

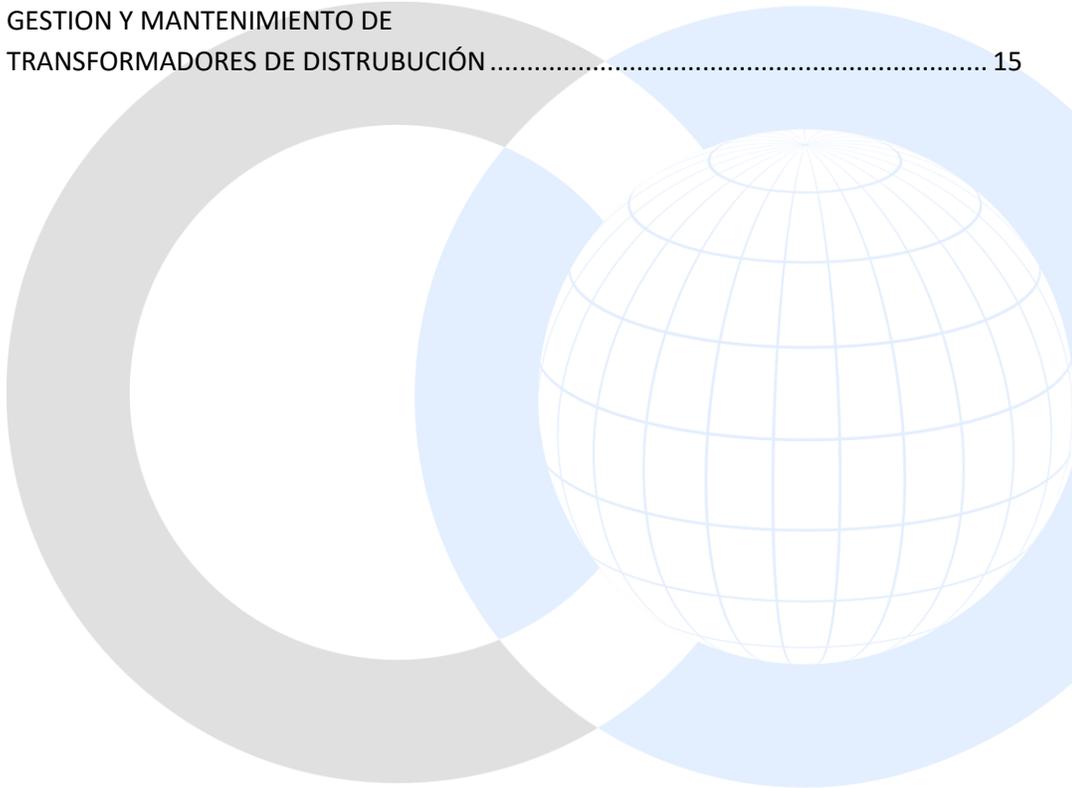
30-06-2018

# DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL

La revista electrónica de COLINNOVACIÓN, tiene el compromiso de informar sobre la actualidad de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación en Colombia.

# 1 Tabla de contenido

PARTES AUTOMOTRICES Y SUS PROCESOS DE FABRICACIÓN: RESORTES DE BALLESTA.....	3
INNOVACION EN EL DESARROLLO DE ALIMENTOS EN LA INDUSTRIA DE PANADERIA .....	9
GESTION Y MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES DE DISTRUBUCIÓN .....	15



# INNOVACI

**DIRECTOR**  
Gabriel Alberto Zamudio

**EDITOR**  
Julian Andres Zamudio

**CONSEJO EDITORIAL**  
Hermann Fuquen  
Juan Carlos Salavarría  
Claudia Sánchez



**IMPRESIÓN - WEB**  
COLINNOVACIÓN SAS.

**COMUNICACIÓN**  
colinnovacion@gmail.com  
contacto@colinnovacion.com

Desarrollo Tecnológico e  
Innovación Empresarial  
Edición 7 – Volumen 1  
ISSN 2322-8725

# 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)

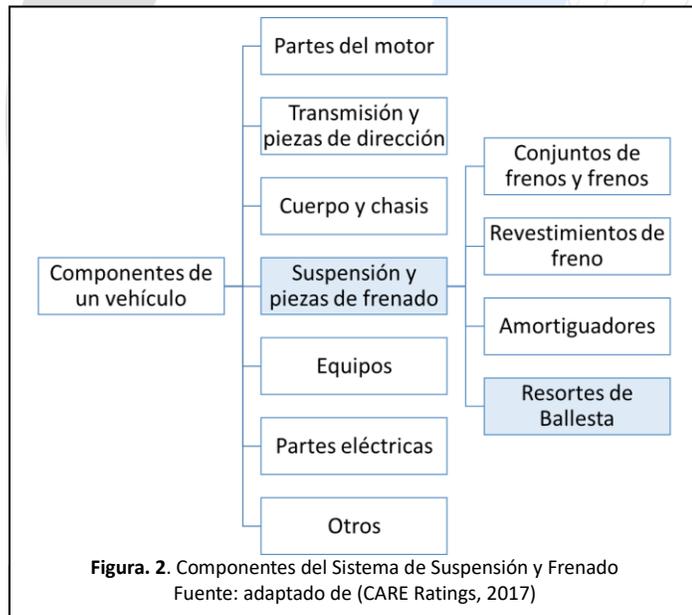
Uno de los sistemas identificados en la Fig 1, es el de suspensión y frenos, que se diseña con el fin de mantener conectada la carrocería del vehículo con las ruedas, facilitando a su vez el movimiento relativo entre ellos (Gillespie, 1992). Deben garantizar la seguridad y el rendimiento del vehículo 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

