

03-004

DESIGN OF A CAPSULE COFFEE MACHINE INTEGRATING PRINCIPLES OF REPARABILITY

Blanco-Espeleta, Eduardo ⁽¹⁾; Bovea , D. María ⁽²⁾; Pérez-Belis, Victoria ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universitat Politècnica de València, ⁽²⁾ Universitat Jaume I
⁽²⁾

The "New Action Plan for the circular economy" presented by the European Commission promotes the sustainable and circular design of products, promoting their durability, reuse, updating and reparability, as strategies to extend their lifetime. In addition, the recent establishment of a 'right to repair' promotes the reuse and repair of energy-related products. Considering the "capsule coffee machine" product category, which so far lacks eco-design requirements, this study focuses on developing a redesign that integrates the reparability principle from the conceptual design stage. To do this, a preliminary disassembly analysis of two representative models of capsule coffee makers on the market is carried out, analyzing their design characteristics and evaluating their reparability, through the application of the AsMeR method (Assessment Matrix for ease of Repair). Based on the information obtained, a redesign of a capsule coffee machine is carried out that improves the reparability index, thus demonstrating that the integration of reparability principles from the conceptual phase allows obtaining products aligned with circular economy principles.

Keywords: Circular Economy; reparability; repair; index; coffee maker

DISEÑO DE UNA CAFETERA DE CÁPSULAS INTEGRANDO PRINCIPIOS DE REPARABILIDAD

El "Nuevo Plan de acción para la economía circular" presentado por la Comisión Europea promueve el diseño sostenible y circular de productos, promocionando su durabilidad, reutilización, actualización y reparabilidad, como estrategias de extensión de la vida útil de los mismos. Además, el reciente aprobado "derecho a reparar" potencia la reutilización y la reparación de productos relacionados con la energía. Considerando la categoría de producto "cafetera de cápsulas", que carece hasta el momento de requisitos de ecodiseño, este estudio se centra en desarrollar un rediseño que integre el principio de reparabilidad desde la etapa de diseño conceptual. Para ello, se realiza un análisis previo de desensamblaje de dos modelos representativos de cafeteras de cápsulas existentes en el mercado, analizando sus características de diseño y evaluando su reparabilidad mediante el método AsMeR (Assessment Matrix for ease of Repair). En base a la información obtenida, se realiza el rediseño de una cafetera de cápsulas que mejora el índice de reparabilidad, demostrando así que la inclusión de principios de reparabilidad desde la fase conceptual permite obtener productos alineados con los principios de economía circular.

Palabras clave: Economía Circular; reparabilidad; reparación; índice; cafetera

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital de la Comunitat Valenciana (España) FPI (CIACIF/2021/141), la financiación para realizar este estudio.



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El “Nuevo Plan de acción para la economía circular” (COM 98, 2020) presentado en marzo de 2020 por la Comisión Europea promueve el diseño sostenible y circular de productos, promocionando su durabilidad, reutilización, actualización y reparabilidad, como estrategias de extensión de la vida útil de los mismos. Además, tras la reciente aprobación del “derecho a reparar” (European Parliament, 2022), surge la motivación de aplicar estos principios de durabilidad, reutilización, actualización y reparabilidad al diseño de productos, reforzando la incorporación de los mismos a los requisitos de diseño ecológicos derivados de la Directiva 2009/125/CE de ecodiseño (European Parliament, 2009).

