



Departament de Projectes  
d'Enginyeria

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
Laboratorio de Modelización Ambiental

# Estimación del consumo energético y de la emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la producción, uso y disposición final de láminas de PVC-P, EPDM y materiales bituminosos.

*Dr. José María Baldasano Recio  
María Gonçalves Ageitos  
Dr. Pedro Jiménez Guerrero*

Barcelona, noviembre de 2005

## Índice

1. Resumen .....	1
2. Antecedentes .....	4
2.1. Objetivo y bases de cálculo .....	4
2.2. Contenido del documento.....	5
3. El ciclo de vida de una lámina .....	6
4. Estimación del consumo de energía y de la emisión CO <sub>2</sub> atribuible a 1 m <sup>2</sup> de lámina de impermeabilización de cubiertas. ....	7
4.1. Base de cálculo .....	7
4.1.1. Dimensiones.....	7
4.1.2. Materiales .....	7
4.1.3. Escenarios analizados.....	7
4.2. La extracción y producción de materiales.....	9
4.3. La producción de la lámina. ....	11
4.4. La instalación de la lámina. ....	11
4.5. El uso de la lámina .....	14
4.6. Desmantelamiento .....	15
4.7. El reciclaje .....	15
4.8. La disposición final.....	15
4.9. El transporte .....	15
4.10. Factores de emisión.....	16
5. Resultados y análisis comparativo .....	17
5.1. Estimación de consumos energéticos y emisiones de CO <sub>2</sub> .....	17
6. Conclusiones .....	26
7. Referencias.....	28

**Índice de tablas.**

Tabla 4.1. Características de las láminas de impermeabilización de cubiertas escogidas. .... 9

Tabla 4.2 Consumos energéticos de la extracción de recursos naturales y de la producción de materiales. .... 10

Tabla 4.3. Dimensiones de las láminas comerciales tomadas como caso base. .... 12

Tabla 4.4. Características de la soldadora de aire caliente tomada como referencia para la instalación de la lámina de PVC-P. .... 12

Tabla 4.5. Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la instalación de la lámina. .... 13

Tabla 4.6. Factores de corrección debidos a los diferentes tiempos de vida media de los materiales. .... 14

Tabla 4.7. Factores de emisión de CO<sub>2</sub>. .... 16

Tabla 5.1. Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para las diferentes etapas del ciclo de vida de 1 m<sup>2</sup> de una lámina de PVC-P con velo de fibra de vidrio para impermeabilización de cubiertas. .... 19

Tabla 5.2. Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para las diferentes etapas del ciclo de vida de 1 m<sup>2</sup> de una lámina de PVC-P con velo de fibra de vidrio para impermeabilización de cubiertas, utilizando un 50% de material reciclado. .... 19

Tabla 5.3. Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para las diferentes etapas del ciclo de vida de 1 m<sup>2</sup> de una lámina de EPDM para impermeabilización de cubiertas. .... 20

Tabla 5.4. Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para las diferentes etapas del ciclo de vida de 1 m<sup>2</sup> de una lámina de EPDM para impermeabilización de cubiertas, utilizando un 50% de material reciclado. .... 20

Tabla 5.5. Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para las diferentes etapas del ciclo de vida de 1 m<sup>2</sup> de una lámina de betún modificado con elastómero SBS y armadura de fieltro de fibra de vidrio para impermeabilización de cubiertas. .... 21

Tabla 5.6. Consumo de energía estimado para cada una de las etapas del ciclo de vida de láminas de diferentes materiales. Resumen.....24

Tabla 5.7. Emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para cada una de las etapas del ciclo de vida de láminas de impermeabilización de diferentes materiales. Resumen. ....25

Tabla 5.8. Resumen de consumos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas para 1 m<sup>2</sup> de láminas de impermeabilización de cubiertas de diferentes materiales. ....25

## Índice de figuras.

Figura 3.1. Ciclo de vida de una lámina .....	6
Figura 4.1. Membranas de impermeabilización de cubiertas de distintos materiales. ....	8
Figura 5.1. Estimación del consumo energético y las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de láminas de PVC-P para cubiertas. ....	21
Figura 5.2. Estimación del consumo energético y las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de láminas de PVC-P con utilización de un 50% de material reciclado para cubiertas .....	22
Figura 5.3. Estimación del consumo energético y las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de láminas de EPDM para cubiertas. ....	22
Figura 5.4. Estimación del consumo energético y las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de láminas de EPDM con utilización de un 50% de material reciclado para cubiertas .....	23
Figura 5.5. Estimación del consumo energético y las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de láminas de betún modificado con elastómero SBS para cubiertas .....	23

## 1. Resumen

Entre los materiales para impermeabilización cubiertas de edificios, se encuentran las láminas prefabricadas, pudiendo dividirse en dos grandes grupos, las constituidas por materiales bituminosos y las de origen polimérico.

Se ha realizado un estudio de las implicaciones medioambientales de la elección de diferentes materiales para la fabricación de láminas de impermeabilización, basándose en un análisis del ciclo de vida de las mismas, en el que se han tenido en cuenta las etapas de extracción y suministro de materiales, producción de la lámina, instalación, uso, reciclaje en los casos en que sea posible, disposición final y las diferentes etapas de transporte de materiales.

La metodología empleada se basa en un procedimiento de contabilidad ambiental de consumos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub> en el que se han estimado dichos indicadores para cada una de las etapas del ciclo de vida de la lámina. Los resultados finales suponen la suma de los consumos de energía y de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente para cada una de estas etapas.

Debido a la gran diversidad de materiales, usos y conformaciones posibles para láminas de impermeabilización, se ha decidido acotar el marco de este estudio a láminas para impermeabilización de cubiertas planas transitables con protección pesada.

Se han escogido tres modelos comerciales de láminas de estas características de los materiales más representativos: PVC-P (policloruro de vinilo plastificado), EPDM (goma de etileno y propileno) y betún modificado con elastómero SBS (poli-estireno-butadieno-estireno). Las láminas de PVC-P y de material bituminoso presentan armadura de fibra de vidrio.

Las láminas de materiales poliméricos pueden presentar hasta un 50% de material reciclado en su composición.

También se considera en este estudio la posibilidad de producir las láminas poliméricas a partir de materiales totalmente nuevos, aunque cada vez es menos habitual encontrarse en esta situación.

Aunque los materiales bituminosos son susceptibles de ser reciclados o reutilizados, este proceso suele implicar su aprovechamiento como material de relleno para su utilización en otro tipo de materiales constructivos. No se ha considerado por tanto la utilización de betún reciclado en la etapa de fabricación de la lámina.

La evaluación del impacto se ha realizado teniendo en cuenta dos indicadores fundamentales: (1) estimación del consumo energético; y (2) emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atribuibles a la fabricación, uso, reciclaje y disposición final de residuos, de las láminas detalladas anteriormente. Como base de cálculo se ha tomado 1 m<sup>2</sup> de lámina. Se ha considerado el caso más

sencillo: cubierta plana sin detalles constructivos especiales, como canalones, juntas estructurales, desagües o encuentros con paredes verticales.

Dado que las láminas analizadas presentan tiempos de vida media diferentes en función del material, 30 años para el PVC-P, 15 años para el betún modificado con SBS y 15 años para el EPDM, se han introducido factores de corrección a fin de obtener resultados comparables, considerando un período de uso para todas ellas de 30 años, con las sustituciones correspondientes en el caso de láminas de betún modificado con SBS y láminas de EPDM.

Los resultados obtenidos indican que en para las láminas de PVC-P con un 50% de material reciclado en su composición la etapa que supone un mayor consumo energético y una mayor aportación a las emisiones de CO<sub>2</sub> es la de extracción y suministro de materiales, representando un 57% de la energía total y un 55% de las emisiones.

A continuación se encuentran las etapas producción de la lámina (aproximadamente un 29-31% del consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>) y de reciclaje (11% del consumo de energía y 10% de las emisiones de CO<sub>2</sub>)

En el caso de las láminas de EPDM con un 50% de material reciclado la extracción y suministro de materiales se sitúa también como la etapa con mayor contribución al consumo energético global, del orden del 54%. De nuevo, las siguientes etapas en importancia son la producción de la lámina (29%) y el proceso de reciclaje (11%). En todos los casos mencionados las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas siguen un comportamiento análogo.

