



Envases desechables biodegradables

A. Cárdenas, D. Arasquistain, J. López, J.M. Quecedo

¹E.T.S.I. de Caminos, Canales y puertos, Universidad Politécnica de Madrid, C/ Profesor Aranguren 3, E28040, Madrid, Spain

INFORMACIÓN

Información del Proyecto:

Entrega anteproyecto 15 marzo 2021

Entrega Proyecto 21 mayo 2021

Disponible online 1 junio 2021

Keywords:

Desechable

Biomaterial

Comportamiento mecánico

ABSTRACT

Con motivo de frenar el negativo impacto ambiental que provoca el reiterado uso del plástico en la actualidad, hemos creado un material de naturaleza biológica para emplearlo como sustituto de los envases de plástico desechables. En primer lugar, llevamos a cabo un proceso de investigación para seleccionar los componentes que íbamos a emplear y planteamos una primera hipótesis acerca del material. A continuación, fabricamos numerosas muestras variando las proporciones de cada integrante y seleccionamos dos de ellas para someterlas a ensayos con el fin de poder analizar cualitativa y cuantitativamente su comportamiento, centrándonos en ciertas propiedades mecánicas y físicas. Además, hicimos un estudio de los posibles errores de medida admitidos en los ensayos, para comprobar la fiabilidad del experimento. Por último, expusimos nuestras conclusiones sobre los aspectos más relevantes del proceso de creación y caracterización del material.

© 2021 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved.

1. Introducción

Los plásticos, en su mayoría polímeros, han aportado numerosos beneficios a la sociedad moderna gracias a la gran cantidad de aplicaciones que nos ofrecen, debido a sus propiedades. Un ejemplo es su uso generalizado en la fabricación de envases desechables para alimentos impulsado por el auge del *take-away*. Sin embargo, desde que somos conscientes de que su uso tan etéreo combinado con su larga descomposición causa un gran deterioro del medio ambiente, se buscan alternativas a este material con un menor impacto ambiental.

Dar un enfoque circular al proceso de fabricación y utilización del plástico es realmente útil, pero tiene limitaciones. Tal y como admite la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, el plástico reciclado solo puede estar en contacto con alimentos bajo ciertas condiciones.

Es por ello que se ha recurrido al uso de envases de papel o cartón como son los vasos desechables, que adquieren impermeabilidad mediante la adición de una capa, en la mayoría de los casos de polietileno, para poder soportar líquidos. Esto no solo perpetúa el uso del plástico, sino que también imposibilita reciclar el envase.

Con esto, el proyecto nace de la necesidad de crear un material ecológico con el que podamos hacer envases desechables biodegradables que sustituyan a los que ya están en el mercado para evitar seguir dañando el medio ambiente.

2. Materiales y métodos

El primer paso en el proceso de creación del material fue determinar qué queríamos que nos aportara. Puesto que con él buscábamos construir envases desechables biodegradables, hemos optado por fabricar un material ligero, cuyos componentes tuvieran naturaleza biológica y no fueran tóxicos.

2.1. Componentes e instrumentos utilizados

Componentes de partida:

- Agua
- Alginato de sodio
- Cáscaras de huevo (CaCO_3)
- Conchas de mejillón (CaCO_3)

Instrumentos empleados:

- Báscula digital
- Batidora de vaso
- Olla
- Recipientes
- Varilla

2.2. Proceso de fabricación

En primer lugar, cocemos en una olla las cáscaras de huevo y las conchas de mejillón durante 15 minutos, con el fin de eliminar las bacterias que puedan tener. A continuación, secamos las cáscaras y las conchas en el horno a 100 °C durante 15 minutos.



Fig. 1. Las cáscaras y las conchas cociéndose y secándose



Fig. 2. Las cáscaras y las conchas antes y después de ser trituradas

Una vez preparados los componentes hicimos un primer material con 22 ml de agua, 5 g de alginato, 10 g de cáscaras de huevo y 10 g de conchas de mejillón. El procedimiento es muy sencillo: mezclamos el alginato y el agua hasta que estén bien integrados y añadimos las cáscaras y las conchas (debe hacerse en poco tiempo, pues el alginato empieza a solidificar rápido). Después extendemos la masa resultante en una bandeja con papel vegetal y la introducimos en el horno durante 5 minutos a 50 °C. Cuando lo sacamos del horno lo dejamos secar al aire durante 24 horas.



