

03-028

**INDUSTRIAL RECYCLING AND CIRCULAR ECONOMY IN CIUDAD JUAREZ:
PROPOSAL FOR THE DESIGN OF A BUOY TO IMPROVE STREET ACCESSIBILITY.**

Reyes Pulido, Adrian (1); Cortés Sáenz, David (1); Rosa Sierra, Luis Alberto (2); Soto Nogueira, Ludovico (1)

(1) Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, (2) Universidad Panamericana

This article describes the development of a recycling and circular economy project in Ciudad Juárez, Mexico. The current situation of the region with regard to waste management and its relationship with the manufacturing industry is presented. The design process used by a local recycling company is presented, where a case study is analyzed and a proposal for a buoy with compression molding manufacturing processes is elaborated. The functional and economic advantages of the product, its application and use, superior to existing commercial proposals are highlighted. The method presented uses elements of a simplified life cycle analysis to determine improvements in the production stage and mentions the potential for creating an environmental product declaration. A formal redesign is also proposed, the design requirements consider the end of life of the buoy, in order to facilitate the recovery of materials at the end of its useful life using the principles of the circular economy. The proposal will be evaluated internally by the company to consider the manufacturing processes.

Keywords: Design; Manufacturing; Circular economy.

**APLICACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL DISEÑO DE UNA BOYA PARA
MEJORAR LA ACCESIBILIDAD EN CIUDAD JUÁREZ, MÉXICO.**

Este artículo describe el desarrollo de un proyecto de reciclaje y economía circular en Ciudad Juárez, México. Se presenta la situación actual de la región en cuanto a la gestión de residuos y su relación con la industria manufacturera. Se presenta el proceso de diseño utilizado por una empresa local de reciclaje, donde se analiza un caso de estudio y se elabora una propuesta de boya con procesos de fabricación por moldeo por compresión. Se destacan las ventajas funcionales y económicas del producto, su aplicación y uso, superiores a las propuestas comerciales existentes. El método presentado utiliza elementos de un análisis simplificado del ciclo de vida para determinar las mejoras en la etapa de producción y menciona el potencial para crear una declaración ambiental del producto. También se propone un rediseño formal, los requisitos de diseño consideran el final de la vida útil de la boya, con el fin de facilitar la recuperación de materiales al final de su vida útil utilizando los principios de la economía circular. La propuesta será evaluada internamente por la empresa para considerar los procesos de fabricación.

Palabras clave: Economía circular; Reciclaje; Diseño de producto.

Correspondencia: Dr. David Cortés Sáenz. Correo: david.cortes@uacj.mx



©2022 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

En este artículo se presenta el proyecto de diseño de una boya de calle fabricada con plástico reciclado. El reciclaje de plástico es un tema muy amplio, desde las técnicas que se pueden utilizar, hasta los productos que se pueden crear con el material. Se trabajó el caso de una empresa recicladora en Ciudad Juárez, México, cuya principal actividad es reciclar para reducir el volumen de deshecho proveniente de las empresas; la cual busca generar diseños de productos propios, con el deshecho industrial, el cual se conforma en gran parte de espuma de polietileno. Para esto, se utilizó un proceso de ecodiseño para aplicarse en una boya de calle prototipada en la empresa, que no fue concluida. Estas boyas se utilizan para delimitar carriles, estacionamientos, crear franjas de baja velocidad, y señalar límites para el tránsito vehicular. Dichos productos suelen ser metálicos, existiendo algunas opciones en el mercado fabricadas de plástico. Se analizó el funcionamiento de una de estas boyas, y se generaron varias propuestas, eligiendo la más adecuada para la manufactura y distintiva formalmente, para obtener un producto innovador que se destaque de sus competidores.

1.1 Objetivos

Generar una propuesta de diseño para una boya de calle, fabricada con plástico LDPE reciclado, por medio de procesos de moldeo por compresión.