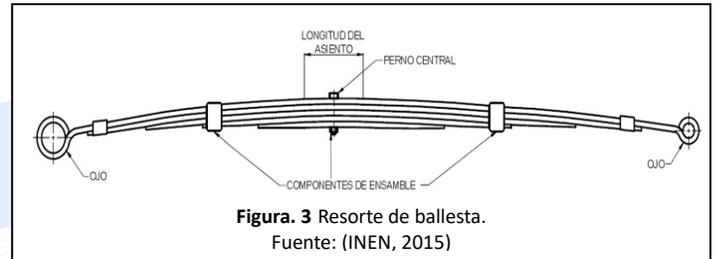
Este componente del sistema de suspensión y frenado (Ver Fig 2) que se utiliza en vehículos cuyos ejes soportan cargas altas. Su uso se ve principalmente en vehículos militares, camiones (en la parte delantera cuando son pesados) o en automóviles (para la parte trasera dependiendo de su uso), entre otros.



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 trasmisión 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.

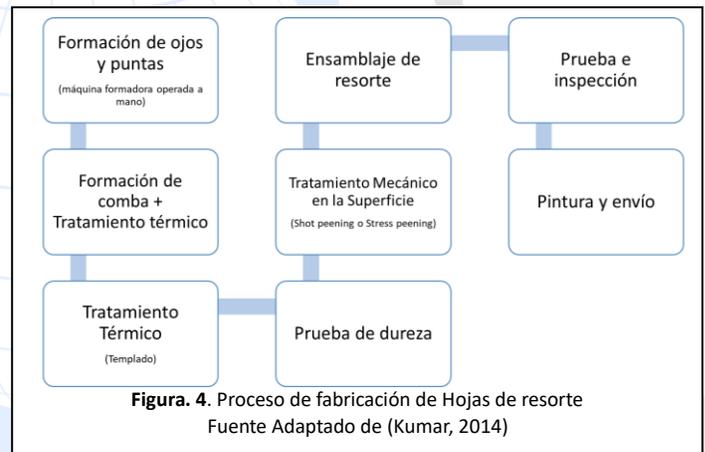


Figura. 4. Proceso de fabricación de Hojas de resorte  
Fuente Adaptado de (Kumar, 2014)

##### 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 nº 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)

# INNOVACION EN EL DESARROLLO DE ALIMENTOS EN LA INDUSTRIA DE PANADERIA

**Hermann Fuquen**, Consultor en Innovación Tecnológica

**Resumen** — La industria de alimentos especialmente la referente a alimentos horneados enfrenta grandes retos para satisfacer la demanda de productos saludables que requiere el mercado. Es por esta razón que el desarrollo de alimentos funcionales permite mejorar las propiedades de los alimentos horneados. En este artículo se revisarán ingredientes que permiten el aumento de la funcionalidad de alimentos panificados y tecnologías para la elaboración de alimentos funcionales. Finalmente se describe una nueva tendencia en la formulación de alimentos llamada nutrigenómica, que permitirá a través de un conocimiento profundo de la interacción de los alimentos y el genoma humano, desarrollar alimentos altamente nutritivos y adecuados según las características de cada consumidor, ayudando a tratar sus afectaciones de salud y mejorando en algunos casos sus mismas condiciones de salud.

**Palabras Clave** — Alimentos Funcionales, Nutri-genómica, Ingredientes Alimenticios, Panificación.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para entender la transformación de la industria de panadería en el desarrollo de productos innovadores, es importante recordar la concepción de alimentos funcionales, la cual se centra en el cambio en la demanda de los consumidores, los cuales enfatizan la importancia de los alimentos que consumen como contribuyentes directos a su salud (Mollet y Rowland, 2002). Los alimentos hoy en día no tienen el propósito de satisfacer sólo el hambre y proporcionar los nutrientes necesarios para el ser humano, sino también cumplen la función de prevenir las enfermedades relacionadas con la nutrición y mejorar el bienestar físico y mental (Ibid).

Entre todas las novedades introducidas en esta industria, los investigadores reconocen los alimentos funcionales como una de las áreas más interesantes de la investigación y la innovación (Annunziata y Vecchio, 2011; Siro et al, 2008). Su relevancia está relacionada con el incremento del costo de la asistencia sanitaria, el aumento constante de la esperanza de vida, y el deseo de las personas mayores para mejorar la calidad de vida en sus últimos años (Kotilainen et al, 2006; Robertfroid, 1999, 2000).

Los objetivos de los alimentos funcionales son múltiples: mejoran las condiciones generales del cuerpo (por ejemplo, los alimentos con pre y probióticos), disminuyen el riesgo de algunas enfermedades (por ejemplo, productos para reducir el colesterol) y pueden ser utilizados para curar enfermedades (Mark-Herbert, 2004; Menrad, 2003).

Por tanto, en la industria de panadería, es importante tener en cuenta que la calidad del alimento no incluye únicamente entregar el principio activo o complemento en las dosis apropiadas, para lograr la eficacia fisiológica y convertirlo así en un alimento funcional, sino que requiere que el producto cumpla con los requisitos de los consumidores, en términos de apariencia, sabor y textura. (István, Emese, Beáta, & Andrea, 2008).

De hecho, uno de los innovadores en la industria de panadería fue Unilever, con un producto de pan blanco, llamado Blue Band Goede, que fue el primero en incluir elementos nutritivos disponibles por lo general solo en el pan integral, incluyendo fibras, B1, B3 y B6, hierro, zinc, inulina, y un almidón que no viene del trigo. (István, Emese, Beáta, & Andrea, 2008).

