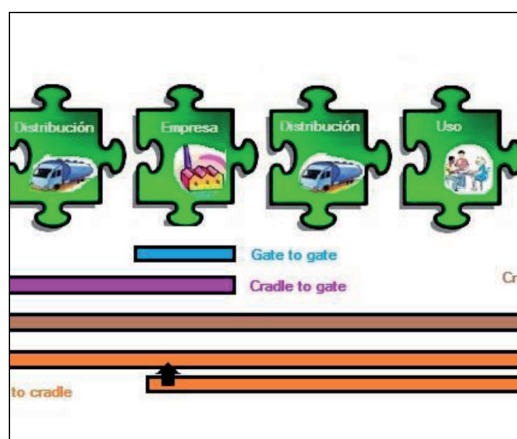


Análisis de ciclo de vida para celdas de distribución eléctrica primaria



Rikardo Minguez *
Sharay Zamora *
Lander Barrenetxea*
Eneko Solaberrieta *
Olatz Etxaniz *
Javier Muniozguren *
Jesus Izcara **
Javier Larrieta **
Jaime López **

Dr. Ingeniero Industrial
Ingeniera Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Ingeniera Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Ingeniero Industrial

* UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO (UPV/EHU). Aula de Ecodiseño. Departamento Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería. Urkixo Zumarkalea, z/g - 48013 Bilbao, Tfno: +34 946 017325.

rikardo.minguez@ehu.es

** ORMAZABAL CORPORATE TECHNOLOGY A.I.E. Parque Empresarial Boroa - 48340 Amorebieta-Etxano. Tfno: +34 946 305130.

Recibido: 14/11/2012 • Aceptado: 10/06/2013

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5575>

LIFE CYCLE ASSESSMENT IN SWITCHGEARS FOR PRIMARY ELECTRICAL DISTRIBUTION

ABSTRACT

• This article describes how life cycle assessments are performed in the ecodesign learning centre at the Faculty of Engineering in Bilbao (University of the Basque Country UPV-EHU) aiming at improving already existing products. In this case, the assessed product has been a series of switchgears for primary distribution manufactured by a company specialized in electrical applications. The primary aim of this assessment was to come up with some improvement actions that can be applied to these switchgears so as to redesign and manufacture these assemblies in a more sustainable way. In addition, the ultimate purpose of this research is the introduction of the ecodesign concept in more products of the company.

Throughout this study, the switchgears have been classified according to 5 categories of environmental impact: acidification, eutrophication, global warming, ozone layer depletion and photochemical oxidation. A special emphasis has been placed on global warming, since it is considered one of greatest environmental problems at present. Using the SimaPro tool, all the components making up the switchgear for primary distribution have been analyzed one by one and separately.

Thanks to this study, the first improvement action implemented in the production process of the switchgear has considerably diminished its environmental impact. Besides, most of the reasons causing the impacts have been identified. The company is now using this information as a starting point for the investigation and execution of ecodesign methodologies in the development of new products.

• **Keywords:** Life cycle assessment, environmental impact, ecodesign, switchgears for primary distribution.

RESUMEN

En este artículo se describe como, en el aula de ecodiseño de la ETS de ingeniería de Bilbao (universidad del País Vasco UPV-EHU), se realizan análisis del ciclo de vida para poder mejorar productos ya existentes.

En este caso, el producto objeto de estudio ha sido una serie de celdas para distribución primaria pertenecientes a una empresa de soluciones eléctricas. El objetivo es encontrar acciones de mejora aplicables a dichas celdas y de este modo, poder rediseñar y fabricar dichas celdas de una forma más sostenible. Además, se quiere introducir el concepto de ecodiseño en más proyectos de la empresa, y extender en un futuro este tipo de evaluación a más familias de productos.

Durante este estudio se han analizado las celdas según 5 categorías de impacto medioambiental: acidificación, eutrofización, calentamiento global, reducción de la capa de ozono y oxidación fotoquímica, haciendo especial hincapié en el calentamiento global, ya que se considera que es una de las mayores problemáticas medioambientales actuales. El análisis se ha realizado utilizando la herramienta SimaPro, analizando uno a uno y por separado todos los componentes de los que están formadas las celdas de distribución.

Con este estudio, además de identificar los motivos por los que se producen la mayor parte de los

impactos se ha conseguido realizar una primera acción de mejora que disminuye sustancialmente el impacto medioambiental de las celdas de distribución. Esta información de impactos medioambientales en el análisis del ciclo de vida está siendo utilizada por la empresa como punto de partida para la investigación y ejecución de metodologías de ecodiseño en el desarrollo de nuevos productos.

Palabras clave: Análisis del ciclo de vida, impacto ambiental, ecodiseño, celdas de distribución primaria.

