

Adaptación de nuevos materiales y procesos a munición convencional

Autores: Ángel Cobo Curiel, Zaira Monasterio Peiteado, Juan Ignacio Andrés Gallego, Victor Benito Martín, Expal.

Palabras clave: Polímeros, materiales plásticos, materiales compuestos, impresión 3D, munición de mortero, granada de mortero, bengala iluminante.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 1.1.1; MT 1.1.2; MT 1.4.1.

Introducción

En la última década el empleo de materiales plásticos ha ido en aumento debido a sus innumerables aplicaciones. De acuerdo con los datos presentados por *PlasticsEurope* (Asociación Europea de productores de materias primas plásticas) y EPRO (Asociación Europea de Organizaciones de Reciclaje y Recuperación de Plásticos), la producción de plásticos a nivel mundial creció de 322 millones de toneladas en el año 2015 a 335 millones de toneladas en el año 2016. Este crecimiento evolucionó de 58 millones de toneladas a 60 millones de toneladas a nivel europeo. Destacar también, que la industria de los plásticos en Europa alcanzó un volumen de negocio de casi 350.000 millones de euros en 2016. [1]

El empleo de dichos materiales se ha hecho imprescindible en sectores muy dispares, tales como la medicina, deporte, automoción, agricultura y construcción, entre otros.

El mercado del plástico está sustituyendo, superando en funcionalidad y ciertas características, a los materiales metálicos. Estos materiales, presentan importantes ventajas, tales como gran ligereza, durabilidad, bajo mantenimiento y elevada estabilidad química. Ventajas de especial importancia en diferentes sectores, así como en el sector defensa, ya que confiere a sus productos una mejora en sus prestaciones.

Además de ello, resaltar que este tipo de materiales poseen la gran ventaja de poder ser fabricados mediante impresión 3D, lo cual ha impulsado una nueva vía para la fabricación de prototipos como previo paso a la



Fig. 1. Prototipos fabricados en diferentes materiales termoplásticos mediante impresión 3D. (Fuente: propia).

fabricación de los diseños definitivos de tipo plástico o composite.

La impresión 3D o fabricación aditiva, consiste en la creación de estructuras tridimensionales a partir de un modelo 3D generado con programas informáticos, sin tener que recurrir a moldes o procesos de mecanizado.

Los métodos más conocidos de impresión 3D, son:

- **Modelado por Deposición Fundida (FDM):** proceso mediante el cual se calientan pequeñas cantidades de polímero termoplástico para ser fundidas capa a capa creando una estructura tridimensional.
- **Estereolitografía (SLA):** proceso que consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta para solidificar la resina de un fotopolímero líquido.

Destacar, que dicha tecnología puede ser extendida a una gran variedad de materiales termoplásticos, además de permitir incorporar cualquier tipo de aditivo, con lo que las posibilidades son prácticamente ilimitadas. Así, por ejemplo, el sector defensa está utilizando esta tecnología con las más diversas finalidades:

- Conformación de prototipos basados en materiales energéticos fundibles: propulsores, iniciadores.
- Elaboración de prototipos sobre piezas sólidas.

- Fabricación de piezas en el campo de batalla.

En la última década, Expal ha detectado en los materiales plásticos y composites una gran opción frente a materiales tradicionales, debido a sus innumerables prestaciones. En la figura 1 se observan cuatro prototipos de aplicación en el sector defensa, tales como utillajes de carga, embalajes, piezas de munición y de armas.

Germen del proyecto: bengala iluminante en munición de mortero

Las granadas, proyectiles, bombas, cohetes, calibres medios, así como armas y morteros, son elementos donde propiedades tales como el peso, resistencia

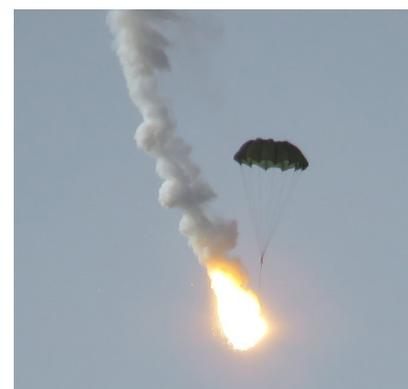


Fig. 2. Bengala iluminante de 81 mm en combustión. (Fuente: propia).