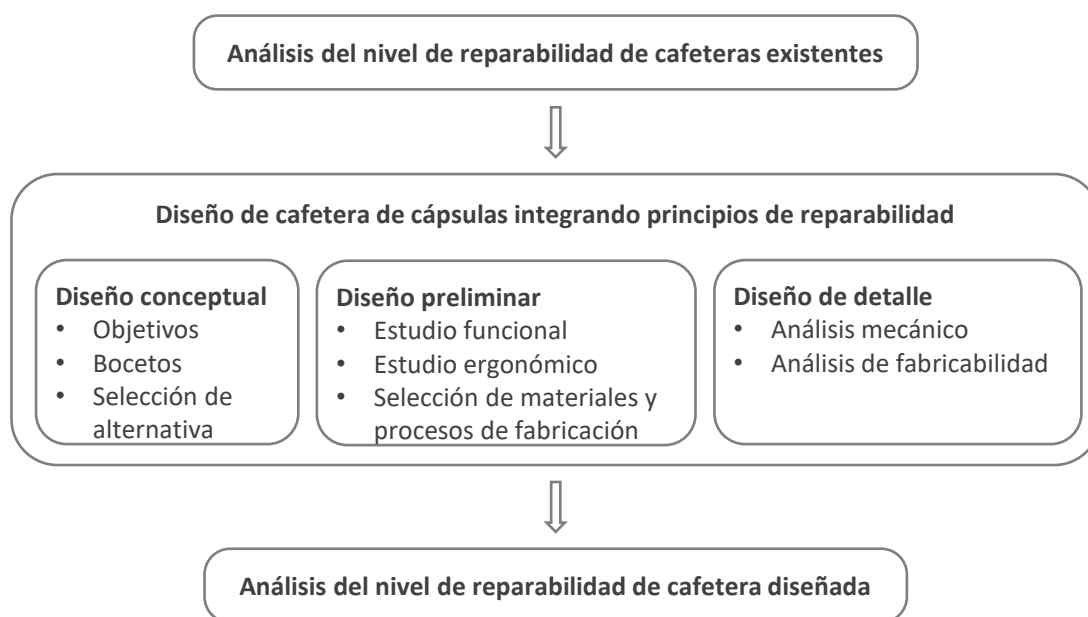
Este marco normativo mantiene como prioritaria las diferentes categorías de productos relacionados con la energía. De ellas, este estudio se va a centrar en las cafeteras de cápsulas, dado el auge que en los últimos años ha tenido este tipo de aparato eléctrico del hogar. Hasta la fecha, esta categoría carece de requisitos de ecodiseño en el marco de la Directiva 2009/125/CE.

Sin embargo, pocos son los fabricantes de cafeteras que apuestan por la durabilidad y reparación de sus productos. Por ello, en la presente comunicación se propone el diseño de una nueva cafetera de cápsulas bajo la premisa del derecho a reparar, es decir, una cafetera en la que se considere el requisito de reparabilidad desde la etapa de diseño conceptual, con el fin de diseñar un producto competitivo y acorde al “Nuevo Plan de acción para la economía circular” (COM 98, 2020).

2. Metodología

Con el fin de diseñar una cafetera que integre aspectos de reparabilidad, se propone seguir la metodología de tres etapas mostrada en la Figura 1, que considera todas las etapas del diseño de producto, empezando por el Diseño Conceptual, pasando por el Diseño Preliminar y hasta llegar al Diseño de Detalle.

Figura 1: Metodología



3. Análisis del nivel de reparabilidad de cafeteras existentes

Con el fin de analizar el nivel de reparabilidad de las cafeteras de cápsulas existentes actualmente en el mercado, se seleccionaron las cuatro mostradas en la Figura 2, por ser las más representativas según el número de ventas. Se caracteriza por tener sistemas diferentes de carga de café (cápsulas de plástico/aluminio o pads) y un precio de venta al público comprendido entre 30€ y 115€.

Figura 2: Cafeteras de mercado



En cuanto al cálculo del nivel de reparabilidad se han desarrollado en los últimos años diferentes métodos: ONR 192102 (2014), AsMer (Bracquené et al., 2018), *Repair Score System* (RSS) (Cordella, Alfieri & Sanfelix, 2019), UNE-EN 4554 (2020) o el *Indice de réparabilité* de Francia (2021), entre otros. Éstos han sido analizados y comparados en Blanco-Espeleta, Pérez-Belis & Bovea (2021a, 2021b), eligiéndose para este estudio el método AsMeR, por ser un método semicuantitativo que utiliza criterios que abarca diferentes aspectos del proceso de reparación a lo largo de la vida de un producto, y es fácil de aplicar gracias a la utilización de rúbricas para la asignación de puntuación (Blanco-Espeleta, Pérez-Belis & Bovea, 2021b).

