



POLITÉCNICA

Contents lists available at POLI-RED

# IngeniaMateriales

Journal homepage: [http://polired.upm.es/index.php/ingenia\\_materiales](http://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales)



## Recuvidrio

S. Castell, L. Ciruelos, N. M. López, M. Murillo

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 23 febrero 2022

Entrega Proyecto 23 mayo 2022

Disponible online 15 septiembre 2022

#### Keywords:

Vidrio

Soluble

Comestible

Recubrimiento

Sostenible

### ABSTRACT

*Recuvidrio* es un material que se comporta como un vidrio, pero con temperaturas de fusión y transición vítrea mucho menores. Puede ser considerado un nuevo tipo de vidrio comestible, que sirve para el revestimiento o recubrimiento de ciertas superficies que lo necesitan para la ingesta, ya que tiene una muy buena solubilidad. Puede emplearse por ejemplo para las cápsulas de las pastillas. Esta cualidad de solubilidad fue en su inicio objeto de problema ya que, se había planteado otro tipo de aplicación que era la sustitución de cubertería desechable, o incluso la decoración.

© 2022 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved.

## 1. Introducción

La idea inicial que tuvimos consistía en crear una especie de “vidrio falso” mediante ingredientes comestibles y, por lo tanto, biodegradables. Los ingredientes de nuestro material son: agua, azúcar, miel y vinagre blanco.

El objetivo era mejorar ciertas propiedades del material a imitar, el vidrio, tales como la fragilidad y el riesgo que supone al romperse. En definitiva, buscábamos un material como el vidrio pero que no cortara en caso de rotura y algo más dúctil. Inicialmente, una de las aplicaciones pensadas para nuestro material era fabricar vasos o jarrones con él, aparte de poder ser usado en cocina futurista o como efectos especiales.

De esta manera, pensábamos sustituir los vasos de plástico para niños pequeños, y los reemplazarlos con unos de nuestro material, que en caso de romperse no supondría un riesgo. Sin embargo, a la hora de hacer ensayos, nos dimos cuenta de que se disolvía en agua, propiedad inadecuada para algunas aplicaciones que teníamos pensadas. Además, observamos que según el tamaño de la fractura que se hiciera sobre este material, podía en ocasiones cortar.

Por lo que, a raíz de este mismo material, y utilizando los mismos ingredientes, se nos ocurrió aprovechar algunas de estas “debilidades”, para la aplicación que finalmente elegimos darle. Consiste en utilizar este material en proporciones mucho menores y formando una capa muy fina para poder utilizarlo como recubrimiento de pastillas, cápsulas... en sustitución a los actuales recubrimientos, dándole a nuestro material su nombre: *Recuvidrio*.

Informándonos sobre los materiales empleados actualmente como recubrimiento de pastillas, nos hemos dado cuenta de que el uso del *Recuvidrio* supondría ventajas. Actualmente, las membranas que recubren las pastillas están hechas con gelatina. Sin embargo, la gelatina tiene el inconveniente de que está hecha a partir de colágeno, el cual proviene de pieles y huesos de animales, y su consumo puede resultar en enfermedades. Con nuestro material el riesgo de contraer

enfermedades procedentes de animales se reduce, ya que eliminamos el uso del colágeno. Además, esta proteína hace que las cápsulas convencionales no sean aptas para una dieta vegetariana, al extraerse de las pieles y huesos de animales. Nuestro material es un producto vegetariano, pero, al contener miel, no es un producto vegano. Sin embargo, sustituyendo la miel por sirope de maíz en iguales cantidades se puede convertir en uno. Esto puede verse como una ventaja ya que resultará atractivo para un público determinado.

En definitiva, con nuestro material promovemos la producción responsable y utilizamos recursos naturales ingredientes naturales sin alterar el ritmo de vida de los animales.

Hemos creado nuestro material prestando especial atención a su solubilidad y capacidad de ser ingerido. A la hora de hacer ensayos también hemos observado el tiempo que tarda en disolverse nuestro material en distintas condiciones, ya que esto resulta muy importante a la hora de recubrir pastillas.

Por ejemplo, hay pastillas que se ingieren y conviene que se disuelvan en un lugar concreto, como puede ser el estómago o el intestino. Estudiando los tiempos de digestión y con los ensayos realizados sobre la solubilidad de nuestro material, se puede conseguir un resultado concreto aplicando la cantidad necesaria de *Recuvidrio*, consiguiendo una acción óptima del medicamento.

