

Viabilidad del uso de corcho aglomerado como núcleo de estructuras sandwich sometidas a impacto

C. Sergi¹, S. Sánchez-Saez², E. Barbero², J. Tirilló F. Sarasini¹, F. Sarasini¹

¹ Department of Chemical Engineering Materials Environment, Sapienza-Università di Roma, Rome 00184, Italy

² Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés 28911, España

Abstract

En la fabricación de estructuras sándwich de material compuesto, unas de las opciones más utilizadas como núcleo es el uso de espumas poliméricas. Debido a cada vez mayor esfuerzo en reducir el impacto medioambiental de los procesos industriales, existe un gran interés en incorporar materiales de origen natural que permitan disponer de fuentes renovables y que faciliten los procesos de reutilización y de reciclado. Una de las posibilidades para sustituir a las espumas poliméricas es el corcho aglomerado que presenta unas buenas propiedades mecánicas. No obstante, para que sea posible su uso como núcleo en estructuras sandwich es necesario conocer su comportamiento frente a cargas de impacto, tanto de baja como de alta velocidad.

En este trabajo se compara el comportamiento de una espuma de PVC comercial con corchos aglomerados de diferentes densidades. Se ha analizado la fuerza, desplazamiento, energía absorbida y velocidad de perforación. Se ha observado que el comportamiento del corcho aglomerado puede ser similar al de una espuma polimérica convencional, aunque con un incremento de peso. Adicionalmente se ha puesto de manifiesto que el corcho aglomerado puede ser una alternativa mejor a las espumas poliméricas en aquellas aplicaciones que puedan verse sometidas a varios impactos sucesivos.

 OPEN ACCESS

Published: 08/07/2022

Accepted: 08/07/2022

DOI: 10.23967/r.matcomp.2022.07.016

Keywords:

Agglomerate cork
Sandwich structures
Impact
Absorbed energy

1 Introducción

Las estructuras tipo sándwich de pieles de material compuesto y núcleo celular se utilizan ampliamente en el diseño mecánico debido a sus buenas propiedades, como su excelente resistencia y rigidez específicas, alta capacidad de disipación de energía, facilidad de fabricación y flexibilidad en el diseño [1, 2]. No obstante, este tipo de estructuras siguen teniendo límites de aplicabilidad a causa de su susceptibilidad frente a cargas de impacto que puede comprometer la fiabilidad de la estructura. Estudios previos de la literatura científica han demostrado que su respuesta estructural no depende solo de las pieles, sino también del núcleo utilizado [3, 4].

Actualmente, el aumento de la conciencia ambiental de la sociedad, hace que cada vez haya mayor interés en la utilización de materiales que, sin comprometer el comportamiento mecánico de los componentes estructurales, reduzcan el impacto medioambiental de los procesos de fabricación. En este sentido, el empleo del corcho aglomerado por su origen natural, renovable y reciclable, y sus buenas propiedades [5] puede ser una alternativa a los núcleos de espumas poliméricas.

En este trabajo se estudia la viabilidad del uso de corcho aglomerado como núcleo de estructuras sándwich sometidas a impacto como una alternativa natural y reciclable a los núcleos de espumas poliméricas. Se ha estudiado el comportamiento frente a impacto, tanto de baja como de alta velocidad, de corcho aglomerado con diferentes densidades comparándolo con el de una espuma polimérica de PVC de densidades similares; analizando la capacidad de absorción de energía como principal variable de comparación.

2 Materiales

Se han comparado tres corchos aglomerados (NL10, NL20 y NL25) suministrados por Amorin Cork Composites, y una espuma de PVC (HP130) suministrada por Divinycell. Todas las planchas suministradas tienen un espesor de 15 mm.

La densidad del corcho aglomerado puede variar en función de las dimensiones de los gránulos empleados, de la presión usada en fase de producción y del porcentaje de ligante empleado. El ligante usado es un tipo de poliuretano que asegura una buena compatibilidad con todos los tipos de resina que se suelen emplear a nivel industrial en la fabricación de las pieles.

Las probetas ensayadas en este trabajo presentaban una densidad de 150 kg/m³ las de NL10, 200 kg/m³ las de NL20 y 230 kg/m³ las de NL25; siendo la densidad de la probetas de espuma de PVC HP130 de 120 kg/m³.