## 2. INGREDIENTES ESTUDIADOS PARA INCORPORACIÓN EN ALIMENTOS FUNCIONALES HORNEADOS TIPO PAN

Para la fabricación de pan, en cualquiera de sus presentaciones, el agua y la harina son los ingredientes más importantes, ya que afectan la textura. La composición tradicional es harina (14,5% de humedad, 13% de proteína, 0,55% de cenizas, pH 5,7, 6,1, el resto de los componentes son un porcentaje del peso (Mondal & Datta, 2008). Por otro lado, la automatización y mecanización del proceso de fabricación de pan, la producción a gran escala y el aumento de la demanda de los consumidores, que incluyen requerimientos relacionados con comodidad y una mayor vida útil, han generado la necesidad de

incluir aditivos alimentarios funcionales: como emulsionantes y agentes antienvjecimiento para alcanzar la calidad deseada. (Mondal & Datta, 2008). Entre las sustancias y elementos que contribuyen a mejorar las propiedades de los productos de panadería tenemos:

### 2.1 FIBRA

Uno de los ingredientes tradicionales de la fabricación de alimentos de harina es la fibra. En el caso de su inclusión en el desarrollo de alimentos funcionales, se tiene en cuenta que algunos de los beneficios identificados de este tipo de ingrediente se centran en las propiedades de los sustratos que permiten numerosas reacciones metabólicas en la microflora intestinal. Los ácidos que la componen son ácidos grasos de cadena corta que representan una fuente importante de energía particularmente para células como las de la mucosa del colon (Hänninen & Sen, 2008). También se ha demostrado que facilitan la regulación del metabolismo en el hígado (Ibid).

Adicionalmente, la producción de productos multi-grano facilita tener una mayor variedad de panes y ampliar la diversidad de fibras solubles fermentables. Las principales fuentes de trigo integral, pan integral y centeno son cereales de desayuno integrales. Un ejemplo son la avena y la cebada que son una fuente de  $\beta$ -glucano, el cual tiene propiedades que se asocian con efectos saludables (Dewettinck, et al., 2008). Del estudio realizado por Dewettinck et al., (2008) se entiende que es necesario hacer una mayor cantidad de investigación para ser viable la producción saludable y rica en fibra bacteria, por lo atractivo de su textura y sabor.

### 2.2 CENTENO

El pan que lleva este ingrediente ha sido utilizado de manera amplia en comidas en países europeos y del hemisferio occidental. Dentro de sus beneficios se encuentra la reducción de la respuesta de la glucosa. También contribuye con la disminución de la lipoproteína total y de baja densidad en suero (LDL) que es un beneficio para los hombres que tienen sintomatología de colesterol moderadamente elevado. Se ha encontrado adicionalmente que el centeno es una buena fuente de fibra dietética. (Hänninen & Sen, 2008)

### 2.3 HARINA DE AVENA

En Europa y Norte América este tipo de ingrediente tiene una gran tradición. Este ingrediente permite la prevención o reducción de la hiperglucemia y lipidemia, lo

que significa que permite disminuir glucotoxicidad y lipotoxicidad después de una comida estándar. Adicionalmente, la avena derivada de  $\beta$ -glucano contribuye a la reducción de concentración de colesterol LDL en personas que padecen de hipercolestolemia. (Hänninen & Sen, 2008)

### 2.4 INGREDIENTES FUNCIONALES MARINOS

Algunos de los alimentos marinos que pueden ser usados como ingredientes funcionales como la quitina, aceites, vitaminas y minerales, proteínas ácidos grasos omega - 3 se pueden encontrar en la tabla.

La anterior tabla muestra los distintos ingredientes que se pueden obtener de distintas fuentes de recursos marinos, los cuales pueden ser incorporados a los alimentos de panadería, aumentando las posibilidades de adición de elementos funcionales a los alimentos de pa-

TABLA 1  
INGREDIENTES FUNCIONALES MARINOS, FUENTES DEL INGREDIENTE Y SUS POTENCIALES BENEFICIOS PARA LA SALUD.

Ingredient	Sources/component	Potential health benefit
Chitin chitosan	Crab, shrimp	Prevention of inflammatory disorders Antibacterial activity
Omega-3 oils	Salmon oil, cod Liver oil	Prevention of cardio vascular diseases Brain function in children
Seaweed	Wakame	Antioxidant and antitumor agent
Polysaccharides	Carrageenan	Anti-carcinogenic, antiviral
Carotenoids	Astaxanthin Fucoxanthin	Antioxidants, prevent neurodegenerative diseases
Vitamins and minerals	Marine fish	Growth and physiology of body
Shark cartilage	Shark	Anti-carcinogenic agent
Calcium	Fish bone	Teeth and bones strength and antitumor agent
Bioactive peptides	Fish protein	Obesity control and Ca-binding activity
Fish protein hydrolyzates	Fish protein	Protein supplement
Taurine	Cod, mackerel	Prevent CVDs, Alzheimer's disease and cystic fibrosis.

Fuente: Fuente: (Kadam & Prabhasankar, 2010)

nadería.

### 2.5 QUINTINA

Este ingrediente en forma de quitosano puede ser usado como aditivo o suplemento dietético aprobado en varios países de Asia, América y Europa. En 1992, fue aceptado como un ingrediente de alimentos funcionales por el departamento de salud de Japón (Kadam & Prabhasankar, 2010). Adicionalmente, ha sido reconocido en su capacidad cómo ingrediente de alimentos nutraceuticos lo que quiere decir que tiene propiedades farmacéuticas y nutricionales.