Los casos considerados en los que las láminas se fabrican con materiales totalmente vírgenes presentan la misma tendencia, aunque la contribución de la etapa de extracción y suministro de materiales es mucho mayor (del orden del 70%).

Por último, para las láminas de betún modificado con elastómero, SBS, se observa que la etapa con un mayor consumo de energía es la de extracción y suministro de materiales, suponiendo un 50% del total, seguida de la de producción de la lámina que consume un 21%.

La lámina que presenta un menor consumo de energía a lo largo del ciclo de vida es la de PVC-P con velo de fibra de vidrio y un 50% de material reciclado, supone el consumo de 9,5 kWh m<sup>-2</sup> y la emisión de 2,7 kg de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>.

La lámina de EPDM con un 50% de material reciclado supone el consumo de 22,7 kWh m<sup>-2</sup> a lo largo del ciclo de vida, y la emisión de 6,4 kg de CO<sub>2</sub>. Un 139% y un 136% más respectivamente que los correspondientes al caso base (lámina de PVC-P con 50% de material reciclado).

En último lugar se encuentran las láminas de betún modificado con SBS, que implican el consumo de 42,7 kWh m<sup>-2</sup> al cabo de 30 años y la emisión de 11,2 kg de CO<sub>2</sub>.

A fin de evaluar la influencia de la utilización de materiales reciclados en la composición de la lámina se han estudiado dos casos con material totalmente virgen: las láminas de PVC-P y las láminas de EPDM con material totalmente nuevo. Se ha observado una mejora en los resultados del orden del 55% al utilizar un 50% de PVC-P reciclado, tanto en lo que respecta al consumo energético como a las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas, y del orden del 35% para las láminas de EPDM con un 50% de material reciclado para ambos indicadores.

## 2. Antecedentes

Dentro de la impermeabilización en edificación y obra civil en general tienen gran importancia las membranas y láminas de diferentes materiales. Se pueden clasificar en dos grandes grupos: prefabricadas y conformadas in situ.

En este documento se considerarán exclusivamente láminas prefabricadas, que a su vez están sujetas a múltiples clasificaciones, en función del material del que estén compuestas y de la utilización para la cual se hayan diseñado.

Se distinguen, de acuerdo a su finalidad, láminas para la impermeabilización de cubiertas en edificación, láminas para impermeabilización de balsas y piscinas y láminas para impermeabilización de túneles y obras subterráneas.

En el caso de las láminas para la impermeabilización de cubiertas, existen a su vez dos grandes grupos de materiales: los poliméricos (entre los que se encuentran el PVC-P, el EPDM, PE, etc.) y los materiales bituminosos (oxiasfaltos, betunes modificados con elastómeros, etc.).

Debido a la gran diversidad de usos y materiales se ha decidido limitar este estudio a láminas de impermeabilización de cubiertas en edificación. Más concretamente a aquellas utilizadas en cubiertas transitables con protección pesada, con armadura, no inclinadas, y no adheridas.

### 2.1. Objetivo y bases de cálculo

En este documento se presenta una estimación del consumo energético y de la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atribuibles a la fabricación, uso, reciclaje y disposición final de residuos, de láminas fabricadas a base de PVC-P, EPDM y betún modificado con elastómero (SBS).

Este enfoque se basa en la consideración de todas las etapas de un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), aunque el alcance se centra en los dos indicadores antes mencionados.

Con el fin de hacer posible un análisis que permita obtener resultados comparativos, se utiliza como unidad de análisis (la unidad funcional en un estudio de ACV), 1 m<sup>2</sup> de lámina de impermeabilización de cubiertas transitables con protección pesada.

Los resultados pretenden ser representativos para la Península Ibérica, por lo que en el análisis que a continuación se detalla, se da prioridad a la información y condiciones de esta zona.

Se han escogido láminas disponibles comercialmente, que cumplen las diferentes normas UNE y la NBE-QB-90.

## **2.2. Contenido del documento**

Se describen las etapas que conforman el ciclo de vida de la lámina, así como las hipótesis de cálculo y escenarios para el análisis comparativo. Se indican las magnitudes de los consumos energéticos más significativos, así como la conformación de las fuentes de energía que definen los factores de emisión de CO<sub>2</sub>.

Se incluyen los resultados obtenidos en detalle y de manera resumida. Se analizan las estimaciones obtenidas identificando en orden ascendente, las alternativas con menores consumos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 3. El ciclo de vida de una lámina

La Figura 3.1 presenta el ciclo de vida típico de una lámina, centrado en el uso de energía y las correspondientes emisiones atmosféricas.

La primera etapa corresponde a la extracción de materias primas y suministro de materiales para la producción de la lámina.

A continuación se considerarían las etapas de transporte, instalación y uso de la lámina. Se estima que las láminas de PVC-P tienen una vida media de 30 años, mientras que las de EPDM y materiales bituminosos presentan una vida media de 15 años, sin consumo energético alguno asociado al mantenimiento.

Una vez que termina el período de uso de la lámina, se procede a su desmantelamiento y se traslada a un centro de reciclaje. La fracción no reciclable se envía a un centro de gestión final de residuos.

En función del material la etapa de producción de la lámina varía. Los aditivos incorporados son diferentes y en el caso del PVC-P y el betún elastómero es necesaria la inserción de un soporte de fibra de vidrio.

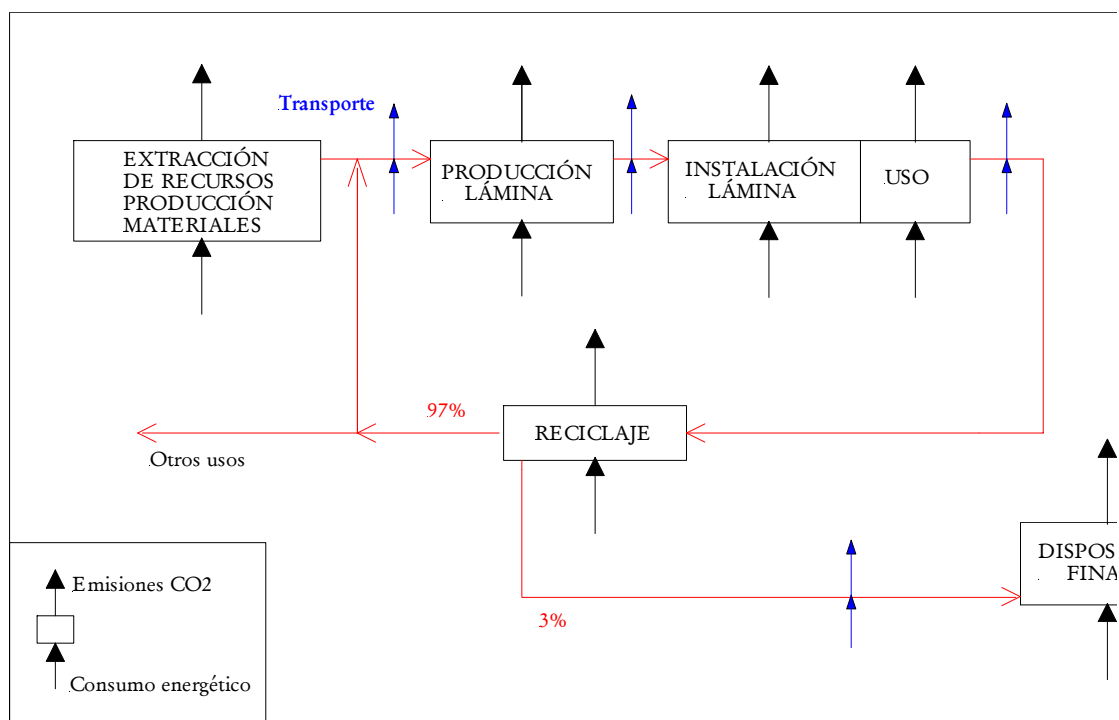


Figura 3.1. Ciclo de vida de una lámina

#### 4. Estimación del consumo de energía y de la emisión CO<sub>2</sub> atribuible a 1 m<sup>2</sup> de lámina de impermeabilización de cubiertas.

