



# TerMa™

A. Cabrera, M. López, D. Blasco, I. Milara

E.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 julio 2021

### Keywords:

Biopolímero

Propiedades mecánicas

## ABSTRACT

En este artículo se exponen los procedimientos necesarios para la fabricación de un biopolímero, buscando ser un posible sustituto de los plásticos y otros materiales.

También se incluyen los ensayos realizados para determinar las propiedades del material y su posibilidad en la implantación del material en sus posibles aplicaciones. Además, se explicarán los diferentes problemas con los que nos hemos ido encontrando a lo largo del proceso.

© 2021 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved

## 1. Introducción

En este trabajo realizamos la producción de un biopolímero a partir de almidón, una macromolécula compuesta por dos polímeros de glucosa, estos son la amilosa y la amilopectina. Usaremos una matriz polimérica y una fase dispersa como puede ser arena o carbonato cálcico que obtendremos de la cáscara de huevo.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Materiales

Los materiales necesarios para realizar este proyecto son fáciles de conseguir y con un precio asequible.

La materia prima principal que necesitaremos es harina fina de maíz, también conocida como harina de fécula de maíz (maicena), de la cual extraeremos el almidón que conformará la matriz polimérica.

A su vez también utilizamos vinagre blanco al 7% para extraer el almidón y glicerina pura, la cual aportará consistencia, elasticidad y estabilidad al polímero.

También usamos carbonato cálcico extraído de cáscaras de huevo y arena como fase dispersa del material, los cuales mejorarán las propiedades térmicas del material final.

Además, como utensilios usamos un recipiente donde poder mezclar los materiales y posteriormente poder calentarlo, una cuchara antiadherente para remover y homogeneizar la mezcla y como medidas de seguridad utilizamos mascarillas y guantes.



Figura 1. Algunos materiales utilizados

### 2.1. Proceso de fabricación

Comenzamos el proceso de fabricación del material, midiendo las cantidades necesarias de cada materia prima y echándolo todo en un cazo u olla.

Tabla 1. Proporciones de ingredientes 1

Agua	Maizena	Glicerina	Vinagre
4 cucharadas	1 cucharada	1 cucharada	1 cucharada

Una vez mezclamos todo, encendemos el fuego bajo y empezamos a remover poco a poco para que la mezcla se caliente de forma uniforme. En este momento añadimos la cáscara de huevo o la arena, previamente triturada. Poco a poco veremos como el líquido se evapora y nos queda un líquido no newtoniano<sup>1</sup> homogéneo. Hay que ser cuidadoso ya que la combustión de glicerina produce vapores de acroleína a temperaturas en torno a 200 °C, por ello es indispensable el uso de guantes y mascarilla.

Cuando nuestra masa está lista la dejamos enfriar sobre film transparente o papel vegetal. Con mucho cuidado le damos la forma de las probetas y dejamos secar hasta que estén duras.

<sup>1</sup> Líquido no newtoniano: son aquellos los cuales su viscosidad varía con la velocidad que se aplica. Cuando se hace muy rápido el líquido se vuelve muy viscoso y por lo tanto se vuelve prácticamente sólido. (no cumplen la Ley de Newton:  $\tau = F/A = \mu (dv/dy)$ )



Fig. 2. Cáscara de huevo triturada (izquierda) y masa con cáscara de huevo (derecha)

## 2.2. Resultados de la fabricación del material

Una vez finalizado el proceso de fabricación del material obtenemos una masa de volumen uniforme con un color similar al de la cascara de huevo o arena en cada caso. A simple vista podemos diferenciar la cascara de huevo y los granos de arena.



