

DESIGN OF A MODULAR DEVICE FOR DOMESTIC SOLID WASTE COLLECTION

Cavas, F.; Hernández, A.; Parras, D.; Nieto, J.; Cañavate, F.J.F.; Fernández-Pacheco, D.G.

Universidad Politécnica de Cartagena

One of the main problems that recycling of domestic inorganic materials present is the high percentage of improper, or unsolicited, materials existing in the recycling bins. With the aim of decreasing this percentage, public administrations have developed different awareness campaigns for citizens; however, these measures had not brought the expected success. In this scenario, the geometrical design and modelling of a modular device for waste selection has been raised, being this device oriented towards the requirements of each final user at the domestic generation point, in such a way that it facilitates the sequential reply of the recycling action and avoids the presence of unsolicited materials in a not suitable bin.

Keywords: 3D modelling; finite elements; user-oriented design; recycling

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO MODULAR DE RECOGIDA DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS

Uno de los principales problemas que plantea actualmente el reciclaje de materiales inorgánicos domésticos es el elevado porcentaje de materiales impropios, o no solicitados, presentes en los contenedores de reciclaje. Con el fin de disminuir dicho porcentaje, las administraciones públicas desarrollan diversas campañas de concienciación destinadas a la ciudadanía; sin embargo, estas no han tenido el éxito esperado. En este escenario, se plantea como solución el diseño y modelado geométrico de un dispositivo modular de selección de residuos, orientado a las necesidades de cada usuario final en el punto de generación doméstica, de tal forma que facilite la repetición secuencial de la acción de reciclaje y evite la presencia de materiales no solicitados en un contenedor no adecuado.

Palabras clave: Modelado 3D; Elementos Finitos; Diseño orientado al usuario; Reciclaje

1. Introducción.

Cada vez los consumidores manifiestan una mayor sensibilización ante las repercusiones medioambientales que se derivan de sus actividades domésticas, como son las producidas a partir de la generación de residuos domiciliarios (Sallis et al., 2006). Esta percepción medioambiental ha ido creciendo lentamente, siendo actualmente un factor primordial en las sociedades modernas y sostenibles (Otsuki et al., 2016). Con el fin de aumentar esta concienciación han sido desarrolladas diversas campañas por entidades de ámbito público y privado.

Figura 1: Mensajes de concienciación al usuario doméstico



El éxito de estas acciones se debe a que presentan una información clara y concisa (Fig. 1) a los usuarios domésticos sobre sus hábitos de reciclado en el hogar (Cox et al., 2010). Además, existen estudios que analizan la efectividad de estas campañas (Grankvist y Biel, 2007; van Amstel et al., 2008). Sin embargo, un denominador común a todos estos estudios es que indican la existencia de un significativo porcentaje de materiales impropios en los contenedores de basura, en torno a un 30 % (Ecoembes, España).

Esto puede deberse a (Martinho et al., 2015; Pickett-Baker y Ozaki, 2008):

- Una incorrecta identificación por parte del consumidor doméstico de la información aportada por las etiquetas o logotipos presentes en los embalajes o recipientes.
- Una incorrecta identificación y comprensión por parte del consumidor doméstico de los colores de los contenedores destinados al depósito de los residuos domiciliarios.
- La ausencia de espacio físico en el punto de generación domiciliaria para el uso de varios recipientes en función del residuo generado.

Es en este último punto donde se centra el presente estudio, en diseñar una solución doméstica para disminuir el porcentaje de materiales no solicitados en los contenedores de recogida selectiva de residuos sólidos urbanos.

El desarrollo de un producto orientado al ser humano es una tarea compleja, pero se complica aún más cuando está orientado al consumidor doméstico, dado que han de combinarse conocimientos provenientes de diferentes campos de la ingeniería y factores psicosociales, junto con la experiencia en fabricación, con el objetivo de alcanzar un producto que satisfaga las expectativas del usuario final (Ohno et al., 2015; Schleyer et al., 2007; Scholtz et al., 2014). Así pues, el desarrollo de estos productos se concibe como un ejercicio de equilibrio entre creatividad y fiabilidad, el cual necesita un diseño conceptual sobre el que integrar todos los conceptos de forma que este marco integrador sea de utilidad práctica en el diseño y el desarrollo de los productos orientados al usuario.

2. Objetivos

La presente comunicación propone el diseño de un dispositivo modular de bajo coste para la recogida selectiva de residuos en el punto de generación domiciliaria, de tal forma que el

nuevo dispositivo resuelva los problemas de espacio físico existentes en los hogares domésticos y aumente la percepción emocional del usuario realizando un correcto reciclaje y evitando la presencia de los materiales impropios en un contenedor no adecuado. Para ello, el dispositivo diseñado adquiere una morfología tipo cilíndrica que rotará sobre un eje central. Además, dispondrá de varios módulos de diferentes dimensiones identificados por colores, en función del producto a reciclar. Esta configuración facilitará la repetición secuencial de la acción de reciclaje.

3. Metodología

El proceso completo de desarrollo y diseño comprende seis etapas: definición estratégica, diseño de concepto, diseño de detalle, construcción de prototipos, producción y comercialización. Esta comunicación se centra en las tres primeras etapas.

