



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 cables de PVC, XLPE y PE.

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

**Report: PVC-Cab-200511-2**

Barcelona, Noviembre de 2005

## Índice

<b>1. Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivo y bases de cálculo.....	3
2.2. Contenido del documento.....	4
<b>3. El ciclo de vida de un cable.....</b>	<b>5</b>
<b>4. Estimación del consumo de energía y de la emisión CO<sub>2</sub> atribuible a 1 m de cable para distribución de energía eléctrica.....</b>	<b>6</b>
4.1. Base de cálculo.....	6
4.1.1. Dimensiones.....	6
4.1.2. Materiales.....	6
4.1.3. Escenarios analizados.....	7
4.2. La extracción y producción de materiales.....	9
4.3. La producción del cable.....	11
4.4. Instalación y desmantelamiento del cable.....	11
4.5. Utilización del cable.....	12
4.6. El reciclaje.....	13
4.7. La disposición final.....	13
4.8. El transporte.....	13
4.9. Factores de emisión.....	14
<b>5. Resultados y análisis comparativo.....</b>	<b>15</b>
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>1</b>
<b>7. Referencias.....</b>	<b>3</b>

**Índice de tablas.**

Tabla 4.1. Características de los cables escogidos.....8

Tabla 4.2. Características de los cables considerados: resistencia máxima a 20°C e intensidad máxima admisible. ....8

Tabla 4.3. Composición media de los aislantes de los cables tipo considerados8

Tabla 4.4 Consumos energéticos de la extracción de recursos naturales y de la producción de materiales..... 10

Tabla 4.5. Consumo energético estimado en la etapa de uso del cable. Considerando pérdidas de calor por efecto Joule..... 12

Tabla 4.6. Factores de emisión de CO<sub>2</sub>. .... 14

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 de cable unipolar SN 35 mm<sup>2</sup> con conductor de cobre y aislante de PVC. .... 16

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 de cable unipolar SN 35 mm<sup>2</sup> con conductor de cobre y aislante de PVC, con un 25% de PVC reciclado en el aislante. ....16

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 de cable unipolar SN 25 mm<sup>2</sup> con conductor de cobre y aislante de XLPE, con cubierta de PVC..... 17

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 de cable unipolar SN 25 mm<sup>2</sup> con conductor de cobre y aislante de PE con carga mineral. .... 17

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 de cable unipolar SN 25 mm<sup>2</sup> con conductor de cobre y aislante de PE con carga mineral, con un 25% de PE reciclado. .... 18

Tabla 5.6. Resumen del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a cada una de las etapas del ciclo de vida de cables con aislantes de diferentes materiales. .... 1

Tabla 5.7. Consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de cables unipolares con conductor de cobre y aislamiento de diferentes materiales. Resumen.....2

**Índice de figuras.**

Figura 3.1. Esquema del ciclo de vida de un cable ..... 5

Figura 4.1. Cables comerciales unipolares con aislante de diferentes materiales  
..... 6

Figura 5.1. Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>  
asociadas al ciclo de vida de cables unipolares para distribución eléctrica  
con aislante de PVC..... 18

Figura 5.2. Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>  
asociadas al ciclo de vida de cables unipolares para distribución eléctrica  
con aislante de PVC con un 25% de material reciclado en su composición.  
..... 19

Figura 5.3 Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>  
asociadas al ciclo de vida de cables unipolares para distribución eléctrica  
con aislante de XLPE..... 19

Figura 5.4. Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>  
asociadas al ciclo de vida de cables unipolares para distribución eléctrica  
con aislante de PE con carga mineral..... 20

Figura 5.5 Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>  
asociadas al ciclo de vida de cables unipolares para distribución eléctrica  
con aislante de PE con carga mineral con un 25% de material reciclado en  
su composición..... 20

## 1. Resumen

Los cables son una herramienta fundamental en gran número de aplicaciones: distribución de energía eléctrica, sector del automóvil, telecomunicaciones, etc.

El presente estudio se centra en cables de distribución de energía eléctrica empleados en viviendas. En concreto en cables unipolares con conductor de cobre y aislante formado por un solo material.

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 en cada una de las etapas del ciclo de vida del cable (extracción y suministro de materiales, producción del cable, transporte para su instalación, uso y disposición final). 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.

Como caso base para llevar a cabo el estudio se ha tomado un cable unipolar con conductor de cobre con aislamiento de PVC de 35 mm<sup>2</sup> de sección nominal. Como elementos comparativos se han escogido cables con aislante de XLPE polietileno reticulado y PE con carga mineral de 25 mm<sup>2</sup> de sección nominal. De forma que los tres tipos de cable comparados permitan una intensidad máxima admisible lo más cercana posible, teniendo en cuenta las especificaciones del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

El cable de XLPE presenta además una cubierta de PVC, pues aunque se ha evitado en todo momento la elección de cables con aislantes con mezclas de materiales, se ha observado que para el caso concreto del polietileno reticulado no es habitual encontrar cables unipolares sin cubierta de diferente composición.

Como unidad de análisis se escoge un tramo de 1 m de longitud de cada uno de los cables detallados anteriormente. Para el cálculo de las pérdidas de energía en la fase de uso se ha tenido en cuenta el período de vida media del cable, considerado de 50 años para todos los materiales, suponiendo un tiempo de utilización de 8 horas diarias.

En el caso del PVC y del PE con carga mineral se ha contemplado la posibilidad de introducir un 25% de materiales reciclados en la composición del cable, aunque en la actualidad el uso de materias primas recicladas no es habitual. El polietileno reticulado no se suele someter a procesos de reciclaje debido a su estructura, por lo que no se ha considerado esta opción.

El cable que presenta mejores resultados desde el punto de vista de los indicadores ambientales considerados es el de PVC con un 25% de materiales reciclados en su composición, con un consumo energético a lo largo del ciclo de vida de 144 kWh m<sup>-1</sup> y la emisión de 65 kg de CO<sub>2</sub> asociada.

El hecho de no introducir material reciclado en el cable implica un aumento del 0,1% en el consumo energético y en las emisiones de CO<sub>2</sub>. El cable de PVC

nuevo considerado consume a lo largo del ciclo de vida 145 kWh m<sup>-1</sup> y supone la emisión de 65 kg de CO<sub>2</sub> .

A continuación se encuentran los cables de polietileno con carga mineral (con y sin material reciclado) que implican el consumo de 198 kWh m<sup>-1</sup> y la emisión de 88 kg de CO<sub>2</sub>.

El cable que supone un mayor consumo de energía es el de polietileno reticulado, 199 kWh m<sup>-1</sup>, y la emisión de 88 kg de CO<sub>2</sub> m<sup>-1</sup>.

Los cables de PE con carga mineral, tanto con material reciclado como sin él, y polietileno reticulado suponen consumos de energía muy parecidos, con una diferencia menor del 1%.

El hecho de introducir un 25% de materiales reciclados en la composición del cable de PVC sólo supone un ahorro energético del orden del 0,1%.

## 2. Antecedentes

En la actualidad los cables son una herramienta imprescindible en gran número de aplicaciones. Se utilizan ampliamente en construcción, telecomunicaciones (fibra óptica, etc.), en el sector del automóvil, ferrocarriles y aeroespacial, en distribución de energía eléctrica o en el campo de la electrónica.

*En este documento se consideran cables destinados a instalaciones eléctricas en viviendas, en concreto aquellos especificados en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RD 842/2002 de 2 de Agosto de 2002).*

Las redes de distribución de baja tensión parten de centros de transformación alta/baja tensión y distribuyen la energía eléctrica a través de las vías o calles principales para dar las acometidas correspondientes a los edificios.