1. INTRODUCCIÓN

Tras el avance tecnológico de las últimas cuatro décadas, la tendencia de consumo de la población se ha convertido en comprar y tirar, en tener los mejores y nuevos artículos que salen al mercado y vivir en una sociedad en la que nadie se preocupa de la forma en que se ha producido un elemento, su procedencia, sus consumos y sobre todo, qué ocurre con ellos cuando se los deshecha para comprar otro artículo nuevo. Vivimos en una sociedad consumista que alardea de querer un entorno más verde, pero que, sin embargo, apenas se preocupa del ciclo de vida de los productos que se consumen.

Si bien es cierto que con los años la sociedad se ha ido concienciando acerca de la necesidad de reciclar algunos productos, aún no nos planteamos las fases iniciales de estos. Como respuesta a este problema ha surgido el concepto de ecodiseño, que no sólo se preocupa de su fin de vida, sino también de la procedencia, uso y distribución de todos los materiales empleados en la fabricación de los productos [1]. El ecodiseño además de un beneficio medioambiental tiene un beneficio económico, ya que en su mayor parte las mejoras se refieren a la disminución de material.

Paralelamente, las políticas legislativas de la Unión Europea han ido regulando la protección del medio ambiente con el fin de fomentar tanto la oferta como la demanda de productos respetuosos con el medio ambiente [2] [3].

2. ECODISEÑO Y ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El ecodiseño trata de crear desde el primer momento productos más sostenibles. Sin embargo, en el diseño de ingeniería es muy difícil crear un elemento completamente nuevo, y lo que habitualmente se realiza es una mejora de productos ya existentes. En ecodiseño, tal y como ocurre en el diseño de ingeniería, lo habitual es hacer un análisis del impacto que produce un elemento ya comercializado. De esta manera, se puede buscar la forma de realizar otro producto similar, con sus mismas funciones, pero que conlleve un impacto ambiental menor.

Según la norma UNE-EN ISO 14040:2006 [2] el *Análisis del Ciclo de Vida* (ACV) es una técnica para evaluar los aspectos y los impactos ambientales potenciales asociados con un producto mediante:

- la recopilación en un inventario de las entradas y salidas pertinentes de un sistema producto
- la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con esas entradas y salidas
- la interpretación de los resultados de las dos fases anteriores.

El análisis de ciclo de vida consiste principalmente en analizar las 4 fases de un producto, la primera fase corresponde a la obtención de las materias primas y fabricación del producto, en la segunda, se analiza la distribución del producto, la tercera se centra en su uso a lo largo de su vida útil y la cuarta es el fin de su vida útil. La realización de un ACV que se ajuste a la realidad del producto y con unos límites de sistema que abarquen el mayor número de aspectos posibles es imprescindible para obtener una buena base en el proceso de Ecodiseño [4] [5].

Además, se debe tener en cuenta que existen unas normas y regulaciones que hay que respetar para conseguir obtener un óptimo resultado cuando se realiza un análisis de ciclo de vida. Estas normas son la UNE-EN ISO 14040:2006 'Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia' [2] y la UNE-EN ISO 14044:2006 'Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices' [3].

3. ACV DE CELDAS DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA

En este artículo se describe un proyecto desarrollado por el Aula de Ecodiseño de la universidad del País Vasco (UPV/EHU) [6], desde febrero de 2012 a septiembre de 2012. El estudio ha consistido en el análisis de 22 modelos de celdas de distribución eléctrica primaria (Figura 1) fabricadas por una empresa de soluciones eléctricas. Estas celdas de distribución primaria forman parte de una subestación eléctrica y tendrán una vida útil de 30 años. Las celdas estudiadas presentan una arquitectura dividida en compartimentos independientes (Figura 1):

- (A) Compartimento de interruptor
- (B) Compartimento de barras
- (C) Compartimento de cables
- (D) Compartimento de control
- (E) Interfaz de operaciones

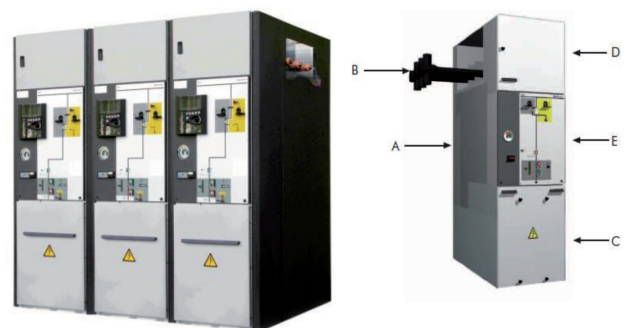


Fig. 1: Celdas de distribución primaria (Fuente: Ormazabal – Velatía)

El trabajo realizado ha consistido en analizar las celdas ya existentes y buscar acciones de mejora que pudiesen aplicarse a celdas futuras, utilizando la información facilitada por la empresa.

Las acciones de mejora se pueden aplicar a casi cualquier elemento. Hay productos en los que se conseguirá una reducción medioambiental muy importante después de su estudio, mientras que en otros productos, aun estando muy optimizados, siempre habrá algo que pueda mejorarse, por muy pequeño que sea [7]. En el caso de las celdas de distribución primaria, son productos ya muy optimizados y que tienen que cumplir un pliego de condiciones muy específico, por lo que el margen de acción será pequeño y, por lo tanto, encontrar mejoras viables en los mismos constituye todo un reto.