##### 4.1. Base de cálculo

###### 4.1.1. Dimensiones

Con el objetivo de obtener resultados comparables se ha escogido 1 m<sup>2</sup> de lámina comercial de los diferentes materiales.

###### 4.1.2. Materiales

El análisis se centra en la estimación del consumo de energía y las correspondientes emisiones de CO<sub>2</sub>, por metro cuadrado de láminas de:

- *PVC plastificado* (PVC, ftalato (DIDP) como plastificante principalmente) *con velo de fibra de vidrio.*
- *EPDM* (goma de etileno y propileno)
- *Betún modificado con elastómero SBS* (poli-estireno-butadieno-estireno) *armado con fieltro de fibra de vidrio.*

###### 4.1.3. Escenarios analizados

Se analizan los siguientes casos:

- 1) Lámina de PVC-P con velo de fibra de vidrio, sin PVC reciclado.
- 2) Lámina de PVC-P con velo de fibra de vidrio, con un 50% de material reciclado.
- 3) Lámina de EPDM, sin material reciclado.
- 4) Lámina de EPDM, con un 50% de material reciclado.
- 5) Lámina de betún modificado con elastómero (SBS) con armadura de fieltro de fibra de vidrio.

En la Figura 4.1 se presenta un ejemplo de láminas de cada uno de estos materiales.



Membrana PVC-P



Membrana EPDM



Membrana de betún  
modificado con elastómero SBS

Figura 4.1. Membranas de impermeabilización de cubiertas de distintos materiales.

La introducción de porcentajes importantes de material reciclado en las láminas poliméricas es cada vez más frecuente.. Aún así se ha decidido introducir como casos base en este estudio las láminas poliméricas sin material reciclado en su composición para poder analizar la variación en los resultados ocasionada por este factor.

En el caso de los materiales bituminosos no se ha considerado la utilización de material reciclado para el conformado de la lámina. La práctica habitual de reciclado de cauchos y materiales bituminosos supone su utilización como materiales de relleno en construcción o su recuperación en masa para la producción de pavimentos de viales (CESCA, 2005).

Se han escogido láminas comercialmente disponibles, cuyas características se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Características de las láminas de impermeabilización de cubiertas escogidas.

	Espesor (mm)	Composición	(% en peso)	Peso (kg m <sup>-2</sup> )
Lámina de PVC-P	1,2	PVC	60	1,5
		Plastificante (ftalato)	30	
		Aditivos	7	
		Velo de fibra de vidrio	3	
Lámina de EPDM	1,5	EPDM	100	1,9
Lámina de betún modificado con elastómero SBS	40	Betún	79	4,3
		SBS	14	
		Fieltro de fibra de vidrio	7	

Fuentes:

<http://www.alkor.es><http://www.firestonebpco.com/roofing/epdm/rubbergard.aspx><http://www.roofhelp.com/choices/modified/><http://www.chova.com>[www.jdkoontz.com/articles/aging.pdf](http://www.jdkoontz.com/articles/aging.pdf)

#### 4.2. La extracción y producción de materiales

La extracción y producción de materiales incluye la energía requerida para la extracción de recursos naturales, transporte hasta la fábrica y producción de los materiales que se utilizan en la lámina, principalmente: PVC, plastificantes para el PVC (ftalato), EPDM (goma de etileno y propileno), betún, elastómero SBS (poliestireno-butadieno-estireno), fibra de vidrio y otros aditivos.

En el caso del PVC se utiliza el consumo energético y la emisión de CO<sub>2</sub> presentadas en el documento "*Estimación del consumo energético y de la emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la producción unitaria de PVC*" (Baldasano y Parra, 2005). Se utilizan los valores del criterio de cálculo que considera la obtención conjunta de PVC y sosa cáustica. El consumo energético de la fabricación de PVC asciende a 7,2 kWh kg<sup>-1</sup>; y el factor de emisión de CO<sub>2</sub> asociado es 2,0 kg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.

Los consumos energéticos de otros materiales corresponden a la producción de EPDM, ftalato, betún modificado con elastómero SBS y fibra de vidrio, y han sido obtenidos de la base de datos SimaPro5 y APME (2004).

Para el EPDM se ha tomado un valor medio entre la producción de polietileno y polipropileno obtenidos ambos de los valores medios estimados para su producción en Europa, que suponen 7,3 kWh kg<sup>-1</sup> y unas emisiones de 1,7 kg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> y 5,6 kWh kg<sup>-1</sup> y 1,7 kg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> (APME, 2004). El consumo energético para la obtención de EPDM es de 6,4 kWh kg<sup>-1</sup> y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas de 1,7 kg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.

La energía necesaria para la producción del betún modificado con SBS se ha estimado a partir del consumo energético para la producción de asfalto y derivados bituminosos (SimaPro5), resultando 0,2 kWh kg<sup>-1</sup>. Se ha considerado que la energía empleada para su producción proviene del gasóleo para la cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

En cuanto a la fibra de vidrio, los costes energéticos de producción se han obtenido de la base de datos SimaPro5, estimándose un consumo de 0,1 kWh kg<sup>-1</sup>.

Se ha supuesto que el consumo energético para la producción de polímero SBS se puede estimar a partir del consumo necesario para la producción de poliestireno y polibutadieno, reflejadas en los Eco Profiles for the Plastics Industry (APME, 2004), resultando un gasto de 13,7 kWh kg<sup>-1</sup> y una emisión de 3,0 kg de CO<sub>2</sub> por kg de polímero producido.

El consumo energético para la producción de ftalato se ha estimado a partir del "ECO PROFILE of High Volume commodity phtalate esters (DEHP,DINP,DIDP)", (ECPI,2001), resultando un consumo unitario de 7,1 kWh kg<sup>-1</sup> y la emisión de 1,8 kg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.

En lo que se refiere a los aditivos para el EPDM, se han asimilado a los valores estimados para la producción de dichos materiales, por considerar que su aportación al balance global de energía no era significativa.

Los consumos energéticos de los materiales se resumen en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Consumos energéticos de la extracción de recursos naturales y de la producción de materiales.

Material	Consumo de energía (kWh kg <sup>-1</sup> )	Fuente
PVC	7,19	(Baldasano y Parra, 2005) (APME, 2004). Eco-profile Polyolefins
EPDM	6,42	(APME, 2004). Eco-profile Conversion processes for polyolefins
Ftalato	7,12	(ECPI, 2001)
Fibra de vidrio	0,10	(SimaPro5)
Betún	0,18	(SimaPro5)
SBS	13,73	(APME, 2004). Eco-profile Polyolefins (APME, 2004). Eco-profile Conversion processes for polyolefins

#### **4.3. La producción de la lámina.**

En todos los casos se consideran láminas prefabricadas.

El proceso de producción se realiza normalmente por extrusión en el caso de membranas poliméricas.

Las láminas de betún elastómero se producen por impregnación. El sistema habitual supone la saturación con el material bituminoso de una armadura previamente conformada de diferentes materiales (poliméricos, fibra de vidrio, etc.) y el posterior prensado del producto.

El consumo energético para el caso del conformado de láminas de PVC-P se estima en 0,81 kWh kg<sup>-1</sup> procedentes de energía eléctrica y 0,95 kWh kg<sup>-1</sup> obtenidos a partir de gas natural (comunicación personal Alkor Draka, Octubre 2004).

Para las membranas de EPDM, puesto que el proceso de producción supone mezclado de materiales y extrusión, al igual que en el caso del PVC-P, se ha tomado el mismo consumo energético.

En el caso de láminas bituminosas no se ha conseguido encontrar, en la bibliografía consultada, un valor para el consumo energético del proceso de impregnación y prensado. Aunque el consumo energético de este proceso difiere del estimado para el proceso de extrusión, se ha decidido no penalizar ninguna lámina en este apartado y suponer consumos energéticos análogos a falta de una información más detallada.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a este proceso se estiman teniendo en cuenta el origen de la energía empleada: energía eléctrica y gas natural.

