



Látex biodegradable

B. Castro, G. del Puerto, J.A. Jaraba, E. López

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 14 Mayo 2021

Disponible online 28 Mayo 2021

Keywords:

Látex

Reacción xantoproteica

Sostenibilidad

Vulcanización

ABSTRACT

El presente artículo propone una alternativa sostenible a los látex sintéticos hipoalergénicos convencionales y a los respectivos productos dañinos que contienen para con su entorno. En él se especifican los procedimientos llevados a cabo para la obtención de un látex biodegradable que conserve dichas propiedades hipoalergénicas de los sintéticos produciendo el menor impacto medioambiental, así como los ensayos realizados, que miden y determinan sus propiedades. De este modo, y basando las conclusiones en los resultados obtenidos, puede afirmarse su viabilidad, consiguiendo las características buscadas con la hipótesis.

© 2021 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved.

1. Introducción

El látex es un material cuya utilización se remonta al 1500 a.C., y que, hoy en día, ha cobrado gran notoriedad en el campo médico, textil y del motor, así como en el mundo de la caracterización y el maquillaje o en el mercado de los preservativos.

En sus inicios, el látex empleado era de tipo natural, materia prima procedente del citoplasma de algunas plantas angiospermas y hongos, y obtenido de la savia extraída del árbol del caucho. Con el tiempo, se desarrolló la fórmula que permitía la producción de látex sintético, procedente principalmente del petróleo, estireno y butadieno. Ambos cuentan con beneficios y contraindicaciones, tanto a nivel salubre para el ser humano y el medio ambiente, como de producción. Es por ello el motivo de la realización del presente trabajo, la elaboración de un látex biodegradable que aúne propiedades de ambos siendo al mismo tiempo respetuoso tanto con la salud del interesado como con su entorno.

Para ello, y tras investigar arduamente, ideamos un producto que contuviera ingredientes inocuos a los niveles mencionados, incluso en caso de presentar algún tipo de alergia a dichos materiales, gracias a su hipoalergenicidad. Su elaboración consta de la adición de los materiales, posteriormente mencionados, hasta encontrar las proporciones convenientes y su sometimiento a diversas reacciones y ensayos, dándonos la posibilidad de calcular su comportamiento. Por otro lado, ha de mencionarse las dificultades encontradas para conseguir dicha no reacción con la piel, así como con la búsqueda de la consistencia óptima, más tarde solventado, para obtener un producto biodegradable sostenible que mantuviera las características ventajosas de los látex convencionales.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

Los materiales de los que se ha hecho uso, junto con las propiedades y funciones de cada uno, son los siguientes.

Por una parte, se encuentran los productos naturales:

- Aceite de coco: a partir de él se buscaba obtener las ceras e isoprenos necesarios que, unidos a los fosfatos procedentes del trigo, dieran lugar a una especie de micelas, en las que el caucho se viera rodeado de líquido y se formara una dispersión coloidal gracias a los fosfolípidos del aceite.
- Agua/agua destilada: su carácter disolvente permitió generar las reacciones químicas implicadas en el proceso.
- Gelatina: su importancia ha residido en el aporte de proteínas, parte de las que permitieron la reacción de formación del látex.
- Maicena: su composición del 2% en grasas permitió la obtención de una pequeña parte de las grasas necesarias para la fabricación del producto. Sin embargo, su función más notable fue la de proporcionar la cadena orgánica base del material, gracias a su funcionalidad estructural, gracias a su funcionalidad estructural, aportada por la descomposición del almidón.

Por otra, los químicos:

- Ácido nítrico: con este, fue comprobada la efectividad de la neutralización de las proteínas empleadas mediante la reacción xantoproteica.
- α -amilasa: es el componente innovador del material, y su adición tuvo como objetivo la reducción del número de enlaces peptídicos, causantes de las posibles reacciones alérgicas derivadas, así como la facilitación del uso del producto a nivel macro.
- Azufre: elemento protagonista al dotar de una mayor consistencia al material, funcionando como un agente vulcanizante.
- Óxido de zinc: componente inorgánico empleado como catalizador del proceso de vulcanización.
- Potasas: fueron aprovechadas sus propiedades fungicidas y bacterianas del hidróxido de potasio con el fin de viabilizar el material de cara a su posterior uso dérmico.



Fig. 1. Proceso de fabricación de las muestras. Orden: de izquierda a derecha y de arriba abajo

- Sosa cáustica: base de la que se hizo uso para llevar a cabo la reacción xantoproteica junto con el ácido nítrico anteriormente indicado.