3.1 Definición estratégica

Los potenciales usuarios de este producto serán consumidores domésticos. Con el fin de conocer mejor sus necesidades, se ha realizado una encuesta de elaboración propia a nivel local sobre una población de 200 sujetos (todos ellos mayores de edad, 114 mujeres/86 hombres, con un rango de edades comprendido entre 25-70 años) (Fig. 2).

Figura 2: Encuesta local sobre el perfil de los consumidores domésticos



Entre las principales conclusiones de esta encuesta se obtiene que el 72 % de los consumidores domésticos no reciclan bien por desconocimiento o por no tener interés. Además, esta encuesta destaca que, respecto a todos los potenciales residuos domiciliarios, el plástico es el residuo que más dudas genera, y por consiguiente será el residuo más presente como material impropio en el contenedor de reciclaje de residuos (esta conclusión coincide con la encuesta nacional presentada por Ecoembes). Y por último, se destaca que respecto al 72 % de consumidores que no reciclan bien, el 50 % manifiesta no hacerlo por falta de espacio en el punto de origen doméstico de generación del residuo.

En base a estas conclusiones, dentro de los potenciales usuarios del producto, destacan los que tienen problemas de espacio físico en su hogar para disponer de un conjunto de recipientes destinados al reciclaje de residuos.

3.1.1 Requisitos funcionales

Los principales requisitos técnicos a considerar para el desempeño funcional del dispositivo están fundamentados respecto a un concepto central de *modularidad* (Fig. 3):

- Autonomía espacial: deberá otorgar al usuario doméstico la posibilidad de uso del dispositivo con independencia de su ubicación física. Para ello, el mecanismo dispondrá de un sistema de rotación vertical.
- Dimensiones físicas: Tanto el conjunto completo como sus módulos de forma independientes deberán presentar unas dimensiones físicas definidas por los residuos a reciclar. Para facilitar la disminución de volumen de los residuos plásticos, de cartón, etc., se dotará de una prensa hidráulica manual.
- Estabilidad-seguridad: afectará al grado de seguridad de uso de los módulos del dispositivo, tanto vacíos como llenos de residuos. Para ello el conjunto dispondrá de una base sólida.
- Funcionalidad y ergonomía: deberá comprender un mecanismo que facilite su uso en una posición ergonómica correcta.
- Facilidad de limpieza y mantenimiento: deberá ser fácilmente desmontable para su correcta higienización. Así mismo, los módulos deberán ser herméticos e impermeables.
- Durabilidad: el diseño del producto estará orientado a conseguir una vida útil del mecanismo larga. Para ello, deberán considerarse unos materiales y tecnologías de fabricación adecuados a un bajo coste, dado que se desea un producto final a un precio reducido. Otros factores a considerar en este punto son: disminuir el número de piezas desmontables, proponer una revisión y un mantenimiento regular, y facilitar la información adecuada del dispositivo para su conocimiento por parte del usuario final.

Figura 3: Requisitos funcionales técnicos



Por otro lado, para que el dispositivo sea efectivo ha de considerarse la percepción emocional del consumidor final, ya que ésta va a influir en gran medida en la repetición secuencial de la acción de reciclaje. Por lo tanto, un diseño atractivo y sencillo facilitará el uso del dispositivo modular (Brécard, 2014; Yenipazarli, 2015), alcanzando el principal objetivo de esta comunicación.

3.1.2 Estudio de mercado

Como parte del proceso de diseño se ha realizado un estudio para conocer los diferentes tipos de dispositivos modulares para recogida de residuos domiciliarios existentes (Fig. 4), estando todos ellos diseñados de acuerdo a las normas UNE (AENOR, 2002, 2003, 2007a, b, 2008a, b, 2009, 2010, 2013a, b, c, d, 2015).

Figura 4: Contenedores comerciales de uso doméstico



Una evaluación general de los contenedores estudiados indica que existen numerosas soluciones comerciales con diferentes módulos o compartimentos, lo que facilitará el reciclaje de los residuos domésticos. Sin embargo, todas estas opciones comerciales no solucionan el problema de espacio físico presente en los hogares, dado que al ser dispositivos estáticos plantean problemas de uso en un espacio físico confinado. Es importante que el contenedor de residuos presente unas dimensiones globales en consonancia con la limitación física espacial existente en el punto de origen de estos residuos, generalmente en la cocina o en la galería. Por lo tanto, éste será uno de los factores a considerar en la propuesta de diseño del nuevo dispositivo modular.

3.1.3 Normas de aplicación

Las normas a aplicar para el diseño del producto propuesto son las siguientes:

- UNE-EN 16122:2013. Mobiliario de almacenamiento de uso doméstico y no doméstico. Método de ensayo para la determinación de la resistencia, la durabilidad y la estabilidad.
- UNE-EN840-1:2013. Contenedores móviles para residuos y reciclaje. Parte 1: Contenedores de 2 ruedas con capacidad hasta 400 l para dispositivos de elevación tipo peine. Dimensiones y diseño.
- UNE-EN840-5:2013. Contenedores móviles para residuos y reciclaje. Parte 5: Especificaciones y métodos de ensayo.
- UNE-EN840-6:2013. Contenedores móviles para residuos y reciclaje. Parte 6: Requisitos de seguridad y salud.
- UNE-CR13686:2002. Envases y embalajes. Optimización de la recuperación energética a partir de residuos de envases y embalajes.
- UNE-EN13593:2003. Envases y embalajes. Sacos de papel para la recogida de basura doméstica. Tipos, requisitos y métodos de ensayo.
- UNE-EN14995:2007. Plásticos. Evaluación de la compostabilidad. Programa de ensayo y especificaciones.
- UNE-EN15347:2008. Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de residuos plásticos.
- UNE-CEN/TS16010:2015EX. Plásticos. Plásticos reciclados. Procedimientos de muestreo para ensayos de residuos de plásticos y reciclados.
- UNE-EN13592:2003+A1:2007. Sacos de plástico para la recogida de basura doméstica. Tipos, requisitos y métodos de ensayo.
- UNE-ENISO7250-1:2010. Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de las medidas del cuerpo y referencias (ISO 7250-1:2008).
- UNE-EN614-1:2006+A1:2009. Seguridad de las máquinas. Principios de diseño ergonómico. Parte 1: Terminología y principios generales.
- UNE-EN614-2:2001+A1:2008. Seguridad de las máquinas. Principios de diseño ergonómico. Parte 2: Interacciones entre el diseño de las máquinas y las tareas de trabajo.

3.2 Diseño conceptual

En esta fase se busca una solución en concreto en base a la información obtenida en el apartado anterior, y se establece la dirección del diseño conceptual haciendo uso de la creatividad, es decir, se concreta la configuración y características generales del dispositivo mecánico. De esta forma se elige el diseño que mejor se ajuste a los requerimientos descritos en los apartados anteriores.

3.2.1 Tormenta de ideas

Esta etapa promueve la creatividad del equipo de diseño (formado por diseñadores) considerando los datos obtenidos en la encuesta realizada en el apartado anterior y mediante un proceso desestructurado denominado tormenta de ideas (Keller et al., 2012), en el cual se aportan resultados interesantes.

Para la tormenta de ideas de este trabajo se definen varias propuestas de partida respecto al diseño del dispositivo, todas ellas fundamentadas en la principal idea de este trabajo: diseñar un contenedor modular. La primera idea es la de considerar una morfología tipo paralelepípedo o poliedro de seis caras subdividido en varios módulos (Fig. 5), sin embargo, debido a que la mayoría de los envoltorios o recipientes de residuos son cilíndricos, su depósito en un contenedor con estas características conlleva la creación de espacios muertos no aprovechables (Fig. 5), por lo que se direcciona el diseño hacia una segunda idea, la de considerar una morfología tipo cilíndrica, la cual se ha plasmado en varios bocetos del producto deseado (Fig. 6)

Figura 5: Ideas iniciales

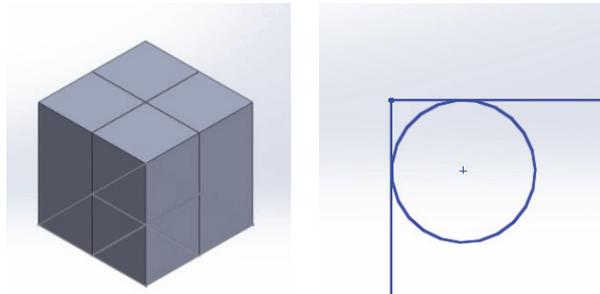
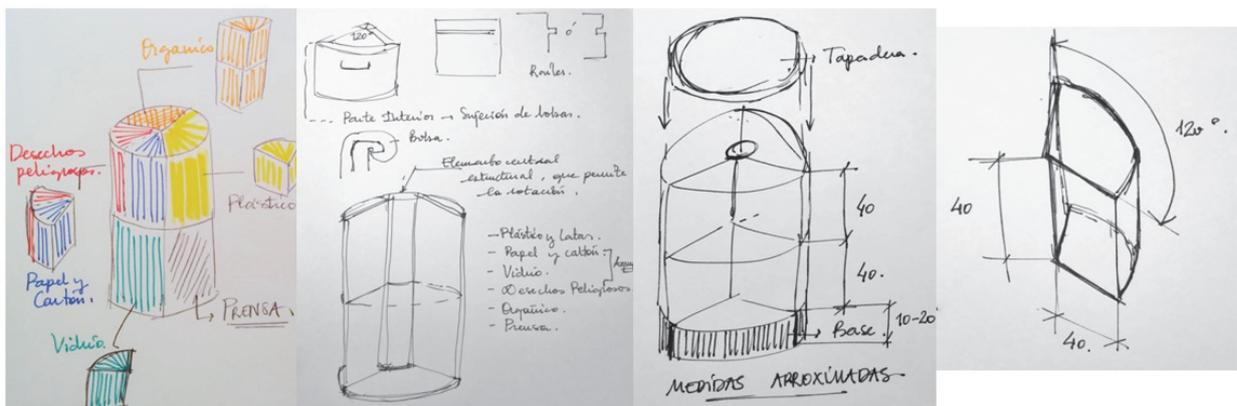
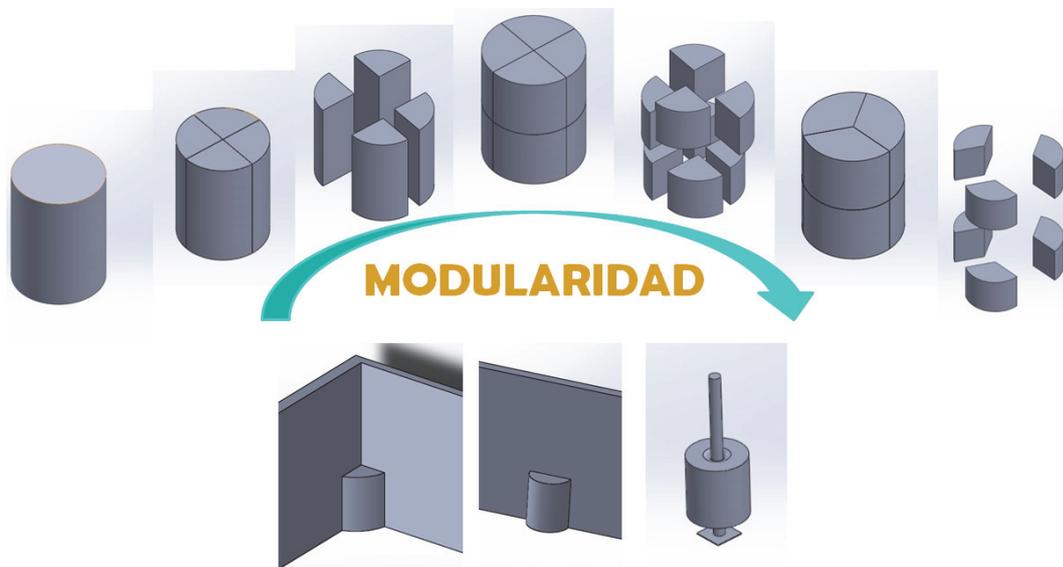


