

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INDUSTRIALIZADOS COMPARADO CON UN SISTEMA CONSTRUCTIVO CONVENCIONAL

¹Avellaneda, J.; ²Cela, C.; ³González, J.M.

^{1y3}Dr. Arquitecto. Profesor departamento Construcciones Arquitectónicas I, UPC.

²Arquitecto. Master de Energía y Medio Ambiente en la Arquitectura, UPC.

e-mail: ¹Jaume.Avellaneda@upc.edu; ²Criscela5@hotmail.com;

³Jose.m.gonzalez@upc.edu

RESUMEN

El *paper* analiza el impacto ambiental motivado por la construcción de diversos edificios de viviendas, recientemente construidos, a partir de la evaluación del CO₂ generado y la energía consumida en la elaboración de los materiales que los componen así como el transporte de dichos materiales o componentes a la obra. El interés del trabajo reside en que se ha podido comparar el impacto ambiental provocado por la construcción de edificios realizados con diferentes tecnologías industrializadas (TECCON, COMPACT HABIT, MODULTEC Y BSCP) con el provocado por la construcción de un edificio de viviendas a partir de técnicas convencionales; estructura de hormigón fachadas de ladrillo cerámico y carpinterías de aluminio. Todos los edificios estudiados fueron construidos en Cataluña recientemente y son de promoción pública. Se han utilizado en todos los casos los mismos datos de impacto básico de los materiales de construcción y el mismo criterio para evaluar el impacto ambiental debido al transporte.

Keywords: Impacto ambiental, Construcción industrializada, Construcción convencional, Edificios de viviendas.

1.- Introducción.

El presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis del impacto ambiental de diferentes sistemas industrializados utilizados en la construcción de viviendas.

Se presentarán cinco edificios construidos de viviendas realizados con sistemas industrializados y un edificio realizado mediante un sistema de construcción convencional, se compararán desde el punto de vista del impacto ambiental de sus materiales y de los sistemas constructivos con los que están construidos así mismo se plantea una reflexión sobre la influencia de la localización de las obras y el transporte.

2.- Metodología.

Para realizar el estudio comparativo se ha seguido el siguiente esquema:

- a) Se analizan y verifican los datos de mediciones y valores de cada partida de obra, unificando criterios para así poder luego compararlos.
- b) Se divide cada caso por sistemas: estructura, fachadas y construcción interior.
- c) Se analiza, de nuevo, cada caso a partir de una clasificación de materiales: materiales: pétreos, metálicos, sintéticos y orgánicos [1]
- d) Se analiza la repercusión del transporte en cada caso particular.
- e) Se elaboran los gráficos comparativos de los casos tanto por sistemas como por materiales.
- f) Se extraen conclusiones y se valora si realmente la industrialización representa una mejora, desde el punto de vista ambiental, sobre la construcción convencional.

3.- Descripción de los casos

Todas las obras analizadas han sido realizadas en Catalunya en los últimos cinco años y han sido promovidas por el Institut Català del Sòl INCASOL. Se encuentran todas finalizadas y habitadas.

3.1.- Módulos 3d: Edificio de 30 viviendas en Banyoles.

Se trata de una promoción de viviendas en la localidad catalana de Banyoles (Girona) realizada por los arquitectos Miguel Morte y Xavier Tragant siguiendo el modelo constructivo del sistema **Compact Habit**.

El sistema de Edificación Integral de Compact Habit (EMI) consiste en edificar a partir de módulos completamente equipados realizados en taller, se trasladan al solar y se yuxtaponen y apilan formando edificios de hasta 6 plantas (4 plantas en este caso). Una vez apilados los módulos, se conectan las instalaciones y se personaliza la fachada y la cubierta según el diseño establecido para cada promoción.

Hay gran variedad de módulos: de 50 m², 60 m², 70 m², 90 m², etc. que se pueden combinar entre sí para dar mayor flexibilidad al proyecto.

En este caso, la promoción consta de cuatro plantas sobre rasante (PB+3) y en cada planta hay 8 módulos que comparten una zona común.



