



ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE UN MÓDULO DE FORJADO FOREL (ACV) Y ANÁLISIS COMPARATIVO CON MÓDULOS DE FORJADO TRADICIONALES

INTRODUCCIÓN

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 forma 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 encuentran en Valladolid, en la calle Turquesa, situada en el polígono industrial de San Cristobal.

La fábrica cuenta con tecnología de última generación y personal altamente cualificado y con experiencia suficiente para asegurar un proceso de fabricación controlado.

Objeto de estudio y alcance del análisis

Este informe describe la información ambiental relativa al ciclo de vida de un módulo de forjado reticular con canto 25+5 cm y 12 cm de ancho de nervio, montado in situ en obra, con acabado inferior en yeso proyectado.

El formato de producto considerado dentro del alcance del estudio es el de un m² de la solución constructiva, considerando todos los elementos que la componen.

El alcance del estudio es “cuna a puerta con opciones”, declarando los módulos A1, A2, A3, A4, A5, C1, C2, C3, C4 y D recogidos típicamente en una DAP (Declaración Ambiental de Producto).

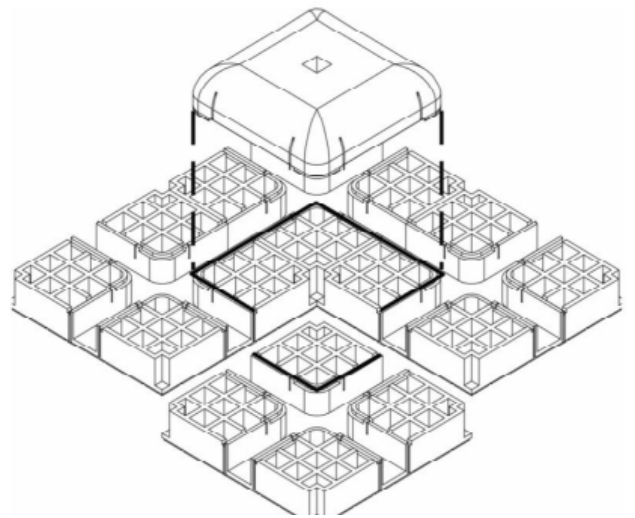
EL SISTEMA FOREL

Antes de evaluar sus aspectos ambientales, ofrecemos una pequeña presentación del sistema.

Usa tres tipos de piezas de poliestireno expandido, bases, sombreros y placas, para la construcción de forjados. Las primeras se combinan para conformar un entramado que aligera las zonas permitidas por el cálculo estructural, introduciendo bajo toda la superficie del forjado una capa de aislamiento de 3 cm de espesor. Para las zonas macizas la placa mantiene ese aislamiento.

Sobre las piezas de poliestireno expandido se coloca la ferralla y se vierte el hormigón, quedando el poliestireno expandido incorporado a la estructura del edificio.

Este sistema de forjado aporta dos efectos positivos, el aligeramiento del propio forjado, y en repercusión el del edificio, con un consumo de hormigón inferior al del sistema tradicional; y la inclusión en la estructura de un alto aislamiento sin puentes térmicos.



Efecto del aislamiento térmico

La aplicación del sistema provoca una mejora exponencial de la resistencia térmica. El forjado no presenta puentes térmicos y el enlucido (o la estructura de sostén del falso techo) se aplica siempre sobre material aislante.

Las zonas aligeradas presentan grandes espesores y cámaras de aire intermedias, multiplicando la resistencia térmica del edificio.

Con las configuraciones adaptadas a las exigencias vigentes en el momento actual, la resistencia térmica recogida por el Instituto de Ciencias de la Construcción E.Torroja en el DIT nº 406R/14 va de un valor de 1,91 m²K/W para el menor forjado reticular hasta un máximo de 2,51 m²K/W en el mayor forjado unidireccional.

Este aislamiento es equiparable a la adición de 6 a 8 cm de un material de aislamiento de alto rendimiento a un forjado tradicional.



