



Gel balístico

I. Gorjón, E. Herraiz, M. Lucía, B. Vázquez de Prada

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 24 Febrero 2020

Entrega Proyecto 19 Mayo 2020

Disponible online 16 Julio 2019

Keywords:

Gel balístico, Resistencia a tracción, resistencia a compresión, dureza, solubilidad, temperatura de fusión, *dummies* (o sims)

ABSTRACT

En este trabajo se ha querido estudiar el comportamiento del gel balístico mediante diversos ensayos en los que se han puesto a prueba la resistencia a tracción, temperatura de fusión, dureza, resistencia a compresión, solubilidad, resistencia a impacto y degradación del material. Debido a los bajos valores que se obtuvieron en los ensayos, se realizaron dos variantes en la composición del material original, en la primera se le añadió goma arábiga y finalmente, se consiguieron los resultados esperados al añadir pegamento casero y fécula de maíz. Con la última variante se obtuvieron las propiedades óptimas para las aplicaciones del material, que será usado como gel balístico, *dummies* para pruebas de accidentes de tráfico y para imitar el tejido humano para pruebas forenses y prácticas en universidades.

© 2020 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved.

1. Introducción

En el presente documento se presenta un estudio realizado sobre diferentes tipos de geles balísticos, con el objetivo de analizar y estudiar su comportamiento ante variaciones en su composición y bajo diferentes herramientas de ensayo.

Durante muchos años, las pruebas balísticas han sido realizadas sobre trozos de carne de animales, para así poder comparar sus efectos sobre la carne humana. Pero el coste del mantenimiento de la carne debido a su descomposición y a la repetitividad de los ensayos, obligaron a crear un material sintético que pudiera imitar a la piel humana y en el cual se pudiera estudiar con detalle la expansión del impacto de las balas. De esta necesidad, surgió el gel balístico, desarrollado y mejorado por Martin Fackler entre otros dentro de campo de balística de la herida. Este gel simula a los tejidos y músculos humanos, poseyendo unas características mecánicas similares, pues el agua compone la mayor proporción de ambos. Este, está compuesto en su mayoría por agua y gelatina, que es el componente que aporta la densidad y viscosidad que le permite imitar al tejido humano y animal.

Además de su uso en estudios de balística, este gel también es empleado en los *dummies* (maniqués balísticos) que nos proporcionan una visión de los traumas en el cuerpo humano tras un accidente, pruebas forenses, estudios en universidades, etc.

Se ha decidido comprobar la veracidad de estas propiedades en un gel balístico casero y ecológico a través de la realización de diversos ensayos que pusieran a prueba la resistencia a impacto, a compresión y a tracción de este material, siendo estos los más importantes para sus aplicaciones finales de acuerdo a su uso. Para ello se han realizado tres variantes en la elaboración del material, en primer lugar, se creó el gel balístico con su composición original, al que posteriormente se le añadió goma arábiga y finalmente se optó por añadir a la composición inicial fécula de maíz y pegamento casero con el objetivo de mejorar sus propiedades, ya que al ensayar las primeras variantes no se obtuvieron las propiedades deseadas para sus futuras aplicaciones.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

Para realizar el gel balístico (en su composición original) hemos utilizado:

- 3 o 5 cucharadas de gelatina neutra (en 2 cantidades diferentes para poder comprobar cómo varían sus propiedades)
- 1 cucharada de jabón de glicerina
- 1 cucharada de vinagre
- 3 cucharadas de pegamento casero o goma arábiga
- 500 ml de agua

El proceso de elaboración consta de 2 pasos sencillos, primero se han mezclado todos los ingredientes en agua muy caliente (sin que llegue a ebullición) y después se ha dejado reposar la mezcla bien en el frigorífico o en el congelador, para poder estudiar después cómo varían las propiedades en función de la velocidad de enfriamiento.

Para las 2 variantes realizadas, se ha añadido a la mezcla original goma arábiga y pegamento casero (realizado a base de harina, agua, vinagre y azúcar con el fin de buscar una alternativa ecológica), para ver si estos pueden aportar alguna propiedad interesante a nuestro material.