Figura 1 “edificio en Banyoles”

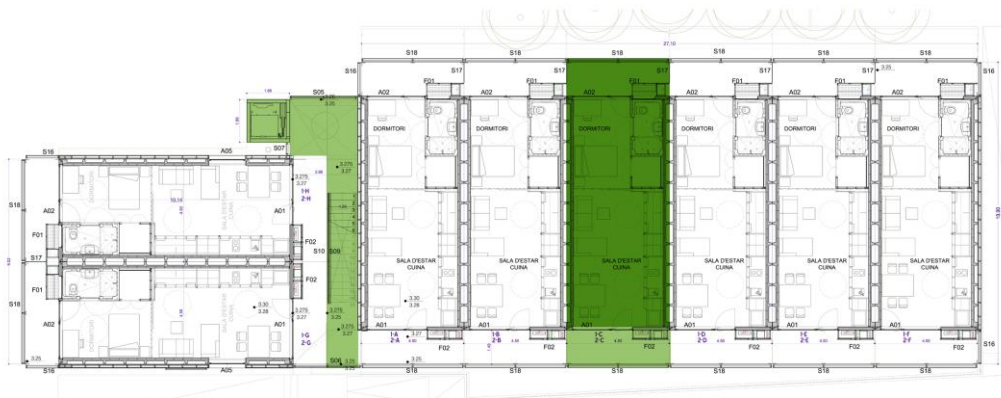


Figura 2 “planta edificio en Banyoles”

Para realizar el estudio se analiza un módulo de vivienda con la correspondiente superficie de área común.

Área del módulo de vivienda: 53.12 m²

Área común por vivienda: 3.29 m²

Área total analizada: 56.41 m²

3.2.- Paneles sandwich: Edificio de 27 viviendas en Callús.

Se trata de una promoción de viviendas en la localidad catalana de Callús (Bages) realizada por los arquitectos Arau Mediavilla SCP siguiendo el modelo constructivo del sistema **TECCON**.

El sistema **TECCON** se basa en paneles de 60 cm de ancho realizados a partir de montantes de chapa fina perfilada de acero galvanizado (light steel framing). Los paneles forman una estructura muraria así como las compartimentaciones interiores, los forjados son colaborantes; de chapa de acero y hormigón armado.

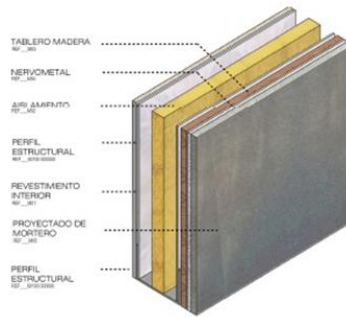


Figura 3 “panel sandwich Teccon”

En este caso, se trata de un bloque en forma de H que consta de tres plantas sobre rasante (PB+2) con viviendas de 2 y 3 dormitorios con acceso mediante pasarelas exteriores.

En cada planta hay 9 viviendas que comparten una zona común.



Figura 4 “planta edificio en Callús”

Para realizar el trabajo se analizará una vivienda con la correspondiente superficie de área común.

Área del módulo de vivienda: 60.4 m²

Área común por vivienda: 11.11 m²

Área total analizada: 71.51 m²

3.3.- Paneles de hormigón: Edificio de 23 viviendas en Mataró.

Se trata de una promoción de viviendas en la localidad catalana de Mataró realizada por los arquitectos Duran & Grau Arquitectes Associats siguiendo el modelo constructivo del sistema **BSCP (Building Sistem with Concrete Panel)**.

El sistema BSCP se basa en paneles de hormigón fabricados a pie de obra.

Para cada panel se desarrolla el plano de detalle con la armadura interior, las instalaciones que hay que colocar, la ubicación de cajas técnicas y los elementos de acero para la fijación de la pieza.

El Sistema BSCP posee diferentes tipos de piezas (fachada, tabique, forjado, cubierta y escalera) y que dependiendo del tipo que se construya, la fabricación será diferente.

En este caso, la promoción consta de cinco plantas (PB+4) y en cada planta hay 5 viviendas con acceso mediante pasarela exterior que comparten una zona común.



Figura 5 “edificio en Mataró”

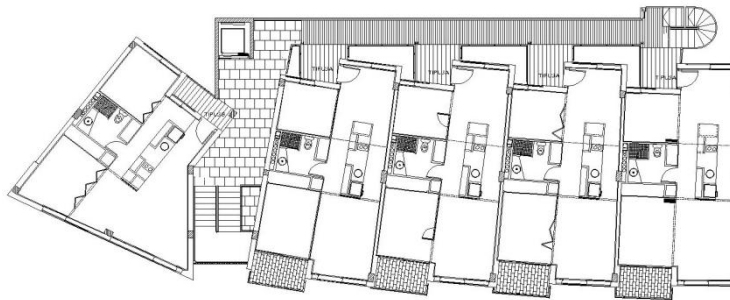


Figura 6 “planta edificio en Mataró”

Para realizar el trabajo se analizará una vivienda con la correspondiente superficie de área común que se le repercute por planta.