Se sabe que los lípidos le dan a los alimentos sabor, aroma, así como valor nutritivo, entre otras características. Sin embargo, teniendo en cuenta el área de la nu-

trición, tienen varias funciones desde ser fuente de energía, portador de vitaminas solubles y facilitar la formación de membranas y tejidos celulares. (Kadam & Prabhasankar, 2010)

Particularmente en el caso de los aceites omega-3, se han identificado beneficios adicionales como un efecto protector contra las enfermedades cardiovasculares, aumento de la fluidez hepática y se ha demostrado que este tipo de ácidos grasos modula el crecimiento de células de tumor. Por lo tanto, estos ácidos pueden ser aplicados en alimentos que contribuyan en la promoción de salud, para prevenir enfermedades como "la arterosclerosis, las arritmias, reducir la presión arterial, beneficioso para los pacientes diabéticos, la lucha contra la enfermedad maníaco-depresiva, reducir los síntomas en los pacientes con asma, la protección contra las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, el alivio de los síntomas de la fibrosis quística, prevenir varios tipos de cáncer, proporcionar salud de los huesos, y mejorar las funciones del cerebro en los niños (Kadam & Prabhasankar, 2010). Pueden ser incorporados como ingredientes en productos de panadería, y tienen ya un uso relativamente conocido como ingredientes de pastas y productos lácteos. Hoy en día, particularmente en Europa, existe consumo de pan enriquecido con ácidos grasos omega-3, reconociendo el componente saludable de este tipo de productos. (Kadam & Prabhasankar, 2010)

### **3. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS FUNCIONALES QUE PERMITEN LA CONSERVACIÓN DE COMPUESTOS FISIOLÓGICAMENTE ACTIVOS**

Entre las tecnologías disponibles para la elaboración de alimentos se destacan tres entre las que contamos con:

#### **3.1 MICROENCAPSULACIÓN**

La microencapsulación es el envolvimiento de las pequeñas partículas sólidas, gotitas líquidas o gases en un revestimiento (Thies, 1987). Se basa en el efecto de la incrustación de una matriz polimérica, lo que crea un microambiente en la cápsula capaz de controlar las interacciones entre la parte interna y la externa (Borgogna et al., 2010). La microencapsulación permite la protección de una amplia gama de materiales de interés biológico, a partir de pequeñas moléculas y proteínas (enzimas, hormonas) hasta para células de bacterias, levaduras y de origen animal (Thies, 2012). Por esta razón, este tipo de tecnología versátil es ampliamente estudiada y explotada en los campos de la tecnología de la

biomedicina y biofarmacia, para su aplicación. Las mismas características hacen de la microencapsulación una adecuada técnica para aplicaciones de la industria alimentaria, en particular para la producción de alimentos y nutraceuticos de alto valor.

Esta técnica plantea varios retos para su aplicación en alimentos funcionales ya que los componentes de los bioactivos tienen distintas composiciones moleculares, lo que dificulta su integración con los encapsuladores. Otro de los retos es la interacción con el ambiente de estos compuestos, ya que no solo es importante la reacción con el paso del tracto gastrointestinal sino las circunstancias perjudiciales durante el almacenamiento en el producto que sirve como vehículo para los componentes bioactivos (Betoret et al, 2011).

Los estudios abordan una amplia gama de cuestiones y desafíos relacionados con la microencapsulación en cuatro direcciones principales de investigación:

- Materiales de microencapsulación
- Pared de materiales (matriz) para la microencapsulación.
- Procedimientos para la microencapsulación.
- Propiedades y funciones de los sistemas encapsulados.

Según Betoret et al. (2011) son muchos los retos aún por investigar en la microencapsulación y se mencionan casos de éxito para algunos productos específicos, es por eso que la continuación de estas investigaciones y el desarrollo de productos para mercados específicos que utilicen esta técnica es vital para el continuo desarrollo de alimentos funcionales.

#### **3.2 PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES**

Cualquier tipo de material utilizado para enfundado (es decir, revestimiento o envoltura) en distintos alimentos para extender la vida útil de los productos que se pueden comer junto con los alimentos con o sin la extracción adicional, se considera una película comestible o revestimiento (Pavlaty y Orts, 2009). Películas y recubrimientos comestibles se aplican en muchos productos para el control de la transferencia de la humedad, el intercambio de gases o los procesos de oxidación. Para los materiales formadores de película dispersadas en soluciones acuosas, se requiere la eliminación del disolvente para lograr la formación de una película sólida y el control de sus propiedades (Hernández-Izquierdo & Krochta, 2008). Las películas comestibles se pueden formar a través de dos procesos principales: un "proceso húme-

do" en el que están dispersos o solubilizados en una solución formadora de película (fundición solución), seguido de la evaporación del disolvente con biopolímeros, y un "proceso seco", que se basa en el comportamiento termoplástico exhibido por algunas proteínas y polisacáridos en los niveles bajos de humedad en la compresión del moldeo y extrusión.

Una de las principales ventajas de la utilización de películas y recubrimientos comestibles se encuentra en su alto potencial para llevar a ingredientes activos tales como agentes antiparadeamiento, colorantes, sabores, nutrientes, especias y compuestos antimicrobianos que pueden extender la vida útil del producto, reducir el riesgo de crecimiento de patógenos en superficies de los alimentos y proporcionar los nutrientes específicos que afectan, beneficiosamente una o más funciones del cuerpo (Betoret et al, 2011).