FORJADO FOREL UNIDIRECCIONAL					
Ancho de nervio (cm)	Resistencia térmica R (m ² K/W)				
	Canto de nervio (cm)				
	22	25	30	35	45
12	2,31	2,34	2,40	2,44	2,51
15	2,22	2,26	2,31	2,36	2,43

FORJADO FOREL RETICULAR					
Ancho de nervio (cm)	Resistencia térmica R (m ² K/W)				
	Canto de nervio (cm)				
	25	30	35	45	
12	2,34	2,40	2,44	2,51	
15	2,26	2,31	2,36	2,43	
16	1,94	1,99	2,02	2,09	

Con este tipo de forjado no solo se aísla térmicamente el edificio en su conjunto, sino que se aísla a cada uno de los usuarios presentes en el mismo con una resistencia térmica muy superior a la exigida, multiplicando el confort para el usuario.

Valoraciones realizadas por un instituto de investigación de la Universidad de Valladolid han cifrado que el ahorro interno de energía primaria llega a un 39% comparándolo con el consumo de un edificio equivalente realizado con forjado tradicional.

El Sistema FOREL genera un diferencial de aislamiento elevado respecto a los sistemas constructivos tradicionales, en todos los espacios del edificio sin la necesidad de materiales ni procesos constructivos adicionales.

El avanzado diseño de las piezas, gracias a las formas de las cámaras de aire en la bovedilla, multiplica el aislamiento termo acústico sin necesidad de un aumento en el consumo de material complementario, simplificando y abaratando la edificación.

A modo de ejemplo comparativo, se resumen los resultados de espesor para obtener el aislamiento térmico necesario en un edificio para una zona climática E en función de si se emplea un forjado tradicional o uno realizado mediante el Sistema FOREL. Estos resultados se han aplicado tanto para la cubierta como para los forjados inferiores.

Las dos tablas recogen las demanda comparativa en la envolvente y en el interior del edificio:

Zona	Exigencia de R en cubierta, en m ² K/W	Ais. Adicional sobre FOREL cubiertas (en cm)	Ais. Adicional sobre ret. Hormigón cubiertas (en cm)	Exigencia de R sobre locales, en m ² K/W	Ais. Adicional sobre FOREL sobre locales (en cm)
A	2,00	0,0	6,4	1,25	0
B	2,27	0,2	7,3	0,65	0
C	2,50	1,0	8,0	0,75	0
D	2,86	2,1	9,1	0,83	0
E	3,03	2,7	9,7	1,00	0

Zona	Exigencia de R entre plantas, en m ² K/W	Ais. Adicional sobre FOREL entre plantas (en cm)	Ais. Adicional sobre ret. Hormigón entre plantas (en cm)
A	0,71	0	1,8
B	0,65	0	2,1
C	0,75	0	2,4
D	0,83	0	2,7
E	1,00	0	3,2

Ventajas del sistema

En todos los casos, el forjado realizado mediante el Sistema FOREL ofrece un aislamiento igual que un forjado tradicional con un espesor global menor, puesto que posee una mejor resistencia térmica y evita la generación de puentes térmicos, por lo que no es necesaria la adición de material de aislamiento adicional que si se requiere en el caso de los forjados tradicionales para mejorar su resistencia térmica y para eliminar los puentes térmicos.

Con esto, al eliminar la necesidad de añadir una capa de aislamiento se consigue, como se ha mencionado anteriormente, un forjado de menor espesor y peso propio, lo que supone un ahorro de material y, a su vez, de los costes económicos asociados.

Gracias a esta gran capacidad aislante, valoraciones realizadas por un instituto de investigación de la Universidad de Valladolid han cifrado que el ahorro interno de energía primaria llega a un 39% comparándolo con el consumo de un edificio equivalente realizado con un forjado tradicional.