En profundidad

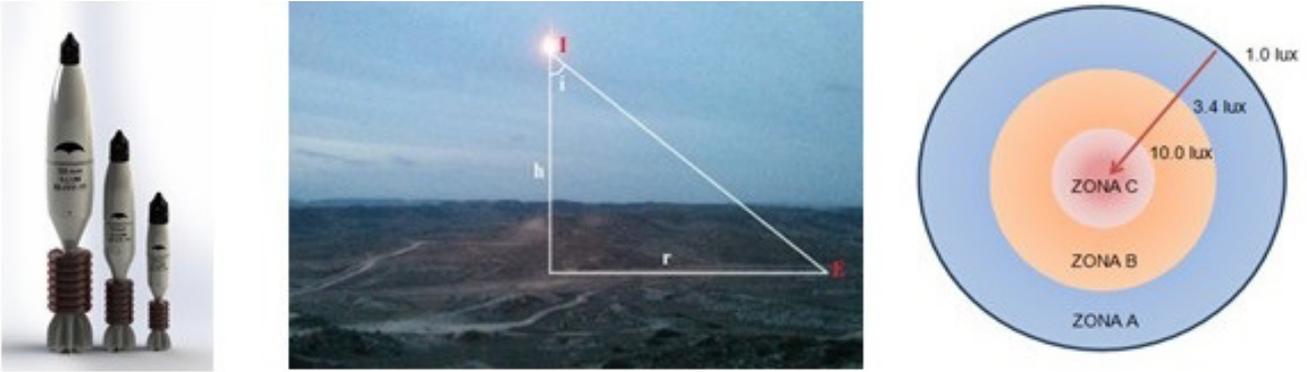


Fig. 3. Requisitos técnicos de las bengalas iluminantes de calibres 60, 81 y 120 mm. (Fuente: propia).

química y mecánica, juegan un papel clave en su seguridad y prestaciones.

Entre la amplia gama de munición, se encuentra la munición de mortero. En los últimos años, se han desarrollado granadas de mortero para una gran variedad de aplicaciones como se observa en sus diferentes versiones en munición para ocultación en el infrarrojo y en el visible, versión RP fumígeno multispectral, y su versión iluminante IR, visión en el infrarrojo, que completa su ya amplia oferta de versiones: HE, iluminante, ocultación y de prácticas, todas ellas con unas excelentes prestaciones por su alcance y precisión.

Las granadas de mortero iluminantes son utilizadas principalmente para iluminar un determinado terreno durante un periodo de tiempo concreto. Dicho efecto se consigue mediante la combustión de una mezcla pirotécnica la cual va alojada en un canister que, tras la apertura de la granada, desciende lentamente con ayuda de un paracaídas.

La bengala iluminante, posee principalmente, requisitos técnicos de tiempo de funcionamiento e intensidad luminosa, por lo que un cambio de cualquiera de sus elementos debe cumplir con ambos requisitos.

La superficie de terreno iluminada por una bengala iluminante depende de la altura de apertura de la granada (ver figura 3), la cual, a su vez depende en gran medida del peso del conjunto, entre otras. Cuanto menor es el peso del conjunto, menor es la velocidad de descenso de la bengala, y, por lo tanto, el conjunto puede mantenerse en la altura efectiva de iluminación durante más tiempo. Si se reduce el peso del conjunto y su velocidad de descenso se puede ajustar mejor la altura de apertura para aumentar las prestaciones del producto en cuestión.

Desarrollo del proyecto: bengala iluminante

Los materiales empleados hasta la actualidad en la fabricación de bengalas iluminantes consisten en un cánister de acero laminado en frío en cuyo interior va alojado un tubo de cartón compacto adherido a las paredes interiores del propio cánister. La función principal del material aislante consiste en evitar la corrosión del cuerpo, mejorar la adhesión de la mezcla pirotécnica al cánister y trabajar como aislante cuando esta está en funcionamiento.

Dicho diseño, aparentemente sencillo, lleva implícito varias etapas de montaje:

- Confección del bote y colocación del cáncamo.
- Colocación de la inhibición: cartón.
- Carga de la bengala con mezcla pirotécnica.
- Cierre y sellado.