3.1. LIMITES E INVENTARIOS

Hay varias opciones a la hora de hacer un análisis de ciclo de vida o de analizar un componente. Se deben fijar unos límites dependiendo de la información que se quiere o se dispone.

Comúnmente se conocen 4 opciones para un análisis de ciclo de vida dependiendo de las fases que se desee evaluar (Figura 2): de la cuna a la tumba (*cradle-to-grave*) que implica todo el ciclo de vida completo del producto - desde que un recurso sale de la naturaleza hasta que el producto muere - pasando por fases como la primera transformación, la distribución hasta la empresa, las transformaciones propias de la empresa, su distribución, la fase de uso y el fin de su vida útil.

Otra de las opciones es el estudio de la cuna a la cuna (*cradle-to-cradle*), que además de todas las fases anteriores incluye una fase más: la reutilización de materiales recuperados que se utilizan para el siguiente producto a fabricar [8].

La tercera opción, la denominada de la cuna a la puerta (*cradle-to-gate*), trata de analizar el producto desde la obtención de las materias primas hasta que el producto sale de la empresa, pero sin tener en cuenta que ocurrirá después, ni su distribución, ni uso, ni fin de vida.

Por último se puede únicamente analizar lo que ocurre dentro de la empresa desde un punto de vista denominado de la puerta a la puerta (*gate-to-gate*), evitando así la recolección de información previa a la entrada a la empresa y sin la necesidad de estimar cuál será su fin de vida. Si el objetivo del análisis es aplicar mejoras dentro de la propia empresa, esta última es una opción ciertamente útil, ya que es a lo que la empresa tiene mayor acceso.

En este caso, por especificación de la empresa, la opción elegida para el análisis de las celdas de distribución primaria ha sido la denominada 'de la cuna a la cuna', que implica todo el ciclo de vida.

En primer lugar se debe contar con un conocimiento exhaustivo acerca del elemento y por supuesto, tener todos sus componentes perfectamente identificados [9] [10]. Es necesario saber el material del que están formados todos y cada uno de sus componentes, así como sus pesos, su procedencia o los tratamientos que se les han aplicado, además de conocer su proceso de fabricación y cuáles son los consumos realizados en su obtención [11]. Toda esta información se ha recogido en un inventario en el que debe aparecer desde la pieza más grande hasta la más pequeña de todas. Dicho inventario está disponible en el Aula de Ecodiseño de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao.

Una vez que toda esta información está debidamente clasificada y ordenada, se introducen los datos según las fases del análisis del ciclo de vida. Actualmente dividimos el ciclo de vida en 4 fases.

La Fase 1 del análisis de ciclo de vida, corresponde a los procesos de extracción de materias primas, los procesos de fabricación, mecanización y de construcción tanto de equipos como de las piezas. Esta primera fase se puede dividir, a su vez, en 3 etapas: adquisición de materias primas, distribución y fabricación.

En la Fase 2, de montaje en instalación, se cumplimenta el inventario con los datos referentes a lo que ocurre con la distribución, todos los kilómetros recorridos por los productos hasta su distribución final con su medio de transporte.

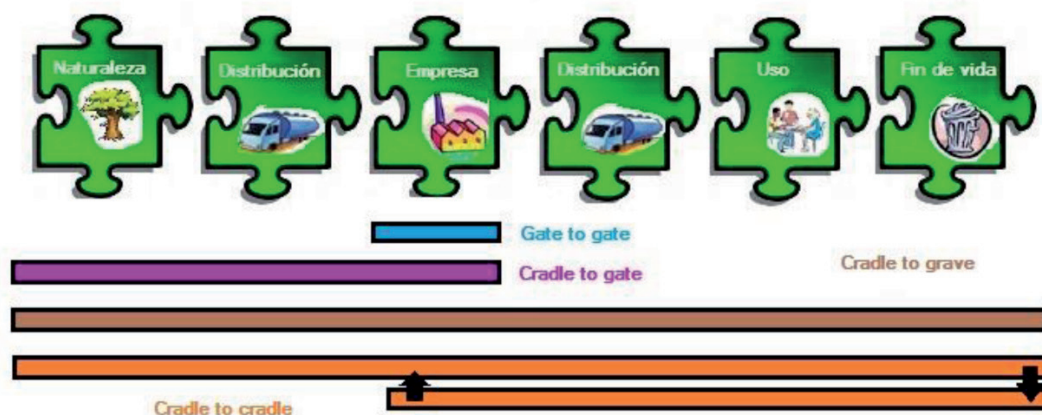


Fig. 2: Ciclo de vida del producto (Fuente: elaboración propia)

En la Fase 3, de funcionamiento o uso, se recoge información sobre su uso, donde se añadirán todos los consumos, piezas de repuesto, etc. que se utilizarán en los 30 años de vida útil estimados para las celdas.

