

DESIGNING PRODUCTS FOR A CIRCULAR ECONOMY: CASE STUDY OF A VACUUM CLEANER

Bovea Edo, M^a Dolores; Pérez Belis, Victoria; Quemades-Beltrán, Pilar
Universitat Jaume I

The increase in the generation of waste along with the rapid consumption of resources requires the emergence of a new economic model in order to, among others, optimize resource yields and enhancing renewable flows within the system. This model is known as Circular Economy (CE) being this an alternative to the today's linear "take, make, dispose" model. One of the main principles of circular economy is focused on maximizing the use of resources, recovering them after its use in order to be integrated as raw material into the system again. Therefore, it is necessary that strategies such as design for maintenance, reuse, refurbishment, remanufacturing and / or recycling of the product were taken into account from the early stages of design.

With this approach and considering a case study of vacuum cleaners, this study aims to analyse the design recommendations able to be integrated into a circular economy model, considering main components, potential failures, disassembly systems, materials, etc. From the physical characterization of a sample of vacuum cleaners, design recommendations that are being applied to the current vacuums are identified, as well as some proposals that should be considered to adapt the current models to be integrated into circular economy.

Keywords: circular economy; reuse; vacuum cleaner

DISEÑO DE PRODUCTOS PARA UN MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR: APLICACIÓN A ASPIRADORES DE USO DOMÉSTICO

El aumento en la generación de residuos junto al acelerado consumo de recursos hace necesaria la aparición de un nuevo modelo económico que permita, entre otros, optimizar el uso de los recursos. Este modelo es conocido como economía circular y es una alternativa al modelo lineal existente basado en fabricar, usar y tirar. Uno de los principios de esta economía circular se centra en maximizar la utilización de recursos, recuperándolos al final de su vida útil e integrándolos de nuevo como materia prima en el sistema. Para ello, es necesario que los productos se diseñen desde su origen considerando su mantenimiento, reutilización, renovación, remanufactura y/o reciclaje. En este contexto y tomando como caso de aplicación el diseño de aspiradores de uso doméstico, esta comunicación analiza las recomendaciones de diseño orientadas hacia su integración en un modelo de economía circular, considerando sus componentes principales, fallos potenciales, sistemas de desensamblaje, materiales, etc. Para ello, a partir de la caracterización física de una muestra de aspiradores de uso doméstico, se analizará cuáles de estas recomendaciones están siendo aplicadas en los diseños actuales y se identificarán propuestas de mejora que podrían aplicarse para adaptar los actuales diseños al modelo de economía circular.

Palabras clave: economía circular; reutilización; aspirador

Correspondencia: M^a Dolores Bovea Edo - bovea@uji.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad (DPI2013-40815-R)

1. Introducción

El concepto de economía circular describe un modelo orientado a la producción de bienes y servicios, reduciendo a su vez el consumo de materias primas, agua y energía. Este modelo es una alternativa al modelo lineal basado en “fabricar, usar y tirar” (Ellen MacArthur Foundation, 2012).

En este contexto, el 2 de diciembre de 2015, la Comisión Europea aprobó un Plan de medidas para la economía circular (COM 614, 2015) con el fin de incrementar el valor de los productos mediante el fomento de su utilización durante el mayor tiempo posible, de forma que se reduzca al mínimo la generación de residuos y se impulse el uso eficiente de los recursos.

Este plan de medidas (Figura 1) afecta a las diferentes etapas del ciclo de vida de los productos (diseño y producción, consumo, gestión de residuos y aprovechamiento de materias primas secundarias) y a diferentes áreas prioritarias entre las que se encuentran los plásticos y las materias primas críticas.

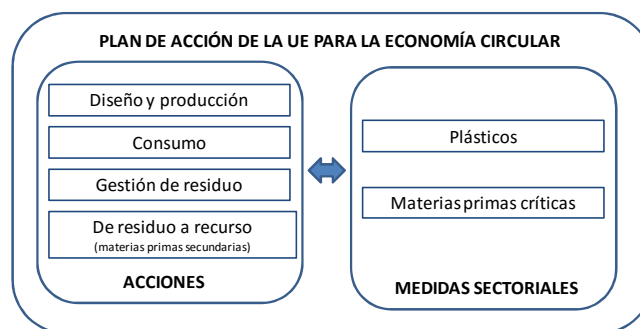


Figura 1. Acciones y principales medidas sectoriales del Plan de acciones para la economía circular consideradas en el proyecto. Elaboración propia

La consideración de los principios de economía circular resulta especialmente relevantes en la gestión de la ingeniería del producto (Fernández, 2015), en la que las estrategias del diseño orientadas hacia la reutilización, el reciclaje, la refabricación o la renovación y modernización del producto deben ser consideradas desde las primeras fases de diseño. Hasta el momento, este tipo de directrices se incluían en el ámbito de ecodiseño, como el diseño para el desensamblaje, diseño para el mantenimiento o el diseño para el reciclaje, estando muchas de ellas relacionadas con el diseño para un producto circular (Poppelaars, 2014).