En resumen, el empleo de este tipo de forjados aporta un gran número de ventajas:

- Proceso constructivo idéntico al actual que aporta un elevado aislamiento.
- No presenta puentes térmicos en la estructura.
- El precio de fabricación está contenido.
- Presenta una inmejorable versatilidad funcional.

Por último, dado que en la actualidad se han comenzado a aplicar estándares de viviendas de bajo consumo energético, como el estándar Passivhaus (Alemania) o el estándar Minergie (Suiza), cuya finalidad es la de crear edificios que sean capaces de funcionar con un consumo de energía primaria nulo o de valores muy bajos, el empleo del Sistema FOREL es una solución muy útil para el cumplimiento de estos nuevos estándares y normas.

INFORMACIÓN Y RESULTADOS SOBRE EL ACV

Análisis de ciclo de vida

Este informe está basado en un Análisis de Ciclo de Vida “cuna a puerta con opciones” realizado conforme a las recomendaciones y requisitos de las normas internacionales ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006.

Como Regla de Categoría de Producto (RCP) de referencia se ha empleado la Norma Europea UNE-EN 15804:2012 + A2:2020.

Los datos específicos del proceso utilizados en el estudio ACV proceden de las instalaciones y obras realizadas por FOREL, con las que se ha realizado el análisis.

También se han obtenido datos primarios (consumo de materias primas, transportes, energía, generación de residuos, etc.) de una obra tipo.

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

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.

El software ha servido para crear el modelo y realizar los cálculos, mediante la metodología de impacto Environmental Footprint de la Comisión Europea.

Representatividad, calidad y selección de los datos

Los datos de inventarios han sido recopilados por FOREL, que ha recogido los datos de composición 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 de este informe ha sido fabricado y distribuido en España.

Otras reglas de cálculo e hipótesis

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

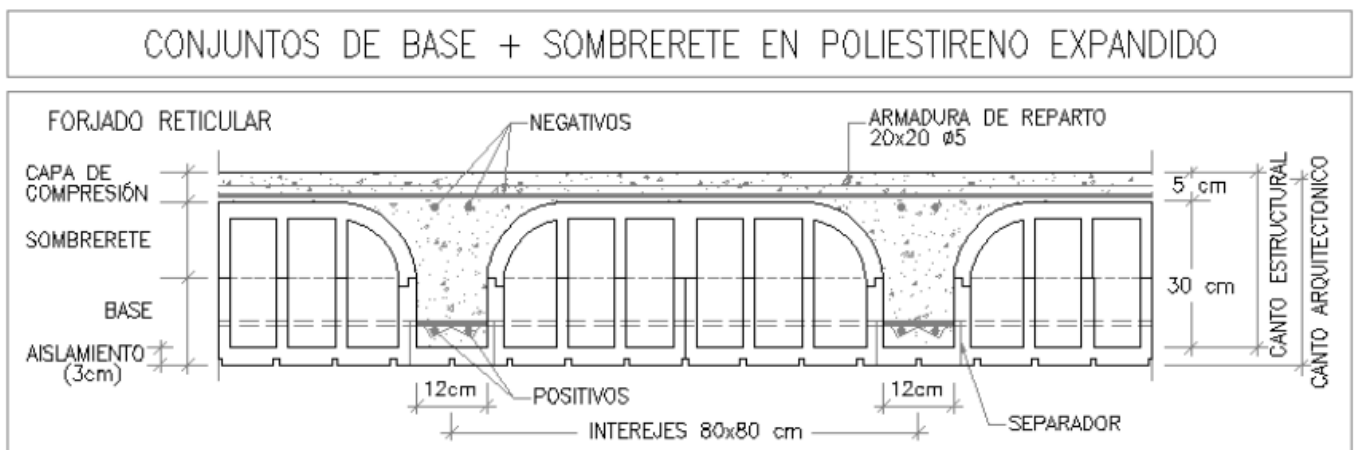
- Para la distancia de transporte de los productos se han tomado valores medios extraídos de la base de datos.
- La distancia de distribución a obra de la bovedilla de poliestireno expandido es de 200km.
- La distancia de distribución a obra del yeso es de 100km.