Fig. 3. Muestras del material sinterizado

## 3. Ensayos y resultados obtenidos

Hemos realizado diferentes ensayos con un material con unas densidades (masa/volumen) de:

Tabla 2. Densidades 1

	VOLUMEN (mm) ±1 mm	MASA (g) ±1 g	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> ) ±30 g/cm <sup>3</sup> (huevo) ±17 g/cm <sup>3</sup> (arena)
Biopolímero de huevo	4x29x28	4	1,23
Biopolímero de arena	7x30x28	9	1,53

La densidad del TerMa esta entre las densidades del polietileno de alta densidad (0,95g/cm<sup>3</sup>) y el cemento (2,8 g/cm<sup>3</sup>), lo que nos abre un abanico de posibles aplicaciones interesantes para este material.

### 3.1. Resistencia térmica a fuego directo

Los resultados obtenidos en este ensayo son realmente interesantes, pues aplicando fuego directo de un mechero, los cuales tienen temperaturas de unos 800-1000 °C.

El biopolímero de arena resiste altas temperaturas sin llegar a la combustión del mismo.

En cuanto al biopolímero de huevo obtuvimos que tiene un comportamiento similar, pero con capacidades de aislamiento térmico peores que explicaremos más adelante.

También hemos podido comprobar que a mayor tamaño de grano obtenemos propiedades peores, esto se da debido a que si el grano es mayor quedan huecos ocupados solo por maicena, la cual sí que arde más fácilmente.



Fig. 4. Material tras ser sometido a fuego directo

### 3.2. Humedad

Con esta prueba medimos la capacidad de absorción de agua de nuestro material. Como resultados de esta prueba obtuvimos que el biopolímero de arena era permeable y el biopolímero de carbonato cálcico era impermeable.



Figura 6. Biopolímero huevo impermeable

### 3.1. Capacidad aislante

Tras comprobar que nuestras dos probetas de unos 5 mm de espesor aguantaban los 800 °C de la llama del mechero durante al menos 1 minuto, medimos la temperatura de la cara que no fue expuesta al fuego directo.

Obtuvimos que tras ser quemadas la probeta de arena tenía una temperatura de unos 40 °C, esto fue una gran noticia pues nuestro mayor objetivo era conseguir un polímero de los llamados "high heat". En cambio, en la cara posterior de la probeta de huevo fueron 80 °C, por lo tanto, podemos afirmar que la probeta de arena es mejor térmicamente hablando. Esto no fue ninguna sorpresa ya que la sílice tiene mejores propiedades térmicas que el carbonato de calcio.

### 3.2. Dureza

Este tipo de ensayos permite medir la resistencia del material a ser rayado o penetrado por una pieza de un material diferente. Nosotros utilizamos la escala de Mohs para determinar la dureza del material.

Como resultados obtuvimos que el biopolímero de huevo tenía una dureza de 3/10 en la escala de Mohs, mientras que el biopolímero de arena tenía una dureza de 6/10 en la escala de Mohs.

### 3.3. Ensayos de tracción

Colgamos nuestras probetas de dos hilos, en el extremo inferior le colgamos una botella y comenzamos a llenarla poco a poco, lo que ejercerá un peso debido a la fuerza de la gravedad. Este ensayo lo hemos realizado en dos escenarios, el primero con el material en estado normal sin haber sido sometido a otras pruebas previamente y un segundo escenario en el que realizaremos el ensayo con el material sometido previamente a fuego directo.

Tabla 3. Resistencia a tracción de los materiales tras ser sinterizados y tras su exposición a fuego directo durante 60 segundos

Ensayos de tracción en probetas recién sinterizadas			Ensayos de tracción tras exposición a fuego directo		
Biopolímero de huevo		Biopolímero de arena	Biopolímero de huevo		Biopolímero de arena
Muestras	Resistencia a tracción (N/m <sup>2</sup> )	Muestras	Resistencia a tracción (N/m <sup>2</sup> )	Muestras	Resistencia a tracción (N/m <sup>2</sup> )
1	0,1962 (1.5 kg)	1	0,176 (1.36 kg)	1	0,357 (2.73 kg)
2	0,2158 (1.65 kg)	2	0,189 (1.45 kg)	2	0,366 (2.80 kg)
3	0,28776 (2.2 kg)	3	0,195 (1.49 kg)	3	0,349 (2.67 kg)
4	0,24 (1.84 kg)	4	0,179 (1.37 kg)	4	0,354 (2.71 kg)
5	0,248 (1.9 kg)	5	0,198 (1.51 kg)	5	0,363 (2.78 kg)