2.2. Métodos

Hemos ensayado nuestro material utilizando diferentes métodos:

- **Ensayo de tracción**, a partir del cual se han obtenido datos de la elongación que sufre nuestro material al estirarlo y de la carga máxima que soporta (resistencia a tracción). Para llevarlo a cabo se han tomado probetas de 8 cm de largo, 3 cm de ancho y 1,5 cm de grosor de nuestro material (previamente midiendo la sección y longitud entre marcas) y se han sujetado sus extremos a 2 trozos de cartón. En el primer método que utilizamos (Fig. 1, izquierda)

se ha colgado una bolsa de plástico en la que se ha ido vertiendo agua hasta que la probeta ha roto. Pesando el agua del interior de la bolsa se ha obtenido la carga máxima que soporta la probeta, y midiendo la longitud entre marcas su alargamiento. En el segundo método (Fig. 1, derecha) utilizamos un peso para colgar la probeta y así calcular directamente la carga máxima que soportaba.



Fig. 1. Resistencia a tracción medida mediante: método 1 (izquierda) y método 2 (derecha)

- **Temperatura de fusión**, calentando una probeta de 3 cm de ancho por 3 cm de largo y de 1.5 cm de grosor de nuestro material al baño maría y midiendo a qué temperatura empieza a fundirse con ayuda de un termómetro (Fig. 2).



Fig. 2. Ensayo temperatura de fusión

- **Dureza**, utilizando un bolígrafo y una canica hemos colocado peso encima de la probeta de 5 cm de largo, 5 cm de ancho y 1,5 cm de grosor y medido la profundidad de la huella en el caso del bolígrafo y el diámetro de la huella en el caso de la canica.



Fig. 3. Ensayo de dureza con bolígrafo (izquierda) y con canica (derecha)

- **Resistencia a compresión**, colocando una probeta de 5 cm de largo, 5 cm de ancho y 1,5 cm de grosor del material sobre una báscula (Fig. 4 izquierda) y colocando peso encima hasta que rompa obtenemos la carga máxima que soporta a compresión. Otro método utilizado consiste en apilar recipientes (Fig. 4 derecha) de los cuales conocemos su peso encima de la probeta hasta que esta rompa y posteriormente calcular la carga total aplicada.



Fig. 4. Resistencia a compresión con: método 1 (izquierda) y método 2 (derecha)

- **Resistencia a impacto**, para la cual se han utilizado varios indentadores (bolígrafos, canicas, tuercas), se han dejado caer con ayuda de una cuerda a modo de péndulo desde diferentes alturas y se han medido la huella que dejan al impactar con el material, las probetas usadas tenían un grosor de 1,5 cm (Fig. 5).



Fig. 5. Resistencia a impacto usando como indentador una tuerca

- **Solubilidad**, con 3 recipientes con 50 ml de agua (con hielos, a temperatura ambiente y caliente) podemos comprobar como varía la solubilidad en función de la temperatura, la probeta usada fue de 3 cm de ancho por 3 cm de largo y de 1.5 cm de grosor (Fig. 6, izquierda).



Fig. 6. Ensayo de solubilidad en agua fría (izquierda) y muestra del material tras estar expuesto al aire libre 5 días (derecha)

- **Degradación**, dejando una probeta de 3 cm de ancho por 3cm de largo y de 1.5 cm de grosor del material en la ventana (Fig. 6, derecha) y otra sumergida en agua y observando su evolución con el paso del tiempo.