Los conductores más habitualmente empleados en la distribución de energía eléctrica son el aluminio y el cobre.

Además, los cables se pueden dividir en dos grandes grupos: unipolares y multipolares. Los primeros constan de un único hilo conductor, normalmente aislado por uno o varios materiales dieléctricos, mientras que los segundos están formados por haces de cierto número de conductores independientemente aislados y recubiertos con un dieléctrico común.

Todos estos factores y diferentes disposiciones posibles influyen en las características del aislante que debe llevar el conductor.

Se ha escogido para realizar el estudio el tipo más simple de cables que existen en el mercado: cables unipolares utilizados en instalaciones eléctricas de viviendas sin cubierta exterior, es decir, aquellos constituidos exclusivamente por el conductor y el aislante realizado a base de un solo material.

### 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 cables utilizados en viviendas, constituidos exclusivamente por el conductor de cobre y el aislante, sin cubierta exterior e instalados bajo tubo empotrado, con aislante a base de PVC, XLPE y PE con carga mineral.

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 focaliza en únicamente en los dos aspectos antes indicados. Un ACV no sirve para comparar productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función.

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 de cable unipolar con conductor de cobre para distribución de energía eléctrica en baja tensión en viviendas.

Los cables se clasifican en función de la sección nominal del conductor, que indica la resistencia máxima del cable a 20°C (UNE-EN 60228). La intensidad máxima admisible que podrá conducir el cable dependerá de la sección nominal, del tipo de aislamiento del mismo y del tipo de instalación. En caso de cables multipolares también influirá la disposición y el número de cables unipolares que lo constituyan (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión; RD 842/2002 de 2 de Agosto de 2002).

## **2.2. Contenido del documento**

Se describen las etapas que conforman el ciclo de vida del cable, así como las hipótesis de cálculo y escenarios para el análisis comparativo. Se indican las magnitudes de los consumos energéticos 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 un cable

La Figura 3.1 presenta el ciclo de vida típico de un cable, focalizado al 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 del cable.

La segunda etapa consiste en la producción del cable en sí, que dependerá tanto del tipo de cable como de los materiales utilizados en su composición.

A continuación se consideran las etapas de instalación y uso del cable. Se estima que todos los cables tienen una vida media de 50 años.

Una vez que termina el período de uso del cable, 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.

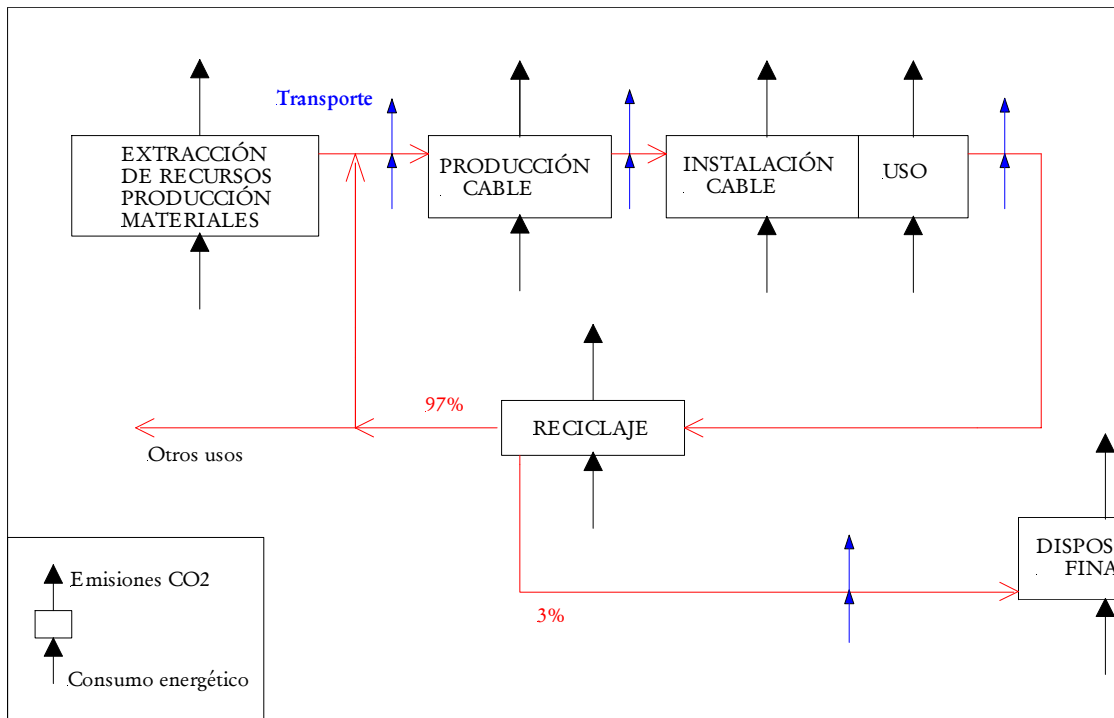


Figura 3.1. Esquema del ciclo de vida de un cable

#### 4. Estimación del consumo de energía y de la emisión CO<sub>2</sub> atribuible a 1 m de cable para distribución de energía eléctrica.

##### 4.1. Base de cálculo

##### 4.1.1. Dimensiones

Con el objetivo de obtener resultados comparables se ha escogido 1 m de cable unipolar con conductor de cobre y aislante de 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 de cables aislados con:

- PVC
- XLPE (polietileno reticulado)
- PE con carga mineral



Figura 4.1. Cables comerciales unipolares con aislante de diferentes materiales

Se han escogido estos materiales por ser los más habitualmente empleados como aislantes.

En particular se ha tomado como base de cálculo un cable de cobre de 1 m de longitud con aislamiento de PVC de 35 mm<sup>2</sup> de sección nominal, lo que supone que puede admitir una intensidad máxima de 86 A (para el tipo de instalación considerada: empotrado bajo tubo).

Los cables aislados con XLPE o PE con carga mineral permiten desarrollar en el conductor una temperatura de 90° C, frente a los 70°C de los cables aislados con PVC. Las intensidades máximas admisibles se incrementarán en ambos tipos de cable respecto del PVC. Como elementos comparativos se han determinado aquellos cables normalizados que presentan una intensidad máxima admisible lo más cercana posible a la del cable con aislamiento de PVC tomado como referencia. Es decir, cables de XLPE y PE con carga mineral de 25 mm<sup>2</sup> de sección nominal, que admitirían intensidades de hasta 96 A, un 11% mayores que en el caso del PVC (Martín, F, 2003).

Se están considerando cables compuestos únicamente por el conductor y la capa de aislante, a fin de simplificar el estudio comparativo, para evitar las mezclas de materiales, comunes en cables más complejos. Sin embargo, en la práctica, los cables compuestos con aislamiento de XLPE no suelen presentarse sin cubierta, ni siquiera para su utilización en instalaciones eléctricas de viviendas. A fin de conseguir un resultado lo más representativo posible de la realidad se ha decidido incluir una cubierta de PVC en el cable de XLPE.

#### 4.1.3. Escenarios analizados

Se analizan los siguientes casos:

- 1) Cable con aislante de PVC, sin PVC reciclado.
- 2) Cable con aislante de PVC, con un 25% de material reciclado.
- 3) Cable con aislante de XLPE (reticulado) y cubierta de PVC.
- 4) Cable con aislante de PE con carga mineral, sin material reciclado.
- 5) Cable con aislante de PE con carga mineral, con un 25% de material reciclado.