Fig. 3. Componentes de partida y resultado del primer material

A partir de este primer material hemos realizado una serie de pruebas variando las proporciones de cada uno de los componentes e introduciendo otros hasta dar con un material que pudiera desempeñar la función que habíamos propuesto.

Por ejemplo, la falta de rigidez del material de partida nos hizo pensar en utilizar otro espesante además del alginato, como la maicena, que al añadirla aportó más consistencia al material. Asimismo, probamos a sustituir el alginato por gelatina, con lo que obtuvimos un material más duro y frágil, y a introducir vinagre para contribuir a la solidificación.



Fig. 4. Dos de los materiales obtenidos en las pruebas

Realizar un gran número de ensayos nos ayudó a entender cómo interacciona cada elemento con los demás y qué nos aportaba cada uno de ellos. De esta manera hemos podido determinar qué componentes y qué proporciones eran idóneos para crear el material que estábamos buscando.

De todos los materiales obtenidos hemos elegido dos para realizar una descripción física, una observación cualitativa, un análisis cuantitativo, crear un modelo de comportamiento, establecer una correlación entre el comportamiento macroscópico y la microestructura del sistema, y verificar la hipótesis de partida.

2.3. Materiales a analizar

Los materiales fabricados son compuestos, pues observamos una fase continua, la matriz, que rodea a otra discontinua, el refuerzo. En este caso la matriz es cerámica y el refuerzo son partículas de cáscara de huevo y/o concha de mejillón.

Material 1

El material está compuesto por 25 ml de agua, 25 g de cáscaras de huevo, 3 g de alginato y 3 g de gelatina neutra en polvo.

Para su fabricación comenzamos disolviendo la gelatina en polvo en el agua. Una vez disuelta (no más de 1 min) añadimos el alginato y lo integramos. Posteriormente, sin mucha espera, añadimos las cáscaras y mezclamos bien hasta obtener una especie de plastilina. Por último, extendemos la mezcla sobre un papel de horno (nos podemos ayudar con un molde), y la horneamos durante 10 minutos por cada lado a 70 °C con calor arriba y abajo (si es posible con aire). Para su secado y endurecimiento total se dejará secar durante un mínimo de 24 horas.



Fig. 5. Material 1 y sus componentes

Material 2

Este material está compuesto por una matriz cerámica de 50 ml de agua, 20 g de maicena y 3 g de alginato, y un refuerzo de 30 g de cáscara de huevo y 5 g de concha de mejillón.



Fig. 6. Componentes y proceso de fabricación del material 2

Para fabricarlo empezamos disolviendo la maicena en agua fría. A continuación, añadimos el alginato y lo integramos bien. Por último, agregamos las conchas y las cáscaras. Una vez obtenida la mezcla la extendemos en una bandeja con papel vegetal y la introducimos al horno durante 10 minutos a 50 °C. Posteriormente dejamos secar al aire durante 24 horas aproximadamente. Antes de solidificar, cuando el material ya ha adquirido cierta consistencia se le puede dar forma de probeta muy fácilmente, pues se comporta como una arcilla.

2.4. Métodos de ensayo

Una vez obtenidas las muestras hemos desarrollado métodos de ensayo para la caracterización del material, centrándonos en determinar ciertas propiedades mecánicas y físicas.

2.4.1. Ensayo de tracción

En el ensayo de tracción una probeta es sometida a una tensión uniaxial hasta provocar su rotura. Con este ensayo se miden propiedades mecánicas como el módulo elástico o la tensión a rotura.

Para realizar el ensayo con ambos materiales hicimos uso de unas pinzas, una cuerda y una botella (o un cubo en caso de necesitar aumentar más la carga). En la longitud calibrada de la

probeta hicimos dos pares de marcas y medimos la longitud entre ellas (L0). Con la ayuda de un embudo fuimos metiendo arroz que previamente habíamos pesado y midiendo de nuevo la longitud entre marcas sucesivamente.



