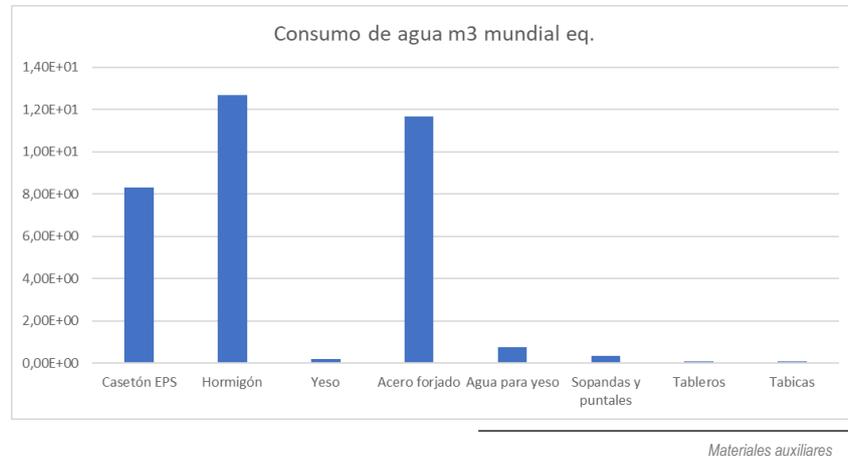
Debe señalarse que la utilización del producto analizado en la construcción, con los distintos materiales que lo conforman (poliestireno expandido, hormigón, acero y yeso) no produce emisiones al aire interior, al suelo o al agua durante su vida útil.

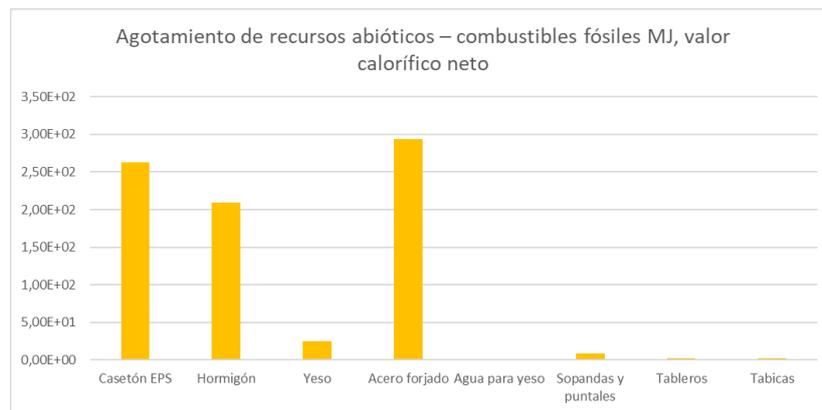
H.- Interpretación del ciclo de vida

H.1.- Conclusiones respecto de los potenciales impactos analizados

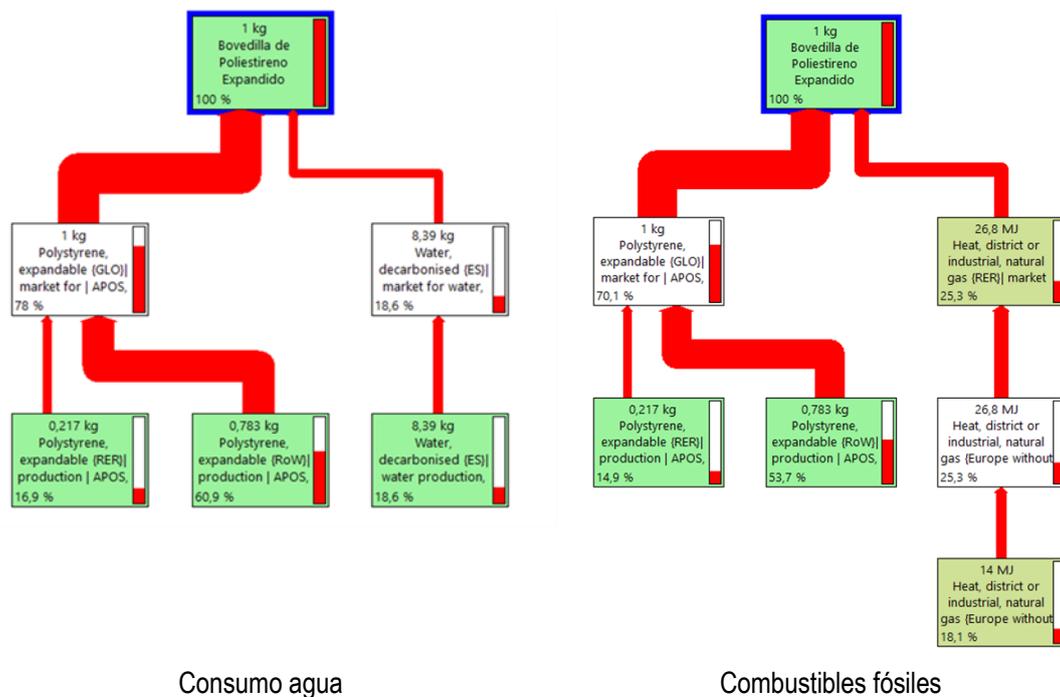
El producto analizado se compone a su vez de 4 productos: hormigón, acero, casetón de EPS y yeso. Se ha definido una solución constructiva, pero esta puede modificarse en función de la solución estructural de cada edificio, lo que dará lugar a un aumento o disminución de la cantidad de productos utilizados, por lo que, al realizar el ACV de un edificio concreto, es necesario modelar las cantidades de hormigón, acero, EPS y yeso de la solución constructiva definida en cada caso. De ahí que realizar un análisis ponderado de impactos del conjunto, no aporte tanto valor como realizar un análisis por el aporte concreto que realiza cada producto en cada categoría.