#### **4.4. La instalación de la lámina.**

La instalación de láminas de impermeabilización es un proceso complejo que está regulado en las normativas básicas de edificación. Depende del tipo de cubierta que se esté considerando y del material impermeabilizante que se vaya a utilizar. Los tres métodos comúnmente empleados son la fijación mecánica, el uso de adhesivos y el termosoldado.

Se ha considerado el caso más sencillo de instalación, una cubierta plana, sin elementos especiales (juntas, encuentros con pavimento vertical, desagües o canalones, etc.).

Las dimensiones de las láminas comerciales consideradas se presentan en la Tabla 4.3. El grado de solape entre láminas depende del material.

Tabla 4.3. Dimensiones de las láminas comerciales tomadas como caso base.

Material	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (mm)
PVC-P	20	1,6	1,2
EPDM	15,2	2	1,5
Betún elastómero (SBS)	10	1	40

El procedimiento habitual para la instalación de láminas de PVC es el termosoldado, normalmente por aire caliente. El consumo energético estimado para este proceso es de 0,01 kWh m<sup>-2</sup> de lámina, obtenido a partir del consumo medio de energía de una soldadora comercial. Las características de la máquina escogida se presentan en la Tabla 4.4

Tabla 4.4. Características de la soldadora de aire caliente tomada como referencia para la instalación de la lámina de PVC-P.

Máquina automática de soldar con cuña COMET Casa comercial: LEISTER	Espesor de la lámina de PVC-P (mm)	Tiempo medio de soldado (m min <sup>-1</sup> )	Potencia (W)
Características generales	1,0 - 2,0	0,8 - 3,2	1200
<b>Características escogidas para lámina de PVC-P</b>	1,2	1,0	1200

La instalación de láminas de materiales bituminosos se realiza mediante la aplicación de calor, normalmente empleando sopletes a gas. El consumo energético asociado a este proceso se ha estimado en función del consumo medio de gas de un soplete comercial indicado para esta aplicación y del tiempo medio estimado necesario para instalar 1 m de lámina.

Se ha estimado una velocidad media de instalación de 1,6 m min<sup>-1</sup>, se ha considerado un soplete a gas comercial que consume 10 kg h<sup>-1</sup> a 3 bar (Express, 2005). Teniendo en cuenta el poder calorífico inferior del butano, 12,7 kWh kg<sup>-1</sup> (MITYC,2005), y el tiempo necesario para realizar el soldado de una lámina, se determina un consumo de 1,5 kWh m<sup>-2</sup> para la instalación de la lámina de betún modificado con SBS. Las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas se estiman a partir del factor de emisión de los GLP, que supone 0,22 kg CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>.

En lo que respecta a las láminas de EPDM, el procedimiento más habitual consiste en la aplicación de adhesivos y siliconas. Se supone que el consumo de energía asociado a este procedimiento se limita exclusivamente a la energía necesaria para la producción de los adhesivos, normalmente basados en poliisobutileno, considerándose despreciable el consumo asociado a la aplicación del mismo realizada por el operario.

La instalación de láminas con protección pesada no adheridas supone la unión de las láminas entre sí, con un grado de solape estimado de 150 mm ([http://www.firestonebpe.com/roofing/rubbergard/tech\\_data/tech\\_manual/es/](http://www.firestonebpe.com/roofing/rubbergard/tech_data/tech_manual/es/), Noviembre 2005)

La cantidad de adhesivo necesaria se estima a partir de los consumos indicados por los propios fabricantes, obteniéndose la necesidad de aproximadamente 0,01 kg de adhesivo m<sup>-2</sup> de lámina (se ha escogido el adhesivo de solapo SA-008, de la casa Giscosa, <http://www.giscosa.com/>, Noviembre 2005). El consumo de energía necesario para la producción de este compuesto se considera de 16,6 kWh kg<sup>-1</sup> y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas de 0,2 kg de CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>.

El resto de la lámina se lastra, normalmente con grava, ya que se están considerando cubiertas con protección pesada. No se ha estimado el consumo de energía debido a esta operación, se supone análogo para los tres tipos de láminas considerados.

En los elementos especiales y los bordes de las cubiertas se suele reforzar la instalación mediante el empleo de adhesivos o sustancias para imprimación en el caso de materiales bituminosos. Como ya se ha comentado anteriormente no se tiene en cuenta el consumo de energía requerido para este tipo de elementos, ni su contribución a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Los detalles de los resultados obtenidos para la instalación de la lámina se presentan en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la instalación de la lámina.

Consumo energético por instalación	Instalación	Espesor lámina (mm)	Dimensiones bobinas comerciales		Consumo energía (kWh m <sup>-2</sup> )	Emisiones CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> )
			Ancho (m)	Largo (m)		
Lámina de PVC-P	Termosoldado por aire caliente	1,2	1,6	20	0,01	0,01
Lámina de EPDM	Adhesivo con silicona	1,5	2	15,2	0,18	0,04
Lámina de betún modificado con elastómero (SBS)	Soplete a gas	40	1	10	1,5	0,3

Se ha de tener en cuenta que las estimaciones realizadas suponen una aproximación al consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a esta etapa del ciclo de vida.

#### 4.5. El uso de la lámina

El tiempo de vida medio depende del material de que esté constituida la lámina y de la aplicación de la misma.

En el caso de cubiertas transitables con protección pesada se estima que el período de vida media para el PVC es de aproximadamente 30 años, para los materiales bituminosos se encuentra en torno a los 15 años, debido a que sufren procesos de envejecimiento (cuarteado del material) y para el caso de las láminas de EPDM de 15 años, debido al envejecimiento de los adhesivos que se emplean en su instalación. Estos datos han sido suministrados por Alkor Draka (comunicación personal).

El consumo energético debido a las operaciones de mantenimiento durante el período de utilización de la lámina se considera despreciable.

Sí se tiene en cuenta, sin embargo, que las láminas presentan tiempos de vida muy dispares en función del material que las constituye, y por lo tanto se aplicará un factor de corrección para compensar dicha diferencia.

El factor de corrección debido al período de utilización se detalla en la Tabla 4.6, se toma como referencia un período de 30 años, de forma que en el caso de las láminas de EPDM y betún modificado con SBS se ha de realizar una reposición de la lámina.

Tabla 4.6. Factores de corrección debidos a los diferentes tiempos de vida media de los materiales.

Material	Tiempo de vida medio	Factor de corrección (F)
PVC	30 años	1
EPDM	15 años	2
Betún modificado con SBS	15 años	2

#### **4.6. Desmantelamiento**

Esta actividad, que se entiende como el desmantelamiento (desconstrucción) de la lámina con la intención de aprovechar al máximo los materiales mediante reciclaje, podría demandar solamente mano de obra y tal vez un bajo consumo energético.

El procedimiento básico para láminas poliméricas consiste en el desmontaje de la lámina, su lavado y posterior triturado para hacer el material apto para procesos de reciclaje.

Se asume que el consumo energético de esta fase no es relevante.

#### **4.7. El reciclaje**

Se asume que un 97% del PVC-P, EPDM y betún modificado con SBS contenidos en la lámina son reciclables. El restante 3% constituyen residuos que se depositan en vertedero.

El proceso de reciclaje de cualquiera de las láminas se produce por métodos mecánicos. Para el reciclaje de láminas de PVC, se utiliza un consumo eléctrico de 0,25 kWh kg<sup>-1</sup>. Para el resto de materiales se considerará un consumo energético análogo.

#### **4.8. La disposición final**

Se asume un consumo energético de 0,155 kWh por cada kg de residuo depositado en vertedero (Choate and Ferland, 2004). Se considera que la energía proviene en un 100% de gasóleo.

#### **4.9. El transporte**

Se asume que el transporte en la conexión de las diferentes etapas del ciclo de vida, se realiza con camiones de carga que consumen gasóleo, y que tienen una demanda energética de 0,00073 kWh km<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> (WEC, 1998). Este valor es aplicable a Europa Occidental.

Se consideró un recorrido medio de 100 km para el transporte en todos los casos: transporte de materiales hasta la planta de producción, transporte de la lámina conformada hasta el lugar de instalación, transporte para reciclaje y para disposición final.

#### 4.10. Factores de emisión

La Tabla 4.7 presenta los factores de emisión de CO<sub>2</sub> base que se utilizan en cada etapa, según la composición o tipo del suministro energético ya indicados para cada caso.

