

# PARTES AUTOMOTRICES Y SUS PROCESOS DE FABRICACIÓN: RESORTES DE BALLESTA

Claudia Sánchez, Consultora en Innovación Tecnológica

**Resumen** — El sector automotor sigue en evolución y sus retos en términos de cumplimiento de las normas, las expectativas de los clientes y de avances por parte de los competidores, generan una dinámica en investigación, desarrollo e innovación para la transformación del producto final, ocasionado por cambios en sus componentes y en los procesos de manufactura a través de los cuales son fabricados. En este artículo se pretende mostrar una revisión del estado del arte, relacionada con los materiales y procesos de manufactura en desarrollo y en uso para la fabricación de los resortes de ballesta.

**Palabras Clave** — Suspensión, Resortes de Ballesta, Materiales, Aceros, Procesos de manufactura, materiales compuestos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los vehículos automotores se componen de sistemas que cumplen cada uno, una función específica (ver Fig. 1), los cuales a su vez están integrados por piezas que, por especificaciones de ingeniería y diseño, deben cumplir requerimientos de geometría, materiales y procesos de fabricación.

Debe resistir el balanceo del chasis, facilitando la reacción ante fuerzas longitudinales (como la aceleración o el frenado) y laterales (al enfrentarse a sectores curvos del camino) (Dixon, 2009). En conclusión, el sistema de suspensión está integrado por todas las partes que aíslan el automóvil de los sobresaltos ocasionados por la vía, sean estos “de rebote, inclinación, rodadura o balanceo” (Nutalapati, 2015).

Estos sistemas están integrados por tres componentes principales (Scuracchio, de Lima, & Schön, 2013):

**Los parachoques**, cuya función es disipar la energía, de manera que en condiciones irregulares se facilite la conducción del automotor.

**Los estabilizadores**, que permiten controlar la trayectoria del vehículo durante su tránsito en las curvas.

**Los muelles** que deben absorber parte de la energía que generan los cambios a los que se somete el vehículo en el camino, soportando a su vez el peso del automóvil. Entre estos componentes, Scuracchio et al (2013) identifican varios tipos, cada uno de los cuales con una aplicación específica: helicoidales, de ballesta, neumáticos, muelles de torsión.

Entre los muelles, el resorte de ballesta es utilizado en vehículos comerciales pesados (por ejemplo furgonetas y camiones), vehículos utilitarios deportivos y vagones de ferrocarril (Nutalapati, 2015), debido a las ventajas que ofrece frente a otros tipos de muelles: genera menor nivel de vibración en el suelo (Scuracchio, de Lima, & Schön, 2013), permiten repartir más ampliamente la carga sobre el chasis del vehículo, así como disminuir costos y peso en una suspensión trasera (Nutalapati,



Figura. 1. Componentes de automóviles  
Fuente: adaptado de (CARE Ratings, 2017)

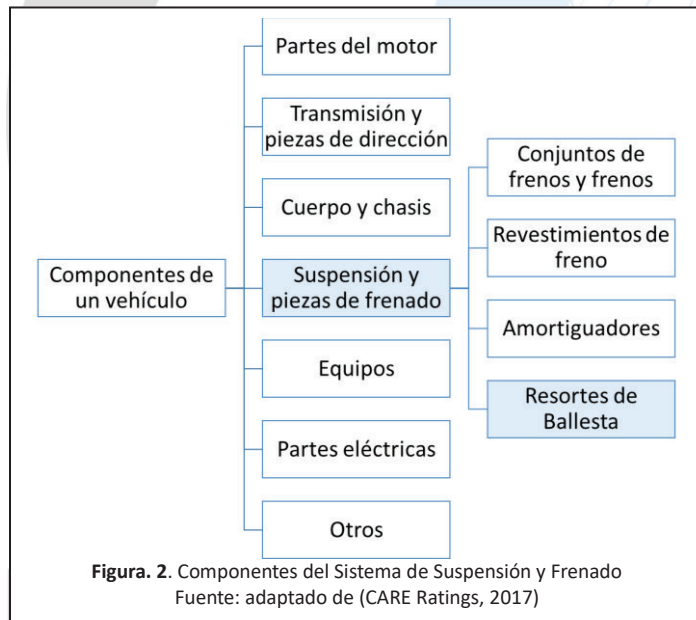
Uno de los sistemas identificados en la Fig 1, es el de suspensión y frenos, que se diseña con el fin de mantener conectada la carrocería del vehículo con las ruedas, facilitando a su vez el movimiento relativo entre ellos (Gillespie, 1992). Deben garantizar la seguridad y el rendimiento del vehículo y particularmente en el caso de la suspensión, busca la absorción de las fuerzas a las que pueda estar sometido, al estar en movimiento. Gillespie (1992) indica que el rol de mayor importancia del sistema Suspensión-Frenos consiste en mantener las ruedas del vehículo en contacto constante con la vía, mientras aísla al chasis de la rugosidad de la misma.