Fig. 7. Ensayo de tracción del material

Para ninguno de los dos materiales fuimos capaces de apreciar apenas deformación por cada tanda que introducíamos arroz. Únicamente pudimos determinar la deformación total que experimentó la probeta hasta romper al alcanzar la carga máxima. Este comportamiento que observamos es típico de los materiales frágiles, como los cerámicos. Al no exhibir deformación plástica y, como además suelen presentar un módulo elástico bastante alto, determinar por medios caseros la deformación resulta muy difícil.

Es por esto que decidimos hacer un ensayo de flexión en tres puntos para poder llevar a cabo el análisis cuantitativo de las propiedades mecánicas con mayor precisión.

2.4.2. Ensayo de flexión en tres puntos

En el ensayo de flexión en tres puntos una probeta, apoyada en los extremos, es sometida a una fuerza en su eje perpendicular. De esta manera se puede evaluar el comportamiento esfuerzo-deformación y la resistencia a flexión de materiales frágiles.

Para llevar a cabo el ensayo de flexión en tres puntos hemos diseñado un mecanismo para obtener los datos más exactos posibles de manera casera. Para ello hemos utilizado dos libros que hicieran de soporte para la probeta y otros dos que hicieran de apoyo en los extremos esta. En el centro de la probeta colocamos un recipiente estrecho en el que colocar la carga en su eje perpendicular. Para registrar la deformación que iba sufriendo el material a medida que añadíamos peso al

recipiente colocamos un papel milimetrado en una pared detrás de la muestra. De esta manera, con una cámara fija en un trípode, fuimos haciendo fotografías a la probeta cada vez que aumentábamos la carga.



Fig. 8. Ensayo de flexión en tres puntos del material

Puesto que con nuestros materiales pretendíamos hacer envases desechables biodegradables, hemos tenido que analizar si era viable utilizarlos como vasos u otros recipientes que contuvieran líquidos. Es por ello que hemos realizado los mismos ensayos habiendo sumergido en agua durante 3 minutos las muestras para comparar el comportamiento de los materiales secos y mojados. También hemos cuantificado la capacidad de absorción de agua mediante la comparación de densidades antes y después de sumergir las muestras.

3. Resultados

Tras llevar a cabo los distintos ensayos citados anteriormente hemos agrupado los datos obtenidos para realizar un análisis cuantitativo de las propiedades mecánicas y físicas. También hemos valorado ciertas observaciones cualitativas que hemos considerado relevantes.

3.1. Ensayo de tracción

3.1.1. Material 1

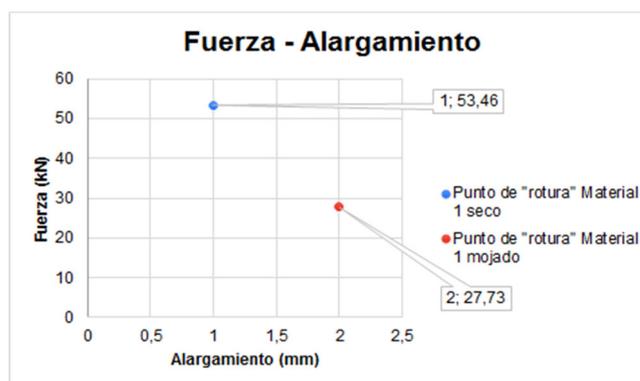


Fig. 9. Gráfica Fuerza-Alargamiento del ensayo de tracción del material 1 (Comparación seco-mojado)



Fig. 10. Gráfica Tensión-Deformación del ensayo de tracción del material 2 (Comparación seco-mojado)

En el ensayo de tracción en seco no conseguimos que la probeta partiera debido a que los medios de los que disponíamos eran limitados. Tras añadir casi 6 kg de peso, la pinza que sujetaba la probeta se resbalaba, siendo esta no demasiado delgada (3,5 mm), pues sabíamos que este era un factor que pudo haber influido en la no rotura del material. A la hora de analizar los datos obtenidos en este ensayo tomaremos la máxima tensión como tensión de rotura.