Tabla 4.7. Factores de emisión de CO<sub>2</sub>.

Fuente de energía / combustible	Factor de emisión t C TJ <sup>-1</sup> (IPCC, 1996)	t CO <sub>2</sub> TJ <sup>-1</sup>	t CO <sub>2</sub> MWh <sup>-1</sup>
Mix eléctrico español			0,443*
Producción de PVC en Hispavic - Vinilis (Martorell)			0,284*
Producción de SBS		2,9	0,220
Producción de EPDM		1,7	0,270
Gasóleo / fuelóleo	20,2	74,1	0,267
Gas natural	15,3	56,1	0,202
Carbón (hulla)	26,2	96,1	0,346

\* Deducidos en el documento: "Estimación del consumo energético y de la emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la producción unitaria de PVC, JM Baldasano y R. Parra. Enero de 2005".

¶ Corresponde al criterio de cálculo que considera como objetivo la obtención conjunta de PVC y sosa cáustica.

## 5. Resultados y análisis comparativo

### 5.1. Estimación de consumos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub>

Los consumos energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas para cada uno de los casos estudiados se presentan en las Tablas 5.1 a 5.5.

Las distintas etapas del ciclo de vida con los consumos energéticos estimados y las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes se esquematizan en las Figuras 5.1 a 5.5.

Las tablas 5.6 a 5.8 presentan un resumen de los resultados obtenidos para cada uno de los materiales.

Se observa que en el caso de la lámina de PVC-P la etapa que presenta un mayor consumo energético es la de extracción y suministro de materiales, suponiendo un 72% para láminas fabricadas con material completamente nuevo y un 57% para láminas con un 50% de material reciclado. Las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas siguen un comportamiento análogo, suponiendo un 71% y un 55% del total en cada uno de los casos.

A continuación se encuentra la etapa de producción de la lámina, cuya aportación al consumo energético total es del 18% para láminas con material totalmente nuevo y del 29% para aquellas que llevan un 50% de material reciclado. Se hace notar también la importancia relativa del consumo energético por reciclaje, que se encuentra en torno al 7% en el primer caso y al 11% en el segundo. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se comportan de forma análoga.

Para las láminas de EPDM, tanto con materiales nuevos como con aportación de material reciclado, la importancia relativa de las diferentes etapas se mantiene. Suponiendo la extracción y suministro de materiales en torno al 70% del consumo energético para láminas de EPDM nuevo y del orden del 54% para láminas con 50% de material reciclado.

En todos los casos mencionados las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas siguen un comportamiento análogo, aunque existe cierta variación en el valor de la contribución exacta, la jerarquización de etapas en función de su contribución al total es la misma.

Por último, para las láminas de betún modificado con elastómero, SBS, se observa que la etapa con un mayor consumo de energía es la de extracción y suministro de materiales, aunque supone sólo un 42% del total, seguida de la de producción de la lámina que consume un 35%. Las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a estas etapas suponen en 35% y 42% del total respectivamente.

La lámina que presenta un menor consumo de energía a lo largo del ciclo de vida es la de PVC-P con velo de fibra de vidrio y un 50% de material reciclado, supone el consumo de 9,5 kWh m<sup>-2</sup> y la emisión de 2,7 kg de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>.

Con un consumo energético global un 19% mayor, se encuentra la lámina de PVC-P sin material reciclado en su composición, lo que supone la necesidad de 11,3 kWh m<sup>-2</sup> y la emisión de 3,2 kg de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>.

A continuación se encuentra la lámina de EPDM con un 50% de material reciclado, que supone un consumo energético de 22,7 kWh m<sup>-2</sup>, un 139% mayor que la lámina de PVC-P con material reciclado (caso tomado como base para la comparación), y la emisión de 6,4 kg de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>, un 136% más que el caso base.

Las láminas de EPDM sin material reciclado suponen el consumo de 34,9 kWh m<sup>-2</sup> y la emisión de 9,7 kg de CO<sub>2</sub>. La variación respecto del caso base, lámina de PVC-P con 50% de material reciclado, implica un consumo de energía un 267% mayor y unas emisiones de CO<sub>2</sub> del orden del 258% mayores.

En último lugar se encuentran las láminas de betún modificado con SBS, que necesitan 42,7 kWh m<sup>-2</sup> y suponen la emisión de 11,2 kg de CO<sub>2</sub>. Un 350% y 314% mayores respectivamente que las correspondientes al caso base.

Tabla 5.1. Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para las diferentes etapas del ciclo de vida de 1 m<sup>2</sup> de una lámina de PVC-P con velo de fibra de vidrio para impermeabilización de cubiertas.

	Consumo energético (kWh m <sup>-2</sup> )	%	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg de CO <sub>2</sub> )	%
Extracción y suministro de materiales	10,76	72,32	2,95	70,63
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,11	0,76	0,03	0,72
Producción de la lámina	2,73	18,31	0,85	20,40
Transporte de la lámina para su instalación	0,11	0,76	0,03	0,72
Instalación	0,01	0,10	0,01	0,15
Uso (vida media 30 años)	--	--	--	--
Desmantelamiento	--	--	--	--
Transporte a reciclaje	0,11	0,76	0,03	0,72
Reciclaje	1,02	6,85	0,27	6,51
Transporte a disposición final	0,01	0,04	0,00	0,04
Disposición final	0,01	0,10	0,00	0,09
<b>TOTAL</b>	<b>14,88</b>	<b>100,00</b>	<b>4,17</b>	<b>100,00</b>
<b>Aplicando el factor de corrección debido al tiempo de uso (F=1)</b>	<b>14,88</b>	<b>--</b>	<b>4,17</b>	<b>--</b>

Tabla 5.2. Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para las diferentes etapas del ciclo de vida de 1 m<sup>2</sup> de una lámina de PVC-P con velo de fibra de vidrio para impermeabilización de cubiertas, utilizando un 50% de material reciclado.

	Consumo energético (kWh m <sup>-2</sup> )	%	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg de CO <sub>2</sub> )	%
Extracción y suministro de materiales	5,38	56,67	1,48	54,64
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,11	1,19	0,03	1,12
Producción de la lámina	2,72	28,65	0,85	31,50
Transporte de la lámina para su instalación	0,11	1,19	0,03	1,12
Instalación	0,01	0,15	0,01	0,24
Uso (vida media 30 años)	--	--	--	--
Desmantelamiento	--	--	--	--
Transporte a reciclaje	0,11	1,19	0,03	1,12
Reciclaje	1,02	10,73	0,27	10,07
Transporte a disposición final	0,01	0,07	0,00	0,07
Disposición final	0,01	0,15	0,00	0,14
<b>TOTAL</b>	<b>9,50</b>	<b>100,00</b>	<b>2,70</b>	<b>100,00</b>
<b>Aplicando el factor de corrección debido al tiempo de uso (F=1)</b>	<b>9,50</b>	<b>--</b>	<b>2,70</b>	<b>--</b>

Tabla 5.3. Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para las diferentes etapas del ciclo de vida de 1 m<sup>2</sup> de una lámina de EPDM para impermeabilización de cubiertas.

	Consumo energético (kWh m <sup>-2</sup> )	%	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg de CO <sub>2</sub> )	%
Extracción y suministro de materiales	12,20	69,95	3,29	68,15
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,14	0,80	0,04	0,77
Producción de la lámina	3,34	19,16	1,04	21,61
Transporte de la lámina para su instalación	0,14	0,80	0,04	0,77
Instalación	0,18	1,03	0,04	0,74
Uso (vida media: 15 años)	--	--	--	--
Desmantelamiento	--	--	--	--
Transporte a reciclaje	0,14	0,80	0,04	0,77
Reciclaje	1,29	7,40	0,34	7,12
Transporte a disposición final	0,00	0,02	0,00	0,02
Disposición final	0,01	0,05	0,00	0,05
<b>TOTAL</b>	<b>17,44</b>	<b>100,00</b>	<b>4,83</b>	<b>100,00</b>
<b>Aplicando el factor de corrección debido al tiempo de uso (F=2)</b>	<b>34,87</b>	<b>--</b>	<b>9,66</b>	<b>--</b>

Tabla 5.4. Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para las diferentes etapas del ciclo de vida de 1 m<sup>2</sup> de una lámina de EPDM para impermeabilización de cubiertas, utilizando un 50% de material reciclado.