### 3.3 IMPREGNACIÓN EN VACÍO

La impregnación en vacío se ha considerado como una forma útil para introducir solutos deseables en la estructura porosa de los alimentos, y así modificar su composición original como un complemento para el desarrollo de nuevos productos. Compuestos fisiológicamente activos se pueden introducir en los productos de frutas y vegetales que utilizan esta técnica sin modificar su integridad (Betoret et al, 2011).

El uso de impregnación al vacío para desarrollar alimentos funcionales puede ser orientado de dos maneras. Primero, varios estudios utilizan la técnica de impregnación al vacío deseable para modificar la composición original de un alimento poroso. Fito et al. (2001) evaluó por primera vez la posibilidad de utilizar la impregnación al vacío para el enriquecimiento de minerales de frutas y verduras desde el punto de vista de la ingeniería. Se desarrollaron modelos matemáticos para determinar la concentración de diferentes minerales en soluciones de impregnación necesarias para lograr un % de la ingesta de referencia dietética a la fortificación 20 a 25 % en 200 g de muestras. Siguiendo la predicción del modelado, la validación experimental confirmó que podría ser un método eficaz para el enriquecimiento de las frutas y verduras con minerales, vitaminas y otros componentes fisiológicamente activos.

## 4. NUTRIGENÓMICA

Si bien existe una serie de definiciones formales, la nutrigenómica en esencia (a veces llamada genómica nutricional o nutri-genética) considera las interacciones entre los alimentos o suplementos dietéticos con el genoma de un individuo, es decir hace una distinción de las diferencias genéticas de las personas y como las mismas generan respuestas distintas y efectos posteriores consiguientes en su fenotipo. Reconoce que el asesoramiento dietético apropiado para un individuo puede ser inapropiado, o realmente perjudiciales, para otro (Ferguson et al., 2010).

El campo tiene el potencial de proporcionar asesoramiento nutricional adaptado o desarrollar productos alimenticios especializados para la población o para los individuos y aún se considera como una ciencia emergente (Ferguson et al., 2010). Hay pruebas convincentes de que SNPs (polimorfismos de nucleótido único) en ciertos genes pueden influir profundamente en la respuesta biológica a los nutrientes. Sin embargo, los efectos de las variantes de un único gen en el riesgo o factor de riesgo en una enfermedad compleja tienden a ser pequeños e inconsistentes por lo que aun se requiere de investigación par confirmar los efectos en la salud (Ibid).

La nutrigenómica ayudará a la tendencia de los mercados en aumentar la personalización de los productos alimenticios según la necesidad de los individuos debido a los cambios socio-demográficos que crean nuevas tendencias de demanda en las sociedades (Ghosh, 2009). La conciencia elevada de los efectos de los alimentos en los consumidores y el subsecuente incremento en la actividad de investigación científica ha aumentado la cercanía con los profesionales de la salud, facilitando el desarrollo de alimentos a través de canales de distribución fuertemente desarrollados (Ghosh, 2009).

La introducción de la tecnología genómica esta permitiendo mejorar los medios de desarrollo de alimentos procesados, la seguridad alimentaría y aseguramiento de la calidad de los productos. Los alimentos procesados son fabricados con técnicas mas sofisticadas que guían los procesos industriales o mejoran la gestión de la cadena de abastecimiento. La seguridad alimentaría a través de la detección de los micro-organismos y el conocimiento en el proceso de deterioro de los alimentos (Ghosh, 2009).

## 5. CONCLUSIONES

La conciencia de los consumidores sobre la importancia de los alimentos y sus efectos en la salud, esta produciendo una revolución en la industria alimentaria que obliga a esta última, a adaptarse para responder rápidamente a las demandas de mercado. Para esto la ciencia y la tecnología han apoyado esta transformación al poder generar alimentos funcionales basados en el conocimiento profundo de ingredientes y procesos que permiten mejorar las propiedades de estos. La industria de la panadería ha mejorado la oferta de productos con características nutricionales mejoradas, lo que ha permitido ingresar a nichos de mercados especializados y de alta exigencia lo que aumenta la diversificación de la oferta de productos disponibles.

Las técnicas de elaboración y empaque de alimentos también permiten mejorar sus características, lo que facilita la innovación en productos cada vez mas personalizados y con características saludables. Estas técnicas facilitan no solo la integración de compuestos a los alimentos sino un mejor manejo en la interacción de sustancias y la mejora de la vida útil de los productos. Sin embargo, aun quedan muchas variables que deben profundizar su investigación para que sean viables en el mercado y así alcanzar un mayor impacto de los alimentos funcionales.

Esta área puede llegar a ser la evolución de los alimentos funcionales en el largo plazo, cuando las tecnologías como la bioinformática mejoren el tratamiento de los datos genéticos.

De otra parte, la nutri-genómica se presenta como un área basada en un alto componente de conocimiento científico que promete ser el futuro de los alimentos funcionales emergentes. Sin embargo, todavía es necesario continuar con las líneas de investigación que permitan verificar su eficacia y superen consideraciones éticas y de confidencialidad de información de los usuarios al tender a una alimentación más personalizada y única para el consumidor.

Por lo anterior, la industria de la panadería cuenta con un amplio potencial de desarrollo basado en varias tecnologías y conocimientos emergentes, que apoyaran los esfuerzos para una mejor calidad de vida de la población y la prevención, hasta el tratamiento de enfermedades, por lo que las empresas del sector deberán dar seguimiento a los adelantos que se presenten para incorporarlos a sus productos y así asegurar su competitividad.