En el caso de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE), este enfoque resulta de especial importancia, dado el rápido ciclo de innovación y sustitución que presentan, el acelerado crecimiento de sus residuos y la variedad de componentes y materiales en su composición (Cui y Forssberg, 2003). Esto los convierte en productos con un elevado potencial de ser reutilizados o recuperados como nuevo recurso. Estas consideraciones no sólo permitirían alargar el ciclo de vida del producto, reparando y recuperando sus componentes, piezas y materiales sino que generarían a su vez nuevos empleos asociados a estas actividades.

Por otro lado, la consideración de estrategias de diseño circular de productos permite anticiparse y alinearse con la legislación vigente aplicable a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), como es la Directiva 2012/19/UE (Unión Europea, 2012), en cuya trasposición al ámbito nacional a través del RD 110/2015 establece un mínimo de reutilización y reciclado para la categoría Pequeño Aparato Eléctrico y Electrónico (PAEE) del 55%.

Entre estos PAEE, los aspiradores de uso doméstico resultan de especial interés desde la perspectiva de la economía circular, dada la tendencia observada en la reducción de su vida útil, debida por un lado, a la sustitución prematura de éstos por nuevos productos (Brook Lyndhurst, 2011) y por otro, a que los consumidores no consideran la reparación como posibles alternativas (Salvia et al., 2014).

Así pues, el objetivo de esta comunicación es doble. En primer lugar, analizar las recomendaciones de diseño que pueden enmarcarse en el diseño de productos desde una perspectiva de economía circular, a partir de la revisión de recomendaciones que tradicionalmente se consideran desde la perspectiva de ecodiseño. En segundo lugar, aplicar estas recomendaciones a un caso de aplicación (aspiradores), con el fin de identificar cuáles de ellas ya se integran en los diseños actuales y cuáles deberían ser incorporadas en los nuevos diseños para poder ser incluidos en un modelo de economía circular.

2. Recomendaciones para el diseño circular de productos

Para lograr un diseño y desarrollo de productos alineados con los aspectos de la economía circular, es necesario que diseñadores y desarrolladores de productos dispongan de una serie de directrices o guías de diseño que les oriente durante el proceso de diseño.

En la literatura pueden encontrarse recomendaciones de diseño relacionadas con diferentes aspectos del Diseño para X (*Design for X*, DfX): Diseño para Desensamblaje, Diseño para Medio Ambiente, Diseño para el Servicio, Diseño para Mantenimiento, etc. Algunas de ellas han sido aplicadas a productos específicos como cafeteras (Watelet, 2013), cámaras desechables (Bogue, 2007), teléfonos móviles (Poppelaars, 2014) o coches (Wahab y Hishamuddin, 2015). Sin embargo, no existe una clasificación clara y única, desde la perspectiva de Diseño para Economía Circular, al margen del trabajo de van der Berg y Bakker (2015).

Para ello, el punto de partida ha sido la realización de una exhaustiva revisión bibliográfica de recomendaciones de diseño presentes en la literatura y relacionadas con diferentes aspectos del DfX (Dowie y Simon, 1994; Chen, 2001; Sundin, 2005; Truttmann y Rechberger, 2006; Bogue, 2007; McMahon, Hammond y Newman, 2010; Sundin et al. 2012; Lee et al., 2014; Watelet, 2013; Arnette et al., 2014; Poppelaars, 2014; Wahab y Hishamuddin, 2015; Sawanishi et al., 2015; Mital, Desai, Subramanian y Mital, 2008; Ijomah, Wahab y Hishamuddin, 2015). Se han considerado también normas y guías que incluyen este tipo de recomendaciones (UNE 150062, 2000; ECMA, 2010; Active Disassembly Research, 2005).

A continuación estas recomendaciones de diseño se han clasificado desde la perspectiva de la economía circular, basándose en la creación de flujos cerrados en los que tanto los productos, como sus componentes o materiales, pueden ser incorporados de nuevo en el ciclo del producto como nuevos recursos mediante alguna de las acciones mostradas en la Figura 1. Estas categorías responden a su vez a los diferentes niveles de integridad del producto, extendiéndose desde las estrategias orientadas hacia la extensión de la vida útil y reutilización (máxima integridad física del producto), hasta las recomendaciones relacionadas con el reciclaje de sus materiales (máximo desensamblaje y descomposición del producto). De este modo, las 39 recomendaciones de diseño obtenidas de la revisión de la literatura, se han clasificado en las 6 categorías mostradas en la Tabla 1, correspondientes con:

1. Extensión de la vida útil: engloba las recomendaciones relacionadas con potenciar la vida útil y durabilidad del producto a través de la adaptabilidad del diseño, de la posibilidad de actualización a nuevas versiones o a través del diseño clásico o atemporal, asegurando la utilización del producto durante un mayor período de tiempo.