2015). Se consideran piezas fundamentales para lograr adecuado confort y un nivel de seguridad apropiado. Los resortes de ballesta se conocen como sistemas de suspensión dependiente, ya que actúan como viga rígida, transmitiendo el movimiento y fuerza de una rueda a otra (Dixon, 2009).

En este artículo se analizarán los resortes de ballesta, sus procesos de manufactura y materiales que se están usando actualmente y se proyectan usar en el futuro.

## 2. RESORTES DE BALLESTA

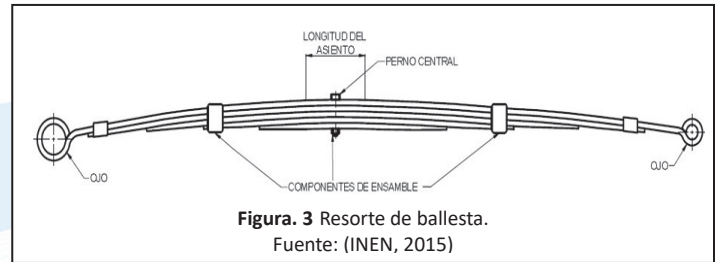
Este componente del sistema de suspensión y frenado (Ver Fig 2) que se utiliza en vehículos cuyos ejes soportan cargas altas. Su uso se ve principalmente en vehículos militares, camiones (en la parte delantera cuando son pesados) o en automóviles (para la parte trasera dependiendo de su uso), entre otros.



Son un conjunto de hojas apiladas, que tienen diferencias en anchura o espesor entre sí (SAE, 1996). Según la SAE (1996) pueden describir como “multi-hoja de anchura constante y con hojas escalonadas, cada una de espesor constante, excepto cuando los extremos de hoja pueden tener un grosor cónico” (Ver Fig 3). Con respecto a sus extremos, su función permite que el resorte actúe como elemento estructural, mientras se desempeña también como dispositivo de amortiguación (Dighe, 2016). Dentro de los resortes de ballesta, la versión más moderna es el resorte parabólico. Su diseño busca un menor número de hojas de un grosor variado, que sigue una curva parabólica, con el propósito de restringir la fricción entre las hojas, permitiendo solamente contacto en los extremos y en el centro. Se caracterizan

por generar ahorro en peso y mayor flexibilidad, lo cual permite una mejor calidad de conducción (Nutralapati, 2015), al permitirle al sistema de suspensión cumplir con el objetivo de mantener las ruedas en el suelo el mayor tiempo posible (Ibid).

Los resortes de ballesta se usan para absorber y almacenar energía, manteniendo un máximo, de acuerdo con las propiedades mecánicas, que le facilite su liberación



posterior (SAE, 1996). Deben absorber la vibración vertical que ocasionan las irregularidades de la vía, buscando almacenar la energía potencial en el resorte, en forma de energía de tensión, con el fin de liberarla lentamente (Jadhao & Dalu, 2014).

Debido a las ventajas que presenta su mantenimiento con respecto a otro tipo de resortes, los de ballesta tienen amplio uso en lugares donde existen niveles de conocimiento básico en la intervención y cuidado de los vehículos. Sus características geométricas y de mantenimiento, hacen que este elemento tenga todavía un interés práctico real (Dixon, 2009).

### 2.1. ASPECTOS IMPORTANTES PARA DISEÑO

En el proceso de diseño de estas piezas, es necesario tener en cuenta tanto la carga por unidad de deflexión, conocida como la constante del resorte, como la deflexión estática, por cuanto estos dos aspectos influyen en las características de la suspensión (SAE, 1996).