2. Marco referencial

El polietileno es una variedad de plásticos termoestables, y la más utilizada en el mundo (Zhang, 2020), lo que se traduce en que gran cantidad de desecho plástico es polietileno. Uno de los tipos de polietileno es el de baja densidad, o LDPE. Debido a que es reciclable, reutilizar el material y evitar que se desheche es la mejor estrategia para reducir la contaminación plástica (Zhang, 2020). Diversos estudios analizan compuestos de rPE con fibras de origen natural como mezclilla de algodón (Sezgin & Yalcin-Enis, 2022), hoja de plátano (Ashokcline, et al. 2018), hoja de piña (Gebremedhin & Rotich, 2020) y diatomita y madera (Fong Shih, Hamdiani & Ling Tsai, 2021). Estos compuestos ofrecen mayor resistencia que el plástico por sí mismo, y amplían el uso que se le puede dar una vez reciclado, pero en este caso, se buscó lograr un producto conformado enteramente de plástico, para facilitar que se pudiera reciclar una segunda vez al terminar la vida útil.

Para este proyecto, el material reciclado provino de espuma de polietileno. La espuma de plástico es un producto de polietileno de baja densidad al que se le inyecta aire para inflarlo y crear volúmenes de una espuma muy ligera, que se usa para mantener piezas fijas dentro de cajas de cartón, manteniéndolas seguras en el transporte desde la fábrica hasta la empresa. Suele utilizarse con piezas electrónicas, ya que es un material antiestático (Jordan, et al. 2016) lo cual protege los circuitos electrónicos de cargas eléctricas indeseadas, que los estropearían desde antes de ser ensamblados. Se trabajó con una recicladora de ciudad Juárez que trata este material.

Effectus es una empresa prestadora de servicios en la reducción de volumen, reciben esta espuma plástica, se tritura, y se convierte en pellets de LDPE, el cual es un material muy poco denso, lo que significa que ocupa mucho espacio para el poco peso que tiene y por dicha razón debe reconvertirse en pellets para facilitar su manejo. Una vez en forma de pellets, se devuelve a la industria, o se vende como insumo a otros compradores, quienes lo utilizan para fabricar diversos productos. Otra parte de la producción se destina para fabricar productos que son enviados a Estados Unidos, o señalamientos para tránsito, calles, etc. en ciudad Juárez. Como parte de la propuesta de la empresa, se busca ampliar el catálogo de ventas, innovando en diseños que aprovechen tanto el material como el proceso de

producción y generar alternativas sostenibles para las ciudades. Debido a que la empresa había realizado con anterioridad pedidos de señalamientos viales, se comenzó a gestionar un producto propio, una boya para calle.

Las boyas de calle suelen ser metálicas, o de plástico, algunas integran material reflectivo para aumentar la visibilidad. La forma es principalmente redonda, con variaciones según el fabricante, algunos diseños siendo más elaborados que otros, y se instalan con 4 clavos directamente en la calle. La empresa elaboró un diseño sencillo, y fabricó dos moldes para prototipar piezas, sin embargo, el producto no se concretó.

Figura 1: Proceso de reciclado y producción



Nota: Proceso de trabajo en la empresa, de izquierda a derecha: muestras de espuma de polietileno, pellets reciclados, extrusora de plástico y molde de aluminio de la boya.

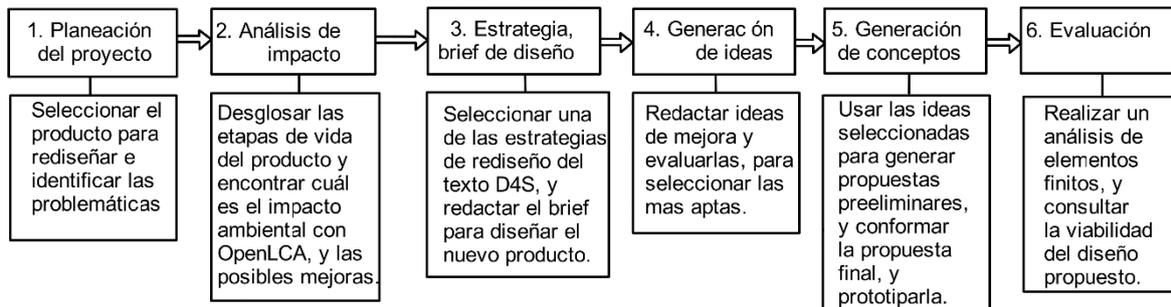
3. Metodología

Se trabajó con una empresa interesada en tener procesos circulares, una recicladora ubicada en ciudad Juárez, quienes proporcionaron la información sobre el plástico y el proceso de reciclado y producción. Era importante tener un producto que innovara un objeto relativamente sencillo, fabricado con un proceso simple, para que pudiera destacarse a futuro entre los competidores.