- El hormigón y el acero se distribuyen desde distancias más cercanas, 15 y 20km respectivamente.
- 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 puntales del encofrado, no se han incluido en el análisis. Al ser un producto reutilizable en muchas otras obras, y para el que no se requiere una gran cantidad su impacto final se vería reducido hasta valores prácticamente despreciables.

Identificación del producto

Este informe describe la información ambiental relativa al ciclo de vida de un módulo de forjado reticular, fabricado en poliestireno expandido, con canto de 25+5 cm y 12 cm de ancho de nervio, montado in situ en obra, con acabado inferior en yeso proyectado.

Este producto se monta directamente en obra y queda integrado en la estructura del edificio.



Aplicaciones del producto

Este forjado confiere al edificio características de ligereza y gran capacidad aislante.

Por su diseño puede considerarse un sistema semi-industrializado que multiplica la velocidad de edificación, disminuye tanto el uso de materiales y energía como la producción de residuos.

Así mismo , genera un ahorro energético en su transporte y manejo logístico debido a su fácil manipulación y bajo peso.

Debido a la conductividad térmica del material y unido a su diseño, aporta una resistencia térmica en los forjados construidos muy superior a la de otros sistemas, aportando gran confort térmico y ahorro energético.

Composición del producto

La solución constructiva al completo se compone de poliestireno expandido, que forma el aligeramiento aislante del forjado, los materiales resistentes que habitualmente conforman un forjado, hormigón y acero estructural, y un acabado inferior mediante guarnecido de yeso.

La composición promedio por metro cuadrado es:

Componente	Contenido	Unidades
Bovedilla de poliestireno expandido	2,27	kg
Hormigón	351	kg
Acero (forjado)	12	kg
Yeso	15	kg

Esquema del ACV

El estudio realizado consiste en un Análisis de Ciclo de Vida “cuna a puerta con opciones”. Las únicas etapas que no se abordan en el análisis son las correspondientes al uso del edificio (B1-B7), ya que al tratarse de un elemento pasivo dentro de la construcción, esta etapa no añade ningún impacto relevante en el ciclo de vida.