3 Procedimiento experimental

Se han realizado ensayos de impacto a baja velocidad en torre de caída y ensayos de impacto a alta velocidad o impactos balísticos en cañón de gas.

3.1 Ensayos de impacto de baja velocidad

Los ensayos de compresión dinámica se efectuaron a temperatura ambiente y a 60°C en una torre de caída de peso Ceast Fractovis empleando un percutor plano con masa total de 4.134 kg y diámetro de 58 mm. Se realizaron impactos a una energía de 5 J.

Se ensayaron 5 probetas de cada material para cada

temperatura. Las probetas ensayadas tienen una forma cúbica y un tamaño de 15 mm x 15 mm x 15 mm. Los ensayos fueron grabados con una cámara de vídeo de alta velocidad para poder evaluar la respuesta de los materiales al fenómeno de impacto.

3.2 Ensayos de impacto de alta velocidad

Los ensayos de impacto balístico se realizaron en un cañón de gas utilizando estargón, una mezcla de Ar y CO₂. Se emplearon proyectiles esféricos de acero con un diámetro de 7,5 mm y una masa de 1,7 g.

Se ensayaron 20 probetas de 110 mm x 110 mm de cada tipo de material, velocidades de impacto entre 30 y 200 m/s. Los ensayos impactos fueron grabados a través de una cámara Fastcam SA-Z de alta velocidad para poder estimar la velocidad de impacto y la velocidad residual del proyectil después del evento de impacto.

4 Resultados

4.1 Ensayos de impacto de baja velocidad

En la Figura 1 se muestra las fuerza-desplazamiento de todos los materiales estudiados registradas para una energía de 5J y temperatura ambiente.

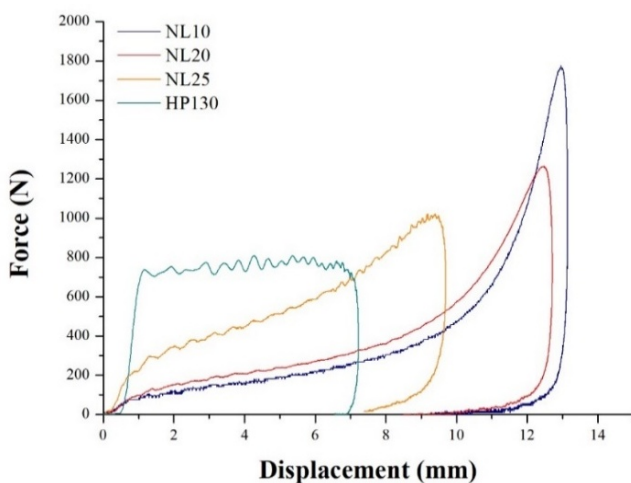


Figura 1. Curvas fuerza-desplazamiento de los diferentes materiales ensayados a 5J y temperatura ambiente.

Como se puede observar, las curvas tienen el comportamiento a compresión típico observado en materiales celulares [6, 7]. En todas las curvas es posible identificar un primer tramo elástico donde los desplazamientos son totalmente reversibles y un segundo tramo de *plateau* donde la fuerza permanece más o menos constante al aumentar el desplazamiento. Esto se debe a que las corrugaciones de las paredes de las celdas empiezan a crecer y las celdas se compactan [6]. El NL10 y el NL20 tienen también un tercer tramo de densificación y de aplastamiento de las celdas, donde la fuerza crece rápidamente para pequeños desplazamientos. La diferencia de comportamiento en el corcho aglomerado se puede atribuir al diferente valor de densidad de los materiales, de hecho para conseguir el mismo desplazamiento con un material más denso es necesario aplicar una fuerza mayor. En la literatura científica también se encuentran resultados que confirman la necesidad de emplear energías más altas para conseguir la densificación de un corcho más denso [6].

La espuma de PVC HP130 presenta un comportamiento diferente al observado en el corcho aglomerado. Tras un primer

tramo elástico se puede observar también un tramo de *plateau* que se puede atribuir a un colapso de las celdas del polímero y a una deformación plástica permanente del material. En este caso no se observa densificación del material, aunque su densidad es comparable al del corcho NL10.

En la Figura 2 se muestra la fuerza máxima, la deformación máxima y la energía absorbida para todos los materiales para ensayos con energía de impacto de 5J, realizados a temperatura ambiente y a 60°C.