Se empleó una sección de la metodología de Design for Sustainability (Crul, Diehl, 2007), o D4S, de la Universidad de Delft, de los Países Bajos. Este consiste en 10 pasos para rediseñar un producto utilizando principios de ecodiseño, para ser implementado en empresas pequeñas de países en desarrollo. El método busca lograr que los productos diseñados tengan un impacto positivo en el medio ambiente, una mejora en la economía del productor, y para beneficio de la sociedad.

Este acortamiento consistió en eliminar algunos de los pasos, ya sea porque las circunstancias ya los han definido y pueden obviarse, o están fuera de alcance en tiempo y recursos. De modo que el método quedará de la forma que se ve en la figura 1. De los 10 pasos originales, se eliminaron 4, y otros se acortaron. Los pasos completos pueden consultarse en Design for Sustainability (Crul, Diehl, 2007). Una vez realizado el diseño, se realizará un análisis de elementos finitos para determinar la resistencia de la boya rediseñada

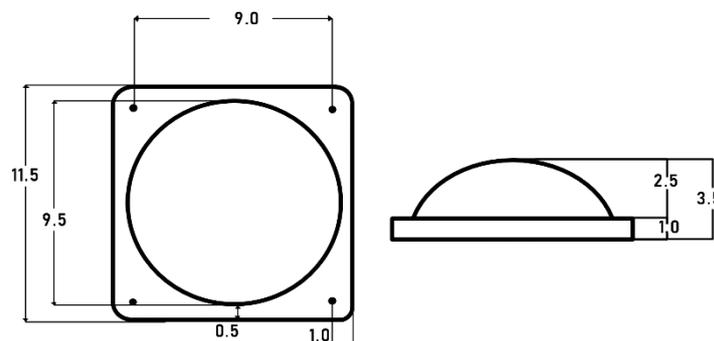
Figura 2: Método D4S abreviado



Nota: Proceso de trabajo, mencionando las principales herramientas utilizadas.

. En el *paso 1*, para planear el proyecto se eligió el producto a rediseñar, se enlistó la información disponible y se encontraron las problemáticas a resolver. Primero, se eligió una boya de calle como producto, un proyecto de la empresa que se encontraba detenido su desarrollo, y se consideró que era susceptible a rediseñarse con herramientas de ecodiseño. La boya es un producto para señalética vial, fabricada con polietileno de baja densidad reciclado, usando moldeo por compresión. Suele ser color negro, ya que se usa pigmento para tener un color uniforme en el material reciclado. Se usa moldeo por compresión. La empresa creó moldes de aluminio con los que se fabricaron algunos prototipos, son de tamaño menor que las boyas en el mercado, y quedan con rebaba que es necesario quitar. Además, carece de una apariencia formal que sea propia de los fabricantes. Esas fueron las situaciones detectadas, para ser tomadas en cuenta en el desarrollo.

Figura 3. Plano del prototipo de boya



Nota: Medidas tomadas del prototipo de la boya fabricado con polietileno. Los puntos que aparecen cercanos a las esquinas son agujeros para la instalación con clavos.

El *paso 2* es el análisis de impacto, en el que se desglosan las etapas de vida del producto para detectar los impactos ambientales de cada etapa, y encontrar áreas de mejora. Para ello, se generó una matriz con las etapas del ciclo de vida. Se usó el prototipo de la boya para recolectar datos sobre el tiempo de producción, el proceso, la energía gastada. El análisis fue

hecho a partir de que el plástico es desechado de la industria, no desde su producción original, esto porque sólo se tiene acceso directo a la información y control sobre el proceso a partir de esa etapa. Por lo tanto, cuando se menciona “producción” se refiere a la producción donde se está reciclando el plástico, no la producción primaria del plástico virgen.

Tabla 1. Matriz de ciclo de vida.