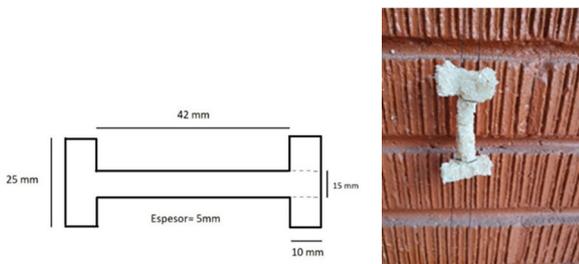


Fig. 7. Dimensiones de la probeta (izquierda) y disposición del ensayo de tracción (derecha)

Fig 8. Disposición del ensayo de tracción

El cálculo de la resistencia a tracción se ha realizado mediante la fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{1}$$

Donde F es la fuerza aplicada y A el área de la sección central de la probeta determinada según las dimensiones de la Fig. 7.

Los resultados de los ensayos de tracción en los distintos materiales se muestran en la Tabla 3, para probetas recién sinterizadas y para aquellas sometidas a exposición a fuego directo durante 60 segundos y enfriadas ligeramente antes de realizar el ensayo. Con estos resultados hemos podido observar que tras someterlo a fuego directo y un enfriamiento posterior el material endurece considerablemente. Se trata de un material muy duro que no soporta apenas deformación, es extremadamente frágil.

### 3.4. Ensayo de flexión

Este ensayo tiene como objetivo describir las propiedades mecánicas del material asociadas a la flexión. Para ello aplicamos una carga en el punto medio de la probeta.

Conseguimos estos resultados para el biopolímero de huevo:

Tabla 4. Resistencia a flexión del biopolímero de huevo

Muestra	Máximo soportado	Fuerza de rotura
1	0,315 kg	3,09 N
2	0,226 kg	2,217 N
3	0,367 kg	3,6 N
4	0,232 kg	2,275 N
5	0,324 kg	3,178 N

Nuestro material soporta muy poca carga a flexión debido a que es extremadamente rígido

### 3.1. Observación microestructural

A vista macroscópica podemos observar que el biopolímero presenta granos milimétricos tanto de huevo triturado y arena tamizada distribuidos en la matriz del bioplástico base. Observando a 100

aumentos con un microscopio óptico confirmamos que, aunque bien es cierto que en algunas zonas encontramos estas incrustaciones, en la totalidad del biopolímero predominan granos microscópicos producto del triturado del huevo que originó polvo de carbonato de calcio y granos microscópicos del polvo de la arena tamizada, dando lugar a una distribución homogénea de ambas fases que actúan como refuerzo de propiedades cerámicas del biomaterial base de maicena.

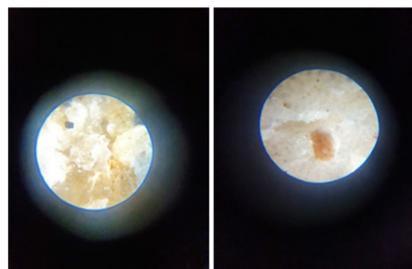


Fig. 9. Micrografía de los materiales

Esta distribución homogénea se consigue durante el proceso de fabricación, creando un grano que no supere nunca 1mm, consiguiendo si es posible polvo fino que sea capaz de distribuirse por todo el volumen del bioplástico base, con concentraciones de polvo cerámico no inferiores al 40 % del volumen del biopolímero. También cabe destacar que esta distribución únicamente ocurre cuando se calientan todos los componentes de forma lenta y progresiva, evitando la creación de grumos que dificultan la distribución plena de los componentes.