2.2. Proporciones

Con objeto, obtener la consistencia óptima, fueron buscadas las proporciones de cada material, siguiendo un procedimiento general (Tabla 1). Éste consistió en calentar en un fogón, una olla con el aceite y el agua a unos 85 °C. Una vez terminado este paso, se incorporó la harina de trigo o maicena hasta homogeneizar la mezcla. Por último, fue añadida la gelatina en polvo, y al alcanzar el punto de ebullición, se retiró del fuego y se dejó enfriar a temperatura ambiente, de unos 13 °C en aquel momento (Figura 2).

Tabla 1. Proporciones y resultados de las muestras

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Aceite de coco	15 mL	15 mL	15 mL	15 mL	15 mL
Agua	250 mL	200 mL	100 mL	420 mL	250 mL
Gelatina en polvo	10 g	23 g	23 g	10 g	10 g
Harina de trigo (1) /Maicena (2)	(1) 75 g	(2) 60 g	(2) 100 g	(2) 75 g	(2) 30 g
RESULTADOS	Excesivamente acuoso	Fina capa sólida de color blanco	Masa grumosa y pastosa con tono amarillento	Masa gelatinosa con tono blanco amarillento	Masa blanquecina y gelatinosa



Fig. 2. Enfriamiento y aspecto de las mezclas obtenidas

2.3. Métodos de fabricación

Una vez han sido obtenidas las anteriores muestras, se procede a su estudio y clasificación. En el caso de la muestra 1, se descartó, clasificando a éste como experimento fallido. Sin embargo, el resto de ellas fueron consideradas como viables, repitiéndose con la finalidad de someter a las réplicas a un proceso de vulcanización, añadiéndoles para eso potasa y proteasas (α -amilasa en particular), que mejoran sus

propiedades, tal y como puede verse en las dos últimas imágenes de la Fig. 1.

Con referencia a la vulcanización, se refiere a la búsqueda de una mejora en la consistencia de las muestras tanto como para sus posibles aplicaciones, como para su manejo a la hora de llevar a cabo los ensayos pertinentes. Este proceso está ilustrado en la Figura 1, izquierda a derecha.

Tras el desarrollo ya explicado, el siguiente paso consiste en dar con la proteasa adecuada. Recordando, la adición de enzimas buscaba tornar el material en un producto hipoalérgico, al romper los enlaces peptídicos de las proteínas que conformaban la microestructura del material, siendo las causantes de las reacciones cutáneas adversas. Por último, hay que destacar que la adición de potasa otorga a las propiedades antibacterianas y fungicidas una mayor estabilidad aumentando su durabilidad y velocidad de coagulación.

2.4. Caracterización mecánica y microestructural

El caucho natural es un polímero formado por repeticiones de monómeros de isopreno con uniones regulares entre el primer y el cuarto carbono, siendo su origen biológico, de manera que estas han sido biosintetizadas mediante reacciones enzimáticas capaces de formar cadenas macromoleculares con elevados pesos moleculares. Particularizando, en nuestro caso las reacciones enzimáticas son llevadas a cabo por los componentes del material y las proteínas de la gelatina, que aportan estabilidad estructural.

En el látex natural, el caucho es rodeado por una capa de sustancias naturales surfactantes. Las moléculas de estos constan de una parte hidrófoba y, por lo tanto, afin al caucho, puesto que también lo es, y de una parte hidrófila que, por su afinidad con el agua, retiene sobre la superficie de las partículas una o varias capas de moléculas de agua, formando micelas. De esta forma, el látex de caucho natural puede designarse como una suspensión coloidal acuosa, en la que el caucho en forma de partículas esféricas (micelas), se mantiene disperso en la fase acuosa continua. La mezcla de tan diferentes componentes da lugar a unas características mecánicas muy variables, dependientes de los mismos.

Por otro lado, cabe destacar que en la naturaleza el caucho es sintetizado en la superficie de partículas activas dispersas en el citoplasma de unas células denominadas laticíferos, por lo que el látex de caucho natural es el citoplasma en el que las partículas de caucho, y otros componentes celulares se encuentran formando una dispersión coloidal con la fase acuosa (citosol).

En cuanto a nuestro material, las partículas son aportadas por la maicena, la gelatina y los componentes químicos añadidos (KOH, S, ZnO), y las micelas se forman por la presencia de agua y fosfolípidos aportados por el aceite de coco, convirtiendo así nuestra mezcla en una dispersión coloidal.