2. Desensamblaje: incluye las recomendaciones relacionadas con la estructura del producto y el acceso a su componentes, diferenciando entre:
 - 2.1 Conexiones: engloba las recomendaciones orientadas a los sistemas de unión y a las herramientas utilizadas para el desensamblaje.
 - 2.2 Arquitectura del producto modulabilidad: engloba las recomendaciones relacionadas con la localización de las principales partes y componentes.
3. Reutilización del producto: incluye las recomendaciones que facilitan la reutilización completa del producto, facilitando las tareas de mantenimiento o limpieza del mismo y de sus componentes.
4. Reutilización de partes del producto: incluye las recomendaciones orientadas a facilitar la reutilización de los componentes o partes de un producto, a través de la estandarización de componentes, la minimización de piezas, etc.
5. Reciclaje de materiales: engloba las recomendaciones de diseño que facilitan la separación y reciclaje de los materiales, relacionadas con los recubrimientos superficiales, utilización de materiales compatibles, etc.

Tabla 1. Clasificación de recomendaciones de diseño procedentes de la literatura.

| Categoría | Código | Recomendaciones |
|---|--|--|
| 1 Extender la vida útil | E1 | Diseño atemporal |
| | E2 | Adaptabilidad |
| | E3 | Actualización |
| 2 Desensamblaje | 2.1 Conexiones | DC1 Utilizar uniones estandarizadas |
| | | DC2 Proporcionar preferencia a pestañas frente a montaje con tornillos o pernos |
| | | DC3 Utilizar tornillos de la misma métrica |
| | | DC4 Minimizar el tipo de uniones |
| | | DC5 Utilizar pestañas y pasadores frente a adhesivos |
| | | DC6 Facilitar la identificación y acceso a uniones, eliminando las uniones ocultas |
| | | DC7 Utilizar uniones deben ser fáciles de separar |
| | | DC8 Minimizar el número de uniones y conexiones |
| | | DC9 Minimizar el número de herramientas a utilizar |
| | | DC10 Utilizar herramientas simples y estándar |
| | 2.2 Arquitectura del producto/modulabilidad | DA1 Diseño modular |
| DA2 Minimizar el número de componentes | | |
| DA3 Considerar el desensamblaje activo | | |
| DA4 Potenciar la identificación rápida de las uniones (puntos de desensamblaje) | | |
| DA5 Minimizar la longitud de alambres y cables | | |
| DA6 Utilizar los componentes dimensionados para una fácil manipulación | | |
| DA7 Maximizar la accesibilidad ubicando los componentes de manera adecuada | | |
| DA8 Evitar el desensamblaje de partes en direcciones opuestas | | |
| DA9 Simplificar la estructura de producto | | |
| DA10 Diseño para desensamblaje automático | | |
| DA11 Eliminar la necesidad de procedimientos de desmontaje especializados | | |
| 3 Reutilización del producto | RP1 Asegurar la protección frente a la acumulación de suciedad | |
| | RP2 Utilizar materiales que superen procesos de limpieza en componentes a reutilizar | |
| 4 Reutilización de partes del producto | RPP1 Usar componentes estandarizados | |
| | RPP2 Minimizar las variaciones del producto | |
| | RPP3 Mejorar la relación entre trabajo necesario para recuperar un componente y su valor | |
| | RPP4 Minimizar el uso de piezas que requieran reparación/sustitución frecuente | |
| 5 Reciclaje de materiales | M1 Situar las partes no reciclables en lugares de fácil acceso | |
| | M2 No moldear o unir materiales incompatibles entre ellos | |
| | M3 Utilizar el mismo materiales para las uniones fijas | |
| | M4 Utilizar materiales de bajo impacto ambiental | |
| | M5 Preferencia de partes fabricadas con materiales puros | |
| | M6 Potenciar el diseño monomaterial | |
| | M7 Evitar la utilización de tratamientos superficiales | |
| | M8 Utilizar materiales reciclables | |
| | M9 Identificar los componentes y los materiales | |
| | M10 Minimizar el uso de materiales peligrosos o tóxicos (deben ser fáciles de extraer) | |
| | M11 Utilizar metales sin recubrimientos superficiales | |
| | M12 Utilizar metales de baja aleación | |

3. Caso de aplicación

Las recomendaciones mostradas en la Tabla 1, se han aplicado a una muestra de aspiradores de uso doméstico, con el fin de identificar aquéllas que están siendo consideradas en sus diseños y aquéllas que deberían ser integradas en futuros diseños, desde la perspectiva de la economía circular.

3.1 Obtención de la muestra

Durante los meses de marzo a junio de 2015 se diseñó e implementó una campaña de recogida de residuos de PAEE y PAEE en desuso en el municipio de Castellón de la Plana (España). Se seleccionaron 14 puntos de recogida repartidos entre diferentes centros de educación del municipio. En cada punto de recogida se situó un contenedor de 240 l durante 15 días. Tras ese período, la muestra era transportada al laboratorio, donde se procedía a su clasificación y caracterización. Se recogió un total de 714,37 kg.