Otros aspectos a tener en cuenta en el proceso de diseño de un resorte de ballesta, son:

- Pueden ser analizados como una viga de resistencia constante, que se encuentra integrada por hojas que tienen el mismo espesor, durante su modelamiento. En este caso, también deben estimarse factores de corrección que tengan en cuenta longitud, espesor y ancho, con el fin de precisar el comportamiento del elemento (Mantilla, 2014).
- Se deben tener en cuenta relaciones entre características físicas de diseño, que demandan el cálculo de factores como: identificación de la distribución de esfuerzos para cada una de las hojas del resorte, así como defle-

xión y rigidez para el adecuado desarrollo del resorte. Algunos ejemplos de estas relaciones entre características físicas son: el espesor y el cambio de curvatura, el radio de la hoja, el escalonamiento con los momentos y esfuerzos en uso.

### 3. MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE RESORTES DE BALLESTA

#### 3.1. MATERIALES TRADICIONALES

El primer paso para la fabricación de un resorte de ballesta, es la selección y adquisición de materia prima (MSME - METALLURGY DIVISION, 2011). Estas autopartes han sido fabricadas tradicionalmente en “aceros especiales” denominados así por su composición química (y por lo tanto, propiedades mecánicas).

Se usan aleaciones de acero en lámina, que permitan una templeabilidad adecuada para dimensiones específicas. Son aceros con microestructura martensítica (Society of Automotive Engineers Inc., 1996), que le permita a la pieza soportar las condiciones de carga a las que estará sometida durante los ciclos a los que se expone en uso, con el fin de evitar fatiga u otros fenómenos ocasionados por la función de la hoja de resorte. Algunos de los aceros aleados que se utilizan para manufacturar este tipo de autoparte son: SAE 5160, SAE 6150 y SAE 9254.

Teniendo en cuenta que la selección adecuada del material para el resorte determinará la calidad de la pieza, antes de recibirlos en la línea de producción, los aceros para resorte deben someterse a una serie de inspecciones, que faciliten la verificación del cumplimiento de normas especializadas (Scuracchio, 2012). Algunas variables que se analizan son (Ibid):

- Análisis de microestructura
- Tamaño de grano
- Nivel de descarburización

Durante el proceso de fabricación, se tienen en cuenta variables asociadas con:

- Rango de temperatura
- Resistencia a la corrosión
- Cargas de choque.

Los resortes de ballesta le agregan peso significativo al vehículo (Patil, y otros, 2014). Al ser fabricados en acero, se ha estimado que el peso de estas piezas está entre el 10 y el 20% del peso del automóvil (Ashok,

Mallikarjun, & Mamilla, 2012).

#### 3.2. TENDENCIAS: MATERIALES SUSTITUTOS

Teniendo en cuenta que el diseño de los vehículos busca optimizar el consumo de combustibles y que para ello se requiere disminuir su peso, algunos fabricantes han iniciado procesos de investigación, buscando sustituir el acero, por materiales que le permitan al resorte cumplir las mismas funciones, con mejores características, mejorando a su vez el costo del automotor (Ashok, Mallikarjun, & Mamilla, 2012).

Entre las alternativas consideradas para sustituir el acero, se han considerado los materiales compuestos, que corresponden a la combinación de dos (o más) materiales que por lo general tienen propiedades diferentes (Nutalapati, 2015). Estos tienen un menor módulo de Young y por consiguiente una mayor capacidad de deformación, además de ser menos densos (Ashok, Mallikarjun, & Mamilla, 2012). Su amortiguación interna permite absorber mejor la energía de vibración al interior del material, disminuyendo la transmisión de ruido a otras partes del vehículo (Nutalapati, 2015). Otras características identificadas son la resistencia tanto a la corrosión, como a la fatiga (Patil, y otros, 2014), que facilitarían una reducción de peso del resorte sin generar cambios significativos en la capacidad de carga o en la rigidez de los sistemas de suspensión (Jadhao & Dalu, 2014).