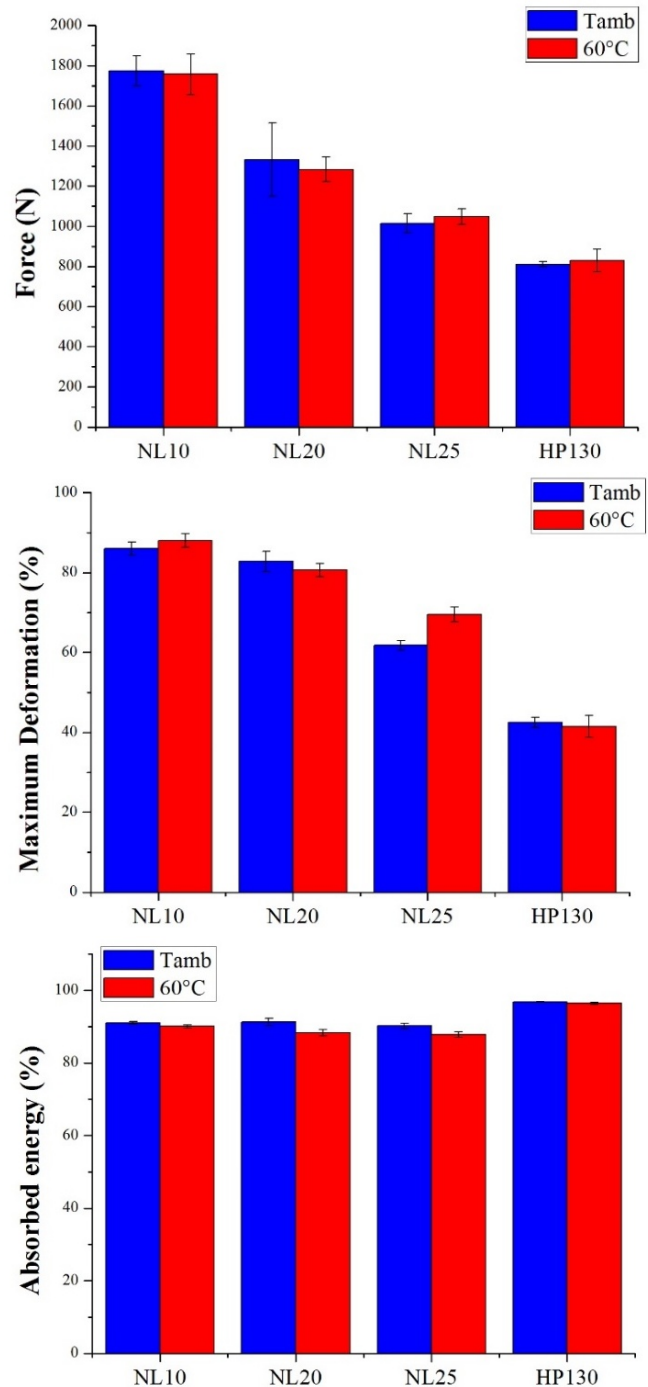


Figura 2. Fuerza máxima, deformación máxima y energía absorbida de los diferentes materiales para un impacto a 5J.

Se observa que el corcho NL10 ejerce la fuerza más alta, siendo

de los corchos aglomerados la del NL25 la más baja, aunque todavía es ligeramente inferior la carga máxima de la espuma de PVC HP130. Esto está directamente relacionado con la deformación medida y que se haya producido o no densificación. En el caso del corcho NL10 se observa también la deformación más alta, lo que significa que el material ha conseguido una densificación mayor que induce una fuerza de reacción mayor sobre el percutor.

Analizando los datos de energía absorbida en porcentaje, se puede observar que todos los materiales presentan una capacidad de absorción similar, en torno al 90%, siendo ligeramente mayor para la espuma de PVC, aproximadamente del 95%.

Aunque los datos relativos a la absorción de energía sean comparables es necesario incidir en que los mecanismos de absorción de energía del corcho y de la espuma de PVC son totalmente diferentes. El corcho aglomerado es un material viscoelástico que tiene la capacidad de disipar grandes cantidades de energía mediante grandes deformaciones no permanentes. La deformación que los fenómenos de compresión o de impacto pueden transmitir al material es recuperable para la mayoría de energías si se deja al corcho el tiempo necesario para que sus celdas corrugadas recuperen la morfología inicial. Este comportamiento particular del corcho aglomerado se debe a su composición química y, en particular, a la presencia de la suberina. Esta última, gracias a sus largas y flexibles macromoléculas, permite el total plegamiento de las paredes corrugadas sin que lleguen a fracturarse [5]. En el caso de la espuma de PVC, la energía se disipa mediante el colapso de las celdas con la consecuente deformación plástica del material, es decir, sufre una deformación permanente.