Todos ellos con conductor de cobre.

Para el dimensionamiento de dichos cables se han tomado como referencia cables unipolares disponibles comercialmente de 35 mm<sup>2</sup> de sección nominal en el caso del PVC y de 25 mm<sup>2</sup> de sección nominal en el caso del XLPE y el PE con carga mineral.

Las características básicas de los mismos se detallan en la Tabla 4.1.

En la Tabla 4.2 se presentan las características eléctricas del cable (resistencia máxima a 20 °C e intensidad máxima admisible), que se han tomado como referencia para realizar la comparación y escoger los distintos cables tipo para cada material.

El peso calculado por metro de cable difiere ligeramente del peso comercial especificado por las fuentes consultadas, para su cálculo se han empleado los volúmenes determinados a partir de las dimensiones comerciales y una composición tipo para cada aislante que se detalla en la Tabla 4.3. Se ha creído conveniente establecer el peso específico de cada cable de esta manera y no el proporcionado en las especificaciones comerciales para dar mayor generalidad al estudio y evitar que quede limitado al cable producido por un fabricante concreto.

Tabla 4.1. Características de los cables escogidos.

Aislante	SN (mm <sup>2</sup> )	Cubierta exterior	Dext (mm)	Espesor aislante (mm)	Espesor cubierta (mm)	Peso (kg m <sup>-1</sup> ) tabulado	Peso (kg m <sup>-1</sup> ) calculado			
							Conductor cobre	aislante	cubierta	TOTAL
PVC	35	no	13,5	2,6		0,45	0,31	0,15	--	0,46
XLPE	25	PVC	11,2	0,9	1,4	0,32	0,22	0,03	0,06	0,31
PE con carga mineral	25	no	9,0	1,2		0,27	0,22	0,06	--	0,28

Fuentes escogidas para el dimensionamiento de los cables:

Cable de PVC. Sintenax valio.

Cable de XLPE. Retenax valio.

Cable de PE con carga mineral. Afumex 750.

Prysmian.

([http://www.ar.prysmian.com/es\\_AR/cables\\_systems/energy/catalog\\_prices/catalog/catal\\_cat\\_ar.jhtml](http://www.ar.prysmian.com/es_AR/cables_systems/energy/catalog_prices/catalog/catal_cat_ar.jhtml), Noviembre 2005)

Tabla 4.2. Características de los cables considerados: resistencia máxima a 20 °C e intensidad máxima admisible.

Aislante	SN (mm <sup>2</sup> )	Resistencia máxima a 20 °C (Ohm/km) Une EN 60228	Intensidad máxima admisible (A)
PVC	35	0,524	86
XLPE	25	0,727	96
PE con carga mineral	25	0,727	96

Tabla 4.3. Composición media de los aislantes de los cables tipo considerados

AISLANTE	Sección nominal (mm <sup>2</sup> )	Sección externa (mm <sup>2</sup> )	Composición (1)	(% en peso)	Densidad material (kg m <sup>-3</sup> )	Peso aislante (kg m <sup>-1</sup> )
PVC	35	143,1	Resina PVC	45	1400	1400
			Carbonato Ca	25	2700	
			Plastificante (DIDP)	25	967	
			Lubricante, estabilizante y otros	5	1400	
XLPE	25	98,5	PELD	97	915	950
			Reticulante (silano)	3	--	
PE con carga mineral	25	63,6	Hidróxido de aluminio	36	2420	1450
			Hidróxido de magnesio	24	2360	

(1). La composición media de los diferentes aislantes ha sido proporcionada por *Benvic*.

(2). Sin tener en cuenta la cubierta de PVC.

(3). Debido a la dificultad para establecer la densidad del compuesto de silano empleado como reticulante se considera la densidad de XLPE comercial, se ha tomado como base el siguiente compuesto: [LUTENE SP3450NT](http://www.chemwide.co.kr/product3/0matter/matter_type.jsp?prodSeq=26&locale=en&prodSelect=98.93.99.91) LG CHEM.

([http://www.chemwide.co.kr/product3/0matter/matter\\_type.jsp?prodSeq=26&locale=en&prodSelect=98.93.99.91](http://www.chemwide.co.kr/product3/0matter/matter_type.jsp?prodSeq=26&locale=en&prodSelect=98.93.99.91), Noviembre, 2005)

Actualmente, el uso de materiales plásticos reciclados para la producción del cable no es una situación habitual.

En el caso del XLPE el proceso de reciclaje no es posible. En cuanto al PVC y el PE con carga mineral se suelen separar y reciclar para otros usos. Se han incluido sin embargo casos en los que se emplea un 25% de material reciclado en la composición del cable, ya que se están haciendo esfuerzos considerables en esta dirección y se cree que en un futuro podría ser frecuente su utilización.

#### 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 el cable, principalmente: PVC, XLPE, PE, cargas como carbonato básico de calcio o los hidróxidos de magnesio y aluminio, plastificantes como el DIDP, lubricantes, retardantes de llama y otros, así como del conductor de cobre.

Para el 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 0,3 kg CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>.

El polietileno reticulado y el polietileno con carga mineral incluyen polietileno de baja densidad (LDPE) en su composición, para la estimación del consumo energético asociado a su producción y las correspondientes emisiones de CO<sub>2</sub> se recurre a los valores fijados en los ECO PROFILES of the European plastics industry (APME, 2003). Dando como resultado un consumo energético de 7,3 kWh kg<sup>-1</sup> y la emisión de 0,2 kg de CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>.

El polietileno reticulado suele llevar además de LDPE alrededor de un 3% en peso de silano que facilita el proceso de reticulación. Este aditivo se puede incorporar en algunos casos durante el proceso de síntesis del polietileno, o posteriormente una vez ha sido realizada la polimerización. En este caso, como el porcentaje de silano añadido por kg de polietileno es muy pequeño no se ha considerado frente al total y el consumo de energía para la producción de polietileno reticulado se asimila al del LDPE.

En el caso de la carga mineral para el PVC, carbonato de calcio, se estima un consumo energético de 0,03 kWh kg<sup>-1</sup> a partir de los datos disponibles en el "Reference Document on BAT in the cement and lime manufacturing industries" (IPPC, 2001). Se considera que la energía empleada proviene del gasóleo, estableciendo la emisión de 0,3 kg de CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>.

El consumo energético para la obtención de los hidróxidos de magnesio y aluminio utilizados como carga mineral para el PE se han asimilado a los necesarios para la producción de los óxidos correspondientes, dando como resultado la necesidad de 3,9 kWh kg<sup>-1</sup> para la alúmina y de 2,6 kWh kg<sup>-1</sup> en el caso del MgO. Las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas son en ambos casos de 0,2 kg de CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup> (Chemlink, 2005; US Department of Energy, 2003).

Para el plastificante DIDP se ha escogido el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a un éster ftalato tipo obteniéndose 7,1 kWh kg<sup>-1</sup> y 0,3 kg de CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup> (ECPI, 2001).

El consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la extracción y suministro del resto de materiales: lubricantes, retardantes de llama, etc., se han asimilado a la base del aislante en cada caso (PVC, LDPE). Se considera que el margen de error introducido por esta aproximación no es excesivamente grande debido a que la contribución en peso de dichos componentes se encuentra entre un 3% y un 5% del total del cable.

La extracción y suministro de cobre supone un consumo energético de 4,7 kWh kg<sup>-1</sup> (EPA, 2001) y unas emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas de 0,3 kg CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>, considerando el fuel, el gas natural y la electricidad como fuentes de energía.