Previo a la aplicación del método AsMeR es necesario identificar los componentes prioritarios característicos de esta categoría de productos y calcular los tiempos de desensamblaje/reensamblaje. Para ello, ha sido necesario desensamblar cada una de las cafeteras, tal y como muestra la Figura 3.

Figura 3: Desensamblaje de las cafeteras C1, C2, C3 y C4



Un componente prioritario es un elemento o parte de un sistema que es considerado esencial para el correcto funcionamiento del mismo. Estos componentes son identificados y se les da prioridad en términos de mantenimiento y actualización, ya que su fallo puede tener un impacto significativo en el funcionamiento general del sistema. Según la UNE-EN 4554 (2020), la probabilidad de que sea necesario el remplazo o actualización de un componente determina entre otros, si se trata de un componente prioritario. Para ello, se ha analizado la información de tres fuentes: cinco bases de datos de reparaciones proporcionadas por Open Repair Alliance (2022), web de iFixit (2022) y entrevistas telefónicas a centros de reparación en España. Se ha obtenido que las partes prioritarias son (de mayor a menor probabilidad de

fallo): bomba de agua, mangueras, acondicionamiento del café, filtro, depósito, interruptor, junta tórica, condensador, caldera y placa electrónica.

Con respecto a los tiempos de desensamblaje/reensamblaje, se desensamblaron las cafeteras (Figura 3) y se analizaron las secuencias de desmontaje y montaje con el fin de aplicar el método eDIM (Peeters et al., 2018). La Tabla 1 muestra los tiempos promedios de las cuatro cafeteras analizadas por componente prioritario y total, mientras que la Tabla 2 muestra los tiempos para cada una de las cafeteras analizadas.

Tabla 1: Tiempos promedios eDIM por componente prioritario

Componentes prioritarios	Desens. (s)	Ensamb. (s)	Tot. (s)
Bomba de agua	145,37	143,85	289,21
Manguera	188,27	187,66	375,92
Acondicionamiento de café	217,14	217,12	434,25
Filtro	108,77	108,32	217,08
Depósito	4,55	4,55	9,10
Interruptor	145,10	146,62	291,72
Junta tórica	184,32	182,63	366,94
Condensador	194,92	195,55	390,47
Caldera	199,76	197,55	397,31
Placa electrónica	194,92	195,55	390,47

Tabla 2: Tiempos totales eDIM por cafetera

	Desens. (s)	Ensamb. (s)	Tot. (s)
C1	432,3	428,22	860,52
C2	395,92	390,52	786,44
C3	283,9	293,94	577,84
C4	511,22	500,58	1011,8

La Tabla 3 muestra los resultados de aplicar el método AsMeR a cada cafetera. Se observa que la mayor variación de puntuación se da en el diseño del producto, siendo la organización interna de componentes uno de los aspectos que más influye en ella.

Tabla 3: Nivel de reparabilidad AsMeR

	Información suministrada	Diseño de producto	Servicio	Total AsMeR
C1	55%	48%	36%	46%
C2	55%	53%	36%	48%
C3	47%	61%	40%	50%
C4	47%	45%	40%	44%

4. Diseño de cafetera de cápsulas integrando principios de reparabilidad

4.1 Diseño conceptual

Durante la etapa de diseño conceptual, se definen los objetivos, generan alternativas y se selecciona la alternativa que mejor se ajusta a los objetivos.

Definición de objetivos

En la fase de diseño conceptual se genera un listado de especificaciones de diseño a raíz de todas las ideas generadas tras la aplicación de diferentes métodos de creatividad (Los cinco porqués, *What if*, Grupos de afectados).