En la Fase 4, se analiza cuál es el fin de vida más adecuada para cada componente/producto, bien sea para depositarlo en un vertedero, reciclarlo o reutilizarlo.

En el estudio se han agrupado las 22 celdas de distribución primaria en 11 grupos diferentes, teniendo en cuenta sus similitudes, y se ha realizado por separado un inventario para cada grupo de celda.

3.2. SOFTWARE Y METODOLOGÍAS

Una vez gestionada toda la información, lo cual supone un conocimiento muy concreto del producto, se ha utilizado una herramienta software para calcular los impactos medioambientales y saber así qué componentes tienen un mayor impacto. En este estudio, la herramienta utilizada ha sido el software *SimaPro* [12], desarrollado por la empresa holandesa *PRé Consultants*, junto con la base de datos de *ecoinvent* [13] desarrollada por el *Swiss Federal Institute of Technology Zurich* (ETH Zurich), *Paul Scherrer Institute* (PSI), *Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research* (EMPA) y el *Swiss Federal Agroscope Research Station* (ART). Estas herramientas nos permiten introducir datos como materiales, procesos, pesos u otras magnitudes similares de los componentes que se están analizando, devolviéndonos datos relacionados con la contaminación ambiental en las unidades correspondientes a la categoría de impacto elegida. Las categorías de impacto son clases medibles que representan aspectos ambientales de interés a la cual se pueden asignar los resultados del análisis del inventario del ciclo de vida [2].

La metodología elegida para el presente estudio es la CML 2001, que es la que mejor se adapta para el cálculo

de los impactos medioambientales asociados a las fases del ciclo de vida anteriormente descritas.

Esta metodología ha sido desarrollada por el ‘*Institute of Environmental Sciences* (CML)’ de la Universidad de Leiden (Países Bajos). La metodología CML 2001 es una de las referencias a nivel Europeo en materia legislativa y de planificación estratégica.

En consecuencia, de entre las diferentes categorías de impacto medioambiental acerca de las cuales se puede realizar este estudio, para este análisis se han elegido las categorías de la Tabla I, que son las más utilizadas actualmente en un ACV de un producto industrial como el estudiado.

CATEGORÍA DE IMPACTO SELECCIONADAS	UNIDAD DE MEDIDA
Potencial de Calentamiento Global / Cambio Climático	kg CO ₂ equiv.
Disminución de la capa de Ozono	kg CFC-11 equiv.
Acidificación de las aguas	kg SO ₂ equiv.
Creación de oxidantes fotoquímicos	kg C ₂ H ₄ equiv.
Eutrofización de las aguas	kg PO ₄ equiv.

Tabla I: Categorías de impacto ambiental seleccionadas

3.3. RESULTADOS DEL ACV INICIAL

Como ya se ha explicado previamente, para simplificar el análisis, todas las celdas se han agrupado en 11 grupos de características idénticas cada grupo. Los resultados obtenidos después del análisis en todas las categorías de impacto analizadas para cada una de las celdas son relativamente parecidos entre estos grupos (Figura 3).

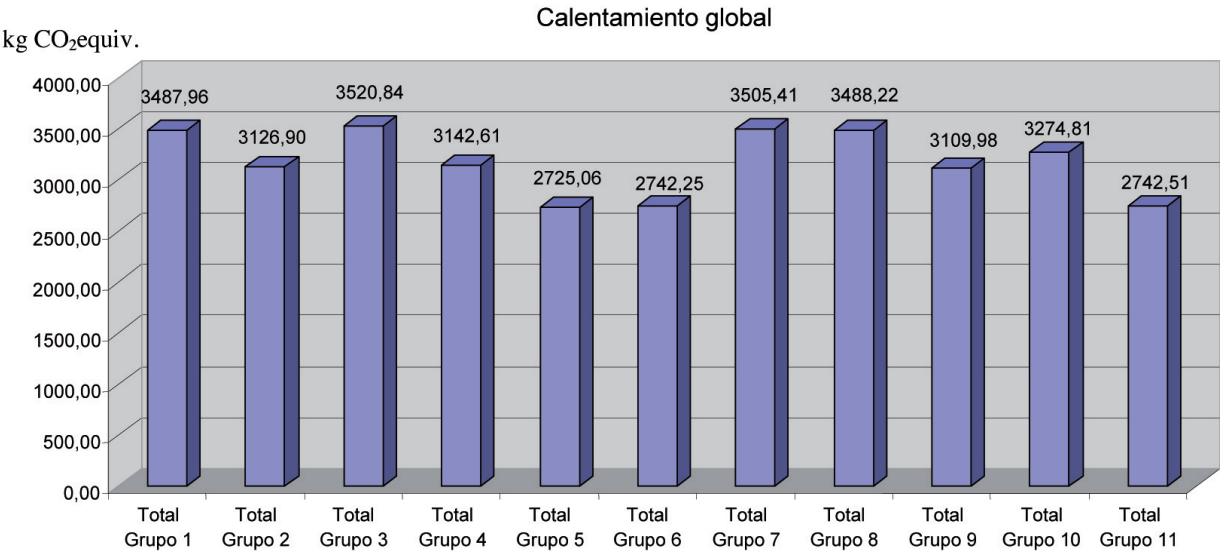


Fig. 3: Resultados para los 11 grupos de celdas en la categoría de impacto Calentamiento Global