2.3. Ecuaciones

Las fórmulas empleadas son:

Resistencia a tracción:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{s_0} \tag{1}$$

Error cuadrático en medidas directas:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_n - 1}{\sqrt{n}} \tag{2}$$

Error total en medidas directas:

$$\Delta x = \sigma_x + \text{resolución} \tag{3}$$

Error en las medidas indirectas

$$\Delta p = \left[\frac{\partial p}{\partial m} \Delta m \right] + \left[\frac{\partial p}{\partial U} \Delta U \right] \tag{4}$$

Tabla 1. Resistencia a impacto (en Kg) y dureza (huella en mm) de las muestras ensayadas

Altura (cm)	Resistencia a impacto (Kg)											
	Indentador 5'8 g y 1'6 mm de diámetro (bolígrafo)				Indentador de 10 g y 16 mm de diámetro (canica)				Indentador de 40 g y 20mm de diámetro (tuerca)			
	Material original	Con goma arábica	Con pegamento	Con fécula de maíz y pegamento	Material original	Con goma arábica	Con pegamento	Con fécula de maíz y pegamento	Material original	Con goma arábica	Con pegamento	Con fécula de maíz y pegamento
50	6	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
75	9	6	6	5	0	0	0	0	2	1	0	0
100	12	9	10	7	0	0	0	0	3	2	2	0
125	16	12	10	8	0	0	0	0	3	3	2	1
150	22	15	18	15	0	0	0	0	3	3	2,5	1,5

Peso (g)	Dureza de los materiales							
	Dureza Material original		Dureza Material con goma arábica		Dureza Material con pegamento		Dureza Material con pegamento y fécula de maíz	
	Indentador 5,8 g / 1,6 mm (bolígrafo)	Indentador 10 g / 16 mm (canica)	Indentador 5,8 g / 1,6 mm (bolígrafo)	Indentador 10 g / 16 mm (canica)	Indentador 5,8 g / 1,6 mm (bolígrafo)	Indentador 10 g / 16 mm (canica)	Indentador 5,8 g / 1,6 mm (bolígrafo)	Indentador 10 g / 16 mm (canica)
	Profundidad (mm)	Huella (mm)	Profundidad (mm)	Huella (mm)	Profundidad (mm)	Huella (mm)	Profundidad (mm)	Huella (mm)
80	6	9	4	7	6	9	4	7
120	12	12	10	10	12	12	10	10
200	25	14	22	14	25	14	22	14
300	36	16	29	16	36	16	29	16

3. Resultados y análisis de resultados

3.1. Resultados

3.1.1. Resistencia a tracción

Tabla 2. Resistencia a tracción (en Pa)

Materiales	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Media
Material original	0,0016	0,0019	0,0013	0,002	0,00170
Con goma arábica	0	0,0014	0,0021	0,0019	0,00135
Con pegamento	0,0196	0,0207	0,0233	0,0218	0,02135
Con Pegamento y fécula de maíz	0,0198	0,0215	0,0235	0,0229	0,02192

3.1.2. Resistencia a compresión

Tabla 3. Resistencia a compresión (en Kg/mm²)

Materiales	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Media
Material original	4,5	5,8	4,6	5,5	5,1
Con goma arábica	3,5	3,4	3,8	3,5	3,55
Con pegamento	8	8,7	9	9,4	8,77
Con Pegamento y fécula de maíz	9	9,5	10	8,5	9,5

3.1.3. Temperatura de fusión

Tabla 4. Temperatura de fusión (°C)

Materiales	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Media
Material original	30	36	32	32	32,5
Con goma arábica	40,8	40,4	41	40,6	40,7
Con pegamento	50	47	45	52	48,5
Con Pegamento y fécula de maíz	59	61	60,2	57,5	59,4

3.1.4. Resistencia a impacto

En la Tabla 1 se muestran los resultados de los ensayos. La profundidad de la huella se ha medido en milímetros.

3.1.5. Dureza

Los resultados de los ensayos de dureza utilizando dos tipos de indentadores, bolígrafo y canica, se pueden ver en la Tabla 1.

3.1.6. Degradación

El material ha estado al aire libre expuesto a la luz solar y a los cambios de temperatura durante tres días. Se observó que el agua que componía el material se evaporó y, por tanto, el material se solidificó completamente perdiendo su flexibilidad y aumentando su dureza.

El material que fue sumergido en agua comenzó a degradarse en 10 días, deshaciéndose completamente en el agua en 15 días.

3.1.7. Solubilidad

Se comprobó que el material se disolvía al momento en el agua caliente y por más que se le añadiera más muestras de éste, si el agua seguía lo suficientemente caliente, seguía disolviéndose. En cuanto a la temperatura del agua disminuye el material permanece intacto.