Figura 6: Bocetos del dispositivo modular



A partir de este boceto, y utilizando el software de modelado 3D SolidWorks, se realizan varias propuestas (Fig. 7), todas ellas partiendo de la base de modularidad. La morfología cilíndrica permite de igual forma realizar una modulación de la misma en varios submódulos. Además, dispondrá de un eje rotacional central para realizar giros de 360°, cubriendo así todo el espacio físico disponible de manera que facilitará su accesibilidad para el almacenamiento de residuos domésticos. Por otro lado, se analizan el número de módulos necesarios para dar al contenedor capacidad de depósito de los residuos domésticos generados en base a la información aportada por Ecoembes. Por ello se adopta en el diseño tres submódulos divididos a su vez en dos, de tal forma que se destinan un módulo vertical completo a residuos orgánicos, que son los que más se generan. Un módulo inferior estará destinado a la prensa hidráulica, otro módulo inferior destinado a vidrio, dos módulos superiores a papel/cartón y otro a plástico/latas.

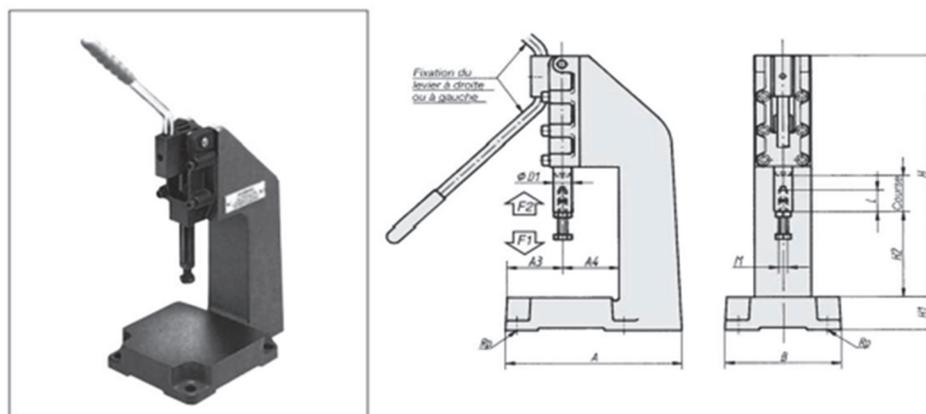
Figura 7: Concepto de modularidad en el contenedor de residuos



3.2.2 Selección previa de elementos. Prensa

El dispositivo llevará incorporado inicialmente un elemento comercial para realizar la función de prensa. Se trata de una prensa hidráulica manual que facilita la compactación de plástico o cartón, a fin de disminuir el volumen del residuo (Fig. 8).

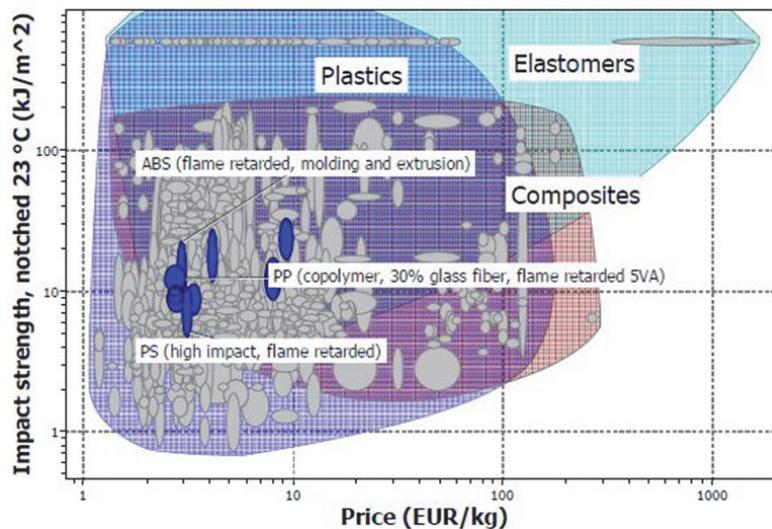
Figura 8: Prensa manual



3.2.3 Selección del material del dispositivo

El dispositivo modular deberá ser de plástico, cumpliendo diversas propiedades físicas, como poseer alta resistencia al impacto, durabilidad, impermeabilidad y no inflamable, además de tener un precio moderado. Existen varios materiales que pueden cumplir estos criterios, como el ABS, PP, etc. Para ello se utilizará el software CES EduPack 2010 sobre el diseño final (Fig. 9).