En primer lugar, la muestra se clasificó dependiendo de las características de los aparatos en las categorías PAEE doméstico, otros PAEE y no PAEE. Seguidamente, cada una de las categorías se dividió en diferentes subcategorías de acuerdo con su función. La clasificación correspondiente a la fracción PAEE doméstico, en la que se incluyen los aspiradores de uso doméstico, objeto de análisis en esta comunicación, se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2 Clasificación de la categoría PAEE doméstico

| Categoría | Subcategoría | Producto | kg | unidades | |
|----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|----------|----|
| PAEE doméstico | Microondas | Microondas | 55,69 | 5 | |
| | Aspiradores | Aspiradores | 32,57 | 7 | |
| | Electrodomésticos de cocina | Tostadoras | Tostadoras | 18,65 | 14 |
| | | Sandwicheras | Sandwicheras | 14,84 | 7 |
| | | Batidoras | Batidoras | 14,68 | 17 |
| | | Exprimidores | Exprimidores | 8,89 | 8 |
| | Agua caliente | Cafetera | Cafetera | 26,28 | 13 |
| | | Hervidor | Hervidor | 5,61 | 7 |
| | Aseo personal | Secador de pelo | Secador de pelo | 8,92 | 17 |

3.2. Inspección y desensamblado de la muestra

Seguidamente, cada uno de los aparatos fue analizado con el fin de poder valorar si cada una de las recomendaciones de diseño presentadas en la Tabla 1, se había considerado durante su diseño. Para ello, además de una inspección visual inicial, se desensamblaron los aspiradores, separando todos sus componentes, identificando la secuencia de desensamblaje, el tipo y el número de uniones (adhesivo, soldadura, alambres, tornillos, presión, pestañas y guías, etc.), materiales, etc.

La Figura 2 muestra una fotografía de los aspiradores de uso doméstico que se han utilizado en este estudio, mientras que la Figura 3 muestra el proceso de desensamblado de uno de ellos.

Figura 2: Aspiradores de uso doméstico analizados

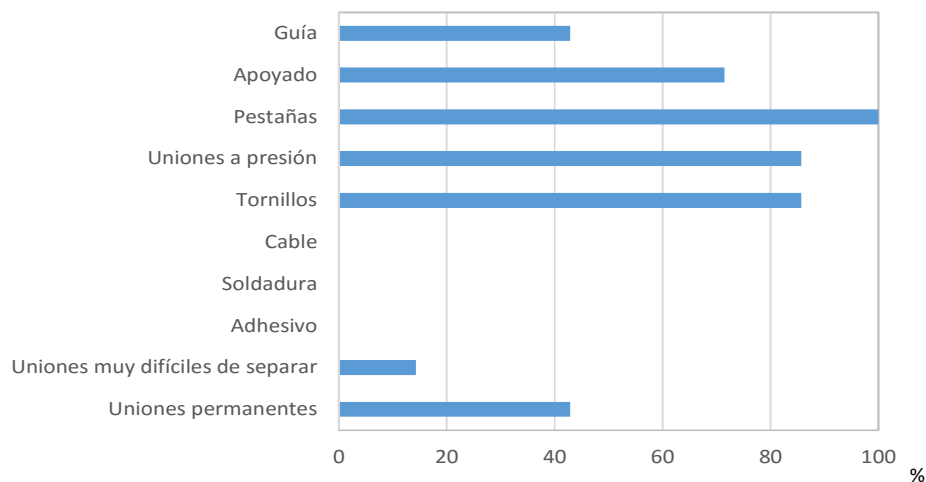


Figura 3. Ejemplo del proceso de desensamblado de uno de los aspiradores analizados



Finalmente, la Figura 4 muestra los tipos de uniones analizadas durante el proceso de desensamblaje, y el porcentaje de los aspiradores de uso doméstico analizados que presenta cada una de ellas.

Figura 4. Porcentaje de aspiradores analizados que presenta cada tipo de unión



3.3. Recomendaciones identificadas en aspiradores de uso doméstico

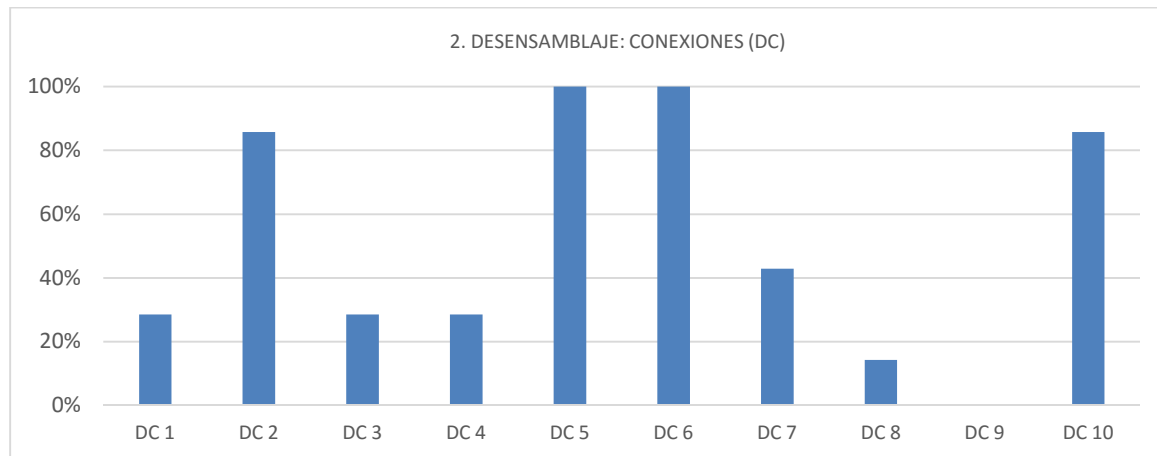
En base a las recomendaciones de diseño y su clasificación mostrada en la Tabla 1, y a la inspección y análisis del proceso de desensamblaje de cada aspirador, se describe a continuación el grado de cumplimiento de cada una de las recomendaciones.