2.4.1. Ensayo de caducidad, durabilidad y envejecimiento

Al estar conformado por componentes naturales, se hace necesario el estudio de su comportamiento y la estabilidad de sus funciones con respecto del tiempo. Para ello, se observó la reacción del material ante los fenómenos que pudieran ocurrirle al no estar sujeto a ningún tipo de capa protectora o agente conservante, dejándolo a la intemperie durante un tiempo determinado, resultando distintas alteraciones en el material.

2.4.2. Ensayo térmico

Con este, el material es sometido a distintas temperaturas, tanto frías como calientes, para así comprobar su comportamiento durante y después del proceso.

2.4.3. Ensayo de tinción (reacción xantoproteica)

La idea básica de esta reacción era comprobar si se había acabado con la existencia de las proteínas aportadas por la gelatina mediante la adición de enzimas digestivas. Para llevarlo a cabo, se recurrió a la reacción xantoproteica, que consiste en calentar, al baño maría, la mezcla junto con ácido nítrico durante 10 minutos, y después mezclarlo con una disolución acuosa del 40 % de NaOH. Una vez hecho esto, si la muestra se teñía, se demostraba la presencia de aminoácidos en el material, y en caso contrario, denotaba la ausencia de estos. Sin embargo, posterior a la realización de la reacción pudimos observar que la reacción no era adecuada en este caso, ya que las enzimas utilizadas para acabar con las proteínas eran en su mayor parte complejos proteicos que reaccionaban dando un falso positivo.



Fig. 3. Temperaturas alcanzadas durante los ensayos

2.4.4. Ensayo de hiperalergenicidad

La motivación de esta prueba reside en comprobar cuán hiperalérgico era el material, testando dos de las muestras con una voluntaria levemente alérgica al látex. Una de ellas contenía potasa, para la cual se obtuvo un rechazo, en forma de picor, y la otra únicamente con las enzimas digestivas, para la que no se observó reacción alguna.

2.4.5. Ensayo de tracción

En este procedimiento, el material es fijado en un punto, colgándole algún tipo de peso en el punto opuesto para que traccione, obligando a que se activen los mecanismos de deformación del material, haciendo así que se deforme hasta llegar a su punto de rotura.

En la práctica, esto se lleva a cabo realizando unas marcas solapadas en el material para intentar contener la línea de rotura entre ellas, de manera que a medida que se va añadiendo peso (se tracciona más del material), se mide el aumento de la distancia entre marcas, hasta rotura. Posterior a ello, se mide la distancia final entre marcas, para conocer el grado en que se ha deformado el material, y la fuerza soportada por este antes de romperse, obteniendo así sus propiedades.

2.4.6. Ensayo de viscosidad

Es posible la obtención de resultados tanto con un viscosímetro, como deslizando las mezclas tratadas de diferentes maneras por superficies con distintas inclinaciones a una temperatura constante.

Por otro lado, así también es posible observar cómo las tensiones tangenciales afectan (dependiendo de la composición del material y la inclinación de la superficie) al deslizamiento de los planos del material y cuánta distancia recorren, para, posteriormente, y mediante la utilización de cálculos, conseguir la medida de viscosidad del material.

3. Resultados

3.1. Ensayo de caducidad, durabilidad y envejecimiento

La composición orgánica de nuestro látex hacía necesario analizar el comportamiento de las muestras al dejarlas a la intemperie.

Durante la primera semana de evaluación, se dejaron al descubierto las tres primeras muestras, diferenciándose entre ellas únicamente en la cantidad de enzimas (2, 4 y 6 enzimas). Sin embargo, cabe resaltar que las dos primeras se encontraban en menor proporción, ya que parte de ellas fueron extraídas para llevar a cabo otros ensayos.



Fig. 4. Muestras 1, 2 y 3 (izquierda a derecha) tras el ensayo de caducidad

Como puede observarse, las dos primeras muestras (Figura 4, izquierda y centro) se encontraban completamente cubiertas de patógenos (sin clasificar, aunque asumimos que hay más de un tipo por la diferencia de pigmentación), tanto internamente, como en su superficie, en la que se encontraban en mayor proporción. En cuanto a la tercera muestra, se encontraron los mismos patógenos, pero solo en su superficie. Al ser la de mayor volumen, asumimos que seguramente se deba a no haber abierto el sistema térmico interno; es decir, se dejó sin tratar, conservando toda su temperatura que, como se explicará en los ensayos térmicos, al ser mal conductor se mantuvo más tiempo, mostrando una rotura de la capa más externa del resto de la muestra, donde se encontraban todos los patógenos. Por último, y a diferencia del resto de muestras, la capa separada de la tercera muestra (6 enzimas) se había endurecido (Figura 4, derecha).