Los consumos energéticos de los materiales se resumen en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 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)
XLPE	7,29	Eco-profile Polyolefins (APME, 2004). Eco-profile Conversion processes for polyolefins (APME, 2004)
Hidróxido de Al	3,92	US Department of Energy, 2001. <a href="http://www.secat.net/docs/resources/US_Energy_Requirements_for_Aluminum_Production.pdf">http://www.secat.net/docs/resources/ US_Energy_Requirements_for_Aluminum_Production.pdf</a> Septiembre, 2005
Hidróxido de Mg	2,63	Chemlink Consultants ( <a href="http://www.chemlink.com.au/mag&amp;oxide.htm">http://www.chemlink.com.au/mag&amp;oxide.htm</a> , Septiembre 2005)
Carbonato de Ca	0,06	Reference document on BAT in the cement and lime manufacturing industries (IPPC, 2001)
DIDP	7,10	ECO PROFILE of high volume commodity phthalate esters (ECPI; 2001)
Cobre	4,73	BREF non ferrous metal industry (EPA, 2001)

#### **4.3. La producción del cable.**

El proceso de fabricación del cable, aunque depende del tipo en concreto que se desee obtener, puede esquematizarse en una etapa de trefilado, hilado y cableado del conductor y la posterior extrusión del aislamiento en torno al mismo.

El consumo energético medio del proceso productivo se ha estimado en función de los datos obtenidos para una empresa concreta de producción (Ascable (2002)), obteniéndose el consumo de 0,36 kWh por kg de cable producido.

Para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a este proceso se ha considerado que las fuentes de energía empleadas son energía eléctrica y gasóleo.

#### **4.4. Instalación y desmantelamiento del cable.**

El proceso de instalación de cables en viviendas se puede realizar de diversas formas, en concreto (según lo especificado en el ITC-BT-26 del Reglamento electrotécnico para baja tensión aprobado por REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto; BOE núm. 224 del miércoles 18 de septiembre) existen los siguientes sistemas:

Instalaciones empotradas:

- Cables aislados bajo tubo flexible
- Cables aislados bajo tubo curvable

Instalaciones superficiales:

- Cables aislados bajo tubo curvable
- Cables aislados bajo tubo rígido
- Cables aislados bajo canal protectora cerrada
- Canalizaciones prefabricadas

El tipo de instalación influye en la intensidad máxima admisible que puede transportar el cable, en este caso se ha supuesto instalación empotrada bajo tubo.

En cualquier caso se considera que el proceso de instalación y desmantelamiento o retirada del cable no conllevan un consumo energético relevante. Por otro lado, estos consumos son análogos para los diferentes tipos de cable estudiados y por tanto despreciables a la hora de realizar un análisis comparativo de resultados.

#### 4.5. Utilización del cable.

Se ha estimado el consumo energético asociado a la etapa de utilización del cable teniendo en cuenta las pérdidas de energía que supone la disipación de calor por efecto Joule en el conductor. Se han tomado los valores de resistencia para los conductores tabulados en la norma UNE EN 60228 y las intensidades máximas admisibles presentes en el REBT (RD 842/2002 de 2 de Agosto de 2002).

Para el cálculo de las pérdidas de energía se ha tenido en cuenta el período de vida media del cable, considerado de 50 años para todos los materiales, suponiendo un tiempo de utilización de 8 horas diarias.

Se ha considerado como intensidad circulante la misma para los tres tipos de cables, tomándose como referencia la mitad de la mínima de las intensidades máximas admisibles, en este caso 86 A, correspondiente al cable con aislamiento de PVC de 35 mm<sup>2</sup> de sección nominal. Se supone por tanto una intensidad circulante de 43 A.

Las pérdidas de calor por efecto Joule se cuantifican de acuerdo a la ecuación Ec 1.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad [\text{Ec } 1]$$

donde Q es la energía disipada (J), I es la intensidad de corriente (A), R la resistencia del conductor (Ohm) y t el tiempo considerado (s).

Los resultados obtenidos para consumos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes a la etapa de uso del cable se presentan en la Tabla 4.5 La importancia relativa de esta etapa es del 96-99% tanto en lo que respecta a consumo de energía como a emisiones de CO<sub>2</sub>.

Tabla 4.5. Consumo energético estimado en la etapa de uso del cable. Considerando pérdidas de calor por efecto Joule.

Material	SN (mm <sup>2</sup> )	I máx admisible (A)	I circulante (A)	Resistencia (ohm km <sup>-1</sup> )	Pérdidas de calor por efecto Joule (50 años) J m <sup>-1</sup>	Pérdidas de calor por efecto Joule (50 años) kWh m <sup>-1</sup>
PVC	35	86	43	0,524	5,09 10 <sup>8</sup>	141,6
XLPE	25	96	43	0,727	7,07 10 <sup>8</sup>	196,4
PE con carga mineral	25	96	43	0,727	7,07 10 <sup>8</sup>	196,4

#### **4.6. El reciclaje**

Se asume que un 97% de los materiales contenidos en el aislamiento del cable son reciclables, excepto en el caso del polietileno reticulado, que se supone se envía en su totalidad a disposición final. El restante 3% constituyen residuos que se depositan en vertedero.

Debido a que se están considerando cables unipolares con un solo tipo de material como aislante, el reciclaje de los mismos se podrá realizar mediante un procedimiento mecánico. En cables más complejos, en los que existen diferentes materiales formando el aislamiento se han de utilizar normalmente procesos con disolventes selectivos, como el proceso Vinyloop para el PVC.

Para el reciclaje del PVC y el polietileno se utiliza un consumo eléctrico de 0,25 kWh kg<sup>-1</sup>. Las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas se estiman teniendo en cuenta el mix eléctrico español, resultando 0,4 kg CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>.

El polietileno reticulado no es reciclable, con lo cual se envía en su totalidad a disposición final tras su utilización.

Se asume que el proceso de reciclaje del cobre supone un ahorro de energía del 75% respecto del proceso productivo original (Secretaría de Estado de Energía, desarrollo industrial y de la pequeña y mediana empresa, Ministerio de Economía, 2001), con lo cual supondría el consumo de 1,2 kWh kg<sup>-1</sup>. Considerando que las fuentes de energía son el carbón y la energía eléctrica al 50%, se asocian al proceso de reciclado unas emisiones de 0,4 kg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.

#### **4.7. La disposición final**

Se asume un consumo energético de 0,16 kWh por cada kg de residuo depositado en vertedero (Choate and Ferland, 2004). Se considera que la energía proviene en un 100% de gasóleo.

#### **4.8. 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 del cable hasta el lugar de instalación, transporte para reciclaje y para disposición final.

#### 4.9. Factores de emisión

La Tabla 4.6 presenta los factores de emisión de CO<sub>2</sub> bases que se utilizan en cada etapa, según la composición o tipo del suministro energético ya indicados para cada caso.

Tabla 4.6. 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 XLPE		1,7	0,233
Producción de PE		1,7	0,270
Producción de DIDP		1,8	0,257
Producción hidróxido de aluminio			0,225
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

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

Las tablas 5.6 y 5.7 presentan un resumen de los resultados obtenidos para cada uno de los materiales.

La etapa del ciclo de vida que supone un mayor consumo energético y más emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera es la de utilización del cable. Se ha considerado un periodo de vida medio para todos los cables de 50 años con un uso de 8 horas diarias y se han estimado las pérdidas por efecto Joule, obteniéndose una aportación de entre el 97% y el 99% al consumo energético y a las emisiones de CO<sub>2</sub> para todos los casos.