3.3.1. Desensamblaje

Conexiones

La Figura 5 muestra el porcentaje de los aspiradores analizados que incluye cada una de las recomendaciones relativas a las conexiones, descritas en la Tabla 1.

Figura 5: Porcentaje de aspiradores analizados que incluye recomendaciones de diseño relacionadas con el desensamblaje (conexiones).



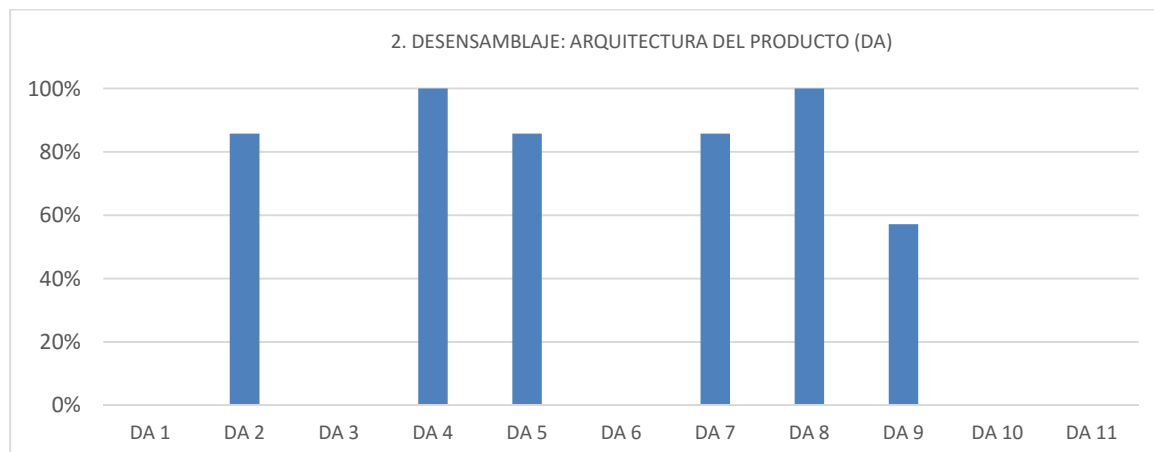
Se observa que, en general, en los aspiradores analizados no se han considerado aspectos de diseño relacionados con el desensamblaje durante su diseño. Durante el desensamblado de la muestra, ha sido necesario cambiar de herramienta, por lo que la estandarización en la utilización de herramientas no se ha considerado en gran medida (DC1). La utilización de una misma herramienta permitiría reducir el tiempo y el esfuerzo del operario en la reparación y desmontaje del producto. Por otro lado, es necesario reducir el número de uniones. La mayor parte de los aspiradores presentan una media de 10 tornillos, por lo que su sustitución por otro tipo de unión como pestañas, permitiría reducir el tiempo y la facilidad de desensamblaje.

La totalidad de los aspirados inspeccionados cumplen con el criterio DC5 (utilización de pestañas y pasadores frente a adhesivos) y DC6 (facilitar la identificación y acceso a uniones, eliminando las uniones ocultas). En cuanto a aspectos a mejorar, se destacaría la utilización de tornillos de igual métrica (DC3), ya que supondría una reducción en el tiempo de desensamblado, la minimización del tipo y número de uniones (DC4 y DC8) y facilitar la separación entre piezas (DC7). En cuanto a facilitar el diseño para el desensamblaje (DC10), éste es alcanzable mediante la utilización del mismo tipo de tornillo en el producto, observando que únicamente un 15% de los aspiradores utilizan tornillos con cabezas especiales.

Arquitectura del producto / modulabilidad

La Figura 6 muestra el porcentaje de los aspiradores analizados que incluye cada una de las recomendaciones relativas a la arquitectura del producto/modulabilidad, descritas en la Tabla 1.

Figura 6: Porcentaje de aspiradores analizados que incluye recomendaciones de diseño relacionadas con aspectos de desensamblaje (arquitectura del producto)



Se observa que el diseño modular (DA1) no ha sido considerado en ninguno de los aspiradores analizados, lo que dificulta que los componentes o partes principales del aspirador pudiesen ser reparadas de forma independiente. Sin embargo, en la mayor parte de ellos se ha intentado minimizar el número de componentes (DA2).