Este proceso de montaje, se inicia con la preparación de una resina bi-componente. Ésta es preparada y aplicada de manera homogénea en el interior de dicho cánister, para, posteriormente introducir el tubo de cartón compacto y fijarlo a las paredes.

Resaltar los largos tiempos de espera, principalmente debido al tiempo de curado de la resina empleada en el proceso de adhesión.

Con el objeto principal de disminuir los tiempos de conformado de la bengala y mejorar la calidad del producto eliminando etapas de montaje, surge la propuesta de desarrollo de un nuevo concepto, como puede verse en la figura 4.

Se plantea diseñar un cuerpo que integre el aislamiento, para así reducir etapas de montaje y disminuir tiempos de espera, debiendo ser compatible químicamente con la mezcla, capaz de



Fig. 4. Partes principales de la bengala y prototipo. (Fuente: propia).



Fig. 5. Prototipo por impresión 3D y mecanizado del canister. (Fuente: propia).

Del PP, destacar su elevada resistencia a la fractura por flexión o fatiga, buena resistencia al impacto superior a temperaturas superiores a los 15 °C y su buena estabilidad térmica (coeficiente de dilatación térmica 10 veces la del acero). Además, poseen la gran ventaja de poder ser utilizados en impresión 3D por adicción, en la generación de piezas por mecanizado y en la confección por inyección.

Resaltar que el amplio uso de impresoras 3D, donde se pueden usar estos polímeros, está siendo una revolución que cada día juega un papel más importante en la generación de prototipos. Esta tecnología, hasta la fecha de este proyecto, había sido poco utilizada para confeccionar piezas funcionales y normalmente, orientada a muestras y demos.

Aprovechando la accesibilidad y rapidez en la generación de prototipos mediante impresión 3D, en una primera aproximación, se realizaron distintas configuraciones de canister, en las que se veían modificadas: el tamaño, la profundidad y la distancia entre los surcos generados. Dicha geometría se consideró fundamental para un proceso de carga seguro y una sujeción apropiada a la mezcla pirotécnica.

Fabricación de prototipos

Antes de iniciar esta etapa, se lleva a cabo un estudio de viabilidad desde el punto de vista del proceso y del producto:

Seguridad en manipulación y almacenamiento

Dado que el canister está sometido a una agresión química a consecuencia de la mezcla energética, la cual

soportar los esfuerzos de carga y esfuerzos en el disparo, además de mejorar la calidad del producto y de las prestaciones en vuelo de la bengala.

Se evalúa, por tanto, un cambio en el diseño del canister para eliminar piezas internas y simplificar el producto mediante el desarrollo de una única pieza basada en un interior tipo rosca que facilite la adhesión de la mezcla pirotécnica a las paredes del canister. Además, sumamos un cambio en el material del canister que aporte una mejora las propiedades y/o características finales tales como ligereza, resistencia estructural y estabilidad química, éstas juegan un papel primordial en las prestaciones de este producto.

El nuevo material y proceso de fabricación le aportará una mejor adherencia de la masa pirotécnica al canister y consecuentemente se podrá reducir la tasa de fallos permitida para este tipo de productos, por lo que la calidad del producto mejorará en comparación con su predecesor.

Prototipos y desarrollo

En una fase inicial, se lleva a cabo el análisis de requisitos y propiedades que ha de cumplir el material empleado en la nueva propuesta de diseño:

- Compatible químicamente con la mezcla pirotécnica.
- Resistente a esfuerzos de carga.
- Operacional en el rango de temperatura de funcionamiento.
- Ser antiestático y/o conductor.
- Capaz de soportar los esfuerzos generados en el disparo.
- Reducir el número de etapas en el montaje y mejora de la calidad del producto final.

En una etapa posterior, se conforma el esquema gestión del desarrollo:

- Fabricación de unidades por impresión 3D con diferentes configuraciones interiores y carga con una mezcla inerte.
- Elaboración de unidades por mecanizado que son cargadas con mezcla inerte para su posterior carga con mezcla real.
- Evaluación de la seguridad del proceso.
- Valoración de productos y revisión de requisitos.
- Montaje del producto final en granada de mortero.
- Fabricación de la matriz para su inyección con materiales compuestos.