3.1.2. Material 2

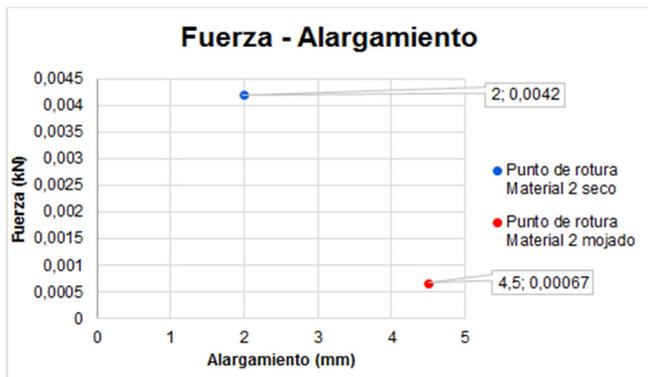


Fig. 11. Gráfica Fuerza-Alargamiento del ensayo de tracción del material 2 (Comparación seco-mojado)

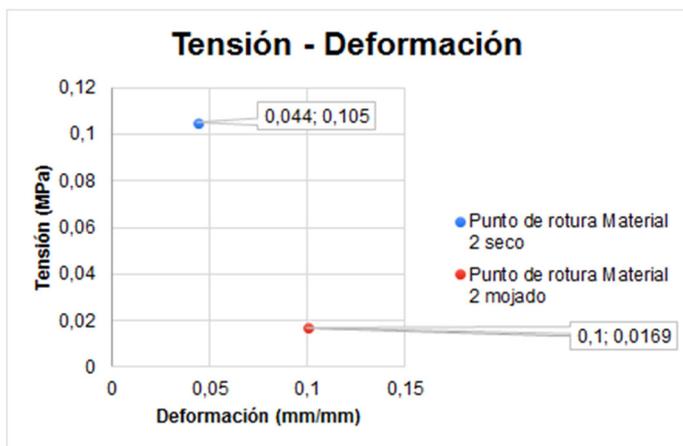


Fig.12. Gráfica Tensión-Deformación del ensayo de tracción del material 2 (Comparación seco-mojado)

A causa de los escasos medios de los que disponíamos, no hemos podido llevar a cabo un análisis cuantitativo completo del material. Únicamente hemos obtenido la tensión y el alargamiento a rotura.

A la vista de los resultados plasmados en las gráficas tensión-deformación, el material 1 es mucho más rígido, soportando tensiones de tres órdenes de magnitud más que el material 2, y la deformación que llega a experimentar, en comparación, no es mucho menor.

Además, en gráficas de los dos materiales podemos observar cómo su comportamiento es totalmente distinto después de estar en contacto con el agua. En ambos casos al mojarse es mucho más dúctil, pero apenas soporta deformación. Sin embargo, el material en seco presenta una mayor rigidez, aunque menor tolerancia a la deformación.

3.2. Ensayo de flexión en tres puntos

3.2.1. Material 1

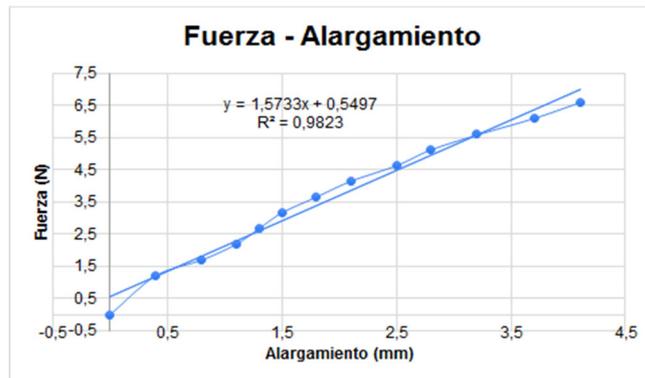


Fig. 13. Gráfica Fuerza-Alargamiento del ensayo de flexión en tres puntos en seco del material 1

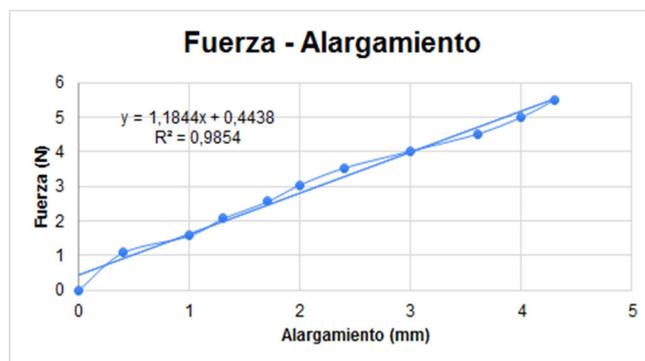


Fig. 14. Gráfica Fuerza-Alargamiento del ensayo de flexión en tres puntos en mojado del material 1

En los ensayos de flexión este material tampoco presentó rotura debido al espesor de la probeta sometida al ensayo y por la restricción de poder añadir más peso progresivamente al material. Al igual que en el ensayo anterior, a la hora de analizar los datos obtenidos en este ensayo tomaremos la máxima tensión como tensión de rotura.