La consideración del desensamblaje activo (DA3) no ha sido integrado en ninguno de ellos mientras que sí que se han identificado las uniones (DA4). Se observa que la longitud de los cables es adecuada (DA5) en relación con la función y el diseño del producto. Por otro lado, no se han dimensionado los componentes de acuerdo con su posterior manipulación (DA6).

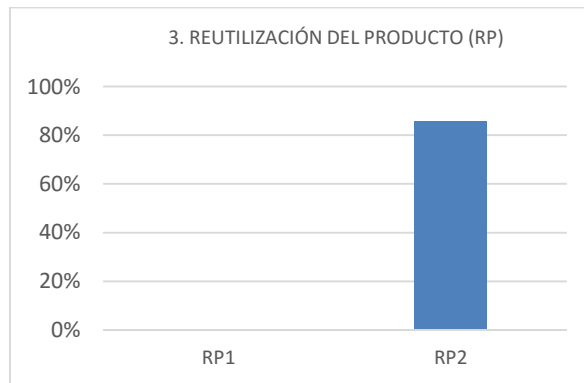
La accesibilidad es un aspecto muy importante a considerar para reducir al máximo el tiempo de desensamblado de productos y los costes asociados. En la muestra analizada, la totalidad de las consideraciones son cumplidas por más del 50%, por lo que en sus diseños se facilita el acceso a través de la localización correcta (DA7) y las acciones de desensamblado en la misma dirección (DA8). Podría simplificarse en mayor medida la estructura del producto (DA9).

Finalmente y relacionados con aspectos básicos del desensamblaje, aunque se observa que ninguno de los productos analizados podría desensamblarse de forma automática (DA10), en ninguno de ellos se ha requerido la realización de movimientos especiales de los componentes o la ayuda de una segunda persona para finalizar el desensamblaje (DA11).

3.3.2 Reutilización del producto

La Figura 7 muestra el porcentaje de los aspiradores analizados que incluye cada una de las recomendaciones relativas a la reutilización del producto, descritas en la Tabla 1.

Figura 7: Porcentaje de aspiradores analizados que incluye recomendaciones de diseño relacionadas con la reutilización del producto.

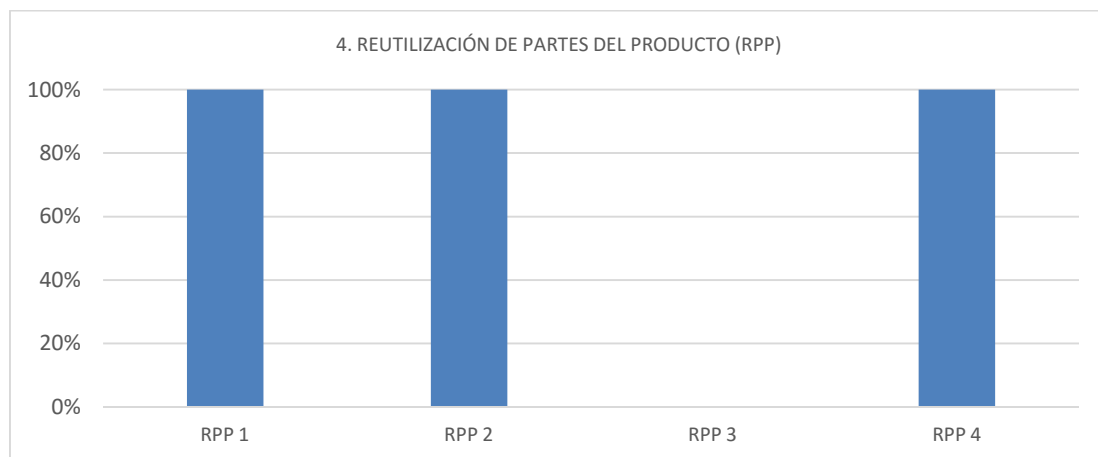


En cuanto al diseño de dispositivos o piezas que eviten la penetración de polvo o suciedad en los componentes internos facilitando así el mantenimiento y la reutilización del producto, se observa que ninguno de ellos dispone de elementos adicionales que lo impidan (RP1). El hecho de no integrar esta consideración en el diseño de estos productos supone una acumulación de suciedad que genera una pérdida de succión en el aparato además de fallos en el motor. En el 86% de los casos, los componentes y partes que pueden ser utilizadas en otros productos pueden ser sometidos fácilmente a procesos de limpieza (RP2).

3.3.3 Reutilización de partes del producto

La Figura 8 muestra el porcentaje de los aspiradores analizados que incluye cada una de las recomendaciones relativas a la reutilización de componentes del producto, descritas en la Tabla 1.

Figura 8: Porcentaje de aspiradores analizados que incluye recomendaciones de diseño relacionadas con la reutilización de partes del producto.