Se seleccionan dos materiales plásticos para llevar a cabo el desarrollo del proyecto. Polímeros termoplásticos, tales como polioximetileno (POM) y el polipropileno (PP) son materiales plásticos de gran dureza y resistencia, además de poseer una alta resistencia química. Es importante destacar que el coeficiente estático y dinámico y comportamiento elástico del POM es similar al acero.

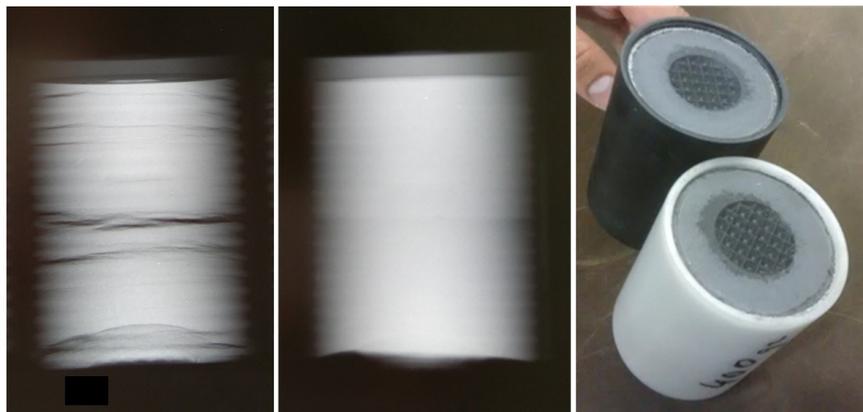


Fig. 6. Radiografiado y prototipos cargados en diferentes materiales plásticos. (Fuente: propia).



Fig. 7. Luxómetro y osciloscopio en túnel de quemado de bengalas. (Fuente: propia).

tanto del proceso de fabricación descrito (condiciones de prensado, etc.) como de la nueva propuesta en el diseño del cánister, materiales y configuración. Los resultados de intensidad luminosa y tiempo obtenidos para ambas bengalas, POM y PP, son muy similares.

Merece la pena resaltar el comportamiento que presenta cada uno de los materiales a lo largo del proceso de combustión. Por un lado, el PP resiste estructuralmente durante el proceso de combustión y no genera residuos, y a diferencia de este, el POM se consume durante proceso de combustión y continúa ardiendo tras el apagado de la bengala.

Seguimiento del trabajo y próximos pasos

El siguiente paso será la conformación de un molde que permita fabricar estos cánister por inyección. El material de base será el polipropileno, se podrán añadir compuestos en función de las características mecánicas y funcionales que se consideren oportunas aportar al producto final.

Si se evalúa por una parte el impacto del uso de impresión 3D sobre el coste de desarrollo, destaca que esta tecnología ha supuesto una enorme reducción en el tiempo de fabricación de los prototipos. El desarrollo de la fase inicial (desarrollo de prototipo de cánister) podría reducirse hasta un 40%, ya que la fabricación de una pieza por impresión 3D es de unas horas. Es un desarrollo autónomo e independiente de terceros. En caso de no haberse realizado de este modo, se hubiese necesitado: mecanización de piezas, embutición de piezas, etc., normalmente son necesarios tiempos medios de espera de 20 a 30 días. Esto unido a la posibilidad de iterar varias veces, reduce los tiempos de adquisición de materiales para prototipos en menos de la mitad de lo que comúnmente hubiese sido necesario.

En este primer desarrollo se ha llegado a verificar los requisitos de esta bengala, habiéndose mostrado resultados positivos. El siguiente paso consistirá en la modificación del cáncamo para poder acoplar el paracaídas y así probarlo en una prueba de disparo real. Este tipo de pruebas se prevé llevarlas a cabo durante el año 2018.

Se prevé que con el nuevo diseño, se alcanzará una reducción en peso del

a su vez está formada por agentes oxidantes y reductores, se realiza un estudio de compatibilidad química de la mezcla energética con cada uno de los materiales de base polimérica seleccionados para la fabricación del cánister. El ensayo de compatibilidad química se realiza mediante calorimetría diferencial de barrido (Differential Scanning Calorimetry, DSC) siguiendo el procedimiento descrito en el STANAG 4147 edición 3, Test 4. [2]

Definición del proceso de carga

Durante el proceso de carga del cánister con mezcla pirotécnica, el propio cánister ha de ser capaz de soportar los esfuerzos de carga. Por lo que se considera esta etapa como uno de los puntos críticos del proceso.

