



## DESAFÍO DE SELECCIÓN DE MATERIALES 2022 /

**Estudio y Selección de Materiales destinados a la fabricación de mallas para productos hortofrutícolas bajo principios de Eco-Diseño y Sostenibilidad del producto**

Universidad Politécnica de Madrid (ETS de Ingeniería y Diseño Industrial),  
Madrid, España

**Tutor/a:**

Pedro Armisén Bobo

**Alumnos/as:**

Óscar Lana Delgado  
Inés Barrales Cámara

## Contents

1. Resumen.....	2
2. Objetivos.....	2
3. Planteamiento del Problema .....	3
4. Solución Propuesta .....	3
5. Resultados y Conclusiones .....	4
6. Bibliografía .....	4
7. Anexos.....	5

---

### 1. Resumen

En la actualidad se emplean numerosos tipos de envases para el almacenamiento de productos alimentarios, entre los que se encuentran los sacos de malla o redes. Este tipo de envase suele destinarse al almacenamiento de productos hortofrutícolas como cítricos, cebollas, patatas y frutos secos. Además, están específicamente diseñados de forma que permiten mantener los productos alimentarios frescos y ventilados. De esta forma, se evita que se produzca una condensación que perjudique a la calidad del producto para su posterior consumo.

El desafío consiste en encontrar material/es alternativo/s que permitan almacenar este tipo de productos presentando unas prestaciones mecánicas similares a las actuales, fabricadas actualmente con filamentos de polietileno o polipropileno tejidos entre sí, para sustituirlas por un material biodegradable y/o compostable.

### 2. Objetivos

A través de las bases de datos avanzadas “Level 3 Eco Design” y “Level 3 Polymer” que ofrece el software Ansys Granta EduPack, se pretende hallar un material que reduzca considerablemente el impacto ambiental, pudiendo desecharse en el contenedor orgánico, garantizando que el tiempo de degradación de la propia malla no sea menor que el que tarde el producto de consumo en alcanzar su fecha de caducidad.

La elección de este reto o desafío reside en la valoración de los impactos ambientales que estos sacos de malla provocan en su EOL cuando los mismos terminan en los mares y océanos, perjudicando seriamente el ecosistema marino y generando las llamadas “islas de basura”. A pesar de que los sacos de malla actuales pueden ser reciclados, es posible revertir esta situación para mejorar el planeta y facilitar la vida de numerosas especies que se encuentran en peligro de extinción debido a la mala gestión de estos envases y embalajes de plástico.

### 3. Planteamiento del Problema

El problema surge de la necesidad de buscar otros materiales alternativos en la fabricación de sacos de malla para productos hortofrutícolas. Por un lado, los sacos de malla son ampliamente empleados en la venta de alimentos frescos en supermercados y otros locales, por lo que es muy importante que sean aptos para el contacto con alimentos por normativa y por seguridad. Por otro lado, el consumidor conoce que los productos de consumo no deben verse alterados en su manipulación y en su transporte, por lo que esto es un requisito fundamental a la hora de proponer otras alternativas.

Actualmente, los sacos de *Polymesh* o *Leno*, fabricados en filamentos de polipropileno entretejidos (PP), y los sacos de malla *Raschel*, fabricados con polietileno de alta densidad (HDPE), son embalajes muy adecuados para el transporte, la manipulación y el almacenamiento de productos de hasta 15 kg según las dimensiones del saco de malla. Por lo que ha de ser resistente a tracción principalmente, a la vez que ligero por sí mismo para no comprometer la experiencia del usuario. En definitiva, se busca maximizar la resistencia específica (límite elástico entre la densidad) para encontrar un material adecuado. Por otra parte, el material buscado requerirá una rigidez específica considerable para evitar su deformación en la medida de lo posible, es decir, el módulo de Young frente a la densidad del material.

Otro aspecto destacado de los actuales sacos de malla es su bajo coste, por lo que es muy importante que el coste de la alternativa no sea muy superior a los precios actuales. Actualmente una malla Raschel de naranjas pesa alrededor de 5 gramos con un coste muy bajo (2 céntimos aproximadamente). Asimismo, los sacos de malla se deben poder fabricar por hilado a partir de extrusión de los hilos con aberturas de 3 a 6 mm, puesto que los productos de consumo necesitan una excelente ventilación y que permitan traspasar la humedad para que tengan una mayor durabilidad. Los actuales sacos de malla precisan de tratamientos para la estabilización ante la radiación UV y presentar cierta durabilidad ante ácidos y bases débiles.