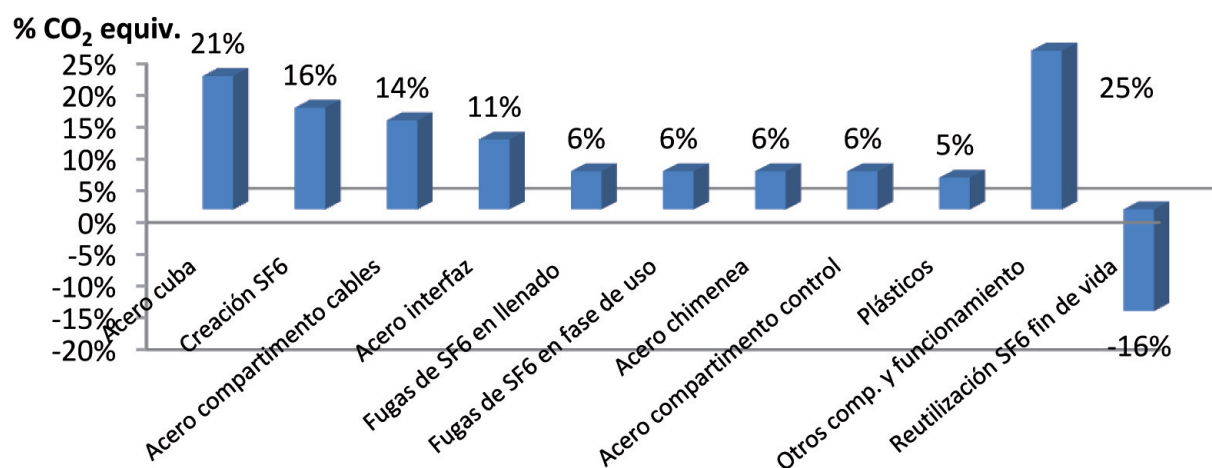


Fig. 4: Grupo 1. Categoría de impacto: Calentamiento global

Analizando más a fondo cada una de las celdas y dividiéndolas en los componentes de los que están formados se pueden extraer varias conclusiones.

En lo que se refiere a los resultados medios obtenidos para la categoría de la acidificación, el cobre de los embarrados (22%) y el acero de la cuba (17%) y las cajas (14%) son los materiales que mayor impacto provocan en el medio ambiente.

En la categoría de eutrofización, se observa que además del acero y el cobre (64%), también tiene un impacto considerable el epoxi (7%) con el que están fabricados los pasatapas.

En relación con las categorías de impacto de destrucción de la capa de ozono y la de oxidación fotoquímica es destacable el acero como aspecto significativo.

En el análisis por fases, todas las categorías de impacto tienen en común que el mayor impacto se concentra en la

fase I “extracción de materias primas”, mientras que la fase II y fase III “montaje en instalación” y “funcionamiento” contribuyen en menor proporción.

El calentamiento global será la categoría de impacto en la que más nos hemos centrado y en la que se han centrado los esfuerzos de mejora ambiental. Cabe destacar que los componentes de acero, principalmente de las cajas y la cuba, son los elementos de las celdas que mayor contribución tienen a esta categoría de impacto suponiendo un 58%, y que el impacto de la generación de SF₆ (16%) se contrarresta prácticamente en su totalidad al ser reutilizado (Figura 4).

Para finalizar, los resultados obtenidos en relación con la categoría de impacto de destrucción de la capa de ozono y la de oxidación fotoquímica es destacable la cantidad que aporta el acero.