Área del módulo de vivienda: 66.8 m²

Área común por vivienda: 13.74 m²

Área total analizada: 80.54 m²

3.4.- Módulos metálicos: Edificio de 36 viviendas en Torelló.

Se trata de una promoción de viviendas en la localidad catalana de Torelló realizada por los arquitectos Estudi TAC, E. Gascón & J. Roig siguiendo el modelo constructivo del sistema **Modultec**.

El sistema Modultec consiste en módulos metálicos autoportantes que se ensamblan tanto horizontal como verticalmente, Cada módulo se suministra totalmente acabado.

La particularidad de este sistema consiste en que el edificio es construido primero en la fábrica, situada en Gijón, posteriormente se desmonta y es trasladado al emplazamiento definitivo mediante módulos.

Los módulos se fabrican a partir de un sistema de pilares metálicos que conforman la estructura vertical, el forjado es colaborante de chapa y acero.



Figura 7 “montaje de módulo”

En este caso, se trata de un bloque lineal que consta de cuatro plantas (PB+3) y en cada planta hay 9 viviendas que comparten una zona común

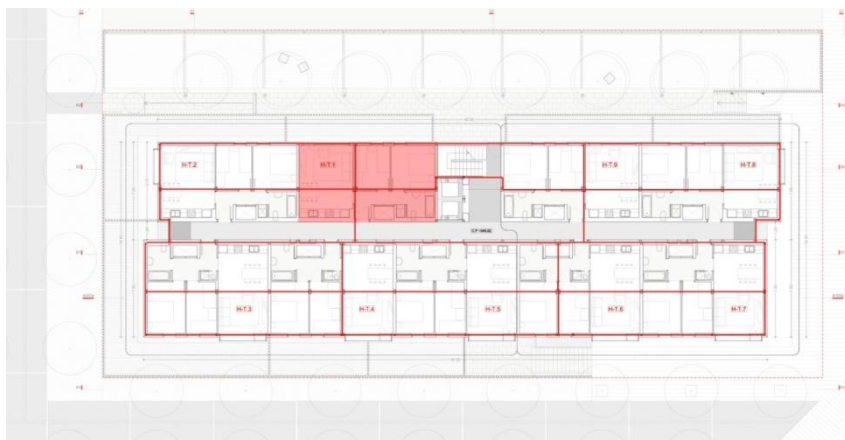


Figura 8 “planta edificio en Torelló”

Para realizar el trabajo se analizará una vivienda con la correspondiente superficie de área común.

Área del módulo de vivienda: 57.6 m²

Área común por vivienda: 8.5 m²

Área total analizada: 66.10 m²

3.5.- Sistema convencional: Edificio de 16 viviendas en la Torre de l’Espanyol.

Se trata de una promoción de viviendas en la localidad Torre de l’Espanyol realizada por el equipo de arquitectos F2m-arquitectura siguiendo el modelo constructivo de la **construcción convencional**. Se trata de una construcción con estructura de hormigón armado in situ y particiones interiores y fachadas de ladrillo de ladrillo cerámico. Los acabados son los usuales en este tipo de construcción.

Se trata de una promoción en forma de L que consta de tres plantas sobre rasante (PB+2) y una bajo rasante. En cada planta hay 8 viviendas divididas en dos grupos que comparten una zona común cada uno.

La estructura es de hormigón armado in situ, las fachadas son cerámicas aplacadas con fibrocemento y las divisiones interiores son también cerámicas.

Para realizar el trabajo se analizará la vivienda A con la correspondiente superficie de área común.