El proceso de carga se efectúa en el interior de una matriz donde se aloja el cánister a estudio, se añade la mezcla pirotécnica para ser prensada por un punzón que realiza 2 prensadas.

La importancia del proceso de carga radica en la necesidad de una distribución de carga homogénea tanto en el alojamiento como entre cargas. El radiografiado de las bengalas cargadas, muestra la homogeneidad durante este proceso.

La homogeneidad en la carga tiene un efecto directo sobre los requisitos de tiempo e intensidad luminosa en el proceso de combustión.

Por motivos de seguridad, se cargaron con mezcla inerte los diseños preliminares de base polimérica realizados por impresión 3D y así caracterizar mecánicamente los mismos, evitando, de este modo, iniciaciones indeseadas

En el proceso de carga, son evaluadas las diferentes configuraciones de cánister fabricadas, aquellas con diferentes tamaños de oquedades/surcos en su interior, así como geometrías. En las pruebas iniciales realizadas, se observó que en determinados cánisters con surcos de pequeño tamaño, daban lugar a oquedades tras el proceso de carga. A medida que se aumentaba el tamaño del surco, se observaban cargas más homogéneas, pero el cánister perdía en algunos casos geometría debido al prensado.

Evaluando el proceso de carga en cánisters fabricados en POM y PP, se observó que el cánister de PP se deformaba más que el cánister de POM.

Evaluación de requisitos

Entre los requisitos a evaluar, se deben tener en cuenta tanto el tiempo de combustión como la intensidad luminosa del producto. En la figura 7 se observa, conjuntamente el equipo y la instalación empleada para tal efecto.

En ella, se muestra la caracterización del proceso de combustión de la bengala. Éste se lleva a cabo en un túnel de ensayos ubicado en las instalaciones de Expal, el cual posee una aspiración vertical y regulación de caudal. A 10 metros de la bengala, en el interior del túnel, se sitúa el equipo de medida, Luxómetro Yokogawa 5002 y Osciloscopio DSOX2014A Keysight Technologies.

Se registra la intensidad luminosa frente al tiempo, como puede observarse en la figura 8.

La homogeneidad de la intensidad luminosa a lo largo del periodo de combustión de la bengala, certifican la idoneidad

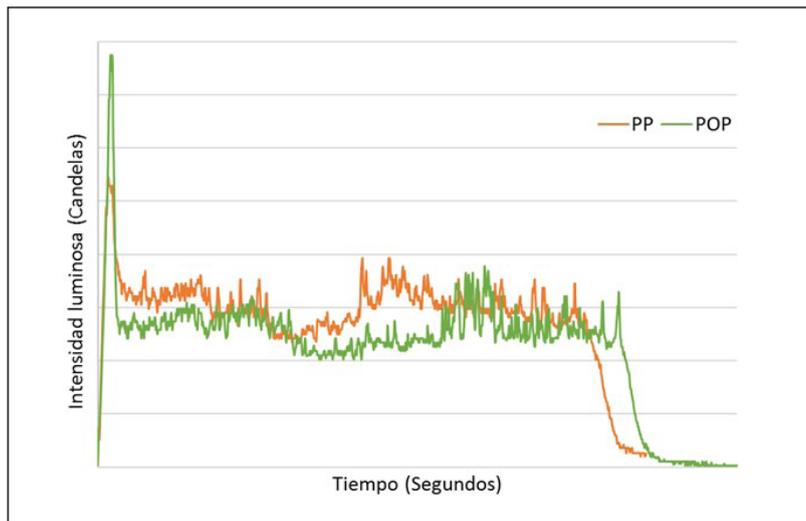


Fig. 8. Curva de intensidad luminosa frente al tiempo. (Fuente: propia).

producto. Gracias a la reducción de peso del elemento de carga de pago de la granada, el producto final podrá implementar otra serie de composiciones internas que permita mejorar las características actuales del producto en tiempo de luminosidad efectivo e incluso alcance de la granada.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a todos los compañeros que trabajan y colaboran en el grupo Expal. En especial, a los compañeros del departamento de I+D/Tecnología de Expal Ordnance y a los compañeros de Expal Ordnance, donde se han realizado los prototipos y pruebas mostradas en este artículo. Mención especial para los compañeros del Taller de Prototipos de I+D/Tecnología, Taller de Expal EOR, Health & Safety Expal EOR, Quality Assurance Expal EOR, Ingeniería de Fábrica Expal EOR y los compañeros que trabajan en los pabellones de pirotecnia de Expal EOR, ya que han aportado su granito de arena y su experiencia durante todos los años que hemos compartido con el objetivo de mejorar la seguridad en los procesos y la calidad de todos nuestros productos.