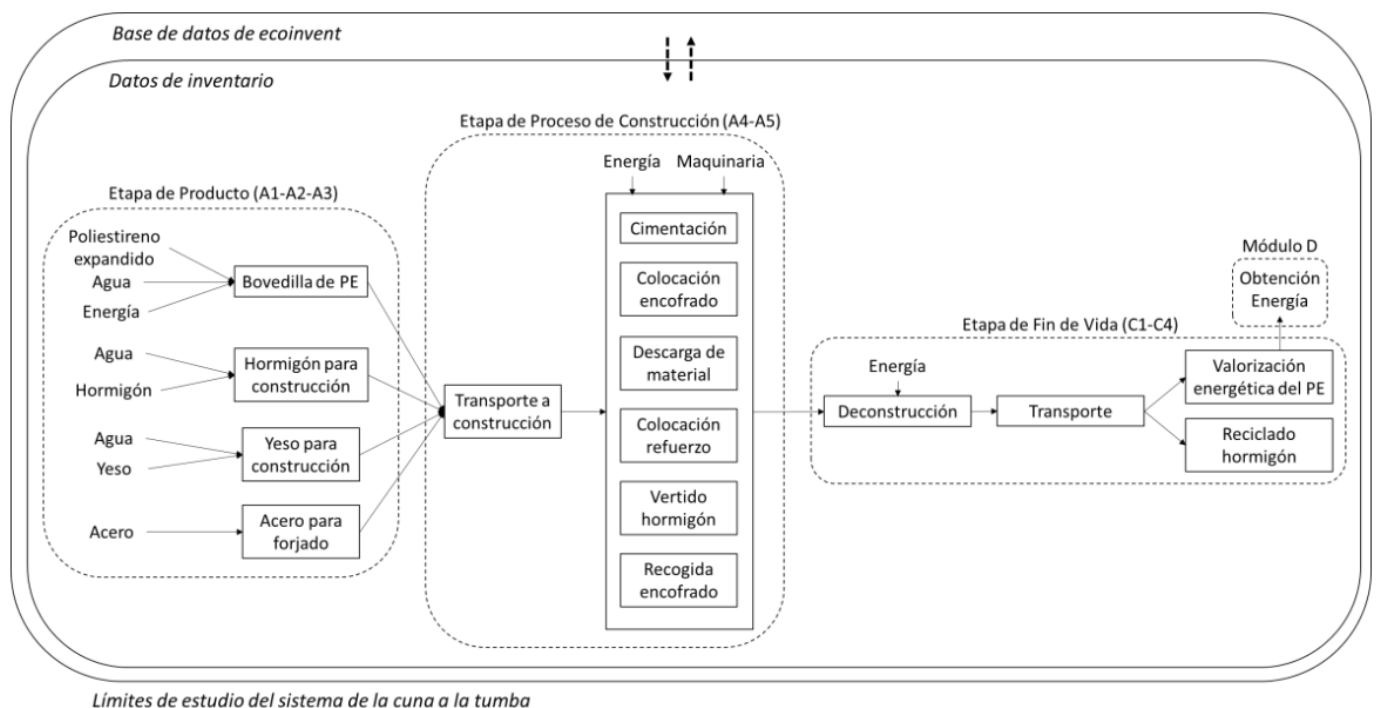
Tabla de alcance del análisis de ciclo de vida

Etapa de producto	A1	Suministro de materias primas	x
	A2	Transporte a fábrica	x
	A3	Fabricación	x
Etapa de construcción	A4	Transporte a obra	x
	A5	Instalación/construcción	x
Etapa de uso	B1	Uso	MNE
	B2	Mantenimiento	MNE
	B3	Reparación	MNE
	B4	Sustitución	MNE
	B5	Rehabilitación	MNE
	B6	Uso de energía en servicio	MNE
	B7	Uso de agua en servicio	MNE
Fin de vida	C1	Deconstrucción / demolición	x
	C2	Transporte	x
	C3	Tratamiento de residuos	x
	C4	Eliminación	x
Beneficios y cargas más allá del límite del sistema	D	Potencial de reutilización, recuperación y/o reciclaje	x
X = Módulo incluido en el ACV , MNE = Módulo no evaluado			

DATOS PREVIOS

Diagrama de flujo del sistema

Se incluye en este apartado un diagrama de flujo del sistema, con sus diferentes etapas, para entrar luego en detalle en cada una de ellas a excepción de la etapa de uso, que no se detallará en este informe, puesto que al tratarse de un módulo pasivo dentro de una construcción la etapa de uso no añade ningún impacto en el ciclo de vida del producto.



Procesos previos a la fabricación (upstream) y fabricación del producto (A1-A3)

En esta fase 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, e incluyendo información relativa a 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 poliestireno expandido	kg	2,27	16,87kg de agua; 1,79kWh y otros 16,92 de calor (por 1kg = 7,43kg de agua, 0,78kWh y 7,45calor)	La información adicional aportada se refiere al consumo de agua y energía realizados en fabrica durante la fabricación de la bovedilla
Hormigón	kg	351	80l de agua, 0,65 por kg de cemento (350kg/m3) (por 1kg = 0,227kg de agua)	La cantidad de agua es la utilizada durante la construcción. Se corresponde con la dosificación de agua necesaria para la fabricación del hormigón
Acero (forjado)	kg	12	Acero BS500	Se ha considerado la cuantía media de acero por m2 de solución constructiva
Yeso	kg	15	11l de agua durante el amasado (por 1kg = 0,733l de agua)	La cantidad de agua es la utilizada durante la construcción y se corresponde con la dosificación de agua necesaria para el amasado del yeso
Madera encofrado	kg	-	-	Su impacto puede considerarse despreciable al estimarse un potencial de reutilización de tableros de 100 usos para el sistema FOREL
Puntales	kg	-	-	Su impacto puede considerarse despreciable al estimarse un potencial de reutilización de puntales de 250 usos para el sistema FOREL