	Materiales		Producción	Distribución	Uso	Fin de vida
Materiales	Polietileno baja y densidad	de alta	Pigmentos	Sacos plástico grandes	de Clavos	-
Energía	Gasolina para transportarlo		Electricidad (no renovable)	Gasolina (transporte en camión)	-	Electricidad (si es reciclado)
Desechos sólidos	Cajas transporte	de	Rebaba, escoria	-	-	Rebaba, escoria, piezas de plástico
CO₂	Emisiones motor camión	de de	Emisiones de las máquinas	Emisiones de motor de camión	-	-
Agua	-		Usada para enfriamiento	-	-	Limpieza para reciclaje

Nota: Las columnas son las etapas del ciclo de vida de la boya, las filas son los insumos (materiales, energía, agua) y las emisiones (desechos, CO2) Donde se pone guion es que no se utiliza/genera lo indicado en la fila.

Debido a que algunos datos pudieron recolectarse de manera cuantitativa, se realizó un ejercicio rápido de análisis en computadora, utilizando el software OpenLCA (openlca.org). Este software permite hacer análisis de ciclo de vida de gran complejidad, pero en este caso se usó para un ejercicio más sencillo, el cual consistió en vaciar los datos encontrados para determinar cuál aspecto de ciclo de vida de la boya prototipada tenía el mayor impacto ecológico, susceptible a mejora. Se utilizó la base de datos ELCD Green Delta (nexus.openlca.org/database/ELCD).

La información suministrada para entradas y salidas se encuentra en la figura 3, y el resultado arrojó que la electricidad (no renovable) causa el mayor impacto. Las opciones existentes para mejorar esto pueden ser generar electricidad renovable, como los paneles solares, pero el costo es elevado y está fuera de las posibilidades de la empresa. Por lo tanto, al no disponer de una manera práctica y real para reducir el uso total de electricidad, debe hacerse más eficiente el consumo actual. Para mejorar el resultado, indica que debe tenerse una mayor o mejor producción sin aumentar la cantidad total de electricidad consumida. Se detectó que el tiempo dedicado a limpiar de rebaba las piezas es extenso, y se hace mediante herramientas eléctricas y manuales, a la vez que la escoria resultante debe ser luego vuelta a reciclar.

Reducir la rebaba en las piezas se planteó como una posible mejora que debía resolverse en las ideas posteriores.

Figura 4. Datos en OpenLCA

Inputs			
Flow	Category	Amount	Unit
polyethylene low density granulate ...	Materials production/Plasti...	12.95000	kg
transport in t*km	Transport services/Other tr...	1.50000	t*km
Water Cooling fresh	Resource/in water	50.00000	kg
Electricity	Energy carriers and technol...	5.00000	MJ

Outputs			
Flow	Category	Amount	Unit
boya		12.95000	kg
polyethylene low density granulate ...	Materials production/Plasti...	0.50000	kg
Water vapour	Emission to air/high popul...	5.00000	kg
Water	Emission to air/high popul...	20.00000	kg
Heat, waste	Emission to air/high popul...	1.00000	MJ

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
> Natural land transformation				-1.11452E-7	m2
> Freshwater ecotoxicity				0.00010	kg 1.4...
> Agricultural land occupation				3.59634E-5	m2*a
> Urban land occupation				1.54985E-5	m2*a
> Ionising radiation				0.04830	kg U23...
> Freshwater eutrophication				1.11190E-5	kg P eq
> Ozone depletion				2.97732E-8	kg CFC...
> Particulate matter formation				-0.00085	kg PM1...
> Metal depletion				0.03119	kg Fe eq
> Fossil depletion				0.55677	kg oil eq
> Polyethylene low density granulate (PE-LD), production mix, at Materials production / Plastics				1.81473	kg oil eq
> Container glass (delivered to the end user of the contained prc Systems				0.13240	kg oil eq
> Electricity grid mix, consumption mix, at consumer, AC, 230V - Energy carriers and technologies / Ele...				0.00923	kg oil eq
> Polyethylene terephthalate (PET) granulate, production mix, at Materials production / Plastics				-1.20057	kg oil eq
> Terrestrial acidification				-0.00070	kg SO2...
> Terrestrial ecotoxicity				-4.20181E-6	kg 1.4...
> Human toxicity				0.03713	kg 1.4...
> Marine eutrophication				4.82320E-5	kg N eq
> Climate Change				0.26968	kg CO2...
> Polyethylene low density granulate (PE-LD), production mix, at Materials production / Plastics				2.09513	kg CO2...
> Container glass (delivered to the end user of the contained prc Systems				0.45336	kg CO2...
> Electricity grid mix, consumption mix, at consumer, AC, 230V - Energy carriers and technologies / Ele...				0.03276	kg CO2...
> Barge, technology mix, 1.228 t pay load capacity - RER Transport services / Water				0.00320	kg CO2...
> Polyethylene terephthalate (PET) granulate, production mix, at Materials production / Plastics				-2.31476	kg CO2...
> Water depletion				0.23810	m3
> Electricity grid mix, consumption mix, at consumer, AC, 230V - Energy carriers and technologies / Ele...				0.02948	m3
> Polyethylene low density granulate (PE-LD), production mix, at Materials production / Plastics				0.00480	m3
> Boya 1.0				0.00386	m3