La Figura 4 muestra una fotografía del proceso y el listado de objetivos resultante.

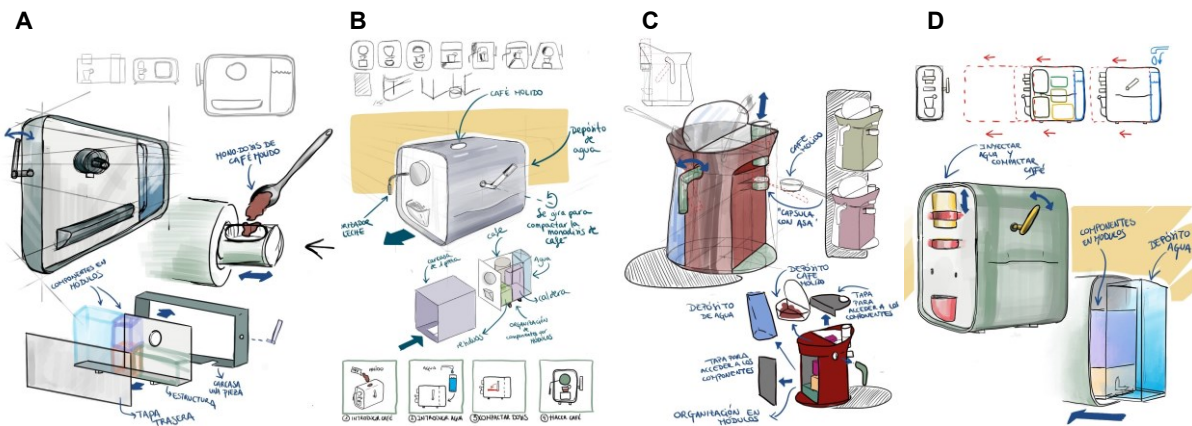
Figura 4: Generación de objetivos y diagrama horizontal de objetivos



Generación de bocetos

Cumpliendo con los objetivos planteados (Figura 4), se bocetan diferentes propuestas, Figura 5. En el bocetaje se han creado detalles desde la perspectiva de la reparabilidad, identificando tipos de uniones y diferenciando módulos. Es necesario que este tipo de productos se diseñen considerando la rápida accesibilidad a los componentes prioritarios y la utilización de uniones estándar que faciliten dicha accesibilidad, bien para reparar o para sustituir los componentes

Figura 5: Bocetos de las propuestas A, B, C y D



Selección de alternativa optima

Posteriormente, las propuestas son enfrentadas entre ellas aplicando la metodología DATUM para obtener la alternativa óptima. La propuesta que más se adapta a los objetivos detallados

en la Figura 4, es la D. Con un aspecto cúbico, su interior es organizado en módulos y protegido por una única carcasa. Extrayendo la cubierta queda acceso libre desde todos los ángulos a los componentes prioritarios. Además, incorpora un sistema propio de acondicionamiento de café con el diseño de una cápsula reutilizable.

4.2 Diseño preliminar

Durante la etapa de diseño preliminar, se desarrolla la propuesta general con un estudio funcional, ergonómico y seleccionando materiales y procesos de fabricación adecuados.

Estudio funcional

En cuanto al estudio funcional, tras el análisis del problema, se han incorporado las siguientes mejoras: evitar las uniones de la caldera, bomba y mangueras mediante abrazaderas de un solo uso, usar el mayor número posible de componentes estandarizados y dar mayor accesibilidad a los componentes prioritarios o evitar las uniones fijas entre componentes que suponen la rotura de la carcasa, uniones de un solo uso.

Estudio ergonómico

En lo que respecta a la ergonomía, cabe destacar que es crítico el diseño del depósito, ya que es una de las partes prioritarias que más manipulación supone en el uso diario del electrodoméstico. No ha de presentar dificultades en su extracción, y así evitar accidentes y derrames de agua. Se ha diseñado una hendidura determinando la relación que debe existir entre la dimensión de ésta y la del usuario. Todo usuario ha de poder alojar parte de su mano en el espacio diseñado. Se trata, por tanto, de un criterio de espacio libre o diseño para máximos. Para ello se han usado los datos de la norma DIN 33402-2 (2020).