RESULTADOS

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos tras la realización del ACV:

Categoría de impacto	Unidad	A1-A2-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	TOTAL
Potencial de Calentamiento global (GWP)	kg CO ₂ eq	8,14E+01	1,87E+00	1,26E+00	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	2,60E+00	3,25E+00	1,79E+00	4,81E+00	-6,71E-01	9,63E+01
Agotamiento de la Capa de Ozono (DOP)	kg CFC1.1 eq	4,30E-06	4,24E-07	2,13E-07	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	5,54E-07	7,46E-07	3,81E-07	7,19E-08	-1,01E-07	6,59E-06
Potencial de Acidificación del suelo y de los Recursos del agua (AP)	kg SO ₂ eq	2,99E-01	7,46E-03	9,17E-03	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	2,69E-02	1,31E-02	1,85E-02	1,91E-03	-6,29E-04	3,75E-01
Potencial de Eutrofización (EP)	kg (PO ₄) ³⁻ eq	1,93E-02	1,30E-04	4,20E-05	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	7,74E-05	2,11E-04	5,32E-05	1,21E-05	-9,77E-06	1,99E-02
Potencial de Formación de Ozono Troposférico (POPC)	kg etileno eq	2,72E-01	7,36E-03	1,20E-02	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	3,59E-02	1,31E-02	2,47E-02	2,29E-03	-8,06E-04	3,67E-01
Potencial de agotamiento de Recursos Abióticos para Recursos no Fósiles (ADP-elementos)	kg Sb eq	4,53E-04	6,94E-06	8,27E-07	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	1,40E-06	1,07E-05	9,64E-07	3,79E-07	-6,19E-07	4,73E-04
Potencial de agotamiento de Recursos Abióticos para Recursos Fósiles (ADP-combustibles fósiles)	MJ	8,03E+02	2,79E+01	1,39E+01	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	3,55E+01	4,87E+01	2,44E+01	4,78E+00	1,16E+01	9,46E+02
Uso neto de recursos de agua corriente	m ³ eq	3,41E+01	9,48E-02	1,33E-01	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	5,77E-02	1,58E-01	3,97E-02	2,44E-02	-7,02E-02	3,45E+01



ESTUDIO COMPARATIVO

Datos ACV. Comparación entre sistemas.

Composición.

Tras completar el ACV del módulo de forjado construido mediante el Sistema FOREL se ha realizado un análisis comparativo de una unidad de obra equivalente realizada mediante los sistemas de forjado tradicionales más empleados en la construcción, con bovedilla de hormigón y bovedilla cerámica.

El estudio se ha centrado en las etapas correspondientes a la fabricación del producto (A1-A3) y al proceso de construcción del edificio (A4-A5), puesto que a raíz de los resultados obtenidos se ha determinado que estas etapas son las que tienen una mayor importancia en cuanto a las emisiones y consumos energéticos.

Los datos de los productos alternativos usados para realizar la comparación han sido extraídos de sus DAP sectoriales de España, documentos públicos cuyas reseñas están incluidas en las referencias del presente documento.