	Consumo energético (kWh m <sup>-2</sup> )	%	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg de CO <sub>2</sub> )	%
Extracción y suministro de materiales	6,10	53,79	1,65	51,69
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,14	1,22	0,04	1,16
Producción de la lámina	3,34	29,46	1,04	32,79
Transporte de la lámina para su instalación	0,14	1,22	0,04	1,16
Instalación	0,18	1,58	0,04	1,12
Uso (vida media 15 años)	--	--	--	--
Desmantelamiento	--	--	--	--
Transporte a reciclaje	0,14	1,22	0,04	1,16
Reciclaje	1,29	11,38	0,34	10,81
Transporte a disposición final	0,00	0,04	0,00	0,03
Disposición final	0,01	0,08	0,00	0,07
<b>TOTAL</b>	<b>11,34</b>	<b>100,00</b>	<b>3,18</b>	<b>100,00</b>
<b>Aplicando el factor de corrección debido al tiempo de uso (F=2)</b>	<b>22,68</b>	<b>--</b>	<b>6,37</b>	<b>--</b>

Tabla 5.5. Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para las diferentes etapas del ciclo de vida de 1 m<sup>2</sup> de una lámina de betún modificado con elastómero SBS y armadura de fieltro de fibra de vidrio para impermeabilización de cubiertas.

	Consumo energético (kWh m <sup>-2</sup> )	%	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg de CO <sub>2</sub> )	%
Extracción y suministro de materiales	8,9	42	2,0	35,39
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,3	1	0,1	1,50
Producción de la lámina	7,6	35	2,4	42,28
Transporte de la lámina para su instalación	0,3	1	0,1	1,50
Instalación	1,5	7	0,3	5,73
Uso (vida media 15 años)	--	--	--	--
Desmantelamiento	--	--	--	--
Transporte a reciclaje	0,3	1	0,1	1,50
Reciclaje	2,3	11	0,6	11,02
Transporte a disposición final	0,1	0	0,0	0,35
Disposición final	0,2	1	0,0	0,74
<b>TOTAL</b>	<b>21,4</b>	<b>100</b>	<b>5,6</b>	<b>100,00</b>
<b>Aplicando el factor de corrección por tiempo de uso (F=2)</b>	<b>42,73</b>	<b>--</b>	<b>11,17</b>	<b>--</b>

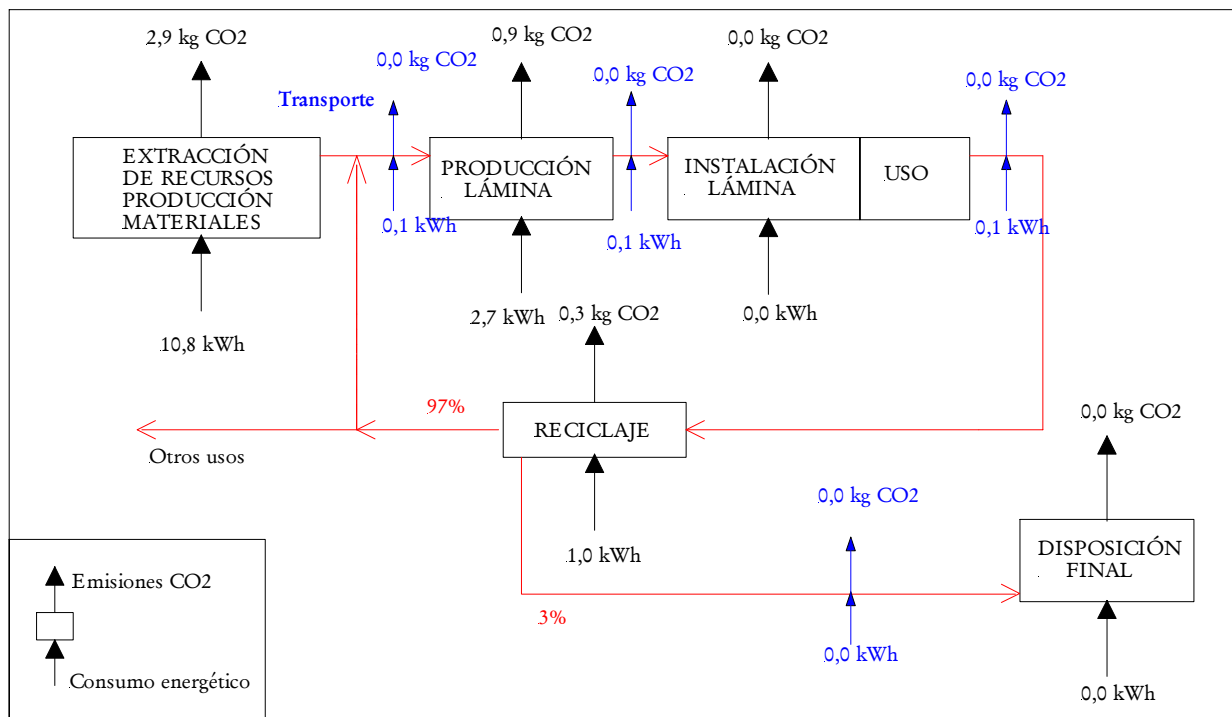


Figura 5.1. Estimación del consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de láminas de PVC-P para cubiertas.

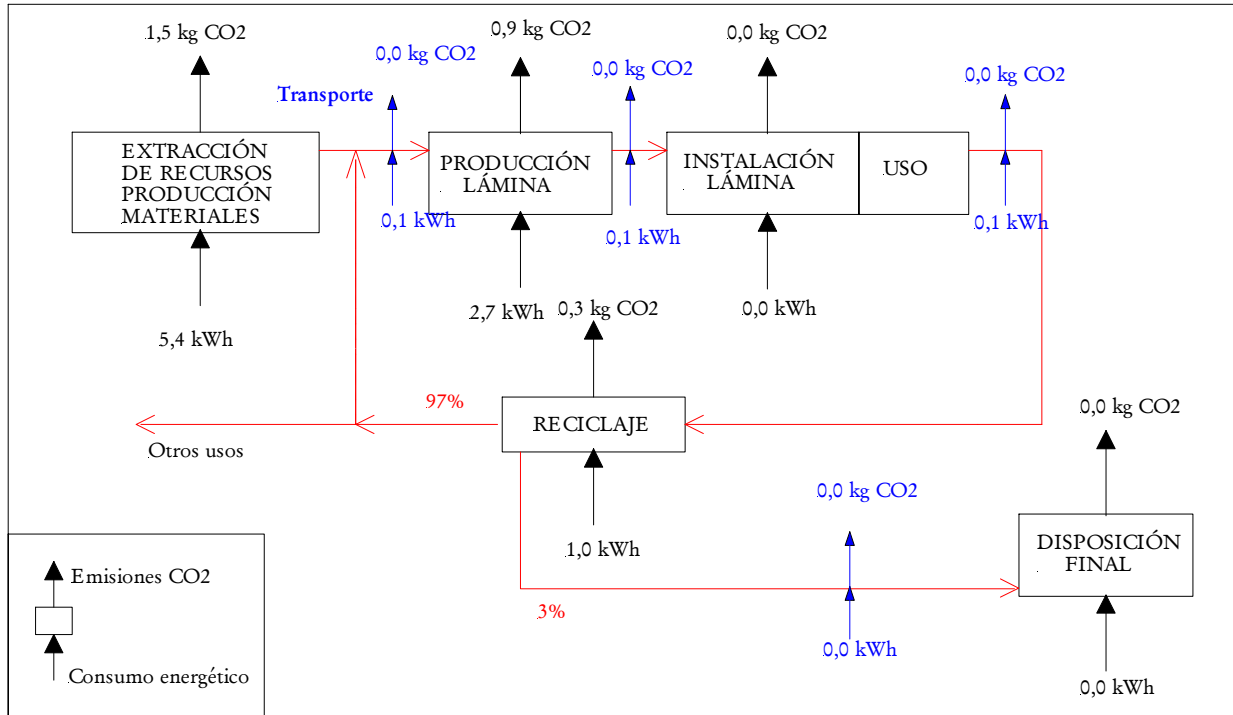


Figura 5.2. Estimación del consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de láminas de PVC-P con utilización de un 50% de material reciclado para cubiertas