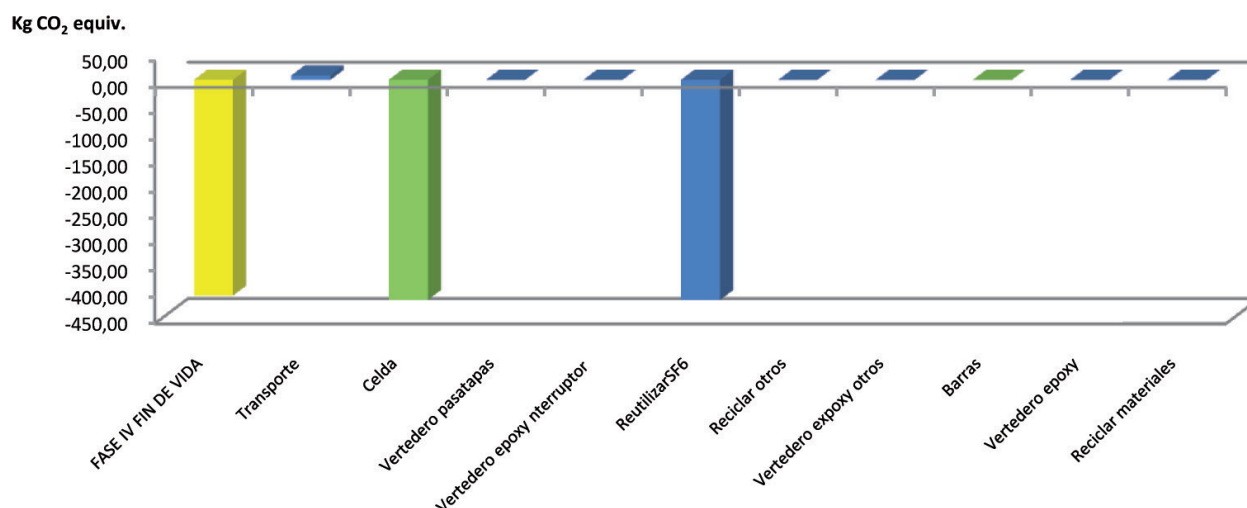


Fig. 5: Grupo 1. Categoría de impacto: Calentamiento global, Fase 4 fin de vida

Propuesta de mejora	Argumento	Compromiso realización
Uso de acero reciclado en lugar del acero virgen.	Problemas por no tener las mismas características.	---
Cambio del gas aislante SF ₆ por aire u otra alternativa.	El SF ₆ es el gas que mejores propiedades aporta, la sustitución por aire implica realizar una celda de un tamaño mucho mayor.	Se investiga sobre tecnologías alternativas al SF ₆ .
Sustitución de epoxy por un material fácilmente reciclable.	No se ha encontrado un material alternativo que no de problemas dieléctricos.	Ya se ha trabajado en ello, se continuará con la investigación de nuevos materiales.
Reducir el contenido en materiales conductores (Embarrados y pasatapas).	Se obtienen problemas de calentamientos. Una mayor reducción de materia implicaría un calentamiento excesivo de la celda.	Ya se ha intentado realizar con los materiales existentes, se continuará con la investigación si aparecieran nuevos materiales.
Reducir el contenido de materiales con función estructural.	Por normativa los materiales deben ser independientes y desmontables.	---
Reducir las dimensiones de las envolventes.	Las dimensiones de las envolventes están limitadas por los componentes y por normativa se debe dar la característica de modularidad.	---
Optimizar la forma de llenado de las celdas con gas aislante.	Se modifica el sistema de llenado de las celdas con gas SF ₆ . Se disminuirán en gran medida las pérdidas de SF ₆ en el llenado.	Cambio aceptado y ya realizado.
Film biodegradable y/o compostable.	El embalaje utilizado es un porcentaje casi despreciable de la celda.	Se trabajará para la reducción total del embalaje.
Sustitución del poliestireno expandido por otro material y empleo de film reciclado y/o reciclable.	El embalaje utilizado es un porcentaje casi despreciable de la celda.	Se trabajará para la reducción total del embalaje.
Reducción de espesores de poliestireno expandido empleados en el embalaje y embalaje de varias celdas juntas.	El embalaje debe ser individual por motivos de peso.	Se trabajará para la reducción total del embalaje.
Optimizar las soldaduras para evitar las fugas de SF ₆ .	El problema de las fugas son las juntas tóricas y actualmente no es técnicamente viable eliminarlas.	Se investiga sobre su mejora.
Optimización del sistema de fin de vida.	Actualmente no ha llegado ninguna celda a su fin de vida.	Se trabajará para una perfecta reutilización/ reciclaje de todos los materiales.

Tabla II: Propuestas de mejora

Los aspectos ambientales significativos se definen como aquellos elementos cuya contribución al impacto ambiental global asociado al producto sometido a estudio es destacable frente al resto de elementos analizados.

Todas las gráficas tienen en común que el mayor impacto se concentra en la Fase 1 ‘extracción, distribución y procesamiento de materias primas’ mientras que la Fase 2 y Fase 3, es decir, ‘montaje en instalación’ y ‘funcionamiento’ este impacto es menor. La última fase, el fin de vida, tiene una característica especial en todas ellas, ya que se observa una componente negativa, esta es motivo de la recuperación del

gas SF₆, teniendo en cuenta que es un gas que se reutilizará y por lo tanto se está evitando crear un nuevo gas, consiguiendo de esta manera una ventaja ambiental. En la Figura 5, el total de la fase de fin de vida es la suma del transporte y la celda, y esta última es la suma del resto de elementos.

Una vez vistos los resultados, no cabe duda de que la mayor parte del impacto es atribuible al acero y también, aunque en menor medida, a las fugas de SF₆ tanto en el llenado como en la fase de uso.