Selección de materiales y procesos de fabricación

En cuanto a la selección de materiales, para los componentes más representativos del diseño, se ha aplicado la metodología Ashby usando la base de datos GRANTA EduPack (2021). Posteriormente, se obtienen los procesos de fabricación óptimos con las matrices de compatibilidad y capacidad de generación de formas de Boothoryd, Dewhurst y Knight.

Los materiales elegidos han sido: acero inoxidable para la cápsula reutilizable, acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) para elementos estructurales y estireno acrilonitrilo (SAN) para el depósito. Los procesos de fabricación seleccionados son: trabajo en chapa para la cápsula reutilizable y moldeo por inyección para carcasa y depósito.

4.3 Diseño de detalle

Teniendo en cuenta los resultados de las dos etapas anteriores, se ha diseñado una cafetera modular, con una arquitectura horizontal y una organización intuitiva de componentes para facilitar su identificación. Esta disposición de los componentes de la cafetera reduce al mínimo el uso de terceras piezas y elementos de unión. Además, la organización interna de la cafetera ha sido optimizada para permitir un fácil acceso a los componentes prioritarios: retirando únicamente la carcasa derecha se puede acceder a la mayoría de ellos.

La bomba de agua se ensambla en la carcasa trasera, la caldera en la carcasa delantera y el circuito impreso en la carcasa izquierda. Tanto la caldera como la bomba están sujetas al sistema mediante elementos que se adaptan a su forma, lo que permitirá reemplazar estos componentes en el futuro sin importar la forma o geometría de los nuevos.

Además, se ha mejorado el diseño de las uniones. Se observó que el uso de las presillas supone un menor tiempo de desensamblaje y en consecuencia una mayor facilidad de recambio o actualización de componentes. Es por ello que, para el ensamble de la cafetera

se ha empleado en su totalidad presillas, de modo que, se eliminan terceros elementos y se facilita el montaje y desensamblaje.

El diseño final se muestra con unas imágenes fotorrealistas en la Figura 6. Para completar el diseño de detalle de la misma, se han realizado análisis mecánicos y de fabricabilidad.

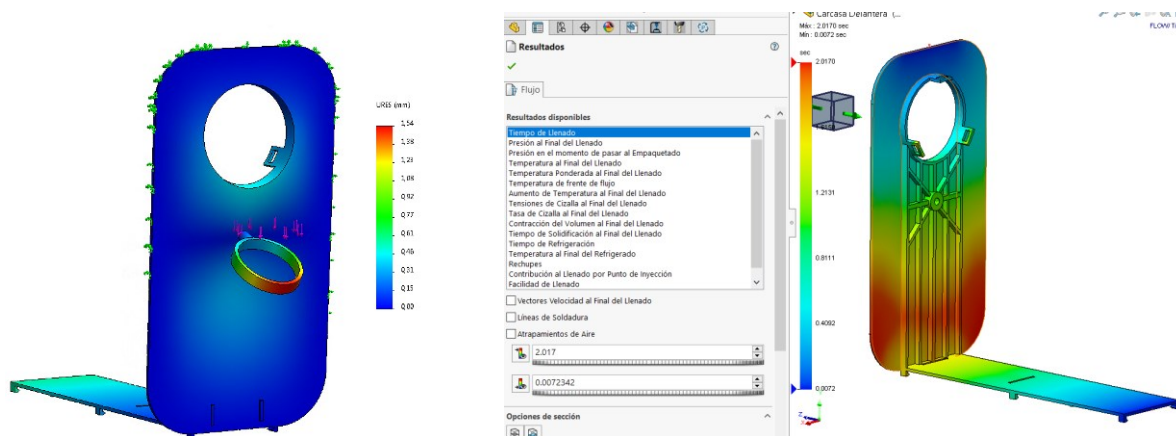
Figura 6: Renders del rediseño C5



Análisis mecánico y de fabricabilidad

Para asegurar que la propuesta de diseño cumple con los requisitos de resistencia y robustez se aplica al modelo tridimensional una serie de estudios mecánicos que avalan la funcionalidad de la propuesta. También, las piezas se someten a simulaciones 3D para evaluar su fabricabilidad (Figura 7).