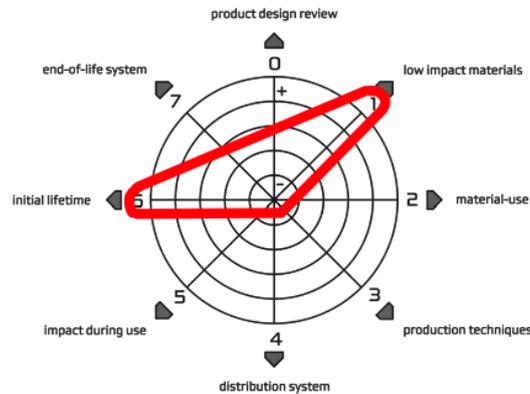
Nota: Arriba, las entradas de energía y materiales, en medio, las salidas, abajo, tabla de resultados arrojados.

El *paso 3*, fue seleccionar una o varias estrategias de mejora en la rueda de estrategias D4S. Las estrategias seleccionadas estaban ya determinadas en el prototipo de la boya: materiales de bajo impacto, y optimización de la vida inicial. *Materiales de bajo impacto* fue seleccionado porque se usó material reciclado en la producción, y *optimización de la vida inicial* porque se busca que el producto dure varios años en uso, si es posible, más que las boyas metálicas comunes. Cada estrategia tiene algunas sugerencias para llevarse a cabo, una de ellas siendo que se evitara el uso de aluminio de ser posible, debido al proceso contaminante de su extracción: el aluminio es ampliamente usado para hacer moldes, como es el caso de la empresa, y por el momento no se dispone de los recursos para tener una opción viable.

Con esto, se redactó un brief de diseño, indicando que el producto tiene que usar la mayor cantidad de material reciclado posible, tener una duración de varios años de uso, y hacer más eficiente el uso de la electricidad en el proceso, todo esto con un diseño formal que sea propio de la empresa, y distintivo entre sus competidores. Las piezas debían ser sólidas, y deben permitir su correcta instalación en la calle. El material es plástico polietileno de baja densidad, de color natural (blanco) lo cual permite agregar pigmento del color amarillo reglamentario. El

tono de amarillo está regulado, tanto en México (Norma Oficial Mexicana, 2011) como en Estados Unidos (Federal Highway Administration, 2021).

Figura 5. Rueda de estrategias



Nota: Rueda de estrategias, tomada de D4S

El *paso 4* fue la generación de ideas, partiendo del brief. En la figura 4 se muestran las ideas principales, que fueron evaluadas según las posibilidades técnicas. Modificar el molde actual para reducir costos, y añadir identificación de la empresa directamente en el producto, fueron las ideas elegidas.

El *paso 5* fue la generación de conceptos, la cual se desarrolló en dos pasos. Primero se hizo una búsqueda de productos similares en el mercado, y en base a eso se determinaron características generales. Estas fueron destacadas ya sea para luego integrarlas, o, por el contrario, generar alguna característica nueva que se distinguiera de estos competidores.

Posteriormente, se usó dicha información, junto a la que ya se tenía, para elaborar variaciones de conceptos en un software 3D. Se generó una primera ronda, la cual fue revisada y depurada, tomando en cuenta aspectos técnicos, funcionales y formales; luego se hizo una segunda y se repitió el proceso. De estas opciones, se eligió una para refinarse como la propuesta final, un diseño similar al prototipo, que se fabricaría a base del mismo molde

modificado. Otro de los diseños fue seleccionado como opción secundaria, para fabricar un molde distinto.