INNOVACION

## BIBLIOGRAFÍA

- Annunziata, A., & Vecchio, R. (2011). Functional foods development in the European market: A consumer perspective. *Journal of Functional Foods*, 3(3), 223-228.
- Betoret, E., Betoret, N., Vidal, D., & Fito, P. (2011). Functional foods development: Trends and technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 22(9), 498-508.
- Borgogna, M., Bellich, B., Zorzin, L., Lapasin, R., & Cesàro, A. (2010). Food microencapsulation of bioactive compounds: Rheological and thermal characterisation of non-conventional gelling system. *Food Chemistry*, 122(2), 416-423.
- Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kuhne, B., Van de Walle, D., Courtens, T., & Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 243 - 257.
- Ferguson, L. R., Philpott, M., & Barnett, M. P. (2010). Nutrigenomics: integrating genomic approaches into nutrition research. In *Molecular Diagnostics* (pp. 347-363). Academic Press
- Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Cháfer, M., Martínez-Monzó, J., ... & Vidal, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 175-183.
- Ghosh, D. (2009). Future perspectives of nutrigenomics foods: benefits vs. risks. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*. Vol: 46. pp. 31-36
- Hänninen, O., & Sen, C. K. (2008). Nutritional supplements and functional foods: functional significance and global regulations. In *Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and Around the World* (pp. 11-35). Academic Press.
- Hernandez-Izquierdo, V. M., & Krochta, J. M. (2008). Thermoplastic processing of proteins for film formation—a review. *Journal of food science*, 73(2), R30-R39.
- István, S., Emese, K., Beáta, K., & Andrea, L. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, 456-467
- Kadam, S. U., & Prabhasankar, P. (2010). Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products. *Food Research International*, 43(8), 1975-1980.
- Kotilainen, L. (2006). Health Enhancing Foods: Opportunities for Strengthening the Sector in Developing Countries. International Bank for Reconstruction and Development: The World Bank.
- Mark-Herbert, C. (2004). Innovation of a new product category—functional foods. *Technovation*, 24(9), 713-719.
- Menrad, K. (2003). Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of food engineering*, 56(2-3), 181-188.
- Mollet, B., & Rowland, I. (2002). Functional foods: at the frontier between food and pharma. *Current Opinion in Biotechnology*, 5(13), 483-485.
- Mondal, A., & Datta, A. (2008). Bread baking - A review. *Journal of Food Engineering*, 465-474.
- Pavlath, A. E., & Orts, W. (2009). Edible films and coatings: why, what, and how?. In *Edible films and coatings for food applications* (pp. 1-23). Springer, New York, NY.
- Robertfroid, M. (1999). Scientific concepts of functional foods in Europe. *British Journal of Nutrition*, 81, S1-S27.
- Robertfroid, M. (2000). Defining functional food. *Functional foods: concepts to product*. Cambridge: Woodhead, 9-29.
- Siro, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, 51(3), 456-467.
- Thies, C (1987) Microencapsulation. In *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, pp. 724-745 [Mark, HF, Bikales, NM, Overberger, CG, Menges, G and Kroschwitz, JI, editors]. New York: John Wiley & Sons.
- Thies, C. (2012). Microencapsulation methods based on biopolymer phase separation and gelation phenomena in aqueous media. In *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals* (pp. 177-207). Woodhead Publishing.

# GESTION Y MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES DE DISTRUBUCIÓN

[Juan C. Salavarrieta](#), Consultor en Innovación Tecnológica (COLINNOVACION)

**Resumen** — En la industria energética, los gastos asociados con el mantenimiento y reparación de transformadores en baño de aceite son elevados. Esto es originado por la alta frecuencia en la aparición de fallas tales como: aislamiento deteriorado, corto circuito en devanados, oxidación por humedad, sobrecarga, sobretensión de origen atmosférico o maniobra, entre otros. El costo de este tipo de reparaciones representa un rubro significativo en la operación de las empresas de energía. Es por eso, que se hace necesaria la implementación de estrategias tecnológicamente fundamentadas en la búsqueda de disminuir los gastos de reparación de los equipos, entre ellos los transformadores de distribución. A su vez, el uso de nuevas tecnologías en eficiencia y mantenimiento de transformadores repercuten de manera positiva en los efectos medioambientales y de seguridad de la operación.

**Palabras Clave** — transformador, gestión de activos, mantenimiento, energía eléctrica.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un transformador es un dispositivo eléctrico que se utiliza para transferir energía de un circuito a otro mediante inducción electromagnética. La transferencia de energía se acompaña sin cambios de frecuencia. En un sistema eléctrico, el término transformador de distribución se utiliza para suministrar CA (corriente alterna) de varios voltajes y valores apropiados de corriente en el sistema de distribución público de electricidad. Se ven con mayor regularidad transformadores complementando la cadena de valor en la red de servicios residenciales. A su vez, anterior a estos, se encuentran los transformadores de potencia los cuales cuentan con un soporte de carga de más de 500 KVA generalmente ubicados en la fuente de generación (Alvarez & Pozo, 2007).

Las compañías eléctricas estarán preparadas para abordar los retos planteados, sólo si cuentan con una metodología para la gestión óptima de sus activos, es decir, si puede tomar las decisiones correctas en el momento adecuado (Romero et al., 2012) sobre el funcionamiento de sus activos, tomando para el caso de este artículo, los transformadores. La gestión de un parque de transformadores debe tener en cuenta los riesgos asociados con cada transformador de manera independiente, dentro de un sistema eléctrico. En este sentido, se debe valorar el nivel de riesgo para cada unidad. Al valorar el riesgo, se puede establecer una clasificación por mérito y condición de los transformadores, lo que permite la planificación de acciones para el mediano y largo plazo.