En la Figura 3, se puede observar como la deformación residual de la espuma de PVC inmediatamente después del impacto es mucho mayor que la del corcho. Esta diferencia en los mecanismos de absorción de energía es la mayor ventaja del corcho aglomerado sobre la espuma de PVC. Una vez impactada una probeta de espuma de PVC, la capacidad de soportar otro evento de impacto se reduce significativamente, quedando únicamente material en disposición de absorber energía en las zonas en las que éste no se ha deformado plásticamente. Por el contrario, el corcho aglomerado tiene la capacidad de soportar eventos de impacto repetidos una vez que las paredes de las celdas vuelven a su morfología original.

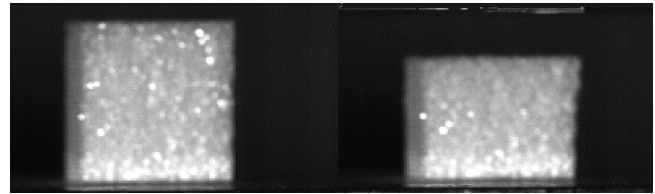
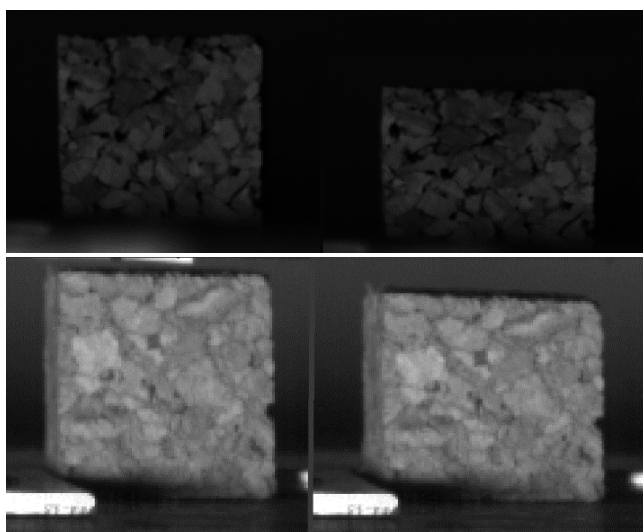
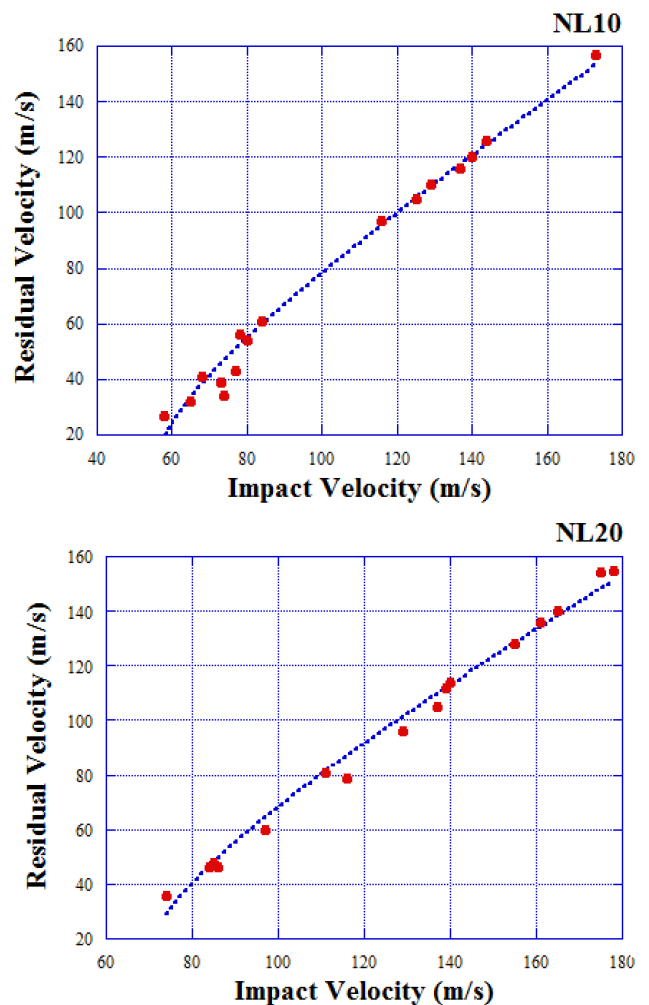


Figure 3. Deformación después de un impacto de 5 J para el NL10, el NL25 y la espuma HP130.