El motivo principal de que el acero sea un material al que se le atribuye gran cantidad del impacto de la celda es debido

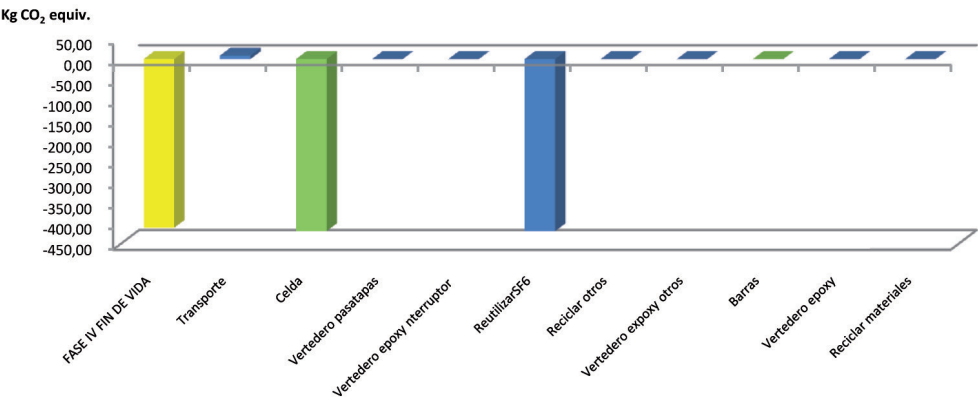


Fig. 6: Grupo 1. Categoría de impacto: Calentamiento global. Resultados tras la mejora.

al alto porcentaje en peso que supone el acero frente al peso total de la celda. El Grupo 1 de celdas cuenta con 165 kg de acero inoxidable y 269 kg de acero galvanizado frente a 700 kg de peso total.

En el caso del hexafluoruro de azufre, el impacto se debe a que es un gas con un fuerte efecto invernadero y por tanto una fuga de este gas implica una fuerte contribución al calentamiento global.

3.4. PROPUESTAS DE MEJORA

Tras analizar los aspectos ambientales más significativos expuestos en el apartado anterior se han centrado los esfuerzos en buscar acciones de mejora relativas a los metales y al SF₆. Sin embargo, dado que cualquier mejora por pequeña

	Calentamiento global		
	Análisis inicial	Análisis final	Porcentaje de reducción
Unidad	kg CO ₂ equiv.	kg CO ₂ equiv.	(%)
Total grupo1	3.488	3.287	5,8%
Total grupo2	3.127	2.926	6,4%
Total grupo3	3.521	3.320	5,7%
Total grupo4	3.143	2.942	6,4%
Total grupo5	2.725	2.524	7,4%
Total grupo6	2.742	2.541	7,3%
Total grupo7	3.505	3.305	5,7%
Total grupo8	3.488	3.287	5,8%
Total grupo9	3.110	2.909	6,5%
Total grupo10	3.275	3.074	6,1%
Total grupo11	2.743	2.542	7,3%

Tabla III: Reducción de impacto ambiental por cada grupo de celda

que sea aportará un beneficio, se han buscado también alternativas al resto de factores.

En la Tabla II se muestran todas las ideas de mejora encontradas sobre los productos sometidos a estudio.

Una vez realizadas las propuestas, se ha analizado cada una de ellas para poder decidir cuál o cuáles son las mejoras más apropiadas para aplicar en el producto, tanto si son viables a corto plazo como si pudieran llegar a

serlo a largo plazo trabajando en I+D+i sobre esa línea de actuación.

Se ha concluido que por la simplicidad que conlleva, sólo una de ellas se puede llevar a cabo a corto plazo. La acción propuesta y ya aplicada consiste en modificar el sistema de llenado de las cubas con gas SF₆ para reducir o evitar las pérdidas que se producen en el llenado.

El sistema de llenado permite controlar la cantidad de gas introducida en cada cuba, de manera que una vez alcanzado el valor deseado se cierra una válvula. Hasta ahora, esta válvula de cierre se encontraba situada alejada de la cuba, y todo el gas SF₆ que se encontraba en el tubo de carga entre esta válvula y el puerto de entrada a la cuba se perdía al aire contribuyendo al calentamiento global y manteniéndose durante un tiempo de vida elevado en la atmosfera. Tras la mejora realizada en el sistema de llenado se evitan estas fugas.

El resto de opciones han sido descartadas por no estar dentro del pliego de condiciones que el producto exigía, o simplemente porque ya son todo lo óptimas posible (tamaño de la cuba o cantidades de materiales estructurales).

Propuestas como, por ejemplo, buscar otra alternativa al gas aislante con aire seco o nitrógeno a altas presiones, al acero virgen con acero reciclado, o al epoxi con termoplásticos parecen acciones viables, pero dadas las estrictas pruebas a las que son sometidas las celdas de distribución para considerarlas seguras, requieren de una investigación importante antes de poder implantarlas.

3.5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS TRAS LA MEJORA

Hasta el momento, durante los llenados de las cubas se perdían una media de 0,009 kg de gas SF₆ por cada cuba. La pérdida de SF₆ estimada después de la mejora será prácticamente nula, con lo que se reducen en un 100% las pérdidas de SF₆ en el proceso de llenado.