3.2.2. Material 2

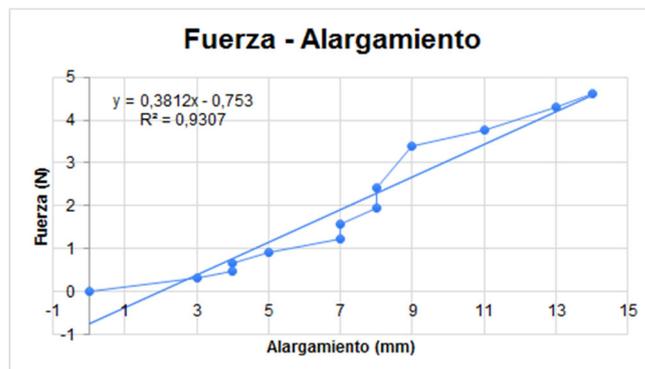


Fig. 15. Gráfica Fuerza-Alargamiento del ensayo de flexión en tres puntos en seco del material 2

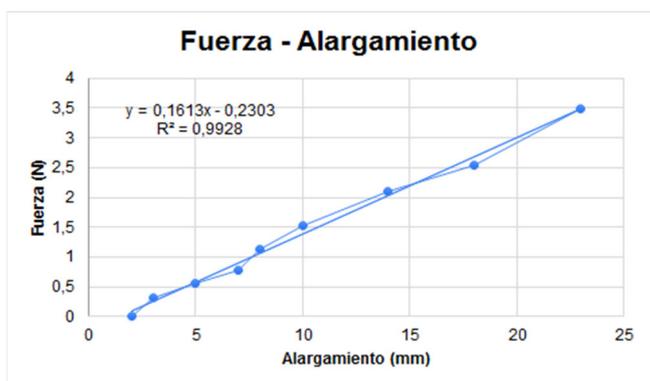


Fig. 16. Gráfica Fuerza-Alargamiento del ensayo de flexión en tres puntos en mojado del material 2

Los resultados obtenidos en los ensayos de flexión nos muestran en ambos materiales una correlación lineal entre la fuerza aplicada y el alargamiento, lo que significa que la deformación que está sufriendo la probeta es elástica.

Con las gráficas fuerza-alargamiento no podemos hacer una comparación tan rigurosa, pues las dimensiones de las probetas eran distintas. Sin embargo, sí hemos podido obtener el módulo tangente y la resistencia a flexión (o módulo de rotura) que se muestran en la Tabla 1.

El módulo tangente se corresponde con la pendiente de la parte lineal de la gráfica fuerza-alargamiento y es una medida de la rigidez del material. Por otro lado, la resistencia a flexión viene determinada por la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{3FL}{2bd^2} \tag{1}$$

Siendo d el grosor, L la longitud y b la anchura

Tabla 1. Módulos obtenidos del ensayo de flexión en tres puntos

	Material 1		Material 2	
	Seco	Mojado	Seco	Mojado
Módulo tangente (MPa)	1,57	1,18	0,38	0,16
Resistencia a flexión (MPa)	12,88	10,72	5,1	1,91

Así podemos afirmar que la rigidez del material 1 es mayor y que esta propiedad disminuye al estar el material en contacto con agua. En cambio, el material 2 presenta una mayor flexibilidad.

3.3. Absorción de líquido

El objetivo principal de este ensayo era observar cómo se comportan los materiales al estar en contacto con líquidos y, de esta manera, determinar si son adecuados para emplearlos en la fabricación de vasos u otros recipientes desechables que contengan líquidos.

Además, hemos podido comparar y determinar cuantitativamente la capacidad de absorción de líquido de ambos materiales al sumergirlos durante el mismo tiempo en agua.