En relación a la influencia de la temperatura en el comportamiento a compresión dinámica de los distintos materiales en estudio, se observa en la Figura 2, que al aumentar la temperatura los valores de fuerza máxima y de deformación máxima se mantiene prácticamente constantes. Solo en el caso del corcho aglomerado NL25 la deformación aumenta aproximadamente un 10%. Tampoco parece afectar la temperatura a la absorción de energía de la espuma de PVC, siendo la energía absorbida ligeramente inferior en el caso de los tres corchos aglomerados. Esta pequeña disminución se puede atribuir a la dependencia con la temperatura del componente viscoso (ligante) del corcho aglomerado.

1.1 Ensayos de impacto de alta velocidad

En la Fig. 4 se muestran las curvas de velocidad residual en función de la velocidad de impacto del proyectil para todos los materiales estudiados.



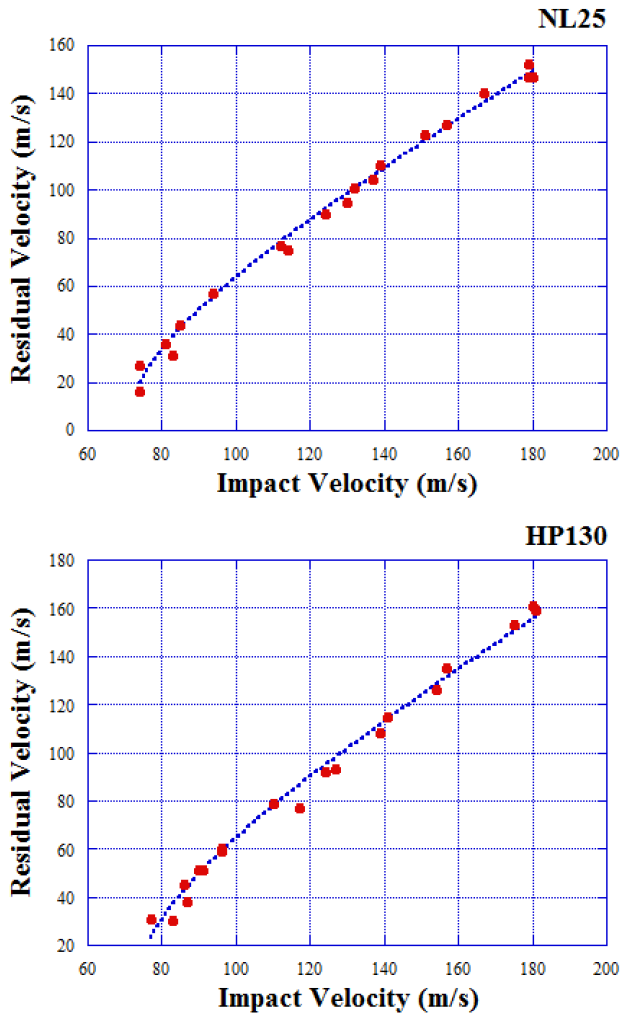


Figure 4. Velocidad residual en función de la velocidad de impacto para los diferentes materiales ensayados.

A partir de estas curvas, se estimó el límite balístico (Figura 5) mediante el modelo de correlación de Lambert-Jonas [8]. El límite balístico del corcho aglomerado aumenta cuando aumenta la densidad del material, siendo de 54 m/s para el NL10 y 71 m/s para el NL25. El límite balístico estimado para la espuma de PVC es de 74 m/s, prácticamente igual al del corcho aglomerado de mayor densidad (NL25).