En este ensayo se explican: los diferentes materiales utilizados en las diferentes etapas de la experimentación, los métodos utilizados sobre el material obtenido, los resultados observados tras realizar cada ensayo, y las conclusiones sacadas al final del proceso.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Ingredientes y coste

Como se ha mencionado anteriormente los componentes de nuestro material son los siguientes: agua, azúcar, miel y vinagre blanco. Estos

ingredientes son todos asequibles y fáciles de encontrar, lo cual hace nuestro material más económico. Además, hacen que no sea tóxico y sea biodegradable. Teniendo en cuenta que nuestro material se disuelve en agua, se pueden eliminar residuos de él fácilmente y no supone ningún peligro para el medioambiente.

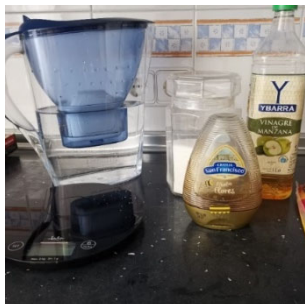


Fig. 1. Ingredientes utilizados para la fabricación del material

La siguiente tabla (Tabla 1) muestra para cada ingrediente su precio, cantidad empleada y el coste. Los precios mostrados corresponden con lo que cuestan los productos más baratos de cada ingrediente en un supermercado (Supercor). Cabe mencionar que el agua saldría más barata si empleamos agua del grifo, que es la que hemos utilizado. La cantidad empleada es la cantidad necesaria de cada componente para obtener 820 g del material. Por último, el coste de cada ingrediente se ha obtenido multiplicando las cantidades utilizadas por su precio correspondiente.

Tabla 1. Relación precio-cantidad de los constituyentes del material

	Precio	Cantidad empleada	Coste
Agua	0,10 €/L	250 ml	0,0250 €
Azúcar	0,99 €/kg	390 g	0,3861 €
Miel	4,80 €/kg	125 ml	0,6000 €
Vinagre blanco	0,65 €/L	12 ml	0,0078 €

Sumando la columna del coste, podemos ver que, utilizando productos básicos de supermercado, supondría un total de 1,0189 € para realizar 820 g del mismo. Esto resulta en un precio de 1,2426 €/kg. Teniendo en cuenta que, para algunas aplicaciones de nuestro material como el recubrimiento de pastillas, sólo se necesitaría una capa con un espesor muy fino (las membranas utilizadas suelen tener un espesor inferior a 100 micras) saldría extremadamente barato. Por tanto, se podría invertir más dinero en procesos de moldeado para obtener la forma deseada u otros procesos.

## 2.2. Fabricación

Para realizar nuestro material hemos utilizado ingredientes básicos al alcance de todo el mundo, previamente mencionados.

Primero, mezclamos los ingredientes incluyendo las siguientes cantidades (mencionadas en la Tabla 1): 500 ml de agua, 390 g de azúcar, 125 ml de miel y 12 ml de vinagre. Una vez mezclados (Fig. 2 izquierda), los introducimos en una olla a fuego alto y esperamos hasta que a hirviese. Mientras se calentaba, íbamos removiendo. Cuando ya comenzó a hervir, lo dejamos en el fuego hasta que cogió una viscosidad adecuada y mientras tanto seguíamos removiendo. Esto tardó alrededor de 8 minutos y se vio claramente cuando se había alcanzado la viscosidad deseada ya que al recoger el material con la cuchara y verterlo, las gotas del material tardaban en caer ya que este había aumentado su viscosidad considerablemente. También se podía apreciar un oscurecimiento en el color del material (Fig. 2 derecha) ya que una cantidad del agua se había evaporado.

Por el contrario, si al cogerlo con la cuchara hubiera caído rápidamente como si fuera agua, no se habría cumplido con el tiempo de cocción y debería pasar unos minutos más hirviendo hasta obtener un espesor adecuado.

Finalmente, cuando ya tenía la consistencia adecuada (Fig. 2, derecha), vertimos el material en un tapete de silicona y lo dejamos enfriar al aire. Además de un tapete de silicona, se podrían utilizar moldes de

silicona u otros materiales antiadherentes. Pocos minutos después, ya había solidificado y ya tenemos nuestro Recuvidrio.



Fig. 2. Mezcla de todos los ingredientes (izquierda) y Material ya homogéneo listo para enfriar (derecha)

Sobre el material base inicial, tratamos de variar las concentraciones de agua para ver si cambiaban las propiedades, especialmente la solubilidad en agua. Nuestra idea era realizar dos mezclas más, una con menor cantidad de agua que la original y otra con mayor, la primera mezcla con 200 ml de agua y la segunda con 375 ml.