Tabla 2. Ideas propuestas

Idea	Ventajas	Desventajas
Molde con mayor capacidad	Admite modificar el producto y aumentar la eficiencia de la electricidad y tiempo invertidos en la producción	Alto costo, fuera de las posibilidades actuales de la empresa.
Modificar el molde prototipo	Costo más bajo que hacer un molde nuevo	Los cambios que pueden hacerse están limitados tanto en forma como en tamaño, menor al de los competidores.
Producto de mayor tamaño, varias boyas en una	Usa más cantidad de material, por lo que aumenta la producción y aumenta la eficiencia Más rápido de instalar	Requiere un molde nuevo con costo muy elevado Quita flexibilidad de uso, no permite tantas configuraciones.
Añadir identificación de la empresa en el producto	Mejora la apariencia estética del producto Aumenta la presencia de la marca de la empresa	Hay poco espacio para poner un texto o imagen visible Debe evitar interferir con el paso de los autos.
Canal en el molde para desahogar material	Saca el material sobrante y evita rebaba en las piezas.	No eliminará toda la rebaba, aun habrá áreas que tengan excedente de material.

Nota: Ideas generadas para el paso 4. Fueron seleccionadas la segunda y la cuarta.

La propuesta final se prototipó usando impresión 3D en PLA, luego lijada y pintada. La opción secundaria no fue prototipada. La impresión tiene el tamaño real del producto, por lo que es

del mismo tamaño que el prototipo inicial de plástico con el que inició el proyecto, salvo que la base es más alta, y la parte esférica más baja y chata.

Figura 6. Rondas de conceptos.



Nota: A la izquierda, primera ronda, al centro, segunda ronda, derecha, propuesta final, y extremo derecho, impresión 3D de la propuesta final, antes del acabado final.

Para el *paso 6*, la evaluación, se realizó un Análisis de Elementos Finitos, que permite simular por computadora distintas pruebas a un diseño digital en 3D. Se llevó a cabo un análisis estático estructural para encontrar la máxima presión soportada, y un análisis termal para temperaturas extremas. La simulación se realizó en el software ANSYS, mostrando que la temperatura y la presión afectan el producto, pero dentro de parámetros tolerables, por lo que no pierde usabilidad. Los resultados se detallan en el apartado de resultados.

4. Resultados

Se generó una propuesta con dos diseños: el principal, aprovecha los moldes ya existentes para tener un producto finalizado, el cual se ajustó mejor a las posibilidades de la empresa fabricante. El secundario, es una alternativa, tomando en cuenta que en el futuro puedan expandir sus posibilidades.

El diseño es de 16 centímetros por lado en la base, y 3.2 centímetros de altura, color amarilla carretera, apto para delimitar estacionamientos, áreas peatonales, zonas de baja velocidad, pero quizá no se permita su uso para delimitar carriles de calle debido al tamaño (lo cual dependerá de la regulación de cada país). La altura es menor que las boyas regulares, e incluso menor que el prototipo inicial. Lo anterior fue decidido para representar menor obstáculo a los autos, siendo su función principal delimitar y disuadir, además de que como se mencionó anteriormente, es más pequeña por lo que puede no ser útil en calles y carreteras, por lo que una altura menor es suficiente para estacionamientos y vías menos transitadas. La forma es sólida, y resiste la humedad y al descoloramiento, porque el material es del color necesario. Se instala de la misma manera que las boyas actuales, con 4 clavos. Tiene el logotipo de la empresa en la parte superior, así como un canal de desagüe para que la suciedad no se acumule en su interior. Carece de ángulos en 90 grados para mejorar la separación del molde.

Se eligió también un segundo diseño de la ronda final de ideas, como propuesta secundaria, para ser fabricado con un molde aparte. Este diseño tiene una forma cuadrada en la parte central y dimensiones más grandes (20 cm por lado), los ángulos están inclinados para evitar que la forma cuadrada quede atascada en el molde. Requiere una inversión inicial mayor,

pero ofrece un diseño distinto al de los competidores, y es del tamaño común de las boyas, por lo que se propuso como una opción posible a futuro.