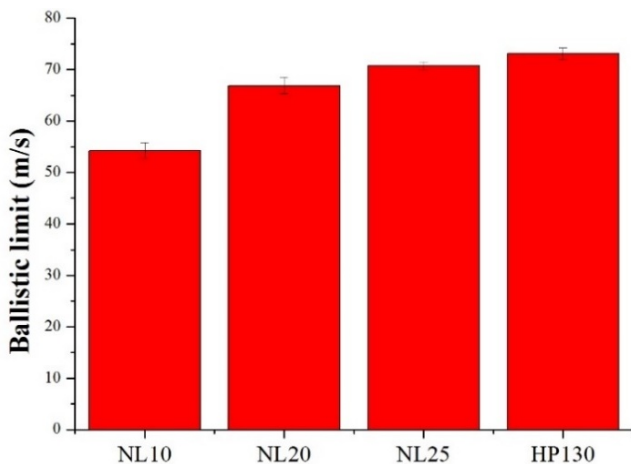


Figure 5. Límite balístico de los diferentes materiales ensayados.

En la Figura 6 están representados los valores de energía absorbida por los diferentes materiales en función de la energía de impacto del proyectil. Se observa que los dos corchos aglomerados de mayor densidad, NL20 y NL25, y la espuma de PVC HP130 presentan tendencias muy parecidas con valores que tienden a sobreponerse, disminuyendo la energía absorbida de manera exponencial al aumentar la energía de impacto. El corcho aglomerado NL10, aunque tiene una tendencia similar, presenta valores de energía absorbida claramente menores para todas las energías de impacto.

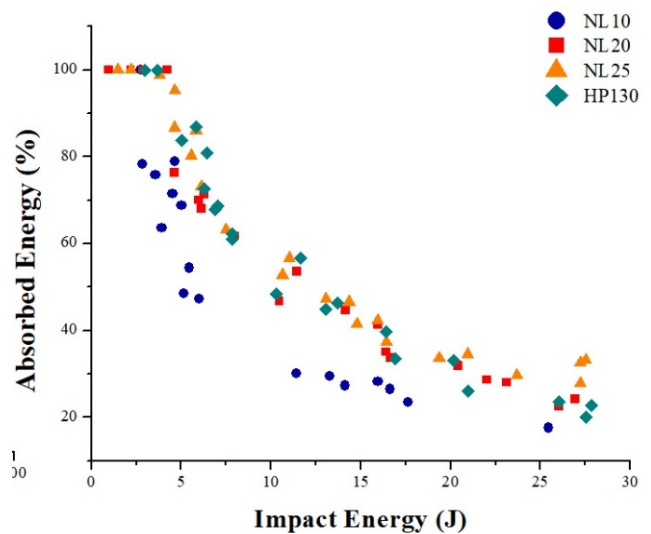


Figure 6. Energía absorbida por los diferentes materiales ensayados.

También se ha realizado un análisis del modo de daño que se ha producido en los dos tipos de materiales, corcho aglomerado y espuma de PVC. En la Figura 29 es posible observar el efecto del impacto del proyectil en el NL20, percibiéndose que el proyectil produce una fragmentación del material que se puede atribuir a una fractura intergranular del mismo. Este tipo de daño se produce para los tres tipos de corcho y podría explicar porque el límite balístico del corcho no crece de manera lineal con su densidad, teniendo en cuenta que el punto débil del material es siempre la interfaz entre el ligante y los gránulos de corcho.

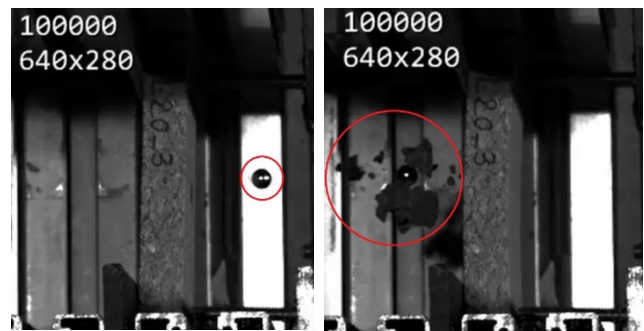


Figure 7. Ensayo balístico sobre el corcho NL20.

En la Figura 8 se observa el efecto del impacto del proyectil sobre la probeta de HP130. En este caso aparece un tapón de cortadura. El daño es más concentrado, limitándose a la eliminación de un cilindro de material.