La extracción y suministro de materiales supone un 2% del consumo energético y un 3% de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el caso del PVC nuevo. Este hecho hace que el efecto de introducir material reciclado en la composición del cable apenas tenga influencia en el cómputo global de energía necesaria y CO<sub>2</sub> emitido.

Para los casos de cables con aislamiento de PE con carga mineral y XLPE la importancia de esta etapa es incluso menor, no superando el 1% del total.

El cable que presenta mejores resultados desde el punto de vista de los indicadores ambientales considerados es el de PVC con un 25% de materiales reciclados en su composición, con un consumo energético a lo largo del ciclo de vida de 144 kWh m<sup>-1</sup> y la emisión de 65 kg de CO<sub>2</sub> asociada.

El cable de PVC nuevo considerado consume a lo largo del ciclo de vida 145 kWh m<sup>-1</sup> y supone la emisión de 65 kg de CO<sub>2</sub> .

Los cables de polietileno con carga mineral (con y sin material reciclado) y el de polietileno reticulado implican el consumo de 198 kWh m<sup>-1</sup> y 199 kWh m<sup>-1</sup>, respectivamente, y la emisión de 88 kg de CO<sub>2</sub>.

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 de cable unipolar SN 35 mm<sup>2</sup> con conductor de cobre y aislante de PVC.

	Consumo energético (kWh m <sup>-1</sup> )	%	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg de CO <sub>2</sub> m <sup>-1</sup> )	%
Extracción y suministro de materiales	2,29	1,59	1,70	2,63
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,03	0,02	0,01	0,01
Producción del cable	0,17	0,11	0,07	0,11
Transporte del cable para su instalación	0,03	0,02	0,01	0,01
Instalación	0,00	0,00	0,00	0,00
Uso	141,57	97,95	62,69	96,97
Desmantelamiento	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte a reciclaje	0,03	0,02	0,01	0,01
Reciclaje	0,37	0,26	0,15	0,23
Transporte a disposición final	0,01	0,00	0,00	0,00
Disposición final	0,01	0,01	0,00	0,01
<b>TOTAL</b>	<b>144,53</b>	<b>100,00</b>	<b>64,65</b>	<b>100,00</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 de cable unipolar SN 35 mm<sup>2</sup> con conductor de cobre y aislante de PVC, con un 25% de PVC reciclado en el aislante.

	Consumo energético (kWh m <sup>-1</sup> )	%	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg de CO <sub>2</sub> m <sup>-1</sup> )	%
Extracción y suministro de materiales	2,17	1,50	1,67	2,58
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,03	0,02	0,01	0,01
Producción del cable	0,17	0,11	0,07	0,11
Transporte del cable para su instalación	0,03	0,02	0,01	0,01
Instalación	0,00	0,00	0,00	0,00
Uso	141,57	98,04	62,69	97,03
Desmantelamiento	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte a reciclaje	0,03	0,02	0,01	0,01
Reciclaje	0,37	0,26	0,15	0,23
Transporte a disposición final	0,01	0,00	0,00	0,00
Disposición final	0,01	0,01	0,00	0,01
<b>TOTAL</b>	<b>144,40</b>	<b>100,00</b>	<b>64,61</b>	<b>100,00</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 de cable unipolar SN 25 mm<sup>2</sup> con conductor de cobre y aislante de XLPE, con cubierta de PVC.

	Consumo energético (kWh m <sup>-1</sup> )	%	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg de CO <sub>2</sub> m <sup>-1</sup> )	%
Extracción y suministro de materiales	1,70	0,86	0,50	0,57
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,02	0,01	0,01	0,01
Producción del cable	0,11	0,06	0,05	0,06
Transporte del cable para su instalación	0,02	0,01	0,01	0,01
Instalación	0,00	0,00	0,00	0,00
Uso	196,41	98,91	86,98	99,23
Desmantelamiento	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte a reciclaje	0,02	0,01	0,01	0,01
Reciclaje	0,25	0,13	0,10	0,11
Transporte a disposición final	0,01	0,00	0,00	0,00
Disposición final	0,01	0,01	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>198,57</b>	<b>100,00</b>	<b>87,66</b>	<b>100,00</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 de cable unipolar SN 25 mm<sup>2</sup> con conductor de cobre y aislante de PE con carga mineral.

	Consumo energético (kWh m <sup>-1</sup> )	%	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg de CO <sub>2</sub> m <sup>-1</sup> )	%
Extracción y suministro de materiales	1,33	0,67	0,39	0,45
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,02	0,01	0,01	0,01
Producción del cable	0,10	0,05	0,04	0,05
Transporte del cable para su instalación	0,02	0,01	0,01	0,01
Instalación	0,00	0,00	0,00	0,00
Uso	196,41	99,11	86,98	99,36
Desmantelamiento	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte a reciclaje	0,02	0,01	0,01	0,01
Reciclaje	0,26	0,13	0,10	0,12
Transporte a disposición final	0,00	0,00	0,00	0,00
Disposición final	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>198,17</b>	<b>100,00</b>	<b>87,54</b>	<b>100,00</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 de cable unipolar SN 25 mm<sup>2</sup> con conductor de cobre y aislante de PE con carga mineral, con un 25% de PE reciclado.

	Consumo energético (kWh m <sup>-1</sup> )	%	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg de CO <sub>2</sub> m <sup>-1</sup> )	%
Extracción y suministro de materiales	1,29	0,65	0,38	0,44
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,02	0,01	0,01	0,01
Producción del cable	0,10	0,05	0,04	0,05
Transporte del cable para su instalación	0,02	0,01	0,01	0,01
Instalación	0,00	0,00	0,00	0,00
Uso	196,41	99,13	86,98	99,37
Desmantelamiento	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte a reciclaje	0,02	0,01	0,01	0,01
Reciclaje	0,26	0,13	0,10	0,12
Transporte a disposición final	0,00	0,00	0,00	0,00
Disposición final	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>198,13</b>	<b>100,00</b>	<b>87,53</b>	<b>100,00</b>