Al realizar estas nuevas composiciones nos dimos cuenta de que lo que teníamos pensado era inviable, ya que cuanto más agua tuviera, más tiempo de cocción iba a necesitar. Esto se debe a que cuanto más agua tengamos inicialmente, mayor cantidad de agua tiene que evaporar para que el material alcance la viscosidad necesaria y pueda solidificarse correctamente.

Con todo esto, llegamos a la conclusión de que, al tener más cocción, las proporciones serían equivalentes a la mezcla inicial y no tenía sentido que estudiáramos cada una de las mezclas. Verdaderamente lo que cambiaba la cantidad de agua empleada era el tiempo de cocción y no las propiedades.

Así pues, sobre la mezcla inicial, tratamos de realizar 4 ensayos diferentes: solubilidad, maleabilidad, resistencia a impacto y flexión.

## 3. Caracterización

### 3.1. Ensayo de flexión

En el caso del ensayo de flexión, empleamos dos pequeños platos con una naranja en cada uno, que hacía de contrapeso. Tuvimos que realizar una probeta con 55 mm de largo, 3 mm de espesor y 12 mm de ancho. (Fig. 3).



Fig. 3. Creación de la probeta de nuestro material con las medidas apropiadas

Esta probeta la sujetamos a la distancia de 51 mm entre los soportes (Fig. 4). A continuación, fuimos aplicando peso sobre la misma. El peso lo incorporamos mediante pequeñas cantidades de azúcar en una bolsa.

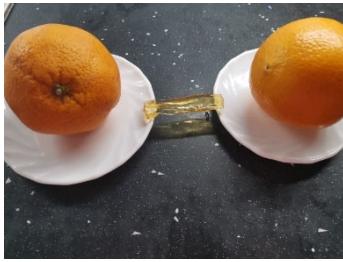


Fig. 4. Probeta en soporte para ensayo de flexión

Tras consecutivas aplicaciones de peso (Fig. 5 y Fig. 6), llegó a la rotura al aplicar 266 g (Fig. 6 derecha).



Fig. 5. Ensayo de flexión con 15 g de azúcar (izquierda) y con 30 g de azúcar (derecha)

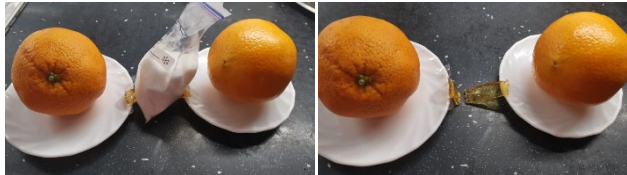


Fig. 6. Ensayo de flexión con 70 g de azúcar (izquierda). Rotura mediante ensayo de flexión tras la aplicación de 266 g de azúcar (derecha)

### 3.2. Ensayo de solubilidad

Para realizar el ensayo de solubilidad introducimos cada material en distintas cantidades de agua, a temperatura ambiente, y cronometramos cuánto tarda en disolverse en cada caso.

Para poder obtener unos datos más precisos, realizamos numerosos ensayos variando las cantidades de agua y de material empleados en cada uno de los ensayos.

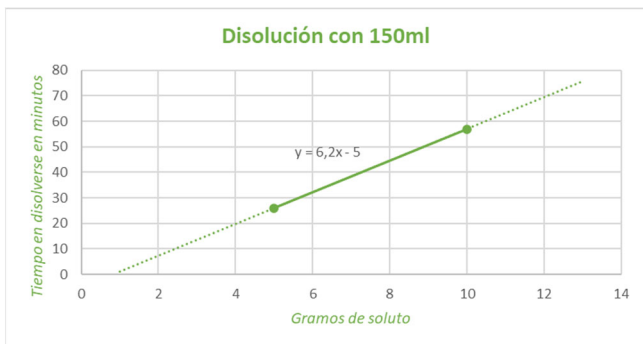


Fig. 7. Resultados al disolver la muestra en 150 ml de agua

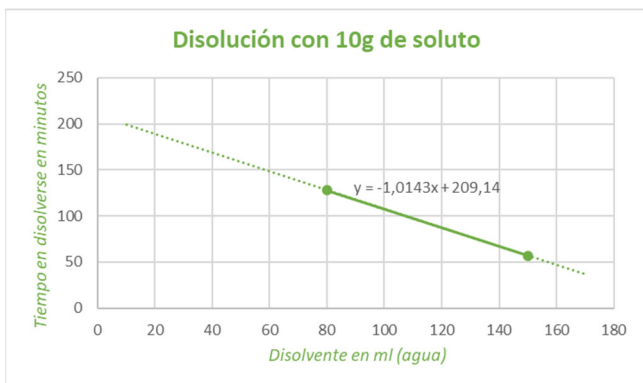


Fig. 8. Resultados al disolver 10 g de soluto en agua

Realizamos medidas introduciendo diversas piezas de pesos distintos de Recuvidrio para una misma cantidad de agua (Fig. 7). Además, hicimos este mismo ensayo a la inversa introduciendo una misma cantidad de soluto para distintos ml de agua (Fig. 8). Finalmente, tomamos un caso concreto como referencia: disolver 10 g de material en 150 ml de agua requiere 57 minutos.