Las siguientes muestras para analizar, fueron las mezcladas solo con potasa, las vulcanizadas y una extra con las mismas condiciones que las tres anteriores. Las muestras de potasa, tal y como se había deducido teóricamente, se mantuvieron inalteradas todo el tiempo de exposición (1 semana), gracias a su carácter alcalino que actúa de bactericida.

En cuanto a la cuarta muestra, sucedió lo esperable, comportándose como la primera y segunda muestra, viéndose saturada en patógenos al cabo del tiempo de ensayo. La muestra de azufre siguió la línea de la de potasa, manteniéndose inalterada todo el tiempo de ensayo.



Fig. 5. Muestra de azufre tras el ensayo de caducidad

Ha de remarcarse un suceso inesperado en varias de las muestras. Tanto la muestra de azufre, que estuvo expuesta junto a otras dos que no se vieron expuestas a este ensayo, mostraron una gran capacidad

corrosiva. Las tres agujerearon, al reaccionar, el aluminio que las cubría (Figura 5). Estas fueron las únicas muestras tapadas con aluminio (un error), pero para comprobar si sucedía lo mismo en otras, se cubrieron también con aluminio las mezclas con potasa. En ambos tipos de muestra se dio una reacción que descompuso al aluminio puro. En el caso de la potasa, la hipótesis más posible es que tuviese lugar la reacción: $Al + 3KOH \rightarrow Al(OH)_3 + 3K$

Formado hidróxido de aluminio, de color blanco. En el caso de las vulcanizadas, aunque en primera instancia se podría achacar al exceso de azufre, la verdadera razón de la descomposición del aluminio era, muy probablemente, primero la misma reacción con la potasa dando hidróxido de aluminio, para luego reaccionar con el óxido de zinc, que se usó de acelerante según la siguiente reacción: $Al(OH)_3 + ZnO \rightarrow Al_2O_3 + Zn(OH)_2$.

3.2. Ensayo térmico

Las muestras de material sin tratar (sin vulcanizar o con añadidura de potasa) se mantuvieron a tres temperaturas diferentes (Figura 6). A temperatura ambiente, a la que se realizó la mayor parte de los ensayos, razón por la cual no se entrará en detalle en este apartado, pudiendo tomarse el resto de los ensayos como un análisis a mayor profundidad de las propiedades mecánicas a esa temperatura; a 258 K (-15 °C), a la que el material pasó a comportarse como un sólido rígido y frágil (determinado en un ensayo de tracción) y se metió también a esta temperatura otra muestra (con potasa) que tenía propiedades diferentes a la anterior, ya que no endureció tanto y estaba menos compacta (fluía un poco); a 363 K, con idea principal de ver si se podría volver a obtener la sustancia líquida anterior a la solidificación, y poder así cambiar su forma o someter el mismo material a nuevos procesos químicos. Sin embargo, y contrariamente a lo buscado, al exponer la muestra a esta temperatura, esta procedió a desnaturalizarse, llegando a quemarse, perdiendo forma, tamaño y material, que se escapaba en forma de gas (en poca proporción).



Fig. 6. Imagen de las muestras tras los ensayos térmicos

Por último, se pudo determinar una propiedad cualitativa que se había pasado por alto en el análisis teórico, siendo esta, que el material es muy mal conductor térmico. En todas las muestras, se tuvo que dejar el material varias horas al aire libre para que redujese su temperatura. La superficie enfriaba a mayor superficie que el núcleo, y podía llegar una capa con cierta consistencia, pese a que su interior se conservase completamente líquido.

3.3. Ensayo de tinción (reacción xantoproteica)

La realización de este ensayo fue llevada a cabo en una de las muestras vulcanizadas, en todas a las que únicamente se le había añadido potasa y en las muestras base, el procedimiento puede observarse en la Figura 7.



Fig. 7. Elementos del ensayo de tinción (izquierda), muestra a ser rociada con sosa (derecha)

En todas las reacciones, tras añadir la sosa al recipiente con la muestra, el material dio positivo en aminoácidos (Figura 8).