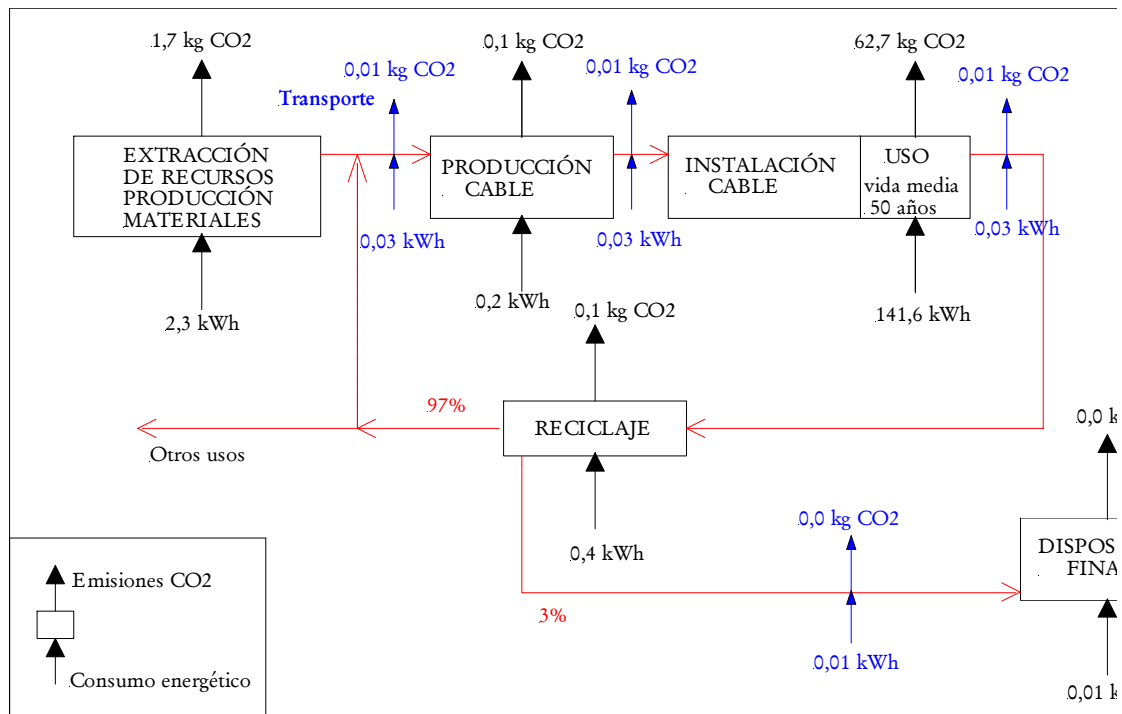


Figura 5.1. Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de cables unipolares para distribución eléctrica con aislante de PVC.

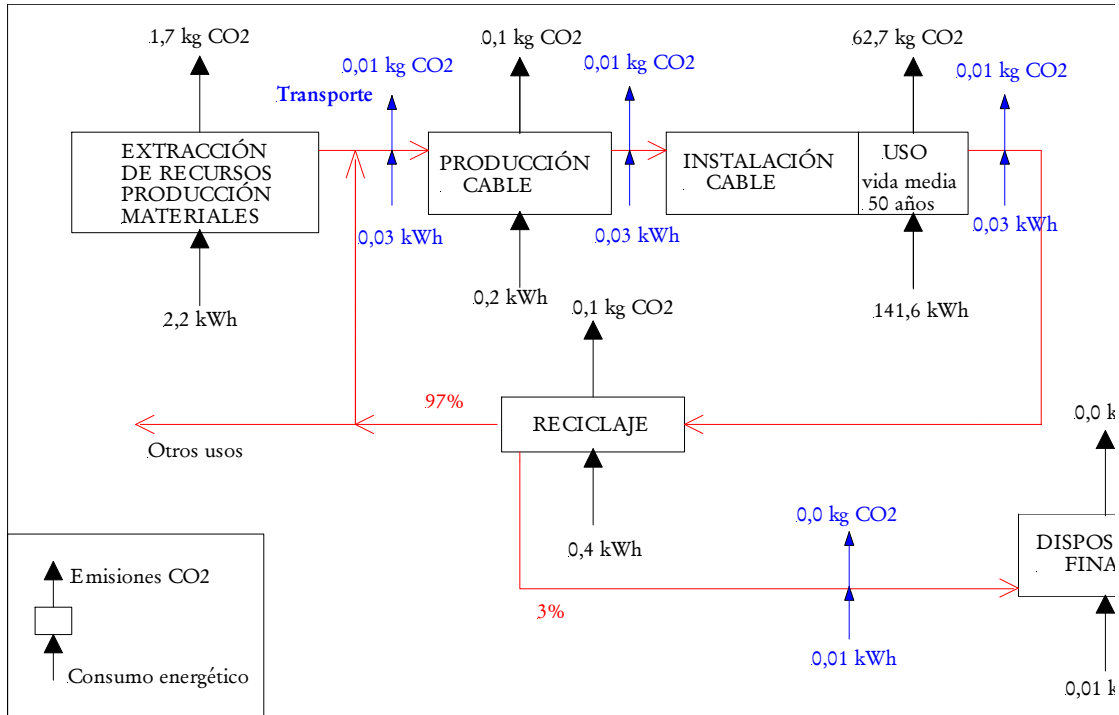


Figura 5.2. Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de cables unipolares para distribución eléctrica con aislante de PVC con un 25% de material reciclado en su composición.

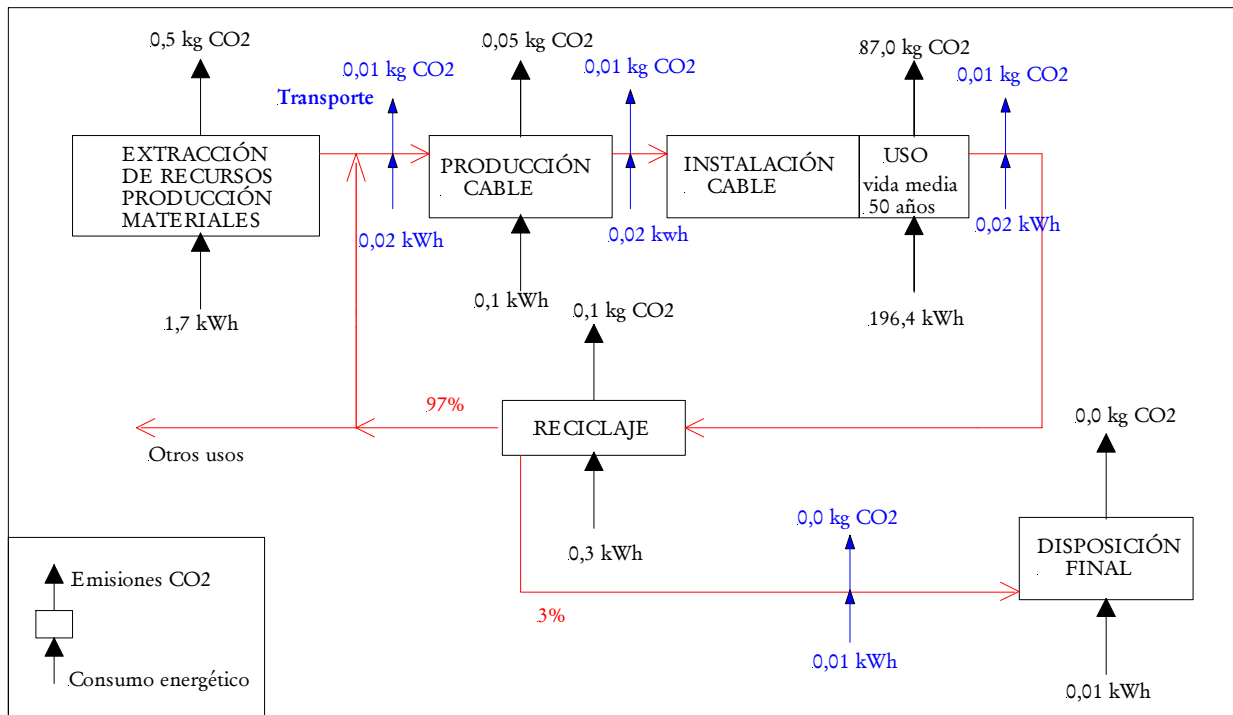


Figura 5.3 Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de cables unipolares para distribución eléctrica con aislante de XLPE