Figura 7: Análisis mecánico y simulación de inyección con SolidWorks

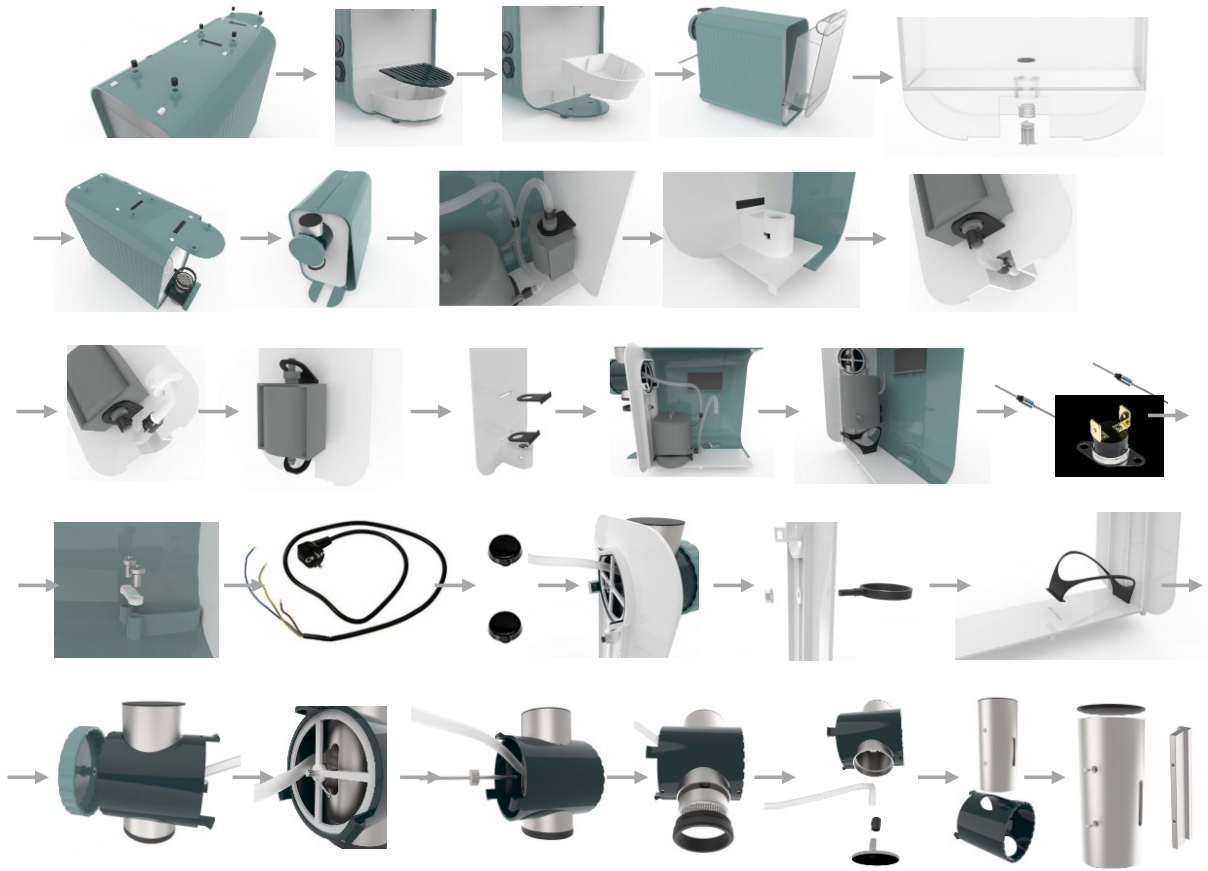


5. Análisis del nivel de reparabilidad de la cafetera rediseñada

A partir del rediseño, se aplicaron de nuevo los métodos eDIM y AsMeR, para obtener el nivel de reparabilidad del mismo.