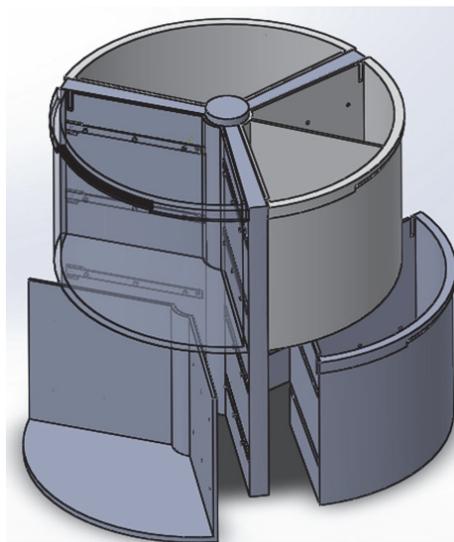
Figura 9: Software de selección de materiales



3.3 Diseño de detalle

En esta fase se definen los detalles técnicos de fabricación del mecanismo, considerando los condicionantes descritos en las etapas previas respecto al boceto, selección previa de elementos del dispositivo y selección de los materiales. Para el diseño en detalle se empleará el software de modelado 3D SolidWorks. Los elementos que componen el dispositivo (Fig. 10) son:

Figura 10: Vista explosionada del contenedor modular



- *Guía de deslizamiento de los módulos respecto a la estructura fija vertical.* Estará fabricada en acero; la rueda y el remache estarán fabricados en poliamida. Existirán dos tipos de guías: una guía fija sobre la que el módulo realiza el desplazamiento, y que se encuentra adherida a la estructura vertical fija (Fig. 11), y otra guía móvil que irá adherida a la estructura móvil o módulo (Fig. 12). La figura 13 muestra ambas guías en su posición de ensamblado y funcionamiento.

Figura 11: Guía fija

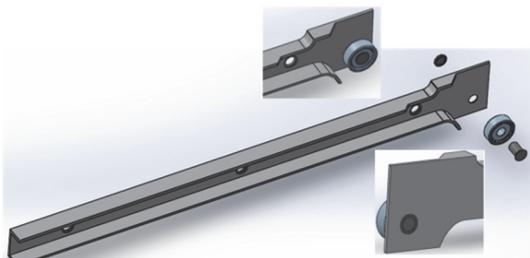


Figura 12: Guía móvil

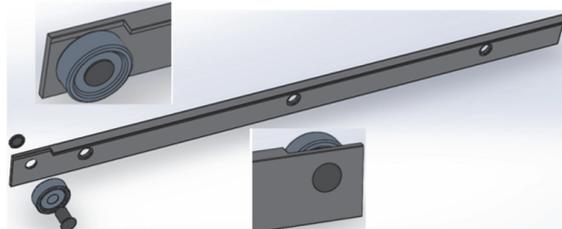
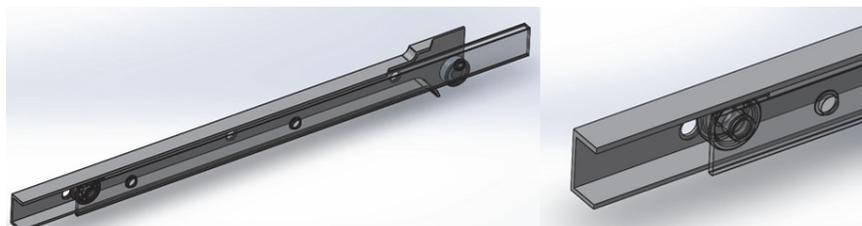


Figura 13: Guías ensambladas



La guía fija va adherida mediante tres remaches a la estructura vertical a través de una hendidura lateral que se practica a la estructura durante el proceso de fabricación (Fig. 14). Por otro lado, la guía móvil va adherida mediante tres remaches al módulo cajón a través de una hendidura lateral que se practica al módulo durante el proceso de fabricación (Fig. 15).

Figura 14: Guías fijas adheridas a la estructura vertical

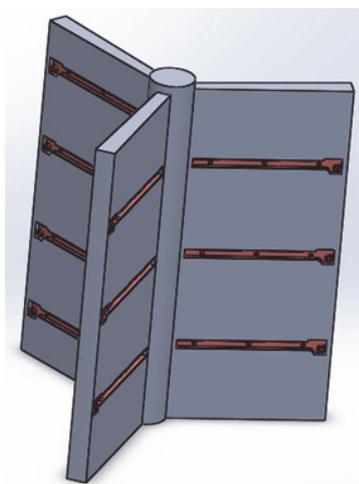
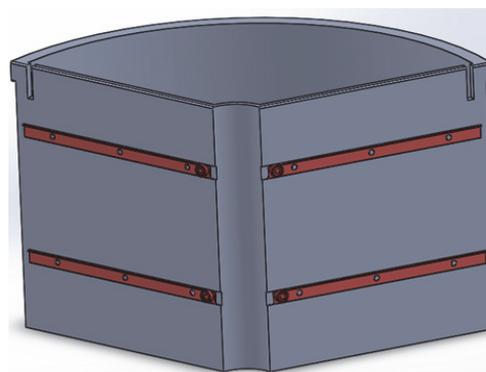