Se observa que en la totalidad de las unidades analizadas, se han utilizado el mismo tipo de componentes, por lo que su estandarización (RPP1) es una recomendación incluida en todos los diseños. Esta consideración facilita la reparación o sustitución de partes/piezas en un producto. Del mismo modo y estrechamente relacionado, se observa que el diseño en la

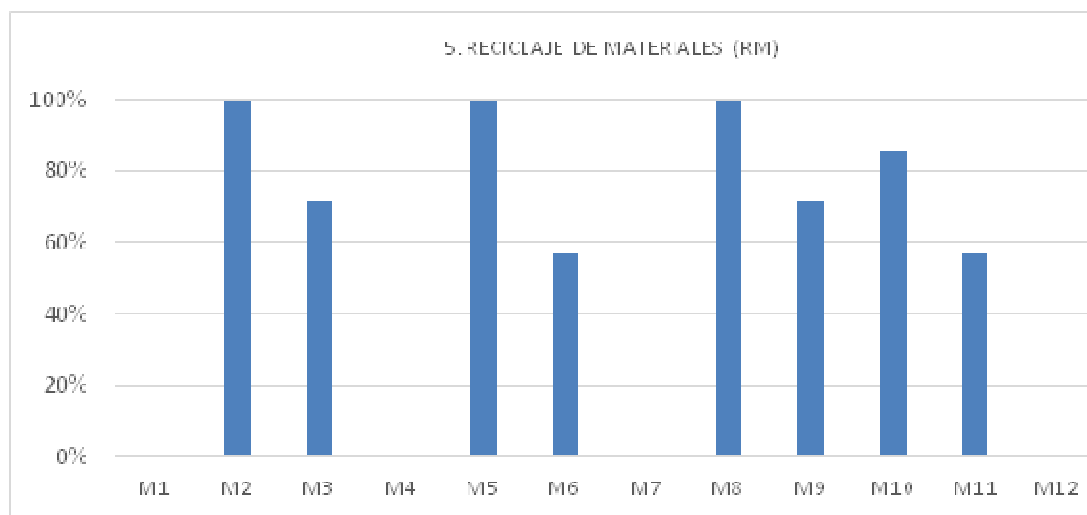
totalidad de los aspiradores no varía en gran medida (RPP2), lo que facilita una reparación más sencilla por parte de los técnicos.

La consideración relacionada con la minimización en la utilización de piezas que requieran ser frecuentemente reparadas o sustituidas (RPP4), se cumple en el 100% de los casos. Por el contrario, en ninguno de los productos se ha observado que la disposición de los componentes y sus características haya sido considerada el tiempo necesario para su extracción (RPP3).

3.3.4 Reciclaje de materiales

La Figura 9 muestra el porcentaje de los aspiradores analizados que incluye cada una de las recomendaciones relativas al reciclaje de los materiales del producto, descritas en la Tabla 1.

Figura 9: Porcentaje de aspiradores analizados que incluye recomendaciones de diseño relacionadas con el reciclaje de materiales.



En cuanto a la identificación de materiales o componentes que no pueden ser reciclados, ninguno de los aspiradores integra una rápida localización o acceso a éstos (M1). Sin embargo, en el 100% de los aspiradores desensamblados se han integrado completamente en su diseño, consideraciones como M2 (no moldear o unir materiales incompatibles entre ellos), mientras que en más de la mitad de la muestra se utiliza el mismo material para las uniones fijas (M3).

En cuanto a la recomendación M5 referente a la utilización de materiales puros, la totalidad de los productos lo presenta (aunque debería completarse el estudio de identificación de materiales). Tampoco se ha registrado información referente a la utilización de materiales de bajo impacto ambiental (M4).

Existe variedad de tipos de plásticos en la mitad de los aspiradores analizados (M6), aunque todos ellos se pueden reciclar (M8). En general, los materiales no van marcados (M9).

4. Conclusiones

En general, se ha observado que el diseño de los aspiradores es muy similar en la mayor parte de los casos, presentando el mismo tipo de piezas y componentes, lo que permite la aplicación de secuencias de desensamblaje estandarizadas o comunes.

En cuanto a las principales categorías en las que se han agrupado las recomendaciones de diseño, se observa que no existen recomendaciones en los aspiradores recogidos que presenten características de adaptabilidad o actualización, lo que permitiría extender su vida útil a partir de la reutilización.

En lo referente a las conexiones que facilitan el desensamblaje, la mayor parte de éstas se encuentran presentes en los aspiradores, presentando pestañas en lugar de adhesivos facilitando la identificación y acceso a uniones y eliminando los ensamblajes ocultos. Sin embargo se debería estandarizar la utilización de tornillos de la misma métrica.

Para facilitar la reutilización de los aspiradores, es necesario incorporar en su diseño elementos de prevención frente al polvo y la suciedad ya que los principales fallos detectados se deben a la cantidad de suciedad en el interior del producto, que obstruye los filtros y disminuye la succión y rendimiento del aparato. Por otro lado, para favorecer la reutilización de los componentes o su reparación, es necesario que su localización se realice de forma que se facilite su extracción, reparación y sustitución. El diseño de aspiradores debe considerar de forma prioritaria esta recomendación, no observada en la muestra analizada.