Finalmente, para que este cambio ofrezca realmente una respuesta ecológica y sostenible para el medio ambiente, se busca que sea reciclable y biodegradable, puesto que el propósito principal es conseguir un envase y embalaje que disminuya los desechos de plásticos no biodegradables que tardan entre 100 y 1000 años en degradarse. Por consiguiente, el tiempo de degradación de la red debe producirse lo suficientemente rápido como para no provocar impacto ambiental significativo sin comprometer la calidad de los productos de consumo.

### 4. Solución Propuesta

En definitiva, el PLA de propósito general posee mejores prestaciones mecánicas que los sacos de malla en red actuales, se puede fabricar por moldeo por extrusión, presenta una durabilidad aceptable ante la humedad, la radiación UV, los ácidos y las bases débiles. De esta manera, se consigue un material que no solo cumple con todos los requisitos, sino que es reciclable y biodegradable, objetivo marcado desde el inicio. Asimismo, su coste es asumible en comparación con otros polímeros como el PGA y su densidad no es mucho mayor que la de las actuales.

Por otro lado, el proveedor NaturWorks® LLC (comercialmente activo), Ingeo™ 4043D | PLA, lo comercializa en forma de filamentos y cumple las calificaciones y aprobaciones de la FDA de contacto con alimentos.

## 5. Resultados y Conclusiones

En un primer lugar, se ha empleado Ansys Granta Edupack en el “Level 3 Eco-Design” para hacer un filtrado, mediante una etapa árbol, para que solo se trabajara con los materiales naturales y poliméricos, además de que con estos se puedan fabricar hilos por polymer extrusion. Seguidamente, se ha aplicado una etapa límite para exigir que estos materiales sean aptos para el contacto con alimentos. Así, cinco materiales pasan las etapas que cumplen con estas características: PHA, PLGA, PGA, PLA y fécula de patata termoplástica plastificada. Rápidamente se descarta el PLGA por su elevado coste (más de 1000 €/kg); el PGA, por su parte, también es caro comparándolo con los demás (de 25,6 a 34,6 €/kg), pero se decide que permanezca en el estudio por si sus propiedades compensaran este coste. A continuación, se descarta también el PHA porque su  $T_g$  (de 12°C a 15°C) hace que su comportamiento sea inaceptable para las condiciones de trabajo del producto.

Los candidatos restantes (PLA, PGA y fécula plastificada) se someten a un análisis estructural en Ansys Workbench, siendo testadas la deformación total y la tensión equivalente de Von Mises que sufriría cada material bajo las mismas condiciones, en comparación a las del PP (material actual de referencia). Para ello se ensayó una sección de red de 20x20 cm a 22°C, cargada con 30N de peso distribuidos uniformemente sobre la superficie, cuyo perímetro se había restringido en todas direcciones.

Los resultados obtenidos (tabla 1 del anexo) demuestran que las tensiones equivalentes de Von Mises máxima sufrida por los tres materiales ensayados son muy similares a la que experimenta el PP (en todos los casos, muy inferiores al límite elástico de cada una, asegurando así un comportamiento elástico y que no se alcanza la zona de deformaciones plásticas). Además, la deformación que aparece en PLA y PGA es bastante menor que la que presenta el material actual. Sin embargo, se acaba por descartar la fécula de patata, porque esta deformación es mucho mayor que las anteriores y por su susceptibilidad al ataque de ácidos y bases débiles, lo que compromete su durabilidad.

Por último, para decidir entre PLA y PGA, se compararon los respectivos costes que sumaría cada material al producto, no el precio unitario (€/kg), sino analizando la cantidad de material que sería necesaria para un mismo volumen, lo que depende de la propia densidad del material. Finalmente, se confirmó que el mismo envase fabricado en PGA resultaba significativamente más caro, puesto que también su densidad es mayor, resultando el PLA como el candidato idóneo.