Figura 15: Guías móviles adheridas al módulo



- **Módulos.** Se partirá de un diseño base (Fig. 15). El módulo deberá tener cuatro hendiduras dónde se alojan las guías móviles (Fig. 15), dos por cada una de las caras planas del mismo. Para facilitar su extracción, en la cara superior y centrada se dispondrá de un agarre (Fig. 16). Además, en la parte superior del cajón se practicarán unas hendiduras laterales para facilitar la colocación de una bolsa de plástico en su interior, evitando que sobresalga por su parte delantera (Fig. 17).

Figura 16: Agarre del módulo

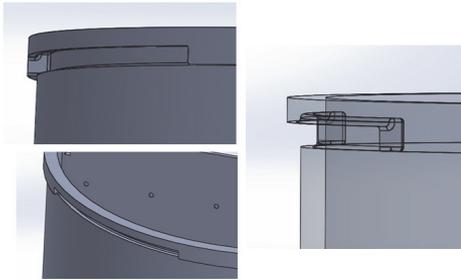
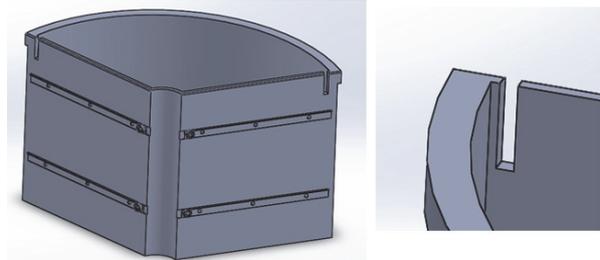


Figura 17: Hendiduras en el modulo



Sobre el módulo base se diseñarán varios contenedores: un contenedor destinado a papel/cartón (Fig. 18), otro para alojar la prensa hidráulica (Fig. 19) y un último contenedor para residuos orgánicos (Fig. 20).

Figura 18: Contenedor papel/cartón

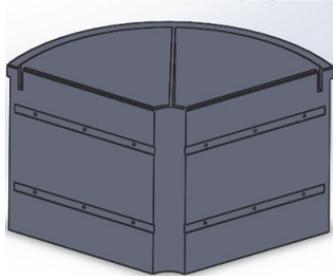


Figura 19: Contenedor prensa

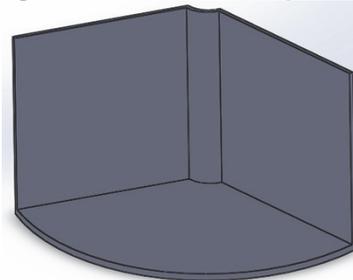
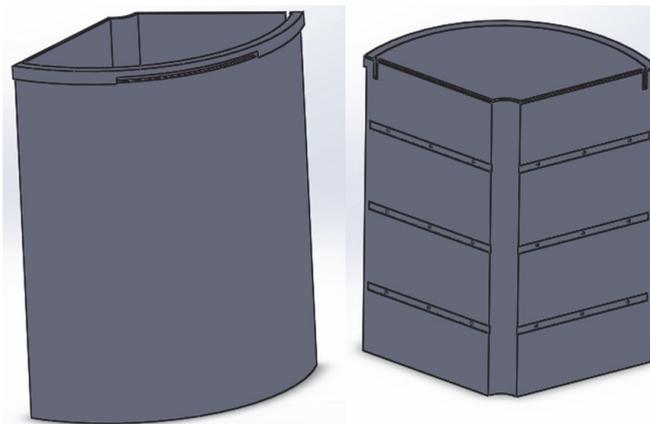


Figura 20: Contenedor residuos orgánicos



- **Estructura móvil.** Se trata de tres paneles no alineados respecto a un eje central dónde irán colocadas las guías fijas (Fig. 14). Además, dispondrá en su nervio central de un eje de rotación que le permitirá realizar giros completos sobre una base circular fija (Fig. 21). En su base superior dispondrá de una tapa con una hendidura de agarre para facilitar el giro completo del dispositivo (Fig. 22)