Fig. 8. Muestras positivas tras el ensayo de tinción

En una primera instancia, se dedujo que esto podría deberse a que las enzimas aplicadas no cubrían todo el espectro de aminoácidos del material, y por tanto inhibiendo solo algunos de ellos. Análisis posteriores de las propias enzimas desvelaron un error en la primera hipótesis: no se debe a la incapacidad de la enzima a neutralizar los aminoácidos por lo que daba la prueba positiva, sino por la naturaleza misma de la enzima. Se pasó por alto que las enzimas (salvo excepciones que no son el caso), son sustancias complejas de naturaleza proteica, por lo que independientemente de la efectividad en la inhibición de los aminoácidos, las muestras iban a dar y dieron positivo (Figura 9).



Fig. 9. Enzimas positivas

3.4. Ensayo de hiperalergenicidad

Como resultado de la imposibilidad de determinar la eficiencia de las enzimas por el método xantoproteico, se buscaron otros métodos. Tras sopesar varias opciones, se determinó que la eficiencia de las enzimas se ensayaría en la piel de algún alérgico al látex, con el inconveniente de que este tipo de ensayo no cuenta con una gran precisión. Esto se debe a que el látex natural cuenta con una gran variedad de proteínas, de las cuales, solamente las contenidas en la siguiente lista tienen un efecto alérgico: proheveína, heveína, hevamina, patatina del suero B y C, profilina, enolasa, SOD, profilina y 1-3 gluconasa; además de ciertos factores de elongación y proteínas estructurales de función desconocida. Es por esta gran y compleja gama de factores alérgicos, que el ensayo en un individuo podría ser pobre en cuanto a precisión (no todos los individuos tienen alergia a los mismos factores). A pesar de ello, se llevaron a cabo dos experimentos con las muestras con potasa y sin vulcanizar. Los resultados, si bien no concluyentes por la ineficiencia del método, dieron negativo al menos en algunos de los componentes mencionados.



Fig. 10. Muestra rica en potasa (izquierda), muestra con enzimas (centro) y muestra con enzimas (derecha).

El procedimiento fue sencillo, se aplicó la muestra en dos puntos diferentes de la piel y se esperaron 5 minutos a una reacción (ya que son espontáneas). El único efecto que tuvo fue un ligero picor, ya comprobado anteriormente por la presencia de la potasa, pero de forma más significativa en la muestra rica en la misma (Figura 10), y prácticamente imperceptible en la de menor valor, que contenía enzimas. El hecho de que no apareciesen las rojeces características de una reacción alérgica cutánea es lo que nos permitió valorar el resultado como válido y negativo. Tras la exposición a las dos

muestras, se puso la zona afectada bajo agua fría durante 2 minutos sin que hubiese efectos secundarios o que perduraran los ya analizados.

3.5. Ensayo de tracción

El comportamiento del material es mostrado en las gráficas (Figuras 11 y 12). En cuanto al desarrollo del ensayo, se realizó una primera prueba con una muestra sin tratar que rompió inmediatamente y con rotura frágil, que imposibilitó la toma de datos.

Más adelante, se experimentó con otro método más eficiente y se procedió a examinar muestras tratadas, con un modelo de probeta de $3.24 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ de espesor, un ancho de $24.14 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ y una longitud calibrada de $95 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$. Con pesos de $50 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ aumentando de 50 g en $50 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$, y de $150 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ a $450 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ con intervalos de $100 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$, produciéndose la rotura con los $450 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$. La distancia entre marcas era de $39.98 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$, teniendo en cuenta el error; con una máxima elongación de $127.22 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ (Figura 13 derecha) y una deformación de un $237,45 \% \pm 1 \%$. Debido a la complejidad en la lectura del gráfico para poder hacer un análisis del módulo de Young (E), y teniendo en cuenta que las condiciones eran prácticamente de temperatura constante, se intentó usar la aproximación de la ecuación deducida del modelo de Meyer:

$$E = nKT \left[\frac{L_0}{L} + 2 \left(\frac{L}{L_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Donde K es la constante de Boltzmann, n la densidad de entrecruzamientos, T la temperatura y L y L_0 , las longitudes finales e iniciales respectivamente. Para el cálculo de la densidad de entrecruzamientos se dio uso a la ecuación de Flory-Rehene:

$$n = \frac{-[\ln(1 - Vr) + Vr + \gamma Vr^2]}{Va(\sqrt[3]{Vr} - \frac{Vr}{2})} \quad (2)$$

Adaptada al caso del látex según indica el doctorando J. Brasero, donde Vr es la relación del volumen de látex seco con el volumen de agua ($\frac{V_{\text{látex seco}}}{V_{\text{látex seco}} + V_{\text{agua}}}$); Va el volumen molar del agua; y γ una constante de valor 0.391.