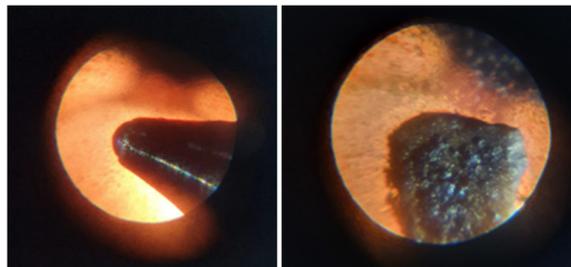


Fig. 10. Micrografía de las muestras tras la exposición a fuego directo. Punta de bolígrafo empleada como identificador de escala (izquierda) y microestructura de superficie de la muestra (derecha)

Hay que destacar que las muestras tras la exposición a fuego directo durante 60 segundos muestran pequeñas burbujas debido al ablandamiento del polímero al ser sometido a altas temperaturas que facilita la expansión de incrustaciones microscópicas de aire. Utilizando la punta de un bolígrafo de 0.5 mm como referencia podemos determinar que las burbujas que se crean son del orden de 0.1 mm e inferiores.

## 4. Conclusiones

Al principio hicimos varios intentos con ingredientes principales la patata y la caseína. Sin embargo, las probetas se agrietaban muy fácilmente. Además, la extracción del almidón a partir de estos casos se hacía complicada. Tuvimos que pensar otro ingrediente principal:

la maicena. Fue muy satisfactorio ya que nos aportaba esa consistencia que nos faltaba.

Teníamos muy claro que queríamos hacer un material capaz de soportar grandes temperaturas y estamos satisfechos puesto que lo hemos conseguido. Hemos dado con un material capaz de sustituir a los recubrimientos de las baterías de litio de los teléfonos móviles, como de los cargadores. Aparte nuestro material es muy útil en lugares propensos a incendiarse, puesto que podríamos decir que es "incombustible".

Otro de los aspectos importantes a tener en cuenta y más en estos días. En los que los polímeros derivados del petróleo causan tantos problemas, tanto a la hora de la producción como del reciclado. Con nuestro "bio" material conseguimos un desarrollo sostenible.

## 5. Agradecimientos

Nos gustaría dar las gracias a los profesores Jose Ygnacio Pastor y Elena Tejado por los conocimientos que nos han enseñado, los cuales nos han servido para realizar el trabajo y por aportarnos la motivación a ser ingeniosos.

## 6. Bibliografía

- [1] [https://www.nullifire.com/es\\_ES/servicios/blog/reaccion-fuego/#:~:text=La%20reacci%C3%B3n%20al%20fuego%20clasificaci%C3%B3n%20en%20Espa%C3%B1a&text=M1%20%3A%20el%20producto%20es%20combustible,el%20producto%20es%20f%C3%A1cilmente%20inflamable.](https://www.nullifire.com/es_ES/servicios/blog/reaccion-fuego/#:~:text=La%20reacci%C3%B3n%20al%20fuego%20clasificaci%C3%B3n%20en%20Espa%C3%B1a&text=M1%20%3A%20el%20producto%20es%20combustible,el%20producto%20es%20f%C3%A1cilmente%20inflamable.)
- [2] <https://www.google.com/amp/s/www.ecologiaverde.com/cuanto-tarda-en-degradarse-el-plastico-biodegradable-1272.html%3famp=1>
- [3] <https://www.thermal-engineering.org/es/ingenieria-termica-2/>
- [4] [https://www.youtube.com/channel/UCg3qsVzHeUt5\\_cPpcRtoaJQ](https://www.youtube.com/channel/UCg3qsVzHeUt5_cPpcRtoaJQ)
- [5] Ciencia e ingeniería de materiales, D. Callister, G. Rethwish; 2ª edición correspondiente a la 9ª del original
- [6] <https://youtu.be/lf9ZHW7fKBA>