La gestión de activos se define como el conjunto de actividades y prácticas a través de las cuales una organización empresarial maneja de forma óptima y eficiente sus activos, con el propósito de alcanzar un plan estratégico organizacional. En este contexto la palabra "activo" se refiere a la planta, maquinaria, propiedades, edificios, vehículos y otros elementos de valor importante para la operación de cualquier organización empresarial.

El propósito de este artículo es hacer una breve descripción del tipo de problemas a los cuales afectan los transformadores, sus consecuencias y características, a su vez se describe el tipo de mantenimiento que deben tener, lo anterior basados en documentos de la empresa CDM transformadores y estudios asociados; finalizando con el concepto de gestión de activos, el cual cobra cada vez mayor importancia en la industria energética, ya que de él depende la estabilidad y eficiencia en el funcionamiento de los equipos asociados a la cadena de valor.

## 2. TRANSFORMADORES DE ENERGÍA

El análisis de gran cantidad de datos (Big Data) está El transformador es un dispositivo o máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia (Alvarez & Pozo, 2007). La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las má-

quinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, entre otras variables.

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, por medio de interacción electromagnética. Está constituido por dos o más bobinas de material conductor, aisladas entre sí eléctricamente y por lo general enrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético. Los transformadores son dispositivos cuyo diseño se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de acero al silicio (Alvarez & Pozo, 2007).

El devanado lo conforman cables que están enrollados alrededor de una estructura que contiene hierro, llamado el núcleo. Este conjunto de vueltas se denomina: Bobina primaria o "primario" a aquella que recibe el voltaje de entrada y Bobina secundaria o Secundario" a aquella que entrega el voltaje transformado.

Los transformadores que más comúnmente se identifican son llamados de poste, los cuales proveen la transformación de voltaje en el sistema de distribución de energía eléctrica en zonas residenciales. Principalmente, acondiciona el nivel de voltaje usado en las líneas de media tensión al nivel requerido por el usuario final. Por lo general este tipo de transformadores están encapsulados en cajas de acero, y pueden contener entre los devanados primario y secundario como medio de aislamiento y enfriamiento, aceite, para el caso de los transformadores en baño de aceite; o aire, para el caso de los transformadores secos (Alvarez & Pozo, 2007).

La sobrecarga en la capacidad nominal de los transformadores, la reducción en gastos de mantenimiento y la austeridad en la inversión, son los desafíos que deben enfrentar las compañías eléctricas en la actualidad (Ceron, Orduña, Aponte, & Romero, 2015). Como respuesta a estos requerimientos, las compañías eléctricas están introduciendo métodos usados por los inversionistas y las compañías de seguros, relacionados con el aseguramiento de los activos y la minimización de los riesgos (Duran, 2014). En vista del gran número de transformadores en el mundo que se acercan al final de su vida útil, las compañías eléctricas están interesadas en identificar el tiempo de vida remanente y la condición de los mismos, tratando así de extender al máximo su vida útil o tomar decisiones oportunas que minimicen costos, producto de una eventualidad y de esta forma maximizar los beneficios económicos, producto de la explotación del activo (OEDER, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior, existen parámetros como la carga máxima que puede soportar un transformador la cual está condicionada por los siguientes tipos de limitaciones de acuerdo con (Duran, 2014):

### 2.1 LIMITACIÓN TÉRMICA:

Es aquella carga que produce una elevación de la temperatura del transformador por encima de un valor crítico y trae como consecuencia el envejecimiento prematuro de los aislamientos y la reducción de la vida útil del transformador.

Debido a que los efectos de deterioro producidos por la temperatura son acumulativos, es posible obtener una vida satisfactoria del aislamiento del transformador con picos de temperatura que excedan a los valores permitidos bajo carga continua, siempre y cuando la duración de estas temperaturas sea suficientemente restringida.

Idealmente, los transformadores deberían contar con elementos de protección para controlar fundamentalmente que la temperatura no supere el valor crítico, interrumpiendo el servicio cuando las sobrecargas alcanzan dicha temperatura.

### 2.2 LIMITACIÓN DE CARGA:

Ocurre cuando existen sobretensiones las cuales son incrementos de tensión eléctrica que pueden causar graves problemas a los equipos conectados a la red de media tensión, y más cuando exceden su capacidad, el efecto de este tipo de carga adicional en un transformador se evidencia desde un envejecimiento precoz de sus componentes internos y externos hasta incendios, deterioro y destrucción del equipo.

## 3. TIPOS DE FALLA EN TRANSFORMADORES:

En la estadística de fallas de los transformadores que la empresa CDM Transformadores (2013) tiene evidencia, se identificó que la humedad y la sobrecarga son los diagnósticos más comunes que provocan el mal funcionamiento de los transformadores.

Cuando un transformador falla por humedad, se presentan los siguientes efectos:

- Presencia de agua en el fondo del tanque y en la parte superior de la estructura de soporte. (se evidencia óxido en estas partes)

- Puntos de oxidación en las partes que no se encuentran sumergidas en el aceite.
- Cortocircuito entre capas de la bobina en su parte superior.
- Rotura de indicador de sobrecarga
- Daño en el mecanismo de operación del indicador de sobrecarga.