Los cálculos no fueron satisfactorios pese a los esfuerzos, y no se pudo determinar el módulo de Young, pero sí el valor de la resistencia a tracción (Rm), de unos 60 MPa.

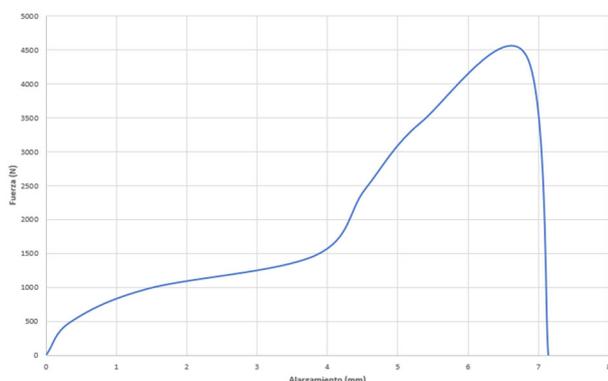


Fig. 11. Gráfica Fuerza (kN) - Alargamiento (mm)

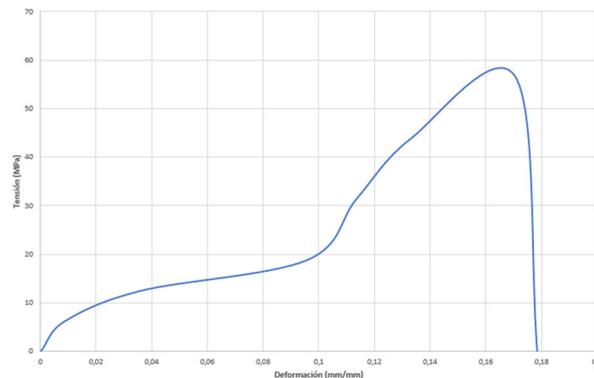


Fig. 12. Gráfica Tensión (MPa) - Deformación (mm/mm)



Fig. 13. Desarrollo del ensayo de tracción: aplicación de los pesos, medida de la longitud inicial de probeta (L_0), medida de la longitud instantánea durante el ensayo y medida de la longitud final de probeta (L)

3.6. Ensayo de viscosidad

Fueron realizadas múltiples pruebas a diferentes muestras en una temperatura de unos 286 K (13°C) (Figuras 1 y 2). Todas las muestras sin tratar (ni vulcanizadas ni con añadidos de potasa) tuvieron un comportamiento de alta viscosidad, que, debido a la naturaleza rústica del ensayo, no pudo estudiarse su valor con precisión. Se sabe que el valor es superior a $5000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, pero conociendo el rango comúnmente aceptado para la diferenciación entre un sólido y un líquido muy viscoso, de alrededor de $10^{12} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, no puede demostrarse experimentalmente cómo se comporta. Con respecto a las muestras tratadas, la vulcanizada y las que contaban con altos valores de potasa registraron valores de entre 1500 y $5000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ en el caso de la muestra vulcanizada, y de 500 y $960 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ en la que contenía altos valores de potasa. Es posible, por tanto, concluir que la naturaleza de fluido viscoso de todas estas muestras da los mismos problemas de análisis que las muestras sin tratar, no pudiendo, por ende, determinar su naturaleza mecánica.

Los resultados más concluyentes fueron los de la muestra con alta concentración de potasa, donde se pudo ver su comportamiento a diferentes ángulos, pese a contar con una diferencia de un orden de magnitud (debido a la pobreza de los métodos usados). En el caso de la muestra vulcanizada, solo se consiguió una fluencia medible y consistente para ángulos menores a $\pi/2$; y en los otros casos, simplemente no se consiguió fluencia alguna después de 2 horas de ensayo. No es descartable que puedan fluir, pero no es una determinación posible con los medios disponibles. Solo se experimentó con una muestra vulcanizada, pues por un incidente se perdió la otra, que sí contaba con proporciones diferentes a la experimentada. Las otras pruebas que se vulcanizaron, por un fallo a lo hora de cubrirse, acabaron desperdiándose.

La ecuación usada para hallar la viscosidad fue:

$$\mu = \frac{F * h * \text{sen}(\alpha)}{S * V} \quad (\text{Pa} * \text{s}) \quad (3)$$

siendo $F = mg$ (N), con $g = 9.8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$, S la superficie de la muestra, h la altura a la que estaba colocada, V la velocidad de fluencia (distancia recorrida entre tiempo) y α el ángulo con el que se midió la viscosidad.