En la Tabla III se puede observar la reducción del impacto ambiental respecto al total de la celda para la categoría de calentamiento global.

En la Figura 6 se muestran los resultados de la categoría de impacto de calentamiento global tras la mejora realizada, y haciendo un balance global de la creación y reutilización del gas SF₆.

4. CONCLUSIONES

Después del análisis realizado para las 22 celdas de distribución situadas en la subestación eléctrica y su posterior acción de mejora, se ha conseguido realizar una reducción significativa en la categoría de impacto de calentamiento global. Aplicando una acción de mejora en el llenado de la cuba con gas SF₆ se ha logrado obtener un resultado medio de un 6,62% de reducción total por cada celda.

Se ha estudiado un producto altamente optimizado, con lo que no se han podido aplicar un gran número de acciones de mejora a corto plazo. Sin embargo, sí que se han marcado las líneas de actuación para mejoras futuras indicando principalmente que se debe investigar sobre materiales alternativos.

Por lo tanto, se concluye el análisis con buenos resultados tanto para el momento actual con una mejora ya realizada, como para un futuro, en el que se podrá seguir reduciendo el impacto ambiental.

El trabajo expuesto otorga una imagen del panorama actual en la industria de componentes eléctricos, en el que cada vez un mayor número de empresas orientan sus esfuerzos a reducir los impactos ambientales asociados a sus productos, buscando una mejora de su competitividad. La empresa involucrada en este estudio es actualmente consciente de que el valor de la inversión realizada en la mejora ambiental de sus productos se verá posteriormente recompensado con una mayor solidez en el mercado.

La información de los impactos medioambientales obtenida en el análisis del ciclo de vida está siendo utilizada por la empresa como punto de partida para la investigación y ejecución de metodologías de diseño innovadoras en el desarrollo de nuevos productos.

Por último, el proyecto se enmarca en la estrategia del *basque ecodesign center* de reforzar la competitividad de las empresas mediante el conocimiento puntero en ecodiseño, y de impulsar la eco-innovación de producto mediante la colaboración entre las empresas, la universidad y los centros de conocimiento líderes a nivel internacional.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de la empresa Ormazabal (Velatia), financiando el presente estudio, y de la Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE (Dpto. de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco), de Sociedad Pública BEAZ (Departamento de Promoción Económica de la Diputación Foral de Bizkaia) y de la UPV/EHU, constituyentes del Aula

de Ecodiseño de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Plouffe S, Lanoie P, Berneman C, Verneir M-F "Economic benefits tied to ecodesign" *Journal of Cleaner Production*. 2011. Vol.19 p. 573-579. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.12.003>
- [2] AENOR. Gestión ambiental: Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. UNE-EN ISO 14040. Madrid: AENOR, 2006
- [3] AENOR. Gestión ambiental: Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices. UNE-EN ISO 14044. Madrid: AENOR, 2006
- [4] Fernández-Alcalá J. "Ecodiseño: Integración de criterios ambientales en la sistemática del diseño de productos industriales". *DYNA Ingeniería e Industria*. 2007. Vol.82-7 p.351- 360.
- [5] Fernández-Alcalá J. "Ingeniería del diseño ecológico de productos industriales". Usurbil: Elhuyar, 2007.
- [6] Prado-Trigo A, Campo-Ramila F, Muniozguren-Colindres J "AULAS DE ECODISEÑO: Análisis de ciclo de vida y ecodiseño en la industria". *DYNA Ingeniería e Industria*. 2011. Vol.86-1 p.74-79. <http://dx.doi.org/10.6036/3848>
- [7] Parise G, Martirano L "Prospected evolution for low voltage customers: ecodesign of the electrical distribution system" *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 2008. Vols. 1-5 p. 1804-1810.
- [8] Peralta-Alvarez M, Aguayo-Gonzalez F, Lama-Ruiz J "Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna: una arquitectura de referencia abierta para el diseño C2C sostenible". *DYNA Ingeniería e Industria*. 2011. Vol.86-1 p.199-211. <http://dx.doi.org/10.6036/3873>
- [9] Rio M, Reyes T, Roucoules L "Toward proactive (eco) design process: modeling information transformations among designers activities" *Journal of Cleaner Production*. 2013. Vol.39 p.105-116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.061>
- [10] Fernández-Alcalá J. "Fundamentos para la edificación sostenible". Usurbil: Elhuyar, 2010.
- [11] Tähkämö L, Ylinen A, Puolakka M, Halonen L "Life cycle cost analysis of three renewed street lighting installations in Finland" *international journal of life cycle assessment*. 2012. Vol. 17-2 p. 154-164. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-011-0345-z>
- [12] PRÉ Consultants bv. SimaPro 7.3.3 Software and database. 2012.
- [13] Ecoinvent Centre. Ecoinvent v2.2 Life cycle inventory data. 2012.