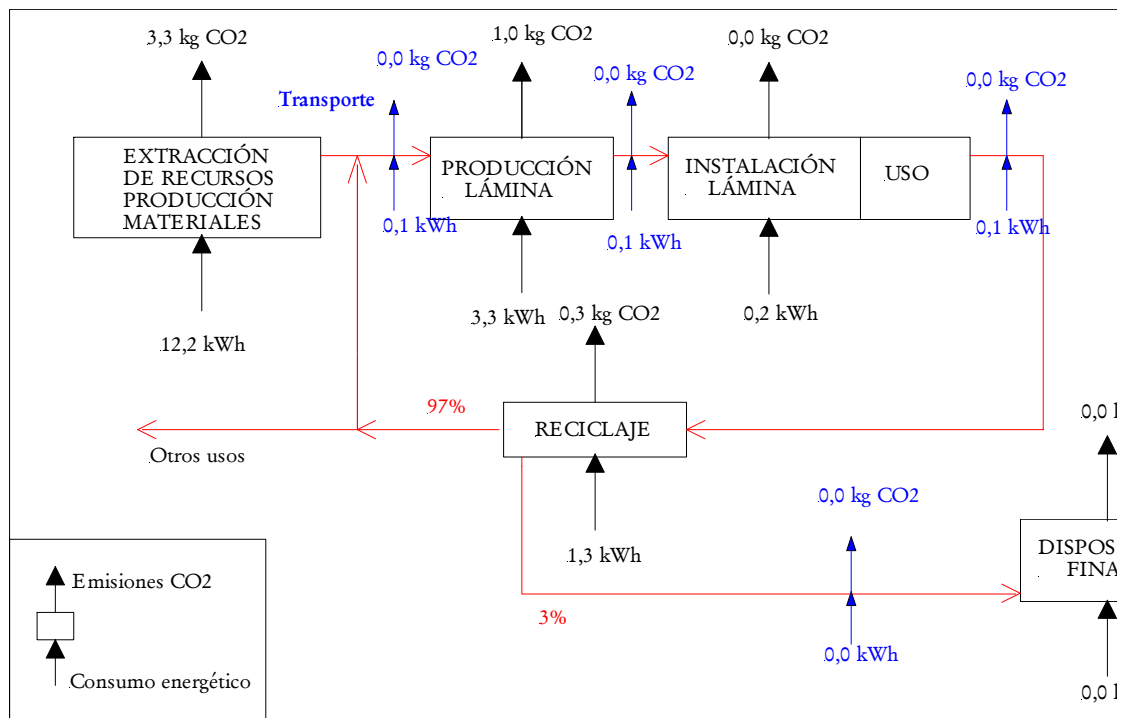


Figura 5.3. Estimación del consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de láminas de EPDM para cubiertas.

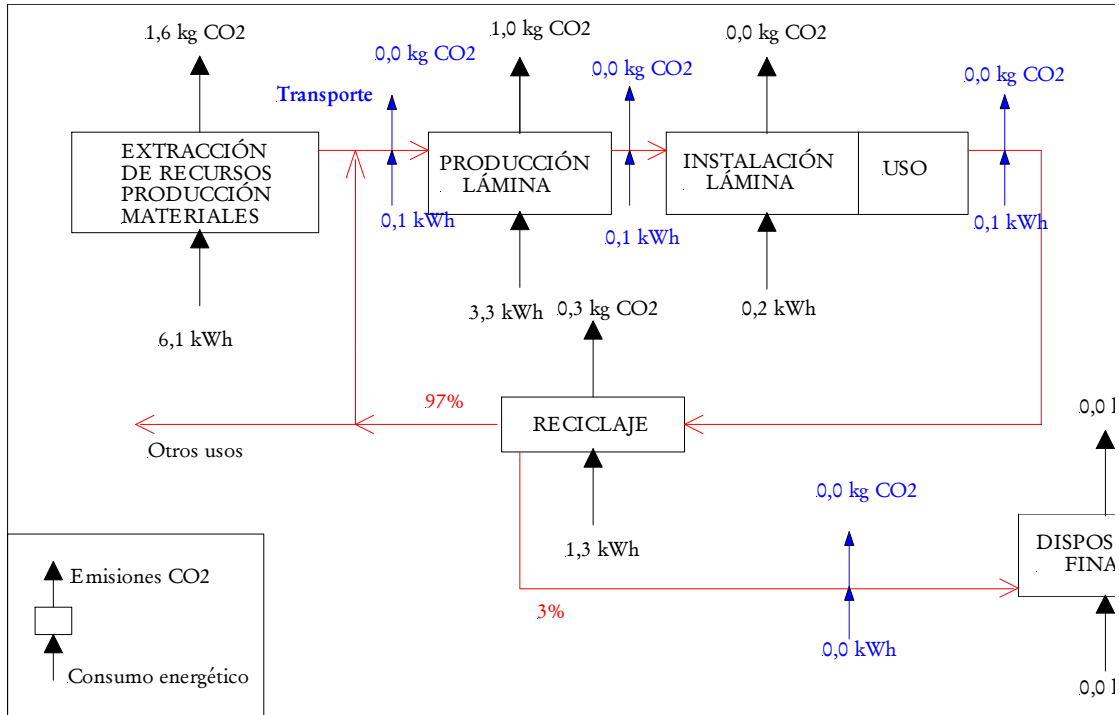


Figura 5.4. Estimación del consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de láminas de EPDM con utilización de un 50% de material reciclado para cubiertas

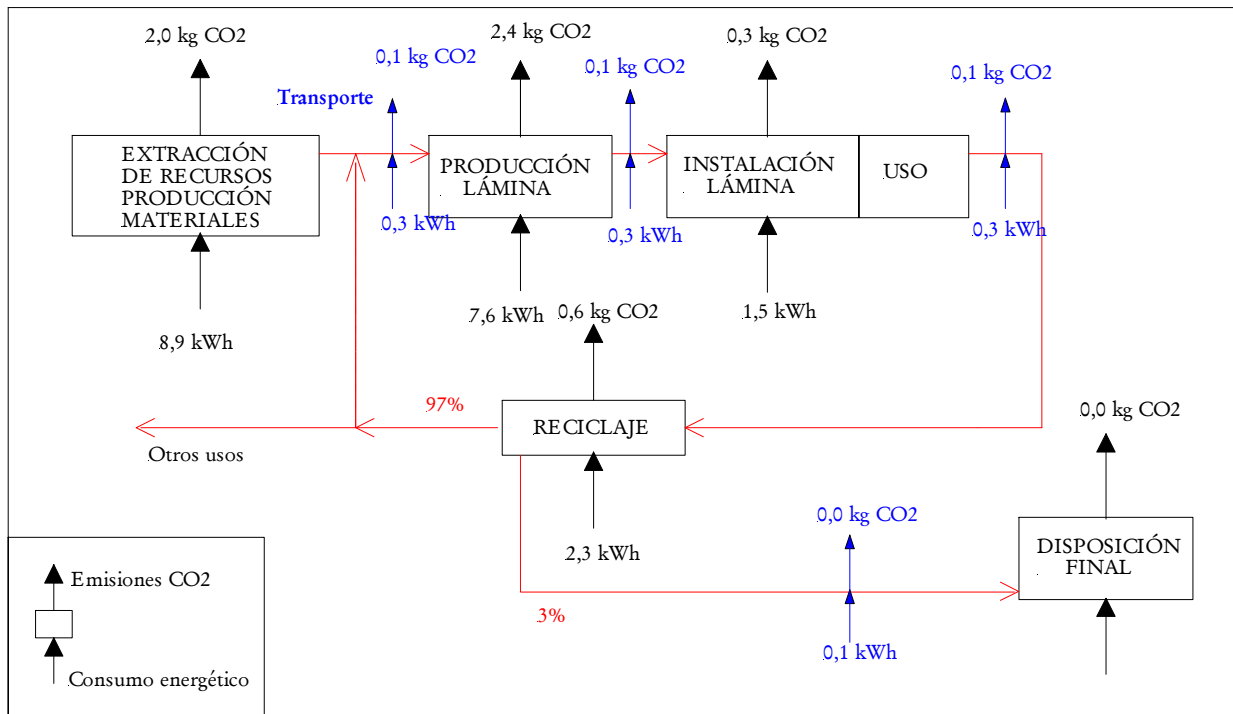


Figura 5.5. Estimación del consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de láminas de betún modificado con elastómero SBS para cubiertas

Tabla 5.6. Consumo de energía estimado para cada una de las etapas del ciclo de vida de láminas de diferentes materiales. Resumen.