Finalmente, para potenciar la recuperación y efectivo reciclaje de los materiales, es necesario evitar la utilización de recubrimientos superficiales o aditivos en los plásticos de sus carcasas que dificultan la posterior separación y reciclaje de éstos. Por otro lado, debería facilitarse la identificación, acceso y separación de los materiales que no son reciclables.

Para poder integrar este tipo de productos en un modelo de economía circular, es necesario considerar este tipo de recomendaciones orientadas específicamente a potenciar y facilitar la reutilización, reparación, renovación, remanufactura y reciclaje. Estas estrategias permiten la inclusión, en los diferentes ciclos de la economía circular, tanto de los productos como de sus componentes y sus materiales, convirtiéndose de nuevo en recursos.

2.6 Referencias

- Active disassembly research, (2005). Design for Disassembly Guidelines, Active Disassembly Research, January 2005
- Arnette, A. N., Brewer, B. L., & Choal, T., (2014). Design for sustainability (DFS): the intersection of supply chain and environment. *Journal of Cleaner Production*, 374-390
- Bogue, R., (2007). Design for disassembly: a critical twenty-first century discipline. *Assembly Automation* 27 (4), pp. 285 – 289.
- Chen, K. Z., (2001). Development of integrated design for disassembly and recycling in concurrent engineering. *Integrated Manufacturing Systems* (12) 1, pp. 67 – 79.
- COM (2015) 614 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy
- Cui, J., & Forsberg, E. (2003). Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials B99*, 243–263.
- Dowie, T., & Simon, M., (1994). Guidelines for designing for disassembly and recycling. Report DDDR/TR18, Manchester Metropolitan University. Manchester UK.

- ECMA, 2010. Standard ECMA-341, Environmental Design Considerations for ICT & CE Products. 4th edition. ECMA International, G eneva.
- Ellen MacArthur Foundation. (2012). Towards the Circular Economy. Economic and business rationale for an accelerated transition (Vol. 1). (COM 614, 2015)
- Fernandez Alcala, J.M (2015). Los principios de la econom a circular en la ingenier a de producto. *19th International Congress on Project Management and Engineering Granada*, 721-734.
- Ijomah, W., McMahon, C., Hammond, G., & Newman, S., (2010). Development of robust design-for remanufacturing guidelines to further the aims of sustainable development. *International Journal of Production Research*, 45 (18-19), 4513- 4536.
- Lee, H.M., Lu, W.F., & Song, B., (2014). A framework for assessing product end-of-life performance: reviewing the state of the art and proposing an innovative approach using an end-of-life index. *Journal of Cleaner Production* 66, 355-371.
- Mital, A., Desai, A., Subramanian, A., & Mital, A., (2008). *Product Development. A Structured Approach to Consumer Product Development, Design, and Manufacture*. Elsevier, ISBN: 978-0-7506-8309-8.
- Poppelaars, F., (2014). Designing for a circular economy: the conceptual design of a circular mobile device. Schmidt-MacArthur Fellowship 2013-2014, pp 79.
- Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos el ectricos y electr onicos. *Bolet n Oficial del Estado*, 21 de febrero de 2015, n um. 45, pp. 14211-14312.
- Salvia, G., Cooper, T., Fisher, T., Harmer, L., & Barr, C. (2015). What is broken? Expected lifetime, perception of brokenness and attitude towards maintenance and repair. *PLATE Conference proceedings-Nottingham Trent University*, 342- 348.
- Sawanishi, H., Torihara, K., & Nozomu, M., (2015). A study on disassemblability and feasibility of component reuse of mobile phones. *12th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Emerging Potentials* 26, pp. 740–745
- Sundin, E., & Bras, B., (2005). Making functional sales environmentally and economically beneficial through product remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 13, 913-925.
- Sundin, E., Elo, K., & Lee, H.M, (2012). Design for automatic end-of-life processes. *Assembly Automation*, 32, 4, pp.389 - 398
- Truttmann, N., & Rechberger, H., (2006). Contribution to resource conservation by reuse of electrical and electronic household appliances. *Resources Conservation and Recycling* 48, 249-262.
- UNE 150062, 2000. Environmental Aspects - Inclusion In Electrotechnical Product Standards. Asociaci n espa ola de Normalizaci n, CTN 150.
- Uni n Europea, (2012). Directiva 2012/19/UE del parlamento europeo y del consejo de 4 de julio de 2012 sobre residuos de aparatos el ectricos y electr onicos (RAEE). *Diario Oficial de la Uni n Europea*, L197, 38-71.
- van den Berg, M.R., & Bakker, C.A. (2015). A product design framework for a circular economy. *PLATE conference - Nottingham Trent University*, 17/19 June 2015, 365-379.
- Wahab D.A., & Hishamuddin, H., (2015). Multiple generation life-cycles for product sustainability: the way forward. *Journal of Cleaner Production* 95, 16-29.
- Watelet, F. (2013). Reuse of EEE consumer products, a potential End-of-Life strategy for CRM's'. *Master thesis*, TUDelft University, Institutional Repository.