Referencias

- [1] Plásticos-Situación en 2017: Un análisis de los datos sobre producción, demanda y residuos de plásticos en Europa. https://www.plasticseurope.org/application/files/1415/2092/9775/Plastics_the_facts-2017-Spanish-web_13032018.pdf
- [2] STANAG 4147 Edición 3. Mayo de 2013.
- [3] Blay N J, Dunstan I. Compatibility and stability testing of explosives and solid propellants. *Explosives research and development establishment technical report*. 1970.
- [4] Shidlovskiy A A. Principles of pyrotechnics. Third edition. *AFN: American Fireworks News*; 1964.
- [5] Akhavan J. The chemistry of explosives. *RS-C: Advancing the chemical sciences*. 2004.
- [6] Ellern H. Military and civilian pyrotechnics. *Chemical publishing company inc*. 1968.
- [7] Military pyrotechnics series. Part two-safety, procedures and glossary. *AMC Pamphlet*. 1963.
- [8] Safety standard for explosives, propellants, and pyrotechnics. *National Aeronautics and Space Administration*. 1993.

60%. Debido a dicha reducción, se podría conseguir una disminución en la velocidad de descenso de aproximadamente 1 m/s. Indicar la gran importancia de este hecho, ya que permite disminuir la altura de apertura de la granada de mortero provocando un aumento en el diámetro de iluminación efectivo.

En el plano de la calidad y la fabricación, esta configuración podrían reducir los tiempos de fabricación del producto de hasta un 80%, se pasaría de aproximadamente 1 semana desde la recepción, montaje y carga a un solo día desde la recepción hasta el producto terminado, siendo así más competitivos. Además, habría que sumar que se podría reducir el defectivo de montajes en un 50% (pasar de defectivos de 3 de cada 100 a 1 de cada 100) debido a que una de las operaciones, colocación de la inhibición, cartón, ya no se realizará.

Futuros desarrollos

Debido a los resultados satisfactorios del desarrollo de prototipos tras el desarrollo del proyecto mostrado, tanto a nivel de prestaciones del producto final como en la mejora del proceso de fabricación. Se han detectado otros proyectos susceptibles de utilización de esta tecnología como puesta a punto de nuevos desarrollos, tal y como se muestran a continuación:

- **Munición:** Búsqueda de materiales plásticos y composites capaces de autoextinguirse tras el proceso de combustión de la mezcla pirotécnica, manteniendo las propiedades de ligereza y resistencia química y mecánica.

- **Armas:** Implementación de materiales plásticos y composites como partes de sus componentes con el objeto principal de aumentar la ligereza del producto final, así como la sencillez en el montaje del mismo.

Conclusiones

El uso de tecnología de impresión 3D ha permitido reducir los tiempos de fabricación de prototipos y testeo de materiales en la fabricación de bengalas iluminantes para granada de mortero de 81mm. Pudiendo reducir a futuro, los tiempos de los próximos desarrollos donde se implemente esta tecnología.

Dicha tecnología posee la capacidad de realizar ajustes sobre el picierdo de forma inmediata, dando lugar a una rápida visualización del prototipo para poder fabricar utillajes de montaje y carga, además de gran independencia a la hora de fabricar los mismos. Implantando esta metodología de trabajo se podría llegar a prescindir de la fase de conformación de partes, normalmente metálicas, mediante mecanizado para piezas que no necesiten valores elevados de resistencia estructural o piezas fijas que no sufran desgaste excesivo.

En las pruebas realizadas para la elección del material de base polimérica, el polipropileno ha demostrado un comportamiento adecuado para este producto: bengala iluminante para granada de mortero de 81mm, tanto en las pruebas de carga, como en las pruebas de fuego en estático así como la reducción en el número de etapas en dicho proceso, y, consecuencia un aumento en la calidad del