## 6. Bibliografía

(s.f.). Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4014/ANEXO?sequence=2>

(2010). Obtenido de <https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/1038706>

Aliaga, J. A. (6 de Septiembre de 2022). *Valenciaextra*. Obtenido de [https://www.valenciaextra.com/es/sociedad/dron-rescata-tortuga-marina-atrapada-red-pesca\\_515099\\_102.html](https://www.valenciaextra.com/es/sociedad/dron-rescata-tortuga-marina-atrapada-red-pesca_515099_102.html)

*e-commerce de PAMPOLS*. (28 de Marzo de 2022). Obtenido de <https://www.envaseonline.com/blog/post/todo-lo-que-necesitas-saber-acerca-de-los-sacos-de-malla>

*LC packaging*. (2022). Obtenido de <https://www.lcpackaging.com/es/industries-products/product-categories/net-bags/>

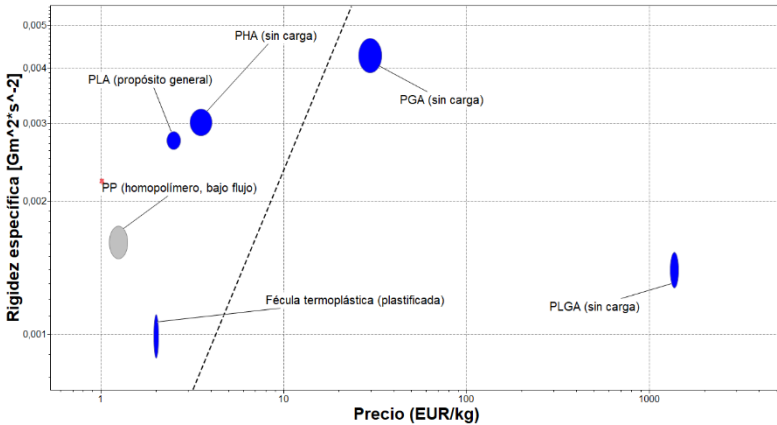
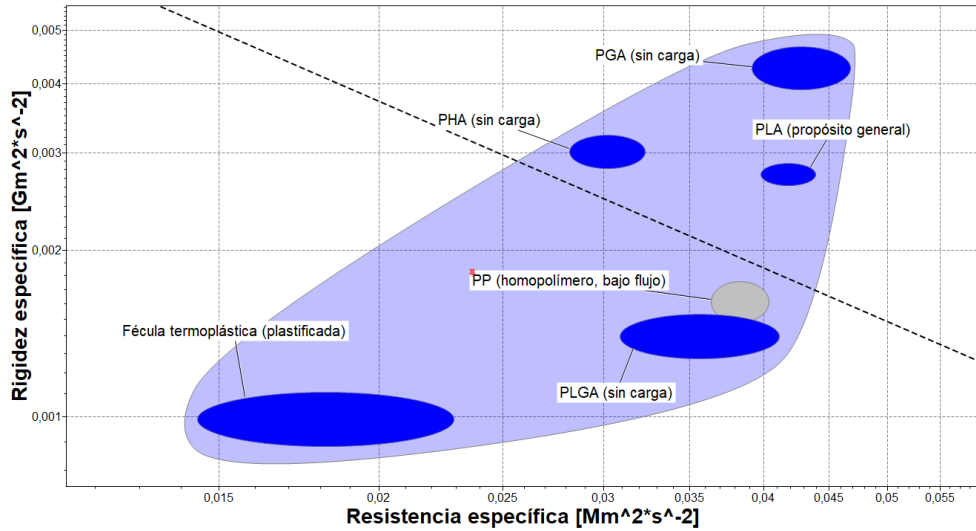
*MARUPLAST INTERNACIONAL EIRLTDA*. (s.f.). Obtenido de <https://maruplast.com/pdf/FT-MALLA-RASCHEL-65%25-OFICIAL.pdf>

## 7. Anexos

A continuación, se adjuntan los cálculos de análisis dimensional para que los ejes del gráfico se encuentren en las mismas unidades.

$$\text{Rigidez específica} = \frac{\text{módulo de Young [GPa]}}{\text{densidad} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]} = \frac{10^9 [\text{Pa}]}{\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]} = \frac{10^9 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]}{\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]} = \frac{10^9 [\text{N}]}{\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]} = \frac{10^9 \left[ \frac{\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}} \right]}{\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]} = 10^9 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right] = \left[ \frac{\text{Gm}^2}{\text{s}^2} \right]$$