Se hizo a su vez un análisis de errores, obteniéndose un margen de $\pm 9 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ de tasa de error por ensayo, usando el método de derivación para hallar este valor:

$$\Delta\mu = \frac{\partial\mu}{\partial m} \Delta m + \frac{\partial\mu}{\partial h} \Delta h + \frac{\partial\mu}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial\mu}{\partial L} \Delta L \text{ (Pa}\cdot\text{s)} \quad (4)$$

Donde $\Delta\mu$ de una magnitud es su error y L es el desplazamiento de la superficie. Se podrían haber usado otros modelos matemáticos para la determinación de la viscosidad, pero no se contaba con la temperatura de transición vítrea (T_g) para poder utilizarlos.



Fig. 14. Muestras durante y tras el ensayo de viscosidad

4. Conclusiones

La hipótesis primera con la elaboración de este látex estaba basada en la obtención de uno que fuera no sintético, hipoalergénico y biodegradable, contribuyendo con el entorno, al ser natural. Este objetivo era perseguido debido al incesante incremento en la producción y comercialización de látex sintéticos hipoalergénicos, que resultan no contribuyentes con la economía circular, ya que su biodegradación resulta inefectiva, de manera que se planteaba no solo la cuestión de su reciclaje, sino también la de mantener su hipoalergenicidad.

En un primer intento se intentaron neutralizar las proteínas para así obtener un látex libre de alérgenos, siendo el resultado no satisfactorio, presentándonos varios problemas.

Primeramente, la imposibilidad de concretar la efectividad de su no reacción con la piel, debido a unos métodos insuficientemente concluyentes. De manera secundaria, durante el proceso de fabricación se sucedieron diversos contratiempos, como es la conservación del material, que tras pasados unos días comenzó a criar hongos, resultando impracticable. Además, la consistencia también fue uno de los factores clave, siendo demasiado líquida como para poder ser aplicado en diversos campos.

Con objeto solventar los ya mencionados impedimentos nos fue posible llegar a dos conclusiones. Una de ellas consistía en añadir KOH para la conservación, pues actúa como fungicida, eliminando los hongos; y la otra era relativa a la líquida consistencia, optando por poner en práctica la reacción de vulcanización del caucho, que presentó dificultades posteriormente, como el hecho de no disponer ni de la maquinaria suficiente, ni de los compuestos necesarios, obteniendo una vulcanización a menor nivel que en la industria, en la que disponen del tiempo y la energía óptimas para llevar a cabo la reacción, dado que sus hornos no son los convencionales. A esto se le añaden los posibles productos de desecho de la propia reacción, que eran tóxicos, necesitándose una zona amplia y ventilada.

Todos estos problemas pueden ser evitados asumiendo que la vulcanización resultaría más pobre de lo posible, optándose por hacer varios vulcanizados a distintos tiempos, concluyendo, como se exponía en la teoría, que era necesario un mínimo de 3 horas para comenzar la creación de enlaces con las moléculas de azufre.

Finalmente logramos vulcanizar el material, pudiendo aportarle una consistencia y rigidez mayor, lo cual causó un último problema. Al envasarlo para su conserva, fue recubierto con papel de aluminio, que corroyó el látex, de lo que dedujimos que no se habían integrado completamente los productos de la vulcanización.

Al realizar una última vulcanización, se pudo integrar totalmente el azufre, haciendo así que el látex vulcanizado no reaccionase con la lámina de aluminio.

De esta forma, puede concluirse con la obtención de un tipo de látex que cumple con la hipótesis inicial completamente, y con posibles aplicaciones en la industria del maquillaje, puesto que se puede considerar hipoalergénico, aunque con mejores medios podría saberse el nivel de hipoalergenicidad real. Además, ha sido comprobado que es biodegradable, y que tiene un coste que ronda los 30 euros, con aplicaciones en la industria médica con el uso de conservantes naturales, como el sorbato de potasio. De este mismo, pueden desglosarse otros dos tipos de látex más enfocados a la industria. Uno con adición de potasa, que hace que se conserve mejor, pero que a su vez provoca reacción al entrar en contacto con la piel, por lo que podría utilizarse en aplicaciones como plantillas de zapatos recubiertas de tela; o para la compactación de suelos terrosos actuando a la vez como agente compactante y como fungicida, con un coste de producción cercano a los 35 euros. El otro tipo, el látex vulcanizado, podría servir para la fabricación de neumáticos, aunque si cumple con la hipótesis de la biodegradación (la cual no ha sido posible de constatar en este caso) no serían muy duraderos, sin tener en cuenta el gasto energético, y solo el gasto en material. En cuanto al coste final de producción del material, se ha calculado que ronda los 45 euros.