La composición comparativa usada para cada unidad de forjado es la siguiente:

Materias primas	Unidad	Forjado FOREL	Forjado cerámico	Forjado hormigón
Casetón	kg	2,27	70	143
Hormigón	kg	351	390	420
Acero (forjado)	kg	12	14	15
Yeso	kg	15	15	15
Aislamiento	cm	0	3	3

Resultados

Los resultados comparativos obtenidos para los tres módulos de forjado analizados (FOREL, hormigón y cerámica respectivamente) en sus parámetros ambientales más significativos se muestran en la siguiente tabla:

Categoría de impacto	Unidad	FOREL	Hormigón	Cerámica
Potencial de Calentamiento global (GWP)	kg CO ₂ eq	96.3	222	201
Agotamiento de la Capa de Ozono (ODP)	kg CFC11 eq	0,000096	0,069	0,064
Potencial de Acidificación del suelo y de los Recursos del agua (AP)	kg SO ₂ eq	0,375	1,010	0,962
Potencial de Eutrofización (EP)	kg (PO ₄) ³ eq	0,0199	0,106	0,091
Potencial de Formación de Ozono Troposférico (POPC)	kg etileno eq	0,0367	0,355	0,333
Potencial de agotamiento de Recursos Abióticos para Recursos No Fósiles (ADP-elementos)	kg Sb eq	0,00047	0,0060	0,0055
Potencial de agotamiento de Recursos Abióticos para Recursos Fósiles (ADP-combustibles fósiles)	MJ	946	2260	2130
Uso neto de recursos de agua corriente	m ³ eq	34.2	25,3	20,6

El impacto ambiental generado por un forjado FOREL es prácticamente todos los apartados del estudio es netamente inferior. El impacto ambiental de una obra ejecutada con FOREL será netamente inferior a su equivalente ejecutada mediante sistemas tradicionales alternativos.

Análisis

El impacto ambiental de un forjado FOREL es claramente inferior al de sus equivalentes tradicionales por unidad de superficie, como se observa en los valores resultantes obtenidos en el estudio comparativo relativo a las fases de fabricación, transporte y proceso de construcción por unidad de obra ya que estas etapas son las que tienen una mayor importancia en cuanto a las emisiones y consumos energéticos.

Los mayores impactos ambientales están asociados a procesos como la extracción y lavado de áridos, ausentes en el material de FOREL y muy presentes en los materiales tradicionales. Unido a que un forjado tradicional demanda un 30-40% de sobrepeso se justifica la superior repercusión ambiental. A esto se le une una demanda muy inferior durante la construcción.

La huella de carbono generada por el Sistema FOREL es en torno a un 40% de la de los forjados tradicionales equivalentes.

- El efecto generado sobre la capa de ozono se reduce a menos de 1/10.
- La acidificación de suelo y agua es 1/3 de la generada por forjados equivalentes.
- La eutrofización generada es, aproximadamente, de 1/5.
- El agotamiento que genera sobre recursos no fósiles es inferior al 10%, mientras que para los recursos fósiles está en torno a un 30%.

Conclusión

El efecto ambiental global de un forjado FOREL queda en sus principales parámetros entre 1/4 y 1/3 del efecto ambiental generado por un forjado tradicional equivalente.

REFERENCIAS

Análisis de Ciclo de Vida

- UNE-EN 15804:2012+A2:2020 Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.
- UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14044:2006 Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.
- Product Category Rules. Construction Products and Construction Services. 2012:01 Version.
- 2.2. International EPD® System.
- Declaraciones ambientales de producto de hormigones. ANEFHOP AENOR Global EPD EN16757-002.
- Declaración ambiental de producto de yeso de Proyección aligerado Proyal XXI Placo Saint Gobain nº verificación ES057571-10.
- Declaraciones ambientales de productos largos de acero no aleado para construcción laminados en caliente procedentes de horno eléctrico: barras corrugadas. ASOCIACIÓN DE SOSTENIBILIDAD SIDERÚRGICA. AENOR Global EPD 001-002 renovación 1.
- EPD Expanded Polystyrene (EPS) Foam Insulation (shape moulded, density 25kg/m³) EUMEPS. EPD-EUM-20160271-IBG1-EN.