Área de la vivienda: 82.42 m²

Área común por vivienda: 13.28 m²

Área total analizada: 95.70 m²



Figura 9 “planta edificio en Torre del Español”

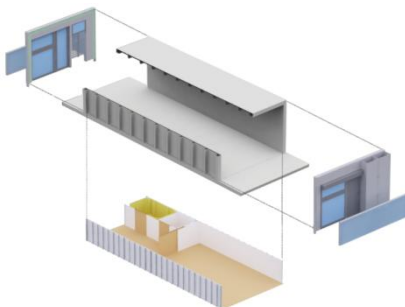
4.- Tabla general de materiales

El primer paso para realizar este análisis comparativo ha sido el de elaborar una tabla con todo el conjunto de materiales que se han utilizado en los diversos casos de estudio asignándoles a cada uno los datos de Energía (medidos en MJ/m³ o en MJ/m²) y Emisiones de CO² (medidas en KgCo²eq/m³, KgCo²eq/m², KgCo²eq/Kg) que se asocian a la extracción, producción y/o elaboración de cada material. Esta tabla sirve para unificar criterios y así poder comparar los datos que posteriormente se extraigan de cada proyecto.

Estos datos se han obtenido de dos fuentes fundamentalmente: Banco BEDEC: base de datos del Institut Tècnic de la Construcció (ITeC). “Construction materials manual”, Manfred Hegger, Ed. Birkhäuser [2]

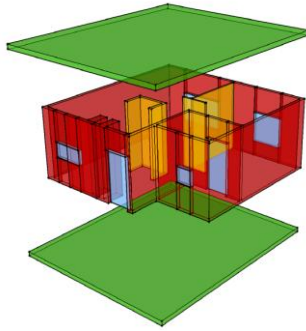
5.- Anàlisis de cada sistema constructivo

5.1.- Módulos 3D en hormigón



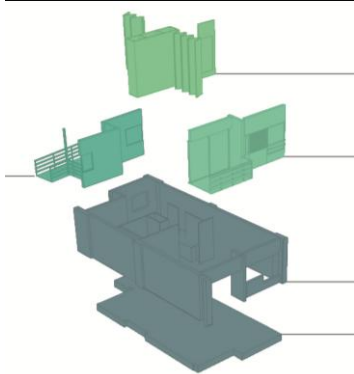
Datos de Extracción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m ²	MJ/m ²	Kg CO ₂ eq/m ²	
86,97	662,18	39,21	INTERIORES
627,91	1.515,16	127,59	ESTRUCTURA
46,32	974,53	102,90	FACHADAS
761,19	3.151,87	269,69	TOTAL
11,43%	21,01%	14,54%	INTERIORES
82,49%	48,07%	47,31%	ESTRUCTURA
6,08%	30,92%	38,15%	FACHADAS

5.2.- Paneles sandwich



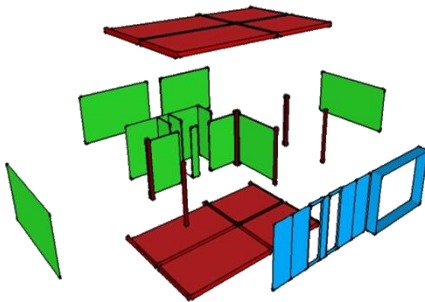
Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m2	MJ/m2	Kg CO2 eq/m2	
149,40	438,93	35,00	INTERIORES
240,46	542,23	46,23	ESTRUCTURA
31,01	704,60	71,13	FACHADAS
420,87	1.685,76	152,35	TOTAL
35,50%	26,04%	22,98%	INTERIORES
57,13%	32,17%	30,34%	ESTRUCTURA
7,37%	41,80%	46,68%	FACHADAS

5.3.- Paneles de hormigón



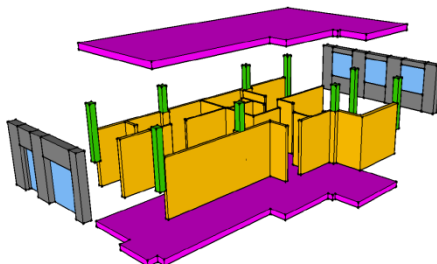
Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m2	MJ/m2	Kg CO2 eq/m2	
13,30	206,01	21,60	INTERIORES
561,38	1.941,18	174,08	ESTRUCTURA
95,06	682,72	69,88	FACHADAS
669,74	2.829,90	265,56	TOTAL
1,99%	7,28%	8,13%	INTERIORES
83,82%	68,60%	65,55%	ESTRUCTURA
14,19%	24,13%	26,31%	FACHADAS