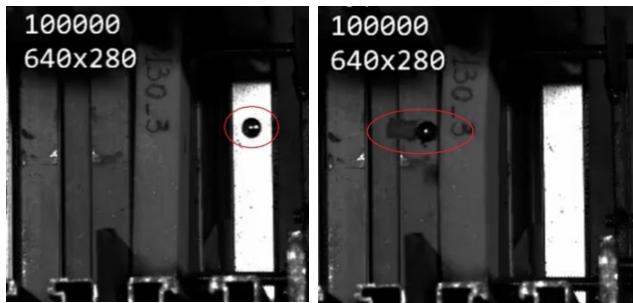


Figure 8. Ensayo balístico sobre la espuma de PVC HP130.

Si se examina la superficie dañada, Figura 9, se observa que el orificio de salida en el corcho aglomerado presenta una fractura de tipo cónico. En la espuma de PVC, el daño presenta una forma mucho más regular y análoga a la del tapón cilíndrico visto en la Figura 8.

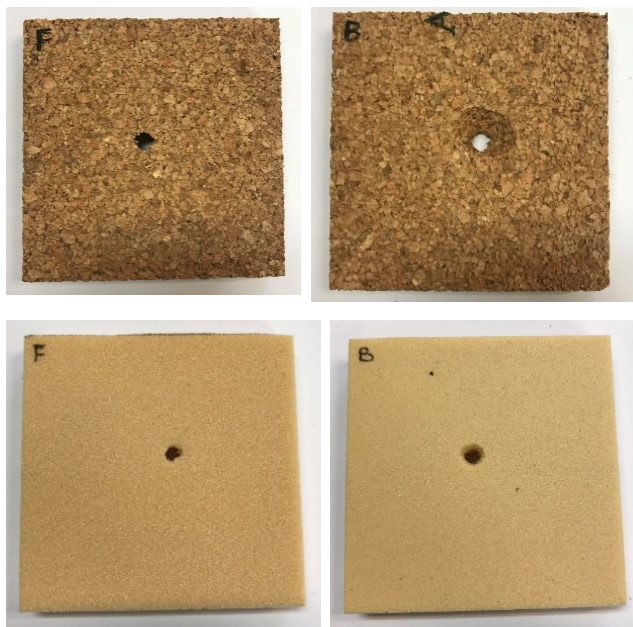


Figure 9. Superficie de entrada (F) y de salida (B) de probetas de corcho y espuma de PVC ensayadas a impacto balístico.

También se ha realizado un análisis cualitativo de la extensión del área de daño a través de un programa de tratamiento de imágenes. En la Figura 10 se muestra el área dañada en la cara de salida de las probetas impactadas en función de la velocidad de impacto. Se observa que cuanto mayor es la velocidad de impacto más pequeña es la extensión del daño. Esto ocurre porque el material tiene un tiempo de reacción muy pequeño que no permite la reacción global del material, solo una reacción local, y por lo tanto, un daño local. Todos los materiales muestran una tendencia similar. Los tres corchos aglomerados muestran valores parecidos, aunque se observa gran dispersión en los resultados. Esto se puede atribuir al tipo de fractura intergranular que no depende de la densidad del material, sino de la resistencia del ligante. Para la espuma de PVC HP130, se observa que la extensión del área de daño es menor que la del corcho aglomerado para cualquier velocidad de impacto. Esto significa que el daño es mucho más localizado, debido a que la fractura tiene lugar a causa de la rotura de los enlaces químicos, que tienen todos la misma energía, y por tanto no hay camino preferencial de la onda de daño.

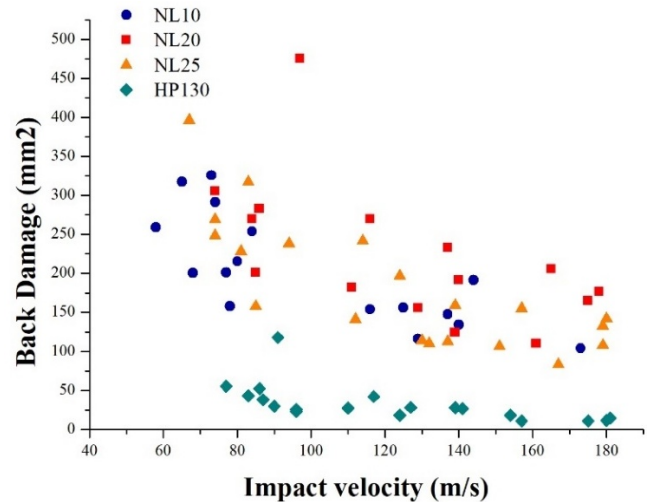


Figure 10. Área dañada en la cara posterior al impacto de los diferentes materiales ensayados.