Figura 21: Estructura móvil sobre una estructura fija

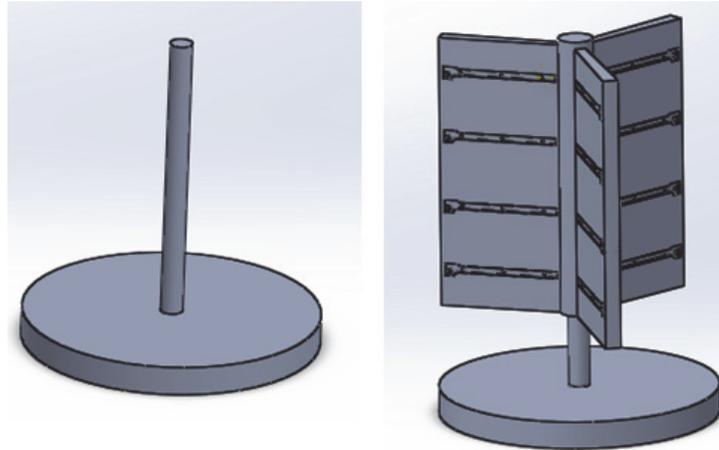
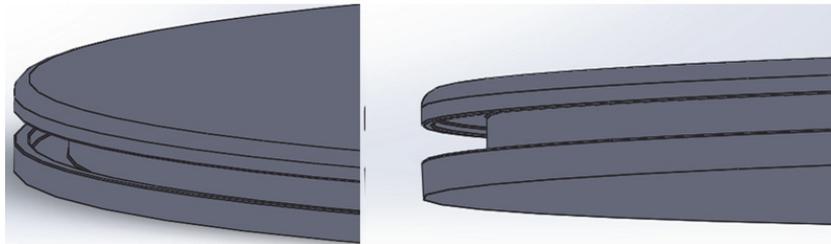
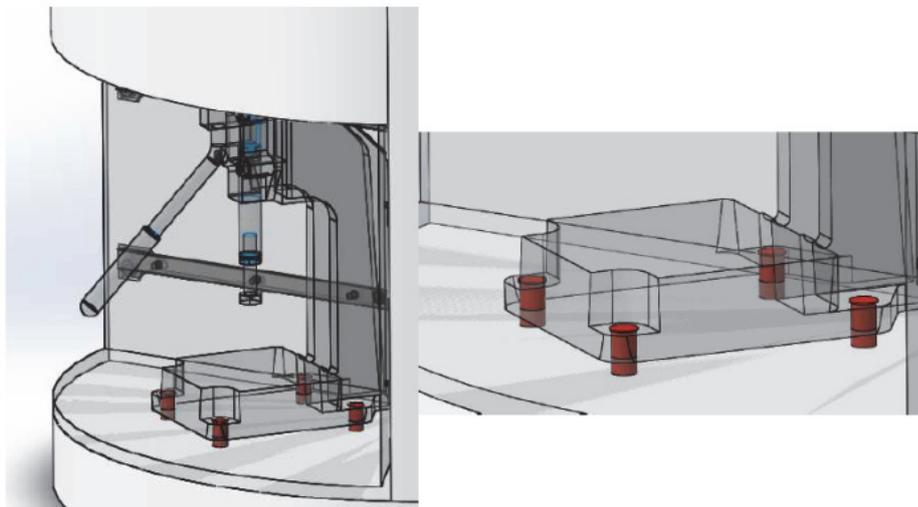


Figura 22: Agarre de la tapadera



- *Módulo - Prensa.* Es un contenedor específico para la prensa hidráulica (Fig. 19), donde se fijará ésta mediante tornillos (Fig. 23).

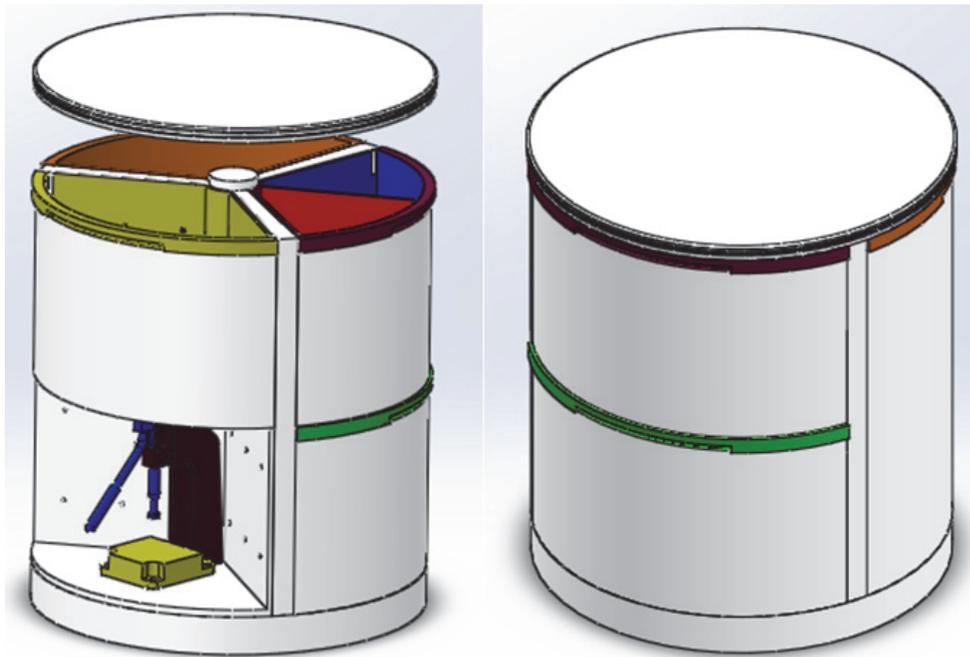
Figura 23: Módulo con la prensa hidráulica



4. Resultado final

Una vez ensambladas todas las piezas, el diseño final del dispositivo modular queda como indica la figura 24. El material seleccionado (según el apartado 3.2.3) será Poliestireno de Alto Impacto (HIPS).