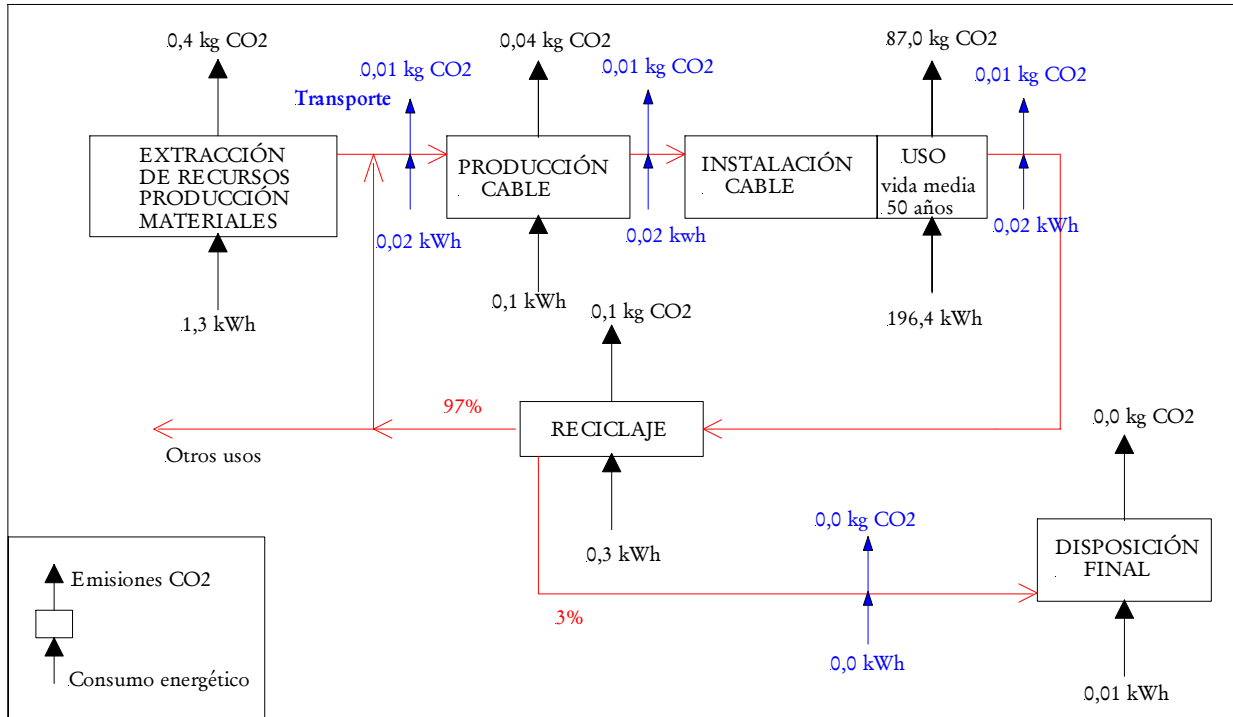


Figura 5.4. Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de cables unipolares para distribución eléctrica con aislante de PE con carga mineral

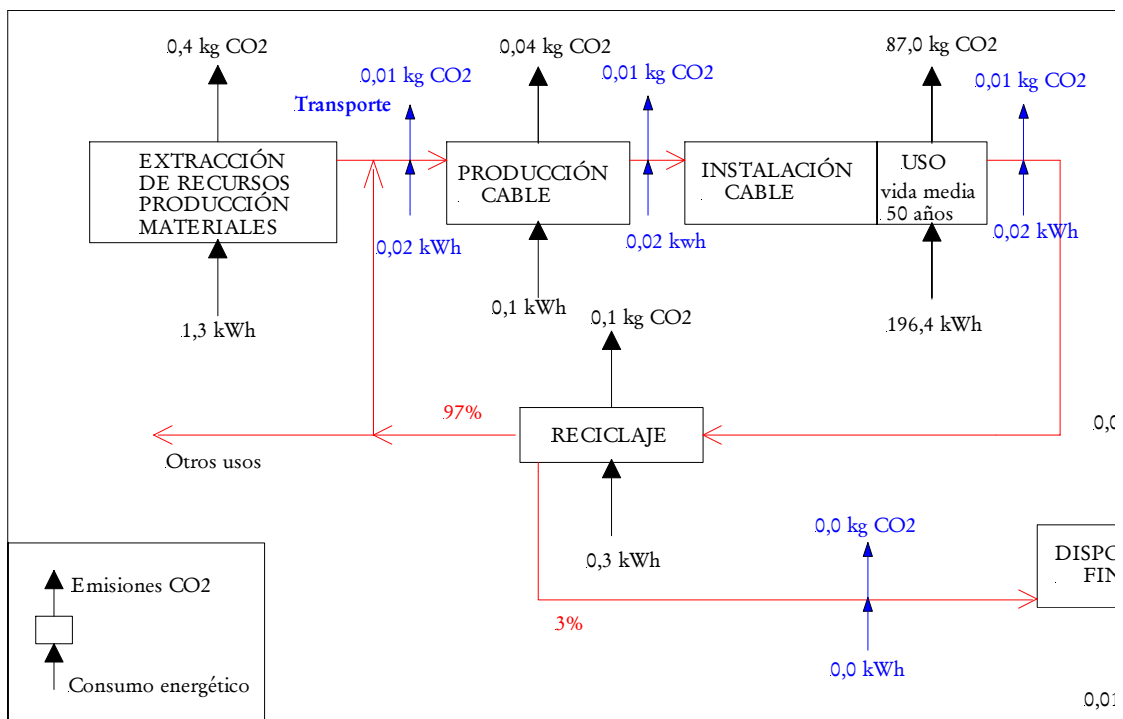


Figura 5.5 Estimación del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de cables unipolares para distribución eléctrica con aislante de PE con carga mineral con un 25% de material reciclado en su composición.

Tabla 5.6. Resumen del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a cada una de las etapas del ciclo de vida de cables con aislantes de diferentes materiales.

Consumo energético (kWh m <sup>-1</sup> )	PVC nuevo SN35	PVC 25% material reciclado SN35	XLPE (con cubierta PVC) SN25	PE con carga mineral SN25 nuevo	PE con carga mineral SN25 25% material reciclado
Extracción y suministro de materiales	2,3	2,2	1,7	1,3	1,3
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Producción de cable	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Transporte de cable para su instalación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Utilización del cable	141,6	141,6	196,4	196,4	196,4
Transporte de cable usado para reciclado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reciclaje	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Transporte para disposición final en vertedero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Disposición final en vertedero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>TOTAL</b>	144,5	144,4	198,6	198,2	198,1

Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> m <sup>-1</sup> )	PVC nuevo SN35	PVC 25% material reciclado SN35	XLPE (con cubierta PVC) SN25	PE con carga mineral SN25 nuevo	PE con carga mineral SN25 25% material reciclado
Extracción y suministro de materiales	1,7	1,7	0,5	0,4	0,4
Transporte de materiales hasta la planta de producción	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Producción de cable	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Transporte de cable para su instalación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Utilización del cable	62,7	62,7	87,0	87,0	87,0
Transporte de cable usado para reciclado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reciclaje	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Transporte para disposición final en vertedero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Disposición final en vertedero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>TOTAL</b>	64,6	64,6	87,7	87,5	87,5

Tabla 5.7. Consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de cables unipolares con conductor de cobre y aislamiento de diferentes materiales. Resumen.