5 Conclusiones

En este trabajo se estudia la respuesta frente a impacto de diferentes velocidades de dos tipos de núcleos celulares: un material celular natural, reciclable y renovable, el corcho aglomerado y un material ampliamente usado industrialmente, una espuma polimérica de PVC. La decisión de emplear un material como el corcho se debe a la voluntad de conseguir estructuras sándwich más respetuosas con el medio ambiente, permitiendo reducir las emisiones en fase de producción y asegurando la biodegradabilidad del componente al final de su vida útil.

Esto tipo de estudio es fundamental para asegurar la viabilidad del uso de los distintos tipos de núcleos de estructuras sándwich en muchas aplicaciones donde los fenómenos de impacto son habituales y pueden comprometer la integridad estructural de la estructura sándwich.

Se ha comparado el comportamiento de tres corchos aglomerados con diferentes densidades y una espuma polimérica de PVC frente a impactos de baja y alta velocidad. Los resultados conseguidos han permitido alcanzar algunas conclusiones fundamentales.

En primer lugar, se ha observado que el corcho aglomerado NL25 presenta un comportamiento comparable al de la espuma de PVC, aunque con un incremento de peso, en todas las variables analizadas, tanto a baja velocidad como a alta. En el caso de la energía absorbida en los ensayos de impacto de baja velocidad, los valores para todas las densidades de corcho son muy próximos entre si. La ventaja del corcho aglomerado está en ser un material natural que permite reducir el impacto medioambiental.

La segunda conclusión más general atañe al diferente modo de absorción de la energía entre el corcho y el PVC. Aunque el PVC exhiba una capacidad de absorción de la energía ligeramente superior a la del corcho es necesario poner en evidencia que el PVC puede absorber energía solamente deformándose plásticamente mientras que el corcho tiene la capacidad de almacenar energía de forma viscoelástica. Esto significa que el corcho puede recuperar con el tiempo aproximadamente su forma inicial y aguantar fenómenos de impacto repetidos mientras que el PVC una vez deformado plásticamente no tiene ningún modo para almacenar la energía de otros eventos de impacto. Esta característica del corcho se puede atribuir a su peculiar morfología y en particular a la corrugación de sus

paredes celulares. Estas permiten al material compactarse y densificar luego de una compresión sin experimentar excesivos daños y desplegándose permiten al material recuperar su forma inicial.

Otra conclusión que se puede sacar desde este estudio es que la fractura del corcho se produce preferencialmente de forma intergranular. Esto significa que el punto débil del corcho aglomerado es la interfaz entre gránulos y ligante, que tendría que ser optimizada para conseguir prestaciones mejores y eventualmente más cercanas a las del PVC.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Economía y Finanzas de España por la financiación del proyecto DPI2017-86324-R.

Referencias

- [1] L.J. Gibson, M.F. Ashby. Cambridge University Press (1997).
- [2] O.T. Thomsen. *Journal of Sandwich Structures and Materials* **11**, 1, pág. 7-26 (2009).
doi: 10.1177/1099636208099710
- [3] T. George, V.S. Deshpande, K. Sharp, H.N.G. Wadley. *Composite structures* **108**, 1, pág.696-710 (2014).
doi: 10.1016/j.compstruct.2013.10.002
- [4] B.L. Buitrago, C. Santiuste, S. Sánchez-Sáez, E. Barbero, C. Navarro. *Composite Structures* **92**, pág. 2090-2096 (2010).
- [5] S.P. Silva, M.A. Sabino, E.M. Fernandes, V.M. Correlo, L.F. Boesel, R.L. Reis. *International Materials Reviews* **50**, pág.345-365 (2005).
doi:10.1179/174328008X353529
- [6] H. Pereira. *BioResources* **10**, pág. 1-23. (2015).
doi:10.15376/biores.10.3.Pereira.
- [7] R.T. Jardim, F.A.O. Fernandes, A.B. Pereira, R.J. Alves de Sousa. *Materials and Design* **68**, pág. 121-126 (2015).
doi:10.1016/j.matdes.2014.12.016.
- [8] J.P. Lambert, G.H. Jonas. 1976. Army Ballistic Research. 1976 Rep. BRL-R-1852, Aberdyn, Maryland, USA 1976).