5.4.- Módulos metálicos



Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m2	MJ/m2	Kg CO2 eq/m2	
316,65	1.693,27	137,41	INTERIORES
329,06	2.381,92	176,97	ESTRUCTURA
31,73	1.606,10	207,04	FACHADAS
677,44	5.681,29	521,42	TOTAL
46,74%	29,80%	26,35%	INTERIORES
48,57%	41,93%	33,94%	ESTRUCTURA
4,68%	28,27%	39,71%	FACHADAS

5.5.- Sistema convencional



Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m2	MJ/m2	Kg CO2 eq/m2	
595,22	2.148,46	181,16	INTERIORES
458,49	753,18	72,85	ESTRUCTURA
55,23	614,87	70,64	FACHADAS
1.108,94	3.516,51	324,65	TOTAL
53,67%	61,10%	55,80%	INTERIORES
41,35%	21,42%	22,44%	ESTRUCTURA
4,98%	17,49%	21,76%	FACHADAS

6.- Impacto ambiental debido al transporte

	ORIGEN	DESTINO	KM	PESO (kg/m ²)	km/kg
MÓDULOS 3D	Cardona	Banyoles	182	761	0,239
PANELES SANDWICH	Santpedor	Callús	6	420	0,014
PANELES DE HORMIGÓN	Barcelona	Mataró	30	1129	0,027
MÓDULOS METÁLICOS	Gijón	Torelló	945	677	1,396
SISTEMA CONVENCIONAL	extrarradio	Torre espanyol	20	1109	0,018



Figura 10 “localización de las obras y las industrias”

7.- Conclusiones

Parámetros de impacto ambiental comparado de los diferentes sistemas constructivos empleados. Unidades: Peso (K/m²) – Energía (Mj/m²) – Emisiones (KgCO₂ eq./m²)

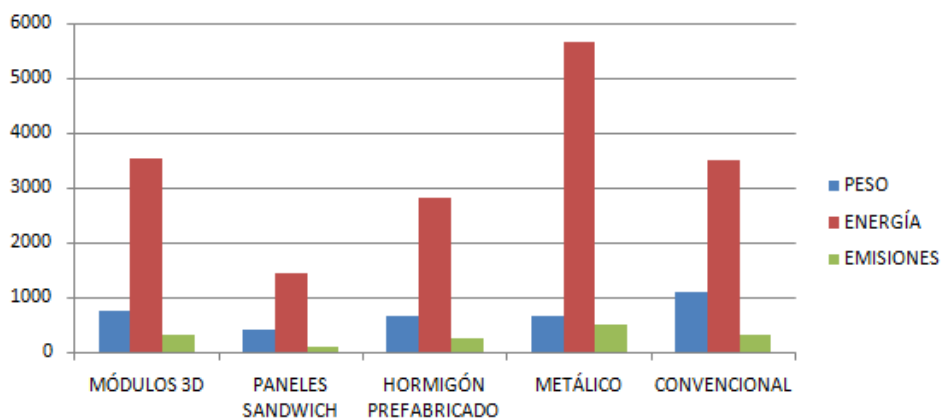


Figura 11 “cuadro comparativo de resultados de impacto ambiental”

- Analizando cuatro casos de sistemas industrializados distintos y comparándolos con un sistema convencional de construcción podemos observar que, a nivel de materiales, el sistema convencional no es el que provoca un mayor impacto ambiental en relación a energía y emisiones. No obstante es el que alcanza mayor peso por m². No se han tenido en cuenta la repercusión de los residuos en la valoración del impacto ambiental de cada sistema, los realizados en taller tiene un mejor aprovechamiento de materiales que el sistema convencional realizado en el tajo por lo que los datos y gráficos que se presentan pueden experimentar ligeros cambios.
- Teniendo en cuenta que los materiales de construcción de un sistema convencional suelen ser locales, la repercusión del transporte en este sistema es menor que en los industrializados (a excepción del sistema BSCP) ya que los lugares de fabricación de componentes pueden estar muy alejados de la ubicación de las obras.
- Se puede decir que los sistemas de construcción convencional no tienen un mayor impacto ambiental que los industrializados si atendemos exclusivamente a las fases de producción de materiales y montaje. No obstante si tenemos en cuenta que al final de la vida útil de un edificio éste en vez de ser demolido (Construcción convencional) puede ser más o menos fácilmente “deconstruido” (Paneles de hormigón y paneles sándwich) o “reutilizado” (3D de hormigón o acero), puede decirse que los sistemas industrializados presentan importantes ventajas ambientales.