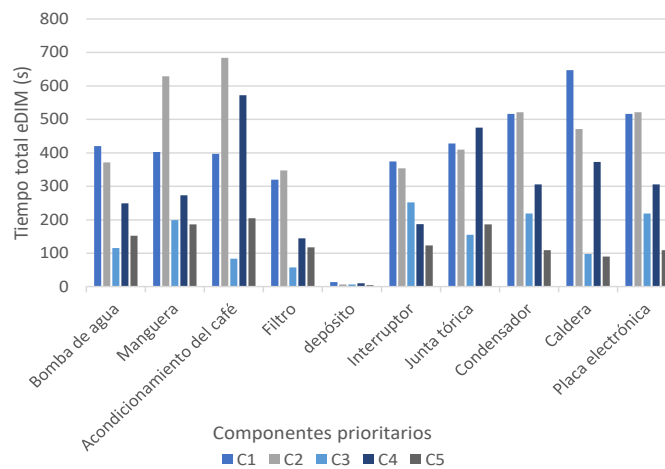
Para ello, se identificó paso a paso cómo sería la secuencia total de desensamblaje de un modo ilustrado (Figura 8), que se utilizó como referencia para aplicar el método eDIM. Se obtuvo un tiempo total de desensamblaje y ensamblaje de 547,2 segundos.

Figura 8: Secuencia de desensamblaje del rediseño C5



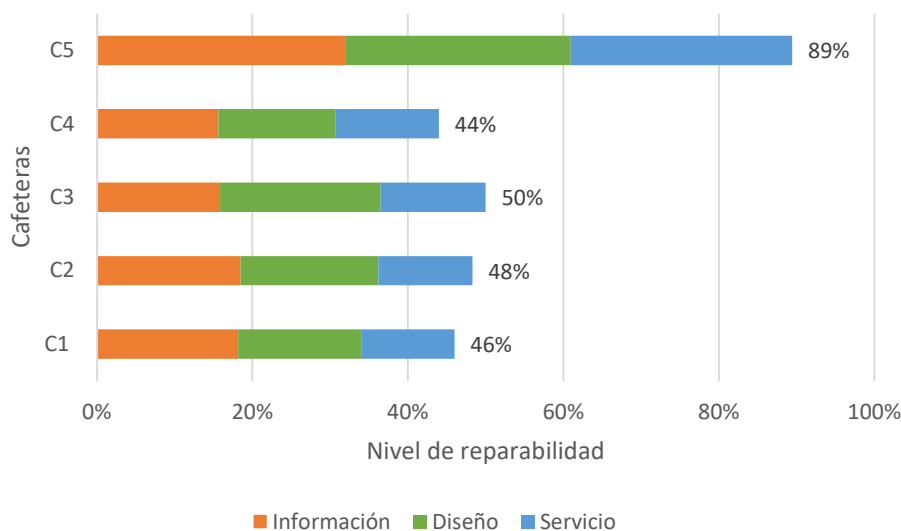
La Figura 9 muestra la comparativa de tiempos totales de desensamblaje y ensamblaje entre las cuatro cafeteras de mercado analizadas y el rediseño propuesto, observándose una reducción del tiempo total 32,4% sobre el promedio de las del mercado. Cabe destacar que el tiempo de reparación de la caldera se ha reducido un 77,4%, el de la placa electrónica se ha reducido un 72,1% y el interruptor 57,7% (Tabla 1, Tabla 2 y Figura 9).