1m <sup>2</sup> de lámina para impermeabilización de cubiertas	Consumo de energía (kWh m <sup>-2</sup> )				
	PVC	PVC con 50% de material reciclado	EPDM	EPDM con 50% de material reciclado	Betún modificado con SBS
Extracción y suministro de materiales	10,8	5,4	12,2	6,1	8,9
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
Producción de la lámina	2,7	2,7	3,3	3,3	7,6
Transporte de la lámina para su instalación	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
Instalación	0,0	0,0	0,2	0,2	1,5
Uso (tiempo de vida media)	30 años	30 años	15 años	15 años	15 años
Desmantelamiento	despreciable despreciable despreciable despreciable despreciable				
Transporte a reciclaje	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
Reciclaje	1,0	1,0	1,3	1,3	2,3
Transporte a disposición final	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Disposición final	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
<b>Total</b>	<b>14,9</b>	<b>9,5</b>	<b>17,4</b>	<b>11,3</b>	<b>21,4</b>
<b>TOTAL</b> (Tomando como base 30 años)	<b>14,9</b>	<b>9,5</b>	<b>34,9</b>	<b>22,7</b>	<b>42,7</b>

Tabla 5.7. Emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para cada una de las etapas del ciclo de vida de láminas de impermeabilización de diferentes materiales. Resumen.

1m <sup>2</sup> de lámina para impermeabilización de cubiertas	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> )				
	PVC	PVC con 50% de material reciclado	EPDM	EPDM con 50% de material reciclado	Betún modificado con SBS
Extracción y suministro de materiales	2,9	1,5	3,3	1,6	2,0
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Producción de la lámina	0,9	0,9	1,0	1,0	2,4
Transporte de la lámina para su instalación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Instalación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
Uso (tiempo de vida media)	30 años	30 años	15 años	15 años	15 años
Desmantelamiento	despreciable	despreciable	despreciable	despreciable	despreciable
Transporte a reciclaje	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Reciclaje	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6
Transporte a disposición final	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Disposición final	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	4,2	2,7	4,8	3,2	5,6
<b>TOTAL</b> (Tomando como base 30 años)	<b>4,2</b>	<b>2,7</b>	<b>9,7</b>	<b>6,4</b>	<b>11,2</b>

Tabla 5.8. Resumen de consumos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas para 1 m<sup>2</sup> de láminas de impermeabilización de cubiertas de diferentes materiales.

Material	Peso (kg·m <sup>-2</sup> )	Espesor lámina (mm)	Consumo energético (kWh·m <sup>-2</sup> )	% variación respecto PVC-P	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> )	% variación respecto PVC-P
PVC-P (50% material reciclado)	1,5	1,2	9,5	referencia	2,7	referencia
PVC-P	1,5	1,2	14,9	56,7	4,2	54,6
EPDM (50% material reciclado)	1,9	1,5	22,7	138,7	6,4	135,8
EPDM	1,9	1,5	34,9	267,1	9,7	257,7
Betún elastómero (SBS)	4,3	40,0	42,7	349,8	11,2	313,9

## 6. Conclusiones

En este documento se presentan las estimaciones del consumo energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la producción, uso, reciclaje y disposición final de residuos atribuibles a láminas de impermeabilización de cubiertas de edificios, transitables, planas, no adheridas y con protección pesada, fabricadas a base de PVC-P, EPDM y betún modificado con elastómero SBS.

En todos los casos se ha tomado como base de cálculo 1 m<sup>2</sup> de lámina.

El enfoque abarca todas las etapas de un Análisis de Ciclo de Vida, aunque analiza solamente los dos aspectos ambientales antes indicados; y busca que los resultados sean representativos para la península Ibérica, tanto en lo que se refiere a los consumos como a configuración de las fuentes energéticas. Para ello se ha priorizado la información de esta zona; sin embargo, el análisis se complementa con información del ámbito europeo o internacional.

Las características de las diferentes láminas analizadas se han obtenido de productos comerciales disponibles para la finalidad descrita.

Se han considerado láminas de PVC-P y EPDM producidas con un 50% de materiales reciclados y láminas de betún modificado con SBS. También se han introducido también los casos en que la lámina se fabrique con PVC-P y EPDM totalmente nuevos, aunque hoy en día se introducen cada vez con mayor frecuencia porcentajes importantes de material reciclado polimérico.

Los tiempos de vida media estimados para cada lámina varían mucho en función del material, siendo del orden de 15 años para el EPDM y el betún modificado con elastómero SBS y de 30 años para el PVC. Se ha considerado por lo tanto la lámina de PVC-P como caso base para realizar el cálculo del consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida, aplicando factores de corrección a las láminas de los otros dos materiales para establecer los resultados en base a un mismo periodo de tiempo (30 años).

La lámina que presenta mejores resultados en lo que se refiere a los indicadores antes mencionados es la de PVC-P con un 50% de material reciclado en su composición. A continuación se encuentra la lámina de PVC-P totalmente nuevo.

Seguidamente las láminas de EPDM con un 50% de material reciclado y aquellas fabricadas con materiales totalmente nuevos, que suponen consumos de energía al cabo de 30 años del orden del 140% y 270% mayores que el caso tomado como referencia: lámina de PVC-P con un 50% de material reciclado. Paralelamente las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas serían un 140% y 260% mayores.

Como caso más desfavorable desde el punto de vista de los indicadores ambientales considerados se encuentra la lámina de betún modificado con SBS.

En general se observa que la utilización de materiales reciclados para la producción de la lámina supone una mejora de los resultados. En el caso del PVC-P la utilización de un 50% de material reciclado supone una reducción del consumo de energía del 57% y de las emisiones de CO<sub>2</sub> del 55%.

En lo que respecta a las láminas de EPDM se obtienen mejoras del orden del 34% para el consumo energético y del 35% para las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al emplear un 50% de material reciclado.

Cada vez es menos habitual a escala industrial la producción de este tipo de láminas con materiales totalmente nuevos

## 7. Referencias

- 1 APME, 2004. Association of Plastics Manufacturers in Europe, (<http://www.apme.org/>, octubre de 2004).
- 2 Baldasano, J.M., Parra, R. (2005). Estimación del consumo energético y de la emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la producción unitaria de PVC. Estudio de la planta de Hispavic - Vinilis en Martorell (España).
- 3 CESCA, 2005. [http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-1105102-161519/03TESI2.pdf](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1105102-161519/03TESI2.pdf). Julio, 2005
- 4 Choate, A. , Ferland, H. Waste Management and Energy Savings: Benefits by the Numbers. U.S. EPA. (<http://yosemite.epa.gov>, diciembre de 2004)
- 5 ECPI, 2001. ECO PROFILE of High Volume commodity phtalate esters (DEHP,DINP,DIDP). (European Council for Plasticisers and Intermediates, <http://www.ecpi.org/upload/documents/document31.pdf>, Julio 2005).
- 6 Express, 2005. <http://www.express.fr/fiches.asp?refprod=Fam-6093&codeap-fam=etan&AF=A>, Octubre 2005
- 7 MITYC, 2005. Ministerio de Industria Turismo y Comercio, <http://www6.mityc.es/energia/hidrocarburos/glp/default.htm>, Octubre 2005.
- 8 WEC, 2004. Total Energy Use Characteristics, del Global Transport and Energy Development: The Scope for Change, WEC. (<http://www.worldenergy.org>, diciembre de 2004)