Como conclusión final se han obtenido resultados que cumplen con la hipótesis preestablecida y que a su vez se comprometen con los ODS con respecto a la reducción de alérgenos, la producción de materiales respetuosos con el entorno y el proceso de fabricación no contaminante, puesto que la fabricación del primer tipo de látex no implica el uso de químicos contaminantes, ni el uso de maquinaria contaminante, y a su vez al ser biodegradable cumple con la reducción de los residuos no degradables o reciclables reduciendo así el impacto climático del material. Además, abre nuevas fronteras hacia la exploración de nuevas vías de conformado del material.

Por último, nos gustaría aportar una pequeña reflexión a la que hemos llegado y es que, aunque parezca un gesto no muy relevante, lo cierto es que con cada pequeña acción que podamos realizar, estaremos contribuyendo globalmente a la disminución de los problemas causados por la utilización de productos dañinos con el medio ambiente.

5. Agradecimientos

A la Universidad Politécnica de Madrid ampliamente y, más concretamente, a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos por su gran labor y esfuerzo en la adquisición de competencias de su alumnado. Del mismo modo, mencionar al personal docente que imparte esta asignatura, Estructura de Materiales II, por su implicación en el desarrollo de los trabajos experimentales cuatrimestrales, pero con especial mención al coordinador, José Ygnacio Pastor Caño, por su aportación en este particularmente, sin la que nos hubiese sido imposible un mejor desarrollo de la experimentación.

Por otro lado, referirnos a nuestros familiares y amigos, los que nos apoyan incondicionalmente a todos los niveles, también durante el proceso del experimento, y sin olvidarnos de hacer hincapié en los familiares de Guzmán del Puerto Llorente, quienes nos facilitaron la localización y artilugios necesarios para el buen progreso del mismo.

Por último, cabe destacar el esfuerzo realizado por cada componente de este grupo, que ha sido capaz de dar lo máximo de sí incluso con las limitaciones encontradas a nivel legal, causadas por el virus, y las obligaciones personales de cada uno, consiguiendo trabajar conjuntamente con objeto la obtención final del artículo.

6. Bibliografía

- [1] Alumnos de la asignatura Estructura de Materiales II. (2020). Revista anual con los experimentos en materiales no cristalinos realizados por los alumnos de la asignatura Estructura de Materiales II. *Ingeniería Materiales*, n. 2
- [2] Berta Elizabet Llorente (2000). Aislamiento, purificación, caracterización y producción in vitro de peptidasas de Alcaucil coagulantes de la leche [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional de la Plata, facultad de ciencias exactas. Recuperado el 13 de mayo de 2021, de: <https://core.ac.uk/download/pdf/15759402.pdf>
- [3] Cosmética natural casera shop. Página web. Recuperado el día 13 de mayo de 2021 de: <https://www.cremas-caseras.es/18-conservantes>
- [4] Dr. Osvaldo Zarco Cid del Prado, Dra. Socorro Orozco Martínez, Dr. José Huerta López y la Dra. Adela Rodríguez (2006). Alergia al látex. Artículo de investigación medigraphic. Recuperado el 13 de mayo de 2021, de: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/contenido.cgi?IDPUBLICACION=1260>
<https://www.medigraphic.com/pdfs/alergia/al-2006/al063a.pdf>
- [5] José Tadeo Lozano (2000). Laboratorio de Química Orgánica [Guía de prácticas]. Universidad de Bogotá. Recuperado el día 13 de mayo de 2021, de: http://avalon.utadeo.edu.co/comunidades/estudiantes/ciencias_basicas/organica/guia_7_carbohidratos.pdf
- [6] Justo Brasero Espada (2017). Desarrollo de nuevas formulaciones de látex de caucho natural libres de n-nitrosaminas, hipoalérgicas y ecológicas, y su caracterización por RMN de campo bajo [Tesis doctoral]. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado el 13 de mayo de 2021, de: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/42693/1/T38785.pdf>
- [7] Post: Inmersión (Látex) (1 de junio de 2012). Recuperado el 13 de mayo de 2021, de: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/06/inmersion-latex.html>