Figura 9: Comparativa de tiempos totales por componentes prioritarios entre cafetera diseñada (C5) y cafeteras del mercado (C1, C2, C3 y C4)



A continuación, se aplicó el método AsMeR para calcular el índice de reparabilidad de la cafetera rediseñada (C5), obteniéndose un índice del 89%, tal y como muestra la Figura 10 comparado con las cafeteras de mercado (C1, C2, C3 y C4). Se observa que la cafetera C5 mejora en índice de reparabilidad entre un 39% y 45%.

Figura 10: Comparativa del nivel de reparabilidad



6. Conclusiones

En este trabajo se ha propuesto el diseño de una nueva cafetera de cápsulas que incorpora consideraciones de diseño sostenible propuestas en el “Nuevo Plan de acción para la economía circular” (COM 98, 2020), que propone principios de durabilidad, reutilización, actualización y reparabilidad. Actualmente, dichas medidas no son de obligatorio cumplimiento para la comercialización de electrodomésticos en el contexto europeo. No obstante, la cafetera diseñada se adelanta a las medidas que serán implantadas a futuro. Además, permite empoderar al usuario y ofrecerle el derecho de reparar su propio electrodoméstico satisfactoriamente.

Gracias a la incorporación de las consideraciones de reparabilidad en el diseño del producto, se consigue alargar la vida útil del mismo, reduciendo de esta forma que pase a ser un residuo de manera prematura.

Este trabajo demuestra que surge la necesidad de formar a futuros diseñadores conscientes e implicados en el futuro, pues teniendo una sólida formación, inconscientemente se diseñará bajo principios de la economía circular.

La comunicación abre la posibilidad de continuar con la definición de nuevos requisitos de ecodiseño alineados al marco normativo descrito. Como futuros trabajos surge la creación de herramientas que valoren la reparabilidad y sean usadas por los diseñadores para la selección de alternativas de diseño.

7. Referencias

- Blanco-Espeleta, E., Pérez-Belis, V. & Bovea, M.D., (2021). Measurement of the level of reparability of electric and electronic devices. Review and case study. *Proceedings of the International Congress on Project Management and Engineering*. 778–791.
- Blanco-Espeleta, E., Pérez-Belis, V. & Bovea, M.D., (2021). Índices de reparabilidad de productos: aplicación a cafeteras de cápsulas. *Proceedings of the IX Simposio*

Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. 305–310.

Bracquené, E., Brusselaers, J., Dams, Y., Peeters, J., De Schepper, K., Duflou, J. & Dewulf, W., 2018. Repairability criteria for energy related products Study in the BeNeLux context to evaluate the options to extend the product life time. Final Report. *KU Leuven/Vito/Benelux*.

COM 98, 2020. A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*.

Cordella, M., Alfieri, F. & Sanfelix, J. (2019). Analysis and development of a scoring system for repair and upgrade of products - Final report. *Joint Research Centre, Technical reports, European Commission*.

DIN 33402-2, 2020. Dimensiones humanas - Parte 2.

European Parliament, 2022. Right to Repair, *European Parliament*.

European Parliament, 2009. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009, establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products.

Granta EduPack, 2021. Ansys. Granta-edupack:
<https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>

iFixit, 2022. iFixit. The Free Repair Manual: <https://www.ifixit.com/>

Indice Réparabilité, 2021. Plataforma d'information sur l'indice de réparabilité.
<https://www.indicereparabilite.fr>

ONR 192102, 2014. Label of excellence for durable, repair-friendly designed electrical and electronic appliances.

Open Repair Alliance, 2022. Open Repair Alliance: <https://openrepair.org>

Peeters, J.R., Tecchio, P., Ardente, F., Vanegas, P., Coughlan, D. & Duflou, J.R., 2018. eDIM: further development of the method to assess the ease of disassembly and reassembly of products — Application to notebook computers. *Joint Research Centre, Technical reports, European Commission*.

UNE-EN 45554, 2020. Métodos generales para la evaluación de la capacidad de reparación, reutilización y actualización de productos relacionados con la energía.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