REFERENCIAS

[1] En este *paper* no se exponen los gráficos de la repercusión del impacto ambiental correspondientes a las diferentes familias de materiales por separado que componen cada sistema debido a falta de espacio.

[2] Valores de impacto ambiental considerados para diferentes materiales

Material	Energía	Unidad2	Emisiones	Unidad3
acer 20% reciclado	274.750	MJ/m3	28.260	KgCO2 eq/m3
acero	188.400	MJ/m3	13.345	KgCO2 eq/m3
acero inoxidable	54	MJ/Kg	5	KgCO2 eq/Kg
Acero Galvanizado	188.400	MJ/m3	13.345	KgCO2 eq/m3
aluminio primario	432.000	MJ/m3	70.200	KgCO2 eq/m3
arcilla cocida, ladrillo tabique	4.776	MJ/m3	301	KgCO2 eq/m3
arcilla cocida, materiales cerámicos vitificados	18.000	MJ/m3	972	KgCO2 eq/m3
arena	150	MJ/m3	15	KgCO2 eq/m3
asfalto en tela	13.000	MJ/m3	1.560	KgCO2 eq/m3
Carton Yeso 11-15-40mm	3.213	MJ/m3	300	KgCO2 eq/m3
cemento	8.400	MJ/m3	492	KgCO2 eq/m3
cemento cola	14,44	MJ/m2	2,15	KgCO2 eq/m2
Chapa Grecada Eurocol 60, esp:1,2mm	188.400	MJ/m3	13.345	KgCO2 eq/m3
fabrica de ladrillo vacio	2.960	MJ/m3	180	KgCO2 eq/m3
fábrica de ladrillo macizo	5.130	MJ/m3	306	KgCO2 eq/m3
fábrica de ladrillo perforado	4.004	MJ/m3	238	KgCO2 eq/m3
fibrocemento	18.000	MJ/m3	1.780	KgCO2 eq/m3
gres porcelánico	7.160	MJ/m3	445	KgCO2 eq/m3
heraklith	8,40	MJ/m2	0,42	KgCO2 eq/m2
hormigón H-200	2.750	MJ/m3	275	KgCO2 eq/m3
hormigón prefabricado con 2% armado	4.098	MJ/m3	455	KgCO2 eq/m3
hormigón prefabricado	598	MJ/m3	166	KgCO2 eq/m3
Lámina EPDM	87.400	MJ/m3	2.266	KgCO2 eq/m3
Lana de roca	1.400	MJ/m3	122	KgCO2 eq/m3
lámina plástica impermeable continua	169,13	MJ/KG	24,96	KgCO2 eq/kg
madera	2.400	MJ/m3	48	KgCO2 eq/m3
madera, tablero aglomerados	9.800	MJ/m3	945	KgCO2 eq/m3
madera, tablero contraplacado	2.617	MJ/m3	0	KgCO2 eq/m3
Madera, pino macizo	609	MJ/m3	0	KgCO2 eq/m3
Mortero	1.536	MJ/m2	105	KgCO2 eq/m2
Neopreno	686,40	MJ/m2	101,31	KgCO2 eq/m2
parquet madera clavada	51,53	MJ/m2	2,64	KgCO2 eq/m2
panel Etercolor	75,38	MJ/KG	11,53	KgCO2 eq/kg
Paneles de DM hidrofugos	9.767	MJ/m3	0	KgCO2 eq/m3
PVC primario	168.000	MJ/m3	21.693	KgCO2 eq/m3
pintura plástica	1,40	MJ/m2	0,21	KgCO2 eq/m2
pintura y barnices sintéticos	1,40	MJ/m2	0,21	KgCO2 eq/m2
Poliester con fibra de vidrio	200.700	MJ/m3	4.68	KgCO2 eq/m3
poliestireno expandido	2.400	MJ/m3	301	KgCO2 eq/m3
poliestireno extruido	4.000	MJ/m3	691	KgCO2 eq/m3
poliuretano	369,60	MJ/m2	45,98	KgCO2 eq/m2
Resina Epoxi	171.250	MJ/m3	8.088	KgCO2 eq/m3
terrazo	172,50	MJ/m2	16,51	KgCO2 eq/m2
Vidrio laminado	35.000	MJ/m3	2.200	KgCO2 eq/m3
yeso	3.213	MJ/m3	300	KgCO2 eq/m3