Tanto el sector académico como el sector productivo han iniciado procesos buscando identificar la factibilidad y condiciones para el uso de materiales compuestos en el sistema de suspensión. Se han realizado investigaciones con el objeto de conocer las condiciones y variables que permitieran sustituir el acero por material compuesto, desde la década de los años 80 del siglo XX. Algunos compuestos utilizados en estos proyectos de investigación han sido: Glass/Epoxy, Graphite/Epoxy, Carbon/Epoxy, Polímeros reforzados con fibra, entre otros (Jadhao & Dalu, 2014).

La industria ha implementado cambios en materiales de resortes para modelos específicos: En 1981, GM cambió un sistema de resorte de diez hojas (en acero), por un resorte de lámina transversal fabricada en compuesto epoxi reforzado con vidrio en el Corvette C4 (Nutalapati, 2015). Más recientemente, empresas fabricantes de autopartes como ZF Friedrichshafen o BENTELER Automobiltechnik han desarrollado nuevas configuraciones, que les permitan incorporar resortes para diferentes vehículos en materiales compuestos. BENTELER Auto-

mobiltechnik por su parte, ha desarrollado este tipo de resortes en fibra de vidrio, cuyas versiones en producción han permitido ahorros en peso entre 12,5kg y 20 kg por vehículo (SGL GROUP, 2016).

#### 4. PROCESOS DE MANUFACTURA

La calidad y los costos del producto final estarán asociados tanto a una adecuada selección del material, como a un correcto desarrollo del proceso de manufactura (Dighe, 2016).

##### 4.1. PROCESOS TRADICIONALES

Durante el proceso de manufactura de un resorte de ballesta, se espera desarrollar las condiciones geométricas de la pieza, además de garantizar el cumplimiento de las propiedades mecánicas necesarias para cumplir con sus requerimientos funcionales.

La fabricación de resortes de ballesta demanda la utilización de diferentes procesos de conformado de material (Ver Fig. 4) como corte o cizallado (para la geometría inicial de la hoja), taladrado y punzonado (para apertura de los agujeros), el calentamiento para el conformado y tratamiento térmico; durante el proceso se requiere realizar pruebas de dureza, para verificar los valores de esa propiedad en la pieza (Kumar, 2014). Posteriormente se aplica un nuevo tratamiento térmico (templado) y finalmente el resorte se somete a un tratamiento superficial (shot peening) que permita garantizar las propiedades mecánicas que requiere para operar.

Posteriormente se ensambla el resorte, y se realiza una prueba de inspección y pintura para proteger el ensamble contra la corrosión (MSME - METALLURGY DIVISION, 2011).

##### 4.2. CORTE LASER PARA METALES

En este proceso, el material es fundido por el calor generado por la incidencia de un rayo láser sobre la superficie de corte. La eliminación del material fundido se realiza mediante chorro de gas o vaporización, para generar una ranura de corte. Existen 3 métodos de corte por láser (IPG Photonics, 2017):

**Corte por Fusión:** Para realizar este tipo de corte, se realiza coaxialmente una combinación del láser con un gas inerte (por ejemplo nitrógeno o argón), con el fin de que el calor generado por el láser, genere fundición de una capa del material, el cual es expulsado a través de la

ranura mediante un gas que se presuriza. Esta tecnología se recomienda para cortar aceros de hasta 25 mm de espesor.

**Corte por llama (o reactivo):** Para realizar este tipo de corte, se usa gas de oxígeno y rayo láser, en el proceso de calentamiento del sustrato de material a cortar, hasta su temperatura de ignición. El gas reacciona con el sustrato exotérmicamente, generando calor adicional, el cual produce escoria. La escoria es expulsada por un chorro de gas, generando una ranura de corte. Esta tecnología se recomienda para cortar aceros aleados y dulces de hasta 40 mm de espesor.

El corte láser para metales es un proceso que existe aproximadamente desde 1967 (Hilton, 2007) (Webb, 2004). No es un proceso que se utilice convencionalmente para fabricación de resortes de ballesta; sin embargo, actualmente existen procesos de investigación orientados a validar su implementación para esta aplicación.