Dado que se trata de un producto que no requiere mantenimiento ni aporte de recursos en su vida útil, y con una vida igual a la del edificio de referencia, el mayor impacto se produce en la etapa A1-A3, siendo el hormigón y el acero, los productos que, en general, más contribuyen en los impactos analizados.





En cuanto a los casetones de EPS, del análisis de red por impactos y productos, se deduce que el mayor porcentaje se deben a la obtención de perlas de EPS, frente al proceso de extrusión de los casetones.



El análisis de los resultados obtenidos en la evaluación de impactos de un forjado reticular con casetones no recuperables de EPS, para un Ciclo de Vida de la cuna a la puerta con opciones indica que:

- La etapa A1-A3 es la que más carga ambiental aporta en la mayoría de las categorías de impacto analizadas.
- La etapa A4-A5 de transporte a obra y construcción, apenas tiene impacto.
- Los materiales auxiliares necesarios para la ejecución del forjado tienen un impacto mínimo.
- Los productos que más carga ambiental aportan son el acero y el hormigón, seguido del casetón EPS.
- En cuanto al casetón de EPS, la producción de perlas de EPS para su posterior extrusión es la parte del proceso de producción que más impactos genera, por encima del 70%.

H.2.- Evaluación de la calidad de los datos

Para valorar la calidad de los datos primarios se aplican los criterios de evaluación semicuantitativa de la calidad de los datos, que propone la Unión Europea en su Guía de la Huella Ambiental de Productos. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- **Integridad muy buena:** se cubre más del 90% de los materiales y entradas al sistema. Puntuación 1
- **Idoneidad y coherencia metodológicas buena:** Enfoque basado en el proceso atributivo y cumplimiento de los tres requisitos metodológicos de la Guía de la HAP: tratamiento de la multifuncionalidad; modelización del fin de vida; límite del sistema. Puntuación 2
- **Representatividad temporal muy buena:** los datos del proceso de producción son de 12 meses, del año 2022, de la planta de Valladolid de TURQUEPLAST que se consideran representativos; los datos de la obtención de las materias primas proceden de la base de datos Ecoinvent 3.8, la más actual al comienzo de este estudio. Puntuación 1
- **Representatividad tecnológica buena:** todos los datos son de las propias instalaciones de la planta de Valladolid de TURQUEPLAST; otros provienen de la base de datos Ecoinvent 3.8, actualizada en noviembre de 2021, que cuenta con procesos genéricos muy actualizados. Puntuación 2
- **Incertidumbre de los datos baja:** los datos son de las propias instalaciones de TURQUEPLAST; los procesos empleados para la modelización provienen de la base de datos Ecoinvent 3.8, que cuenta con procesos genéricos con incertidumbres bajas. Puntuación 2

La incertidumbre de los datos se considera baja por las siguientes razones:

- Los datos de los pesos y cantidades de los materiales empleados se han obtenido directamente TURQUEPLAST, que dispone de una DIT del sistema analizado
- Los datos de consumo de energía están controlados por la empresa
- Los datos de consumo de agua están controlados por la empresa.

En consecuencia, los datos de los materiales empleados y de los consumos de energía y agua son precisos. Cuando ha sido necesario hacer asignaciones se ha aplicado la asignación basada en masa, que es el primer criterio que se recomienda, y que además ha sido considerado adecuado por los responsables de producción de las instalaciones que han colaborado en el estudio. Conclusión a la que se llega en virtud de la integridad y representatividad de la composición del producto estudiado y de los datos de consumo de materiales y energía realizados en la planta, necesarios por criterios de calidad de producto y control de coste, y la buena representación geográfica, temporal y tecnológica de los datos del inventario, específicos de la planta o procedentes de una base de datos de reconocido prestigio internacional.

De acuerdo con los datos anteriores, el Data Quality Rating (DQR) toma el siguiente valor: $9/6 = 1,5$, lo que indica que el nivel de calidad de los datos es excelente

Burgos, 4 de octubre de 2023

Fdo. Felipe Romero Salvachúa

Director Técnico ICCL