Figura 7. Prototipo



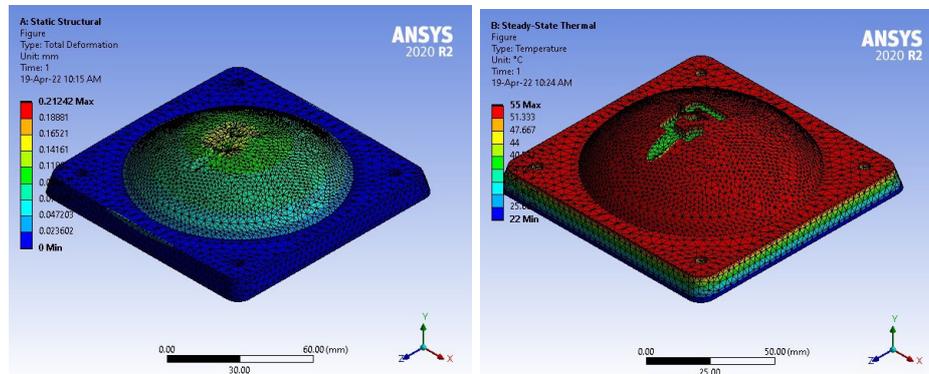
Nota: Prototipo finalizado, con el tamaño real y color aproximado que resultarían del molde modificado y el material con pigmento.

El material utilizado es adecuado para el producto, como se comprobó en la simulación por computadora. En el análisis estructural, se aplicó presión hasta encontrar la deformación del producto, la cual se encontró en la parte central y superior de la boya, donde se encuentra el relieve del logo, mostrando hundimiento máximo de .2 milímetros. El resto de la boya no se hunde completamente, ya que la forma redondeada y la base transmiten el peso hacia la calle. El análisis de temperatura se simuló hasta 55 grados centígrados, que representa el calor solar de verano de zonas extremadamente calurosas, encontrando que la temperatura más elevada se encuentra en las superiores del producto, pero manteniéndose dentro de los rangos soportados por el material.

Los resultados se consideran favorables, ya que la temperatura no afecta la boya. A pesar de que bajo extrema presión pueda hundirse en el centro de la parte superior, la mayor parte de la forma permanece sin alterar y por tanto útil, además de que la base que se sujeta con clavos a la calle no presenta deformaciones, por lo que no hay riesgo de desprendimiento.

Las boyas metálicas convencionales también sufren de abolladuras con el uso prolongado, por lo que estas deformaciones no son un impedimento para su uso.

Figura 8. Análisis en ANSYS



Nota: A la izquierda, resultado del análisis estructural, mostrando en el centro la deformación total, en amarillo y verde. A la derecha, el análisis térmico, mostrando la mayor concentración de temperatura en rojo.

Lo anterior puede ser solucionado con un material compuesto, como fibras de madera o diatomita para reforzar las propiedades físicas incluso más que con el plástico virgen (Fong Shih, Hamdiani & Ling Tsai, 2021). Esto añadiría resistencia ante la deformación, sin embargo, dicha mezcla pudiera representar un obstáculo posteriormente al tratar de reciclarlo de nuevo; el texto Design for Sustainability menciona que se deben evitar materiales difíciles de separar, como compuestos y laminados (Crul, Diehl, 2007).

5. Conclusiones

Se trabajó con las limitantes reales a las que se enfrentan muchas empresas que quieren tener productos y procesos más sustentables, pero que no cuentan con el presupuesto o equipo necesario. Al rediseñar un producto que se encontraba ya iniciado su desarrollo, se pudo proponer características dentro de las limitantes, que redujeran el impacto ecológico de las piezas fabricadas. Esto fue gracias al proceso de ecodiseño, que enfocó el proyecto y ayudó a generar ideas que surgieran directamente de los aspectos ambientales que se pudieran mejorar.