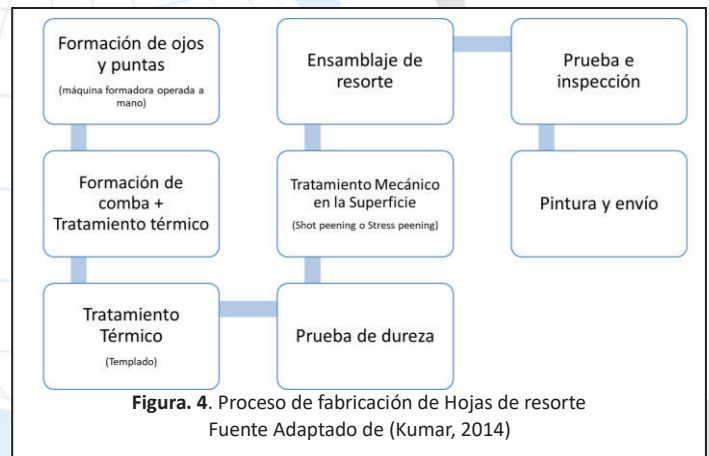


Figura. 4. Proceso de fabricación de Hojas de resorte  
Fuente Adaptado de (Kumar, 2014)

##### 4.3. FABRICACIÓN EN MATERIALES COMPUESTOS

Con respecto al procesamiento de resortes de ballesta en materiales compuestos, de acuerdo con Witten et al (2017) para los desarrollos de Benteler-SGL y Henkel, se espera consolidar el proceso de fabricación de Moldeo por Transferencia de Resina (RTM) “de alta velocidad” que fue diseñado a partir del sistema de resina de poliuretano de dos componentes (Witten, Sauer, & Kühnel, 2017). Estos fabricantes de autopartes esperan generar condiciones al proceso, que le permita al autopartista fabricar hasta 500 mil resortes de lámina anualmente, en el año 2018 (Sloan, 2016).

Como se mencionó en secciones anteriores, la empresa ZF Friedrichshafen, está desarrollando sistemas de suspensión que incluyen elementos como un resorte de ballesta curvo transversal, fabricado con material compuesto. Para el proceso de fabricación de este resorte, la compañía solicitó una patente de invención, que se encuentra en proceso de estudio Hacker et al (2014). Alemania Patente n° En proceso, 2014

## 5. CONCLUSIONES

Los vehículos automotores están integrados por diferentes sistemas, cada uno de los cuales tiene funciones específicas, que en conjunto contribuyen a cumplir con requerimientos de los automotores, supliendo las expectativas de los usuarios finales. Entre estos sistemas, se encuentra el de suspensión, que está asociado con requerimientos funcionales de seguridad, así como de confort y calidad de manejo del vehículo.

Dentro de las partes integrantes del sistema de suspensión, se encuentran los resortes, los cuales buscan evitar la transmisión de las diferentes condiciones de la vía a los demás componentes del vehículo, manteniendo la estabilidad del mismo, al encontrarse en movimiento. En el caso de los vehículos pesados o comerciales, esta función es realizada por resortes de ballesta.

Teniendo en cuenta las tendencias en disminución en peso de los vehículos, se ha generado en la industria automotriz la necesidad de realizar investigaciones orientadas a efectuar cambios en los componentes, sean ellos piezas o sistemas, de manera que sea factible mantener los requerimientos normativos y las propiedades mecánicas, mientras cambia su materia prima.

Para el caso particular de los sistemas de suspensión y concretamente de los resortes de ballesta, existen propuestas de cambio tanto en el material de fabricación (cambiando acero por materiales compuestos) como en los procesos de fabricación, de manera que se generen optimizaciones en los procesos productivos, así como en los sub-productos y en los productos finales.