Tabla 2. Densidad en seco y húmedo de los materiales estudiados

	Material 1	Material 2
Densidad en seco (g/cm ³)	1,442	0,0265
Densidad en húmedo (g/cm ³)	1,827	0,0412
ΔDensidad (%)	26,7	55,47

A la vista de los resultados, el material 1 absorbe menos cantidad de líquido y sería el más adecuado para emplearlo en la fabricación de vasos. Sin embargo, en ambos casos hemos podido detectar cómo el agua, al entrar en contacto con el material, iba disolviendo poco a poco algún componente como puede ser la maicena.

Debido a esto descartamos la idea de emplear estos materiales en la fabricación de productos que estén en contacto con líquidos por no

presentar la debida impermeabilidad. Para intentar solucionarlo estuvimos investigando la posibilidad de utilizar algún tipo de impermeabilizante natural. Dimos con uno a base de baba de chumbera (nopal), pero no tuvimos la oportunidad de hacerlo.

3.4. Errores de medida

A la hora de obtener los datos numéricos, como en todo experimento científico, tuvimos en cuenta los diversos errores que, tanto durante las mediciones, como a la hora de obtener los datos, hemos podido cometer.

Respecto a los errores de medición directos, con el fin de reducirlos lo máximo posible, cada medición fue realizada 3 veces, con el fin de que el error solo estuviera sujeto a la precisión de nuestros instrumentos de medida.

En el caso de la báscula para obtener la masa, el error es de 1 g, y en el caso de las longitudes, la regla numérica contaba con una precisión milimétrica.

En el caso de las medidas indirectas, para obtener el error utilizamos la diferenciación directa, haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$\Delta M = \left| \frac{\partial M}{\partial x} \Delta x \right| + \left| \frac{\partial M}{\partial y} \Delta y \right| + \left| \frac{\partial M}{\partial z} \Delta z \right| \tag{2}$$

Tomamos $M=M(x, y, z)$

Por tanto, los errores a obtener fueron: la tensión, la deformación, la resistencia a flexión y la densidad. Siendo matemáticamente:

- Tensión: $\sigma = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}}$; $\Delta\sigma = \frac{\partial\sigma}{\partial F} \Delta F + \frac{\partial\sigma}{\partial A} \Delta A$

Siendo $\Delta\sigma = 1,5 * 10^{-4} \text{MPa}$

- Deformación $\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0}$; $\Delta\varepsilon = \frac{\partial\varepsilon}{\partial L} \Delta L + \frac{\partial\varepsilon}{\partial L_0} \Delta L_0$

Siendo $\Delta\varepsilon = 0,45 * 10^{-2} \text{mm}$

- Resistencia a flexión $\sigma_{mr} = \frac{3FL}{2bd^2}$

(Donde d es el grosor, L la longitud y b la anchura)

$$\Delta\sigma_{mr} = \frac{\partial\sigma_{mr}}{\partial F} \Delta F + \frac{\partial\sigma_{mr}}{\partial L} \Delta L + \frac{\partial\sigma_{mr}}{\partial b} \Delta b + \frac{\partial\sigma_{mr}}{\partial d} \Delta d$$

Siendo $\Delta\sigma_{mr} = 2,1 * 10^{-3} \text{MPa}$

- Densidad: $\rho = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$; $\Delta\rho = \frac{\partial\rho}{\partial m} \Delta m + \frac{\partial\rho}{\partial v} \Delta v$

Siendo $\Delta\rho = 6,8 * 10^{-4} \text{g/mm}^3$

La variación de cada magnitud, expresada como ΔM , es la media de las variaciones de las distintas composiciones y condiciones

Después de realizar los cálculos hemos podido concluir que la obtención de datos en los experimentos fue precisa, dando fiabilidad al experimento, ya que la variabilidad de nuestros resultados se encuentra a 4 órdenes de magnitud por debajo de nuestros resultados.

3.5. Creación de un modelo de comportamiento

Los resultados obtenidos en los ensayos de flexión revelan datos muy interesantes. Además de determinar el módulo tangencial y la resistencia a flexión, nos muestran en ambos materiales una buena correlación lineal entre la fuerza aplicada y el alargamiento producido en la probeta ($R^2 \approx 1$). Esto es, en otras palabras, que existe una clara tendencia o evolución de las propiedades mecánicas de los materiales que podemos predecir aplicando la ecuación que nos proporciona la línea de tendencia. Por ejemplo: si hiciéramos el ensayo de flexión del material 1 con un dispositivo especializado de flexión, obteniendo

únicamente la carga de rotura podríamos saber también el alargamiento a rotura mediante la ecuación correspondiente.