3.1.8. Cálculo de errores de los resultados

	Temperatura de fusión (°C)	Resistencia a Tracción (MPa)	Resistencia a Compresión (Kg/cm ²)
Error cuadrático	± 2	± 0,00006	± 0,3
Error en las medidas indirectas	-	± 0,00002	-
Error total	± 2	-	± 0,3

Cálculo de errores en el instrumental:

- Resolución báscula (kg): ± 0,001
- Resolución calibre (mm): ± 0,02
- Resolución termómetro (°C): ± 0,1

3.2. Análisis de resultados

3.2.1. Resistencia a tracción

Como se puede observar en la gráfica (Fig. 7) la resistencia a tracción aumenta notablemente al añadir al material pegamento, fécula de maíz o ambos a la vez. A pesar de esto último no se obtienen unos resultados que concluyan que la resistencia a tracción sea de utilidad para alguna aplicación práctica (Gráfica basada en Tabla 2)

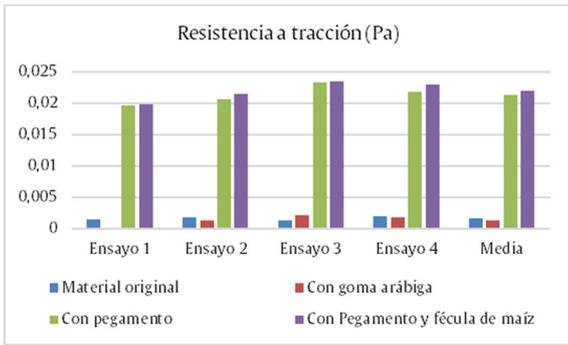


Fig. 7. Resistencia a tracción

3.2.2. Temperatura de fusión

En los primeros ensayos realizados con el material original se obtuvieron unas temperaturas de fusión muy bajas y poco convenientes, por lo que se incorporó en diferentes muestras la fécula de maíz, el pegamento y la goma arábica intentando obtener mejores resultados.

Con la goma arábica se obtuvo una temperatura más alta pero que tampoco estimamos suficiente. Con el material al que se incorporó pegamento y fécula de maíz se obtuvo, como se puede ver en la gráfica, temperaturas de hasta sesenta grados centígrados, superando las temperaturas del material original por más de 25 °C (gráfica basada en Tabla 4).

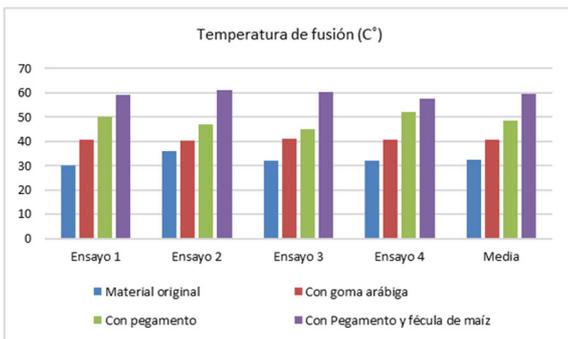


Fig. 8. Temperatura de fusión

3.2.3. Resistencia a compresión

El material original obtuvo en las pruebas resultados que rondaban los 5 kg/cm² empeorando notablemente el resultado con la incorporación de goma arábica.

En cambio, si mejoraron notablemente los resultados en las pruebas de los materiales a los que se les incorporó sucesivamente pegamento y fécula de maíz o ambos. En estos casos, como puede observarse, se doblan las resistencias a compresión obtenidas (gráfica basada en Tabla 3).