## BIBLIOGRAFÍA

- Ashok, D., Mallikarjun, M. V., & Mamilla, V. R. (2012). DESIGN AND STRUCTURAL ANALYSIS OF COMPOSITE MULTI LEAF SPRING. *International Journal of Emerging trends in Engineering and Development*, 30-37.
- CARE Ratings. (2017). *Automobile Components: Structure and Prospects*. Mumbai: CARE Ratings.
- COLCIENCIAS. (2017). *Sitio Web Gruplac - Red Scienti - Colciencias*. Recuperado el 2016, de <http://scienti.colciencias.gov.co:8083/ciencia-war/>
- Dighe, A. D. (2016). A REVIEW ON TESTING OF STEEL LEAF SPRING. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 493-496.
- Dixon, J. C. (2009). *Suspension geometry and computation*. Chichester (West Sussex, United Kingdom): John Wiley & Sons Ltd.
- Gillespie, T. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale (PA): SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS.
- HACKER, C., ALBERS, I., HOFMANN, P., RUPFLIN, T., & SIDDIQUI, S. (2014). *Alemania Patente nº En proceso*.
- Hilton, P. (2007). The early days of laser cutting. *11th Nordic Conference in Laser Processing of Materials*. Lappeenranta, Finland: The Welding Institute.
- INEN. (2015). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 3017. PROYECTO A2. QUITO (ECUADOR): SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*.
- IPG Photonics. (18 de 10 de 2017). *Laser Cutting Techniques*. Obtenido de IPG Photonics: [http://www.ipgphotonics.com/en/applications/materials-processing/cutting#\[laser-cutting-techniques\]](http://www.ipgphotonics.com/en/applications/materials-processing/cutting#[laser-cutting-techniques])
- Jadhao, K. K., & Dalu, R. S. (Octubre de 2014). Design and Analysis of Composite Leaf Spring: A Review. *International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology*, 4(2), 61-72.
- Kumar, D. (2014). *PROJECT PROFILE (UPDATED)*. Obtenido de Sitio Web del Ministry of MSME (Micro, Small and Medium Enterprises): [http://www.msmedinewdelhi.gov.in/PDF2014-15/Project%20Profile%202014-15/Updated\\_PP/Mech\\_AUTO%20LEAF%20SPRING.pdf](http://www.msmedinewdelhi.gov.in/PDF2014-15/Project%20Profile%202014-15/Updated_PP/Mech_AUTO%20LEAF%20SPRING.pdf)
- Mantilla, D. (2014). *Diseño Óptimo de Resortes Tipo Ballesta Para la Suspensión de un Vehículo Comercial Considerando las Condiciones Dinámicas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- MSME - METALLURGY DIVISION. (2011). *PROJECT PROFILE ON AUTO LEAF SPRINGS*. Nagpur (India): MSME-Development.
- Nutalapati, S. (2015). Design and Analysis of Leaf Spring by Using Composite Material For Light Vehicles. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 6(12), 36-59. Obtenido de <http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=6&IType=12>
- Patil, R. M., Hatrote, S. M., Pharale, A. K., Patil, V. S., Chiniwalar, G. V., & Reddy, A. S. (2014). Fabrication and Testing of Composite Leaf Spring for Light Passenger Vehicle. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 67-72.
- SAE. (1996). *SPRING DESIGN MANUAL*. Warrendale (PA): Society of Automotive Engineers Inc.
- Scuracchio, B. G. (2012). *Tensões residuais induzidas por shot-peening e durabilidade de molas em lâmina*. São Paulo (Brazil): Universidade de São Paulo - USP. doi:10.11606/T.3.2012.tde-14032013-171049
- Scuracchio, B. G., de Lima, N. B., & Schön, C. G. (2013). Role of residual stresses induced by double peening on fatigue durability of automotive leaf springs. *Materials and Design*, 672-676.
- SGL GROUP. (Octubre de 2016). *Investor Relation Presentation*. Recuperado el Noviembre de 2017, de Sitio Web de SGL GROUP: <http://www.equitystory.com/download/companies/sglcarbon/Presentations/Investor-Relations-Presentation-October-2016.pdf>
- Sloan, J. (Mayo de 2016). JEC World 2016: Automotive highlights. *CompositesWorld*, 5(2), 30-31. Obtenido de <https://www.compositesworld.com/articles/jec-world-2016-automotive-highlights>
- Society of Automotive Engineers Inc. (1996). *Spring Design Manual*. (S. o. Committee, Ed.) Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.
- Webb, C. E. (2004). *Handbook of Laser Technology and Applications: Laser design and laser systems*. Bristol: CRC Press.
- Witten, E., Sauer, M., & Kühnel, M. (2017). *Composites Market Report 2017: Market developments, trends, outlook and challenges*. Frankfurt (Alemania): AVK. Obtenido de [https://pultruders.org/documents/Composites\\_Market\\_Report\\_2017.pdf](https://pultruders.org/documents/Composites_Market_Report_2017.pdf)