### 3.3. Ensayo de moldeado

En la realización del ensayo de moldeado aplicamos un calor equivalente a la temperatura corporal, es decir, 35 °C y con las propias manos intentamos moldear el material aplicando una ligera presión sobre el material y comparamos la facilidad con la que éste adapta nuevas formas. Además, con la ayuda de una caña de bambú y mediante el soplado manual, creamos una burbuja de aire en una esfera compacta de material, consiguiendo así la obtención de una esfera hueca (Fig. 9.).

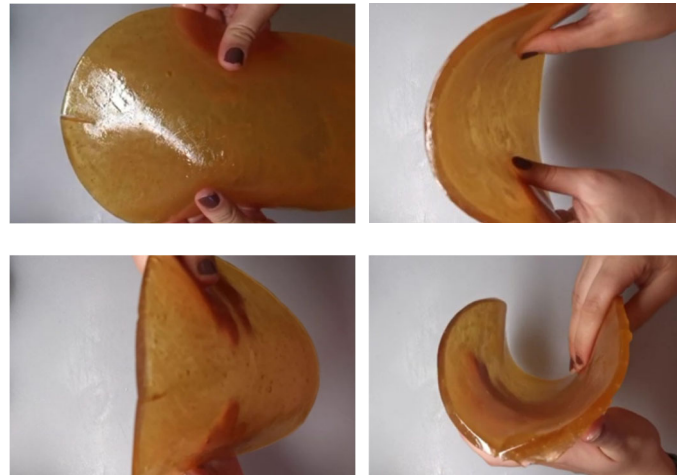


Fig. 9. Moldeos 1 a 4 (arriba abajo, izquierda a derecha)

### 3.4. Ensayo de compresión

Para la correcta realización del ensayo de compresión es necesaria una maquinaria cara y específica de la que no disponemos.

En el caso de querer romper el material, será más fácil hacerlo por impacto que por compresión.

### 3.5. Ensayo de impacto

No ha sido necesario realizar el ensayo de impacto para comprobar que es un material frágil que, al recibir algún golpe, fractura inmediatamente. Se puede romper por impacto sin necesidad de maquinaria, aunque sería conveniente para poder tomar medidas fiables.

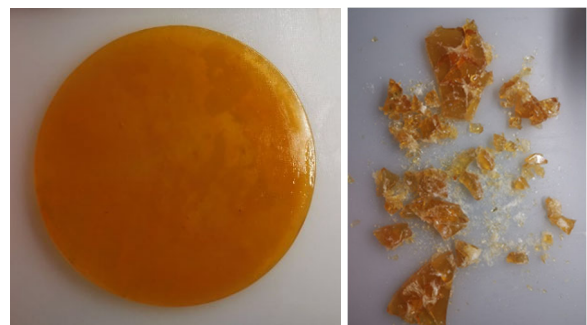


Fig. 10. Lámina de nuestro material antes y después de la fractura



#### 4. Resultados

Hemos observado que este material tiene un comportamiento similar al del vidrio, ya que, es sólido y duro, pero bastante frágil, se puede romper en pequeños fragmentos puntiagudos y puede cortar. Aunque supone menor riesgo de corte que el vidrio. Además, es un material inerte, y reciclable al 100 %. Ya que hemos comprobado que, una vez solidificado el material, al calentarlo vuelve al estado líquido inicial de cocción, pero siendo siempre una mezcla homogénea. Y si se vuelve a enfriar al aire, regresa al mismo estado sólido original.

Se puede asemejar mucho a todas las cualidades que posee el vidrio, y así lo clasificamos. Pero, su temperatura de transición vítrea es mucho menor, ya que empieza a derretirse a uno 48 o 50 °C. Por lo que hemos observado, estimamos que su temperatura de transición vítrea se encuentra dentro de ese rango de temperaturas.

Además, la solubilidad en agua, una característica de nuestro material que veíamos inicialmente como un inconveniente, la hemos convertido en el objeto de aplicación principal.