Se encontró que el problema de la rebaba pudiera resolverse con un control automatizado de la cantidad de plástico que se introduce en el molde, y no tanto con el molde mismo, por el tipo de proceso. El tamaño más pequeño puede ser una limitante para ciertas aplicaciones, sin embargo, ya que es un producto que se utiliza en grandes cantidades, una producción real pudiera costear la fabricación de mayor cantidad de moldes con distintas medias y mayor capacidad, lo que reduciría además el impacto ambiental individual de cada pieza y reduciría el tiempo de producción. Un impacto alto es el aluminio utilizado en los moldes, ya que su extracción es altamente contaminante, pero por el momento no hay otra opción disponible en la empresa para este tipo de moldes.

El color debe ser el indicado por las regulaciones, y se obtiene con un colorante, el cual debe usarse con material color "natural" (sin colorantes anteriores, es decir, blanco, o transparente). La empresa cuenta con un flujo constante de plástico, por lo que es factible encontrar este color, aunque representa una dificultad, ya que no siempre se obtiene de los mismos colores. Lo anterior puede solventarse si la boya no será utilizada en calles sino en caminos peatonales y estacionamientos, usando los colores en los que venga el plástico, siempre y

cuando la regulación no lo prohíba. El material fue también encontrado apto para el uso propuesto en este proyecto, lo que sugiere que puede investigarse su uso en productos similares para señalética de calles, o que estén expuestos a las mismas condiciones de uso.

La boya rediseñada es apta para empezar a producirse y comercializarse, sin un costo alto, pero cabe resaltar que el impacto ambiental, si bien es bajo por tratarse de material reciclado, puede bajar más si se invierte en moldes de mayor capacidad, si bien el mismo plástico reciclado ya es un material de bajo impacto, y además de larga duración en su uso. Para futuras investigaciones, se pudiera encontrar la manera de calcular de manera más exacta la cantidad colocada de material en el molde al momento de la fabricación, para eliminar la rebaba, y haciendo más eficiente tanto la producción como la huella ambiental. Pueden probarse materiales compuestos, para aumentar la resistencia física del producto. También puede investigarse con el material resultante de una boya que lleve 10 años de uso, por ejemplo, y encontrar la forma de que nunca se desheche del todo.

El diseño de producto puede ofrecer diseños que hagan mejor uso de los materiales y procesos para ayudar a las empresas a tener productos más sustentables dentro de las limitaciones que puedan existir.

6. Referencias

- Ashokcline, M., Baillie, C., Bolduc, S., Jayasinghe, R., Jung, K., Lessard, L. & Venkata, Pramathanath (2018) Banana Fiber/Low-Density Polyethylene Recycled Composites for Third World Eco-Friendly Construction Applications-Waste for Life Project Sri Lanka [Abstract]. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 37.
- Crul, M.R.M. & Diehl, J.C. (2007). *Diseño para la Sostenibilidad: Un enfoque práctico para economías en desarrollo*.
- Fong Shih, Y., Hamdiani, S. & Ling Tsai, W. (2021) An Environmentally Friendly Recycled-Polyethylene Composite Reinforced by Diatomaceous Earth and Wood Fiber. [Abstract]. *Key Engineering Materials*, 889, 15-20
- Gebremedhin, N. & Rotich, G. K. (2020) Manufacturing of Bathroom Wall Tile Composites from Recycled Low-Density Polyethylene Reinforced with Pineapple Leaf fiber [Abstract]. *International Journal of Polymer Science. Volume 2020*
- Jordan, J.L., Casem, D.T., Bradley, J.M. & Dwivedi, A.K. (2016) Mechanical Properties of Low Density Polyethylene. *Journal of Dynamic Behavior of Materials volumen 2*, 411-420
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-034-SCT2-2010, Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas. [Consultado el 21 de abril 2021] Disponible en: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4305/sct/sct.htm>
- Sezgin, H. & Yalchin-Enis, I. (2022) Mechanical Analysis of Laminated Structures Consisting of Denim Fabric and Recycled HDPE/LDPE Bottle Caps [Abstract] *Key Engineering Materials*, 907, 142-147
- US Department of Transportation, Federal Highway Administration. Manual on Uniform Traffic Devices [Consultado el 21 de abril 2021] Disponible en: <https://mutcd.fhwa.dot.gov/kno-colorspec.htm>

Zhang, S. (2020) Analysis the Property Changes of the Thermal Recycled HDPE and LDPE.
Obtenido de <https://www.theseus.fi/handle/10024/346945>