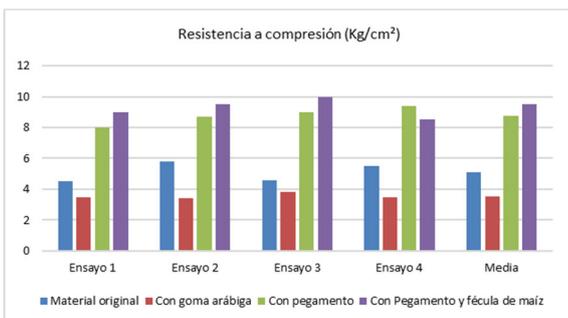


Fig. 9. Resistencia a compresión

3.2.4. Resistencia a impacto

En este ensayo se midió la profundidad de la huella creada tras lanzar distintos objetos con un péndulo desde cinco alturas. En el ensayo de la canica no se consiguió alcanzar la suficiente altura como para dejar huella en el material (ver Tabla 1).

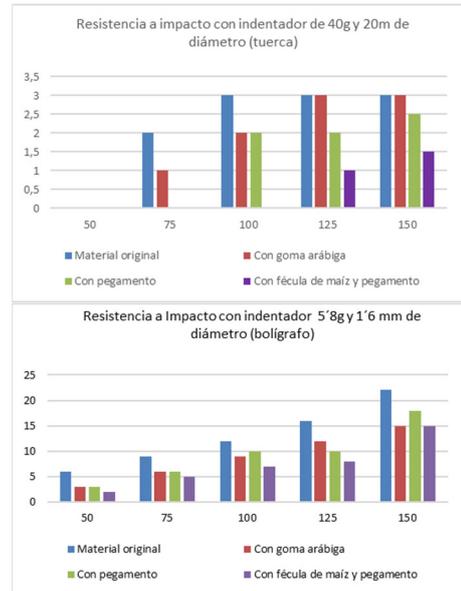


Fig. 10. Resistencia a impacto con tuerca (superior) y con bolígrafo (inferior)

En los otros dos ensayos se pudo deducir que una vez más el material que contenía fécula de maíz y pegamento es el más resistente, en este caso a impacto, ya que la profundidad de sus huellas es, en todos los casos, menores que las del resto de materiales (gráficas basadas en Tabla 1).

3.2.5. Dureza

Como se puede observar en Fig. 11, el material más duro es el que alteramos con el pegamento y la fécula de maíz ya que la profundidad de la huella con el primer indentador es la menor y el diámetro de la huella con el segundo indentador es el menor también. Por lo que se dedujo que es más difícil de penetrar (Gráficas basadas en Tabla 1).

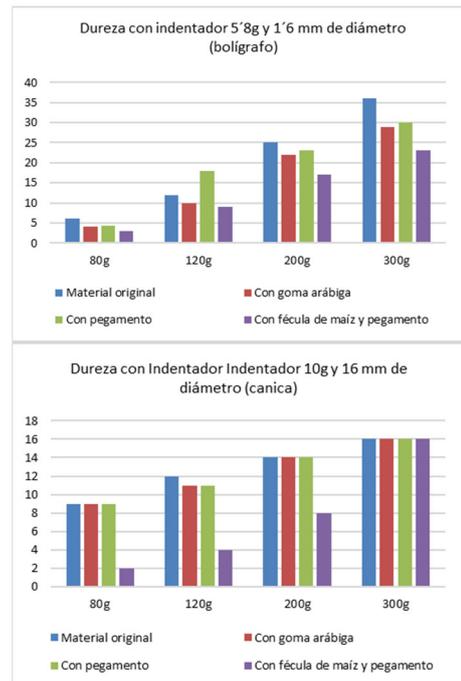


Fig. 11. Dureza medida con bolígrafo (superior) y con canica (inferior)

3.2.6. Degradación

Nuestro material se degrada fácilmente al aire libre, en unos tres días por lo que se puede deducir que deberá conservarse en lugares frescos y aislados una vez deje de usarse.

Por otra parte, el tiempo de degradación en el agua es mayor por lo que podría permanecer sumergido en agua hasta un máximo de 8 días aproximadamente sin perder sus propiedades.

3.2.7. Viscosidad

El material tiene baja viscosidad cuando este se conserva a una temperatura menor que la del ambiente, es decir, entre 2 y 15 °C ya que es muy adherente a cualquier superficie. Sin embargo, cuando está a temperatura ambiente comienza a ponerse viscoso y en intervalos largos de tiempo comienza a fluir debido a su alta viscosidad.