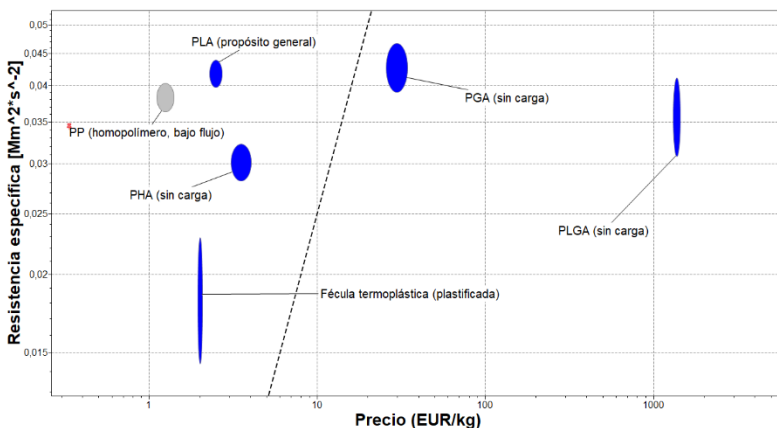
$$\text{Resistencia específica} = \frac{\text{Límite elástico [MPa]}}{\text{densidad} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]} = \frac{10^6 [\text{Pa}]}{\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]} = \frac{10^6 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]}{\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]} = \frac{10^6 [\text{N}]}{\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]} = \frac{10^6 \left[ \frac{\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}} \right]}{\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]} = 10^6 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right] = \left[ \frac{\text{Mm}^2}{\text{s}^2} \right]$$



Se busca maximizar el índice:

$$\log(M) = \log\left(\frac{E}{\rho}\right) = \log\left(\frac{E}{\rho}\right) - \log(C_m) \rightarrow$$

$$\log(M) + \log(C_m) = \log\left(\frac{E}{\rho}\right)$$



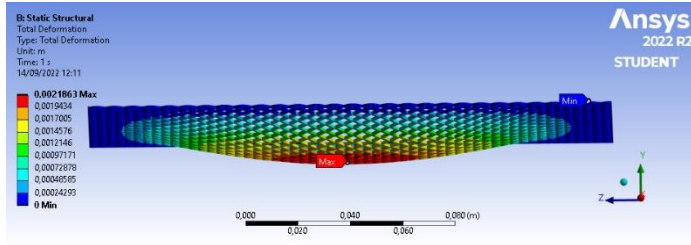
Mismo procedimiento, se busca la mayor resistencia específica al menor precio posible:

$$\log(M) = \log\left(\frac{\sigma_y}{\rho}\right) = \log\left(\frac{\sigma_y}{\rho}\right) - \log(C_m) \rightarrow$$

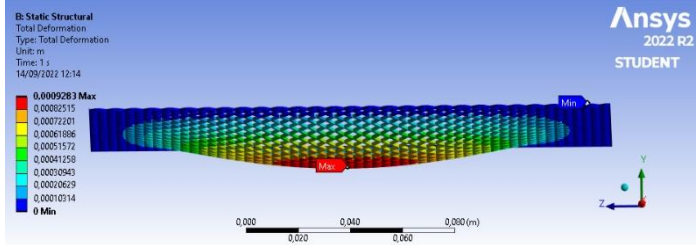
$$\log(M) + \log(C_m) = \log\left(\frac{\sigma_y}{\rho}\right)$$

Material	Deformación total máxima (mm)	Tensión equivalente de Von Mises máxima (MPa)	Límite elástico mínimo (MPa)
PP	2,18	2,12	32,9
PLA	0,93	2,14	50
PGA	0,48	2,16	61
Fécula de patata termoplástica (plastificada)	2,40	2,10	19,8

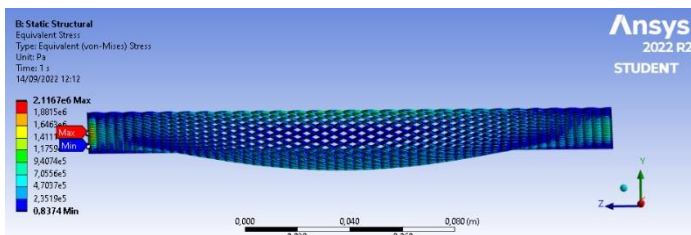
Tabla 1- Resultados análisis estructural en Ansys Workbench