Hemos obtenido un material con una solubilidad en agua bastante buena, que podemos calcular mediante esta ecuación:

$$S = \frac{\text{solute}}{\text{disolvente}} \times 100 \quad (1)$$

Esta solubilidad se puede apreciar también en el apartado del ensayo junto a las gráficas que lo muestran. Estas gráficas (Fig. 7 y 8) contienen ecuaciones de sus rectas de tendencia:

$$y = 6,2x - 5 \quad (2)$$

$$y = -1,0143x + 209,14 \quad (3)$$

Con ellas se podrían calcular los tiempos de disolución de 10 g de soluto en cualquier volumen de agua y cualquier masa de soluto en 150 ml de agua. La teoría puede variar un poco de la práctica y por lo tanto se necesitarían más ensayos con distintas proporciones para verdaderamente establecer ecuaciones normativas.

Los resultados de los ensayos de solubilidad coinciden con nuestra hipótesis inicial. Como era de esperar, al aumentar el volumen de agua, disminuye el tiempo de disolución. En contra, si aumentamos la masa del soluto, este va a tardar más tiempo en disolverse.

Por otro lado, pensamos que sería conveniente hacer una muestra con una forma similar a la aplicación que le queremos dar, para ver si de verdad hacer algo así sería factible y posible. Pensamos en utilizar pequeños moldes de silicona, ya que es antiadherente, y sino no se puede sacar la forma adecuada. Pero esta idea no prosperó ya que es muy difícil encontrar moldes tan pequeños y con las condiciones específicas de las que requeríamos. Así fue como se nos ocurrió trabajar, tal y como se trabaja el vidrio.



Fig. 11. Esfera cápsula del material Recuvidrio

Decidimos calentar parte de la mezcla cristalizada que ya teníamos para conseguir llegar al estado de transición vítrea. Esto lo conseguimos con pequeñas exposiciones al calor, hasta alcanzar la temperatura de transición vítrea citada anteriormente, para seguidamente con una pajita de bambú comenzar a soplar para obtener una pequeña burbuja, igual que se haría con el vidrio. Esta

técnica es conocida como *glassblowing* o vidrio soplado. Tras varios intentos, finalmente conseguimos una pequeña esfera con poco espesor del tamaño deseado (Fig.11). Y de esta manera comenzamos a ver resultados de nuestro material, y sus posibles aplicaciones.

#### 5. Conclusiones

Tras realizar el experimento y recoger los datos de este, se puede realizar una caracterización de este material: este material es un vidrio.

Lo definimos como tal, porque presenta las siguientes características propias de los vidrios: es un material sólido, frágil y duro, es transparente a la luz, es reciclable, orgánico, y puede fracturarse en pequeños fragmentos cortantes.

Lo creamos en estado líquido para la mezcla de sus componentes hasta conseguir una mezcla homogénea de los mismos, para posteriormente dejarlo enfriar, y así conseguir la estructura sólida amorfa que resulta.

Es un material inerte y presenta una temperatura de fusión y una velocidad de disolución. Además, conocemos su temperatura de transición vítrea que se encuentra entorno a los 50 °C. Verdaderamente, nuestro material se comporta de una manera prácticamente idéntica a la del vidrio común, pero al tener una temperatura de transición vítrea mucho menor se puede trabajar a temperatura mucho más bajas, bajando los costes de producción.

Consideramos que hemos cumplido con lo planteado en la introducción con la creación del Recuvidrio. También, cumplimos con varios ODS, especialmente con el número 12 (Producción y consumo responsables) y el 13 (Acción por el clima) ya que nuestro material no contiene ningún componente contaminante ni tóxico. Es más, hemos creado un material que es 100% reciclable, orgánico y biodegradable.

En conclusión, hemos obtenido un nuevo tipo de vidrio inusual, ya que pese a tener todas sus características, es comestible y no dañino para su ingesta.

#### 6. Agradecimientos

Queremos aprovechar la ocasión para agradecer a Elena Tejado su consejo, opinión y ánimos para sacar adelante el proyecto. Al igual que a José Ygnacio Pastor por asesorarnos.

#### 7. Bibliografía

- [1] <https://www.heraldo.es/noticias/sociedad/2016/11/14/que-están-hechas-las-capsulas-1141544-310.html>
- [2] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169409X21003240>
- [3] <https://www.heraldo.es/noticias/sociedad/2016/11/14/que-están-hechas-las-capsulas-1141544-310.html>
- [4] <https://www.tesisenred.net/handle/10803/360840#page=1>
- [5] <https://youtu.be/t7RvA1O6YvM>
- [6] <https://youtu.be/qVAG1GbnIvc>
- [7] <https://www.lenntech.es/library/glass.htm>
- [8] <https://www.zwickroell.com/es/sectores/materiales-para-la-construccion/ensayo-en-vidrio-y-ceramica/>
- [9] <https://youtu.be/3sc6cokFXOE>