1 m de cable unipolar	SN (mm <sup>2</sup> )	Peso (kg m <sup>-1</sup> )	Diámetro conductor (mm)	Diámetro externo (mm)	Espesor aislante (mm)	Cubierta de PVC (mm)	Intensidad máxima admisible (A)	Resistencia del conductor a 20°C (ohm km <sup>-1</sup> )	Consumo energía (kWh m <sup>-1</sup> )	Emisiones CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> m <sup>-1</sup> )	%variación Consumo energía respecto PVC	% variación emisiones CO <sub>2</sub> respecto PVC
PVC con 25% material reciclado	35	0,5	8,3	13,5	2,6	no	86	0,524	144,4	64,6	-0,1	-0,1
PVC	35	0,5	8,3	13,5	2,6	no	86	0,524	144,5	64,6	0,0	0,0
PE con carga mineral con 25% material reciclado	25	0,3	6,6	9,0	1,2	no	96	0,727	198,1	87,5	37,1	35,4
PE con carga mineral	25	0,3	6,6	9,0	1,2	no	96	0,727	198,2	87,5	37,1	35,4
XLPE	25	0,3	6,6	11,2	0,9	2,8	96	0,727	198,6	87,7	37,4	35,6

## 6. Conclusiones

Se han estudiado cables unipolares con conductor de cobre y aislante formado por un sólo material, normalmente empleados en instalaciones eléctricas en viviendas.

Como caso base para realizar el estudio se ha tomado un cable con aislamiento de PVC de 35 mm<sup>2</sup> de sección nominal. La intensidad máxima admisible que puede soportar este tipo de cable es de 86 A.

Como elementos comparativos se han escogido cables con aislamiento de XLPE reticulado y PE con carga mineral, por ser los materiales más comúnmente utilizados. Se han considerado cuyas dimensiones permitan una tensión máxima admisible lo más cercana posible a la correspondiente al cable de PVC, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en ambos casos se corresponden con cables de 25 mm<sup>2</sup> de sección nominal que admiten una intensidad máxima de 96 A, un 11% mayor que en el caso base.

Se han estimado los consumos energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a cada una de las etapas del ciclo de vida de estos tres tipos de cables, tomando como unidad de cálculo 1 m de cable.

En el caso del PVC y del PE con carga mineral se ha contemplado la posibilidad de introducir un 25% de materiales reciclados en la composición del cable, aunque en la actualidad el uso de materias primas recicladas no es habitual. En lo que respecta al polietileno reticulado no se suele someter a procesos de reciclaje debido a su estructura, por lo que no se ha considerado esta opción.

El cable de polietileno reticulado considerado presenta una cubierta de PVC, ya que se ha observado que no es común la existencia en el mercado de cables unipolares de XLPE sin cubierta de otros materiales.

La etapa determinante del consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el ciclo de vida del cable es la etapa de utilización. Se han estimado las pérdidas de energía por efecto Joule durante un periodo de vida media de 50 años con un uso de 8 horas diarias, suponiendo entre un 97 y un 99% del consumo y las emisiones totales.

El cable que presenta mejores resultados desde el punto de vista de los indicadores ambientales considerados es el de PVC con un 25% de material reciclado en su composición. El hecho de introducir un 25% de PVC y cobre reciclados en la composición del cable supone un ahorro energético escaso, del 0,1% respecto de la utilización de materiales totalmente nuevos. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen en la misma proporción.

A continuación se encuentran el cable aislado con PE con carga mineral que incluye un 25% de materiales reciclados en su composición y el de PE con carga mineral sin materiales reciclados (con un 37% más de demanda energética y un 35% más de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera que el cable de PVC nuevo).

Por último se encuentran los cables de XLPE con un consumo energético un 37% mayor que el cable de PVC tomado como base.

Los resultados obtenidos para los cables de PE con carga mineral y XLPE son prácticamente idénticos (diferencias en torno al 1% en el consumo energético por metro de cable).

Se ha de tener en cuenta que la utilización de un 25% de materiales reciclados en la producción del cable apenas varía los resultados, tanto para el caso del PVC como para el del polietileno con carga mineral.

## 7. Referencias

- 1 APME, 2004. Association of Plastics Manufacturers in Europe, (<http://www.apme.org/>, Octubre de 2004).
- 2 Ascable (2002). Declaración medioambiental 2001-2002. (<http://www.ascable.com>, Julio de 2005)
- 3 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).
- 4 Chemlink Consultants, 2005. <http://www.chemlink.com.au/mag&oxide.htm>, Septiembre 2005
- 5 Choate, A. , Ferland, H. Waste Management and Energy Savings: Benefits by the Numbers. U.S. EPA. (<http://yosemite.epa.gov>, Diciembre de 2004)
- 6 WEC (2004). Total Energy Use Characteristics, del Global Transport and Energy Development: The Scope for Change, WEC. (<http://www.worldenergy.org>, Diciembre de 2004)
- 7 ECPI; 2001. ECO PROFILE of high volume commodity phthalate esters. ECPI. European Council for Plastics and Intermediates.
- 8 ECO PROFILES of the European plastics industry. (2003). APME (Association of Plastics Manufacturers (PlasticsEurope)), Brussels
- 9 Martín, F. (2003). Nuevo Manual de Instalaciones eléctricas. Según el Nuevo Reglamento electrotécnico de Baja Tensión. Ediciones A. Madrid Vicente. Madrid.
- 10 IPPC (2001) Reference document on BAT in the cement and lime manufacturing industries. (<http://www.eula.be/>, Octubre de 2005)
- 11 Secretaría de Estado de energía, desarrollo industrial y de la pequeña y mediana empresa. Ministerio de Economía (2003). Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012, 5.3 subsector metalurgia no férrea. (<http://www6.mityc.es>, Septiembre de 2005)
- 12 EPA, 2001. BREF on non ferrous metals industry. (<http://www.epa.ie/Licensing/IPPC/Licensing/BREFDocuments/>, Septiembre de 2005)
- 13 US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, 2003. "U.S. Energy Requirements for Aluminum Production: Historical Perspective, Theoretical Limits and New Opportunities" [http://www.secat.net/docs/resources/US\\_Energy\\_Requirements\\_for\\_Aluminum\\_Production.pdf](http://www.secat.net/docs/resources/US_Energy_Requirements_for_Aluminum_Production.pdf), Septiembre 2005

DÍAZ DE SANTOS, S.A.

**TABLA XIV - 4**  
**INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES EN AMPERIOS PARA CONDUCTORES DE**  
**COBRE AISLADOS**

INSTALACIÓN BAJO TUBO EMPOTRADO		CONDUCTORES UNIPOLARES			CONDUCTORES MULTIPOLARES				
BIPOLAR	TIPO DE CONDUCTOR	2 UNIPOLARES			1 BIPOLAR				
		⊙ ⊙			⊙				
TEMPERATURA AMBIENTE: 40 °C TEMPERATURA DE CONDUCTORES: (PVC) 70 °C (XLPE) Y (EPR) 90 °C ( POR TEMPERATURA DIFERENTE: TABLA FC-1 FACTORES DE CORRECCIÓN) ( POR AGRUPAMIENTO: TABLA FC-5	<b>SECCIÓN NOMINAL (mm<sup>2</sup>)</b>	1,5	12,5	17,5	17,5	12	17	17	
		2,5	17	24	24	16	23	23	
		4	22	32	32	22	30	30	
		6	29	41	41	28	38	38	
		10	40	56	56	37	52	52	
		16	53	74	74	50	69	69	
		25	69	96	96	65	90	90	
		35	86	119	119	80	110	110	
		50	103	144	144	96	132	132	
		70	131	182	182	121	167	167	
		95	158	219	219	145	200	200	
		120	183	253	253	167	230	230	
		150	209	317	317	190	264	264	
		185	237	329	329	216	299	299	
		240	278	386	386	253	351	351	
		300	319	442	442	290	402	402	
<b>TIPO DE AISLAMIENTO</b>		CLORURO DE POLIVINILO			POLIETILENO RETICULADO			ETILENO PROPILENO	
		CLORURO DE POLIVINILO			POLIETILENO RETICULADO			ETILENO PROPILENO	