Figura 24: Dispositivo modular



5. Conclusiones

Este trabajo presenta el diseño mediante geometría computacional de un dispositivo modular de recogida selectiva de residuos domiciliarios. La morfología del dispositivo permitirá su ubicación en un espacio reducido en el punto de generación de residuos. Además, bajo el concepto de modularidad se favorece la repetición secuencial de la acción de reciclaje y aumenta la percepción emocional del usuario realizando un correcto reciclaje y evitando la presencia de los materiales impropios en un contenedor no adecuado

Referencias

- AENOR, (2002). UNE-CR13686:2002. Envases y embalajes. Optimización de la recuperación energética a partir de residuos de envases y embalajes.
- AENOR, (2003). UNE-EN13593:2003. Envases y embalajes. Sacos de papel para la recogida de basura doméstica. Tipos, requisitos y métodos de ensayo. .
- AENOR, (2007a). UNE-EN13592:2003+A1:2007. Sacos de plástico para la recogida de basura doméstica. Tipos, requisitos y métodos de ensayo. .
- AENOR, (2007b). UNE-EN14995:2007. Plásticos. Evaluación de la compostabilidad. Programa de ensayo y especificaciones. .
- AENOR, (2008a). UNE-EN614-2:2001+A1:2008 . Seguridad de las máquinas. Principios de diseño ergonómico. Parte 2: Interacciones entre el diseño de las máquinas y las tareas de trabajo.
- AENOR, (2008b). UNE-EN15347:2008. Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de residuos plásticos.
- AENOR, (2009). UNE-EN614-1:2006+A1:2009. Seguridad de las máquinas. Principios de diseño ergonómico. Parte 1: Terminología y principios generales. .
- AENOR, (2010). UNE-ENISO7250-1:2010 . Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de las medidas del cuerpo y referencias (ISO 7250-1:2008).

- AENOR, (2013a). UNE-EN840-1:2013. Contenedores móviles para residuos y reciclaje. Parte 1: Contenedores de 2 ruedas con capacidad hasta 400 l para dispositivos de elevación tipo peine. Dimensiones y diseño. .
- AENOR, (2013b). UNE-EN840-5:2013. Contenedores móviles para residuos y reciclaje. Parte 5: Especificaciones y métodos de ensayo. .
- AENOR, (2013c). UNE-EN840-6:2013. Contenedores móviles para residuos y reciclaje. Parte 6: Requisitos de seguridad y salud.
- AENOR, (2013d). UNE-EN 16122:2013. Mobiliario de almacenamiento de uso doméstico y no doméstico. Método de ensayo para la determinación de la resistencia, la durabilidad y la estabilidad.
- AENOR, (2015). UNE-CEN/TS16010:2015EX. Plásticos. Plásticos reciclados. Procedimientos de muestreo para ensayos de residuos de plásticos y reciclados. .
- Brécard, D. (2014). Consumer confusion over the profusion of eco-labels: Lessons from a double differentiation model. *Resource and Energy Economics*, 37, 64-84.
- Cox, J., Giorgi, S., Sharp, V., Strange, K., Wilson, D.C., & Blakey, N. (2010). Household waste prevention - A review of evidence. *Waste Management and Research*, 28, 193-219.
- Grankvist, G., & Biel, A. (2007). The impact of environmental information on professional purchasers' choice of products. *Business Strategy and the Environment*, 16, 421-429.
- Keller, L.R., Abbas, A., Bickel, J.E., Bier, V.M., Budescu, D.V., Butler, J.C., Diecidue, E., Wu, G., Simon, J.R., Merrick, J.R.W., Lichtendahl Jr, K.C., Hämmäläinen, R.P., & Dillon-Merrill, R.L. (2012). Brainstorming, multiplicative utilities, partial information on probabilities or outcomes, and regulatory focus. *Decision Analysis*, 9, 297-302.
- Martinho, G., Pires, A., Portela, G., & Fonseca, M. (2015). Factors affecting consumers' choices concerning sustainable packaging during product purchase and recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 58-68.
- Ohno, T., Kato, Y., & Asano, Y. (2015). Service design for creating attractive services, and trends in design thinking. *NTT Technical Review*, 13.
- Otsuki, T., Matsuzaki, H., Lee, S., Kumagai-Takei, N., Yamamoto, S., Hatayama, T., Yoshitome, K., & Nishimura, Y. (2016). Environmental factors and human health: fibrous and particulate substance-induced immunological disorders and construction of a health-promoting living environment. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 21, 71-81.
- Pickett-Baker, J., & Ozaki, R. (2008). Pro-environmental products: Marketing influence on consumer purchase decision. *Journal of Consumer Marketing*, 25, 281-293.
- Sallis, J.F., Cervero, R.B., Ascher, W., Henderson, K.A., Kraft, M.K., & Kerr, J., (2006). An ecological approach to creating active living communities, *Annual Review of Public Health*, pp. 297-322.
- Schleyer, T.K.L., Thyvallkakath, T.P., & Hong, J. (2007). What is user-centered design? *Journal of the American Dental Association*, 138, 1081-1082.
- Scholtz, J., Love, O., Pike, W., Bruce, J., Kim, D., & McBain, A. (2014). Applying user-centered design to research work. *Interactions*, 21, 70-74.
- van Amstel, M., Driessen, P., & Glasbergen, P. (2008). Eco-labeling and information asymmetry: a comparison of five eco-labels in the Netherlands. *Journal of Cleaner Production*, 16, 263-276.
- Yenipazarli, A. (2015). The economics of eco-labeling: Standards, costs and prices. *International Journal of Production Economics*, 170, 275-286.