Una vez se funde el material se comporta como un fluido.

3.2.8. Solubilidad

De los resultados de nuestros ensayos se puede deducir que este material podría tener aplicaciones en las que se tuviera que sumergir en agua siempre que fuese fría y no superara el tiempo de degradación.

4. Conclusiones

Al realizar diversos ensayos del material con distintas características en su composición, podemos concluir que el material con mejores propiedades mecánicas y físicas es el compuesto por pegamento y fécula de maíz para sus aplicaciones finales. Como se ha visto en la discusión de los resultados este material no es adecuado para soportar grandes esfuerzos a tracción, pero esto no supone un problema para sus aplicaciones, ya que a los esfuerzos que va a ser sometido es a compresión y a impacto y en ambos ensayos se obtuvieron los resultados esperados. Debido a estas características, usaremos nuestro material para la fabricación de dummies.

Los dummies son maniqués con unas propiedades concretas muy semejantes a la piel humana para ensayarlos en diferentes campos como en un simulacro de accidente de tráfico para evaluar los daños causados, pruebas de anatomía forense o prácticas de medicina. Otra de las aplicaciones más comunes son las pruebas de balística. Una vez utilizado en las pruebas oportunas, se puede fundir hasta diez veces y darle forma de nuevo sin perder las propiedades, debido a que la gelatina son proteínas y al calentarlo repetidas veces se desnaturaliza, por lo tanto, es reciclable.

En cuanto a sus propiedades térmicas, en periodos no muy amplios de trabajo (alrededor de tres horas) el material puede aguantar hasta temperaturas de treinta grados sin perder sus propiedades, pasado este tiempo el material se empieza a degradar aumentando su viscosidad. Su temperatura óptima de conservación es en un ambiente frío y seco, en torno a los quince grados; sin bajar de los cero grados, puesto que el material se congela y se fragiliza. En ambientes calurosos el material se deshidrata perdiendo la flexibilidad, que puede ser recuperada al sumergirlo en agua fría.

Su producción no es costosa como tampoco lo son los materiales empleados. Teniendo en cuenta que una vez usado se le puede dar su forma original simplemente fundiéndolo, su coste se abarata más y su vida útil se alarga.

El material se degrada fácilmente, por lo que no causa un gran impacto en el medio ambiente. Al ser biodegradable y no tener en su composición ningún químico nocivo no deja residuos contaminantes una vez sea desechado.

4.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los objetivos de desarrollo sostenible que cumple nuestro material son los siguientes:

3. Salud y bienestar, ya que puede promover desarrollos que mejoren la seguridad de las personas, así como avances en medicina.
6. Agua limpia y saneamiento, ya que nuestro material no contamina el agua ni requiere una gran cantidad de esta en el proceso de elaboración. Además, creemos que no dañaría los ecosistemas subacuáticos.
7. Energía asequible y no contaminante, debido a que el consumo energético para su producción es mínimo.
12. Producción y consumo responsable. La producción de nuestro material no contamina y es reutilizable un gran número de veces.
14. Vida submarina. Aunque nuestro material acabe en el mar, debido a que casi el total de sus componentes son agua y gelatina (y los demás son orgánicos), no supondría un riesgo para los ecosistemas marinos.
15. Vida de los ecosistemas terrestres. Al igual que en el objetivo anterior, nuestro material se degradaría fácilmente ante condiciones medioambientales como el sol y la lluvia, por lo que no causaría ningún problema a la vida terrestre (como si que lo causan sus correspondientes alternativas fabricadas con productos químicos).

5. Agradecimientos

Agradecimientos a nuestros padres por ayudarnos a realizar los ensayos con el menor error posible.

6. Bibliografía

- [1] <https://youtu.be/0xUUnJJQyU>
- [2] <https://okdiario.com/curiosidades/recetas-pegamento-casero-1208119>
- [3] https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/28894/TFG_Rafael_De-Solis_Galindo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] <https://es.scribd.com/document/312848544/BALISTICA-FORENSE>
- [5] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- [6] https://es.qwe.wiki/wiki/Balistic_gelatin