Asimismo, hemos podido establecer una correlación de forma cualitativa entre el comportamiento macroscópico y la microestructura del sistema, pues los ensayos realizados demuestran que, entre otros factores, introducir gelatina en la fabricación del material hace que este sea claramente mucho más rígido.

4. Conclusiones

A lo largo del proceso de creación y caracterización del material hemos tenido dificultades debido a que contábamos con distintas limitaciones, como por ejemplo la falta de dispositivos especializados a la hora de realizar ensayos. Aun así, hemos podido llevar a cabo un análisis cuantitativo, además del cualitativo, del comportamiento del material y relacionarlo con su microestructura.

De manera experimental hemos observado y aprendido cómo interactuaban los componentes entre sí y qué aportaba cada uno de ellos. Así pues, hemos tomado conciencia de la importancia de las proporciones de cada componente, ya que al variar la composición de la mezcla hemos obtenido materiales con distintas propiedades y, en consecuencia, distintas aplicaciones.

Por otra parte, los ensayos adaptados a los escasos medios de los que disponíamos nos han proporcionado, sorprendentemente, datos muy relevantes que nos han permitido medir propiedades mecánicas como la tensión a rotura, el módulo tangente o la resistencia a flexión. Además, podemos justificar la fiabilidad de los experimentos tras haber realizado un análisis de errores en la medida con resultados satisfactorios.

A pesar de haber comprobado que el material no es apto para la retención de líquidos, creemos que puede ser muy competente frente a ciertos productos que tampoco presentan suficiente permeabilidad.

Con esto, podemos concluir que hemos alcanzado el objetivo de fabricar un material que pueda desempeñar la función de un envase desechable para alimentos con un mínimo impacto ambiental.

5. Agradecimientos

Queremos aprovechar la ocasión para agradecer a nuestras familias la ayuda que nos han ofrecido en la realización de experimentos y ensayos. También queremos dar las gracias a los profesores de la asignatura por resolver las dudas que nos han ido surgiendo a lo largo del proceso de realización del trabajo.

6. Bibliografía

Durante todo el proceso de investigación y aprendizaje hemos recurrido a distintas fuentes: desde artículos escritos en periódicos tratando el riesgo del uso de plásticos no reciclables, páginas web que introducen el uso de conchas de mejillón como componente de biomateriales, hasta presentaciones de clase de otras universidades con el fin de ampliar los conocimientos en cerámicos y vidrios.

Cabe destacar también que la exposición *Materia Gris* del *Madrid Design Festival 2021* nos sirvió de inspiración y nos descubrió materiales biológicos en un contexto que hasta el momento desconocíamos.

- [1] Página web: <https://vivirsinplastico.com/la-cara-oscura-de-los-vasos-desechables/>
- [2] Página web: https://www.eldiario.es/consumoclaro/por_derecho/tiene-riesgos-usar-envases-plastico-reciclado-para-alimentos_1_1372689.html
- [3] Página web: <https://www.veritasmiedios.org/tecnologia/platos-desechables-hechos-con-cascaras-de-huevo.html>

- [4] Página web: <https://materiom.org/recipe/122>
- [5] Página web: <https://midushikochhar.squarespace.com/#/a-waste-project-1/>
- [6] Página web: <https://es.slideshare.net/guillermoacevedovivanco/clase-12-ceramicos-y-vidrios-miercoles-1>
- [7] Página web: <https://www.lifegate.com/biomaterials-design-future#food-waste>
- [8] Página web: <https://materiom.org/recipe/199>
- [9] Página web: <http://mensacivica.com/envases-biodegradables-a-partir-de-cascara-de-huevo/>
- [10] 'Diapositivas clase de cerámicos y vidrios'
- [11] 'Presentación uc3m ensayos mecánicos': http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/bloque-iii/Tema-7-Ensayos_mecanicos.pdf
- [12] Página web: <https://www.caropacheco.work/calcareo>
- [13] 'Ensayos de flexión en plásticos': <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/como-realizar-una-prueba-de-flexion-en-plasticos-segun-astm-d790>