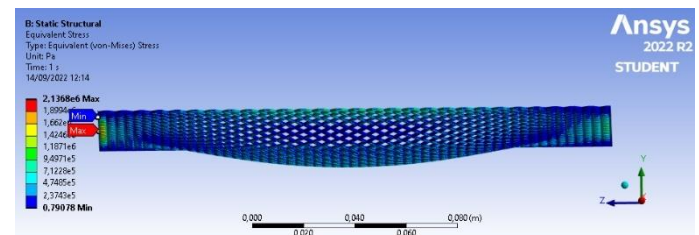
Deformación total sufrida por el PP



Deformación total sufrida por el PLA



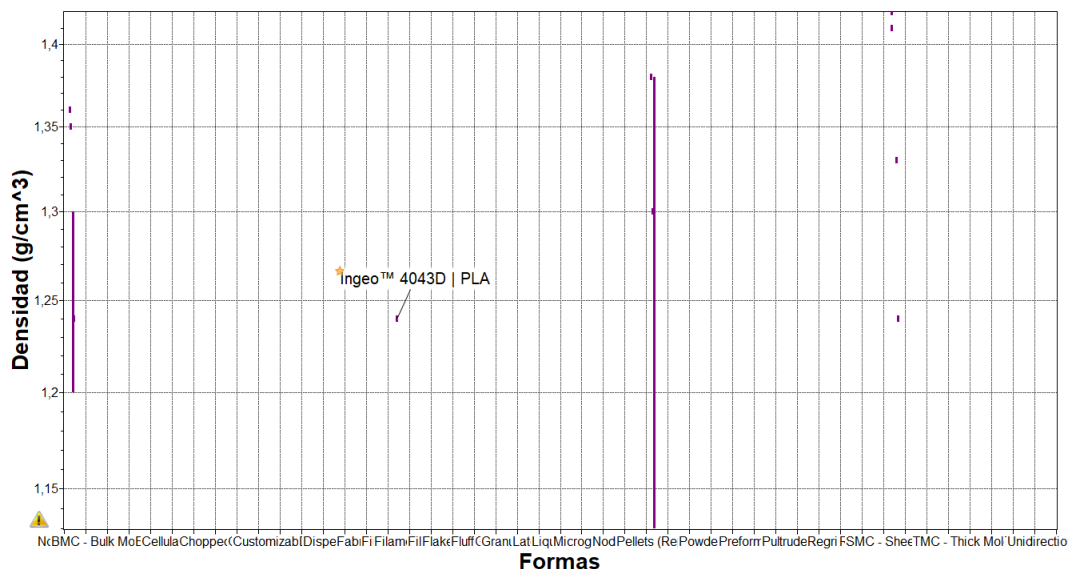
Tensión equivalente de Von Mises que experimenta el PP



Tensión equivalente de Von Mises que experimenta el PLA

Material	Rango $T_g$ (°C)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Rango precio (EUR/kg)	Masa malla simulada (kg)	Precio máx. por malla (EUR)
PP	[-14, -6]	910	[1,11, 1,29]	0,0125	0,016125
PLA	[52, 60]	1270	[2,28, 2,69]	0,0175	0,04725
PGA	[34, 43]	1600	[25,6, 34,1]	0,0221	0,75361

Tabla 2- Comparación otros datos



En la Base de Datos Avanzada *Level 3 Polymer* se ha descrito un gráfico con *Global Polymer Plastics* del *PLA general purpose*, donde se han añadido como favoritos para filtrarlos mediante etapa *Árbol*. Gracias a la etapa *Límite*, se indica que sean aptos para *Food and Drink*, y en el gráfico se puede observar que el proveedor *NaturWorks® LLC*, con nombre de producto *Ingeo™ 4043D | PLA*, se comercializa en forma de filamentos.

---

Granta's Teaching Resources website aims to support teaching of materials-related courses in Engineering, Science and Design.

The resources come in various formats and are aimed at different levels of student. This resource is part of a set of resources created by Professor Mike Ashby and Granta Design to help introduce materials and materials selection to students.

The Teaching Resources website also contains other resources donated by faculty at the ~1000 universities and colleges worldwide using Granta's CES EduPack and includes both resources that require the use of CES EduPack and those that don't.

---

## **Copyright Notes**

Ansys Inc.

[www.ansys.com](http://www.ansys.com)

## **Reproduction**

These reports can be reproduced to use with students. However, they remain copyright of Ansys. Please make sure that Ansys is credited on any reproductions. You cannot use these for any commercial purpose.

## **Accuracy**

We try hard to make sure these resources are of a high quality. If you have any suggestions for improvements, please contact us by email at [education@ansys.com](mailto:education@ansys.com).