Una vez un transformador presenta una falla debido a una sobrecarga se presentan los siguientes efectos:

- En la conexión de baja tensión hay salidas de cobre descoloridas.
- El papel aislante de la bobina y salidas está deteriorado.
- El aceite dieléctrico presenta ennegrecimiento o quemado con gran formación de lodo.
- Las paredes del tanque presentan descoloración.
- Gran contenido de lodo

### 3.1 CARACTERÍSTICAS POR TIPO DE FALLA TÉCNICA

Como fallas debidas a sobretensiones ya sean de origen atmosférico o de maniobra se observan las siguientes características (CDM, 2013):

- Se evidencia cortocircuito entre las espiras pertenecientes a las primeras o últimas capas de falla de tensión.
- En la parte externa se observa también ennegrecimiento en los aisladores de alta tensión.
- Algunas veces la bobina descarga al núcleo o al tanque. Evidenciando daño estructural
- Perforación de algún sector de la bobina entre capas o espiras, excepto por humedad.
- Puede presentarse evidencia de descarga entre los devanados de alta y baja tensión.

Respecto a fallas ocasionadas por cortocircuito externo o conexiones erradas se presentan los siguientes fenómenos de acuerdo con (Mago , Valles, Olaya , & Zequera, 2011):

- La bobina se presenta con devanados desplazados el uno respecto al otro. Lo que en un futuro pueden manifestarse otras fallas de aislamiento.
- Cambios de coloración en los empalmes.
- Presencia de esquirlas en las bobinas.
- Rastros de carbón en el conmutador

Para las fallas debidas a mala operación se destacan los siguientes fenómenos:

- Rompimiento de conmutadores al accionarlos erróneamente
- Rompimiento de aisladores
- Daño o ausencia de la válvula de sobrepresión, cuando esta ha sido suministrada.

### 4. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Las empresas del sector eléctrico deben tener dentro de sus planes de operación, programas de mantenimiento correctivo de activos. Cuando se hace el mantenimiento correctivo de los transformadores se puede hacer bajo dos principios (Campos, 1991):

Reparación parcial: es aquella en la cual se le cambian parcialmente algunos de sus componentes de la parte activa (núcleo y/o bobinas) garantizando haber cumplido con los ensayos de rutina. El término reparado parcialmente, implica que el transformador conserva parcial o totalmente su aislamiento original y por tanto no es indicado estimar que inicia su vida útil.

Reparación Total: es aquella en la cual se le han cambiado totalmente sus bobinas, los aislamientos y el líquido aislante y, por tanto, en esta ocasión si se puede estimar que reinicia su vida útil.

Reconstrucción: este tipo de intervención se caracteriza por el rediseño y el cambio total de sus bobinas, los aislamientos y el líquido aislante y/o se le han modificado sus características nominales, y por tanto se considera que se reinicia su vida útil.

Cuando a un transformador se le ha identificado una falla, se hace la debida evaluación y se inician los protocolos de reparación los cuales cuentan con las siguientes actividades (CDM, 2013):

1. Diagnóstico de falla, el cual es apoyado por la norma GTC 71 (ICONTEC, 2015).
2. Mantenimiento de la parte activa funcional.
3. Reparación o Reconstrucción de la parte activa fallada.

Cuando se presenta un diagnostico por falla, según la norma GTC 71 estas pueden clasificarse según si su origen es externo o interno.

Se pueden encontrar las siguientes fallas de tipo externo:

- Herrajes y conectores flojos
- Aisladores flojos o rotos
- Tapa del tanque floja

- Golpes en el tanque, radiadores, o tapa
- Fugas de aceite debidas a golpes
- Falta de válvula de sobrepresión (en caso que aplique)

A su vez, se presentan a continuación los tipos de fallas internas:

- Fallas debidas a sobrecarga
- Fallas debidas a sobretensiones
- Fallas debidas a cortocircuitos externos al transformador o conexiones erradas
- Fallas debidas a la instalación y/o operación.
- Fallas debidas a defectos de fabricación diversos.

Cabe anotar que uno de los daños más comunes es la sobrecarga producida por exceso de conexiones en la red secundaria de un mismo transformador, estos originados por derivaciones no autorizadas o por desbalanceo de carga al momento de instalación de clientes nuevos. Esta situación es causante de llevar a las conexiones de baja tensión a una temperatura por encima de lo tolerado, causando el deterioro de los conectores como fracturas o fundiciones (Mago, Valles, Olaya, & Zequera, 2011).

También, un factor atmosférico de gran importancia es la humedad, la cual es el principal contaminante del aceite como aislamiento de los transformadores (Campos, 1991). La humedad afecta de manera más directa cuando se presentan filtraciones que tienen camino a través de las hendiduras que por causa de la sobrecarga se han creado alrededor de los empques de los conectores de baja tensión.

## 5. GESTIÓN DE ACTIVOS

Un punto fundamental a tener en cuenta, es el concepto de gestión de activos, el cual en la actualidad debe ser parte de la estrategia de las empresas del sector eléctrico. El objetivo es garantizar el retorno de la inversión y que los activos operen al máximo de su productividad. Una buena gestión de activos se traduce en mejor índices de confiabilidad, optimización de costos y rentabilidad. A continuación, se describe sus orígenes.

En los años 90, el concepto de la gestión de activos es planteado en el marco de la producción petrolera en el mar del norte. Este concepto desde su implementación generó beneficios económicos y además generó muchas aplicaciones incluyendo finanzas, la informática, el mantenimiento de equipos industriales, etc. Es por eso que las entidades Institute of Asset Management (IAM) en conjunto con el British Standards Institute (BSI), establecieron en el año 2002, la norma BSI PAS 55 denominada "Asset Management", norma que fue aplicada por muchas organizaciones empresariales que evidenciaron

su gran potencial (Ceron, Orduña, Aponte, & Romero, 2015).

Para el año 2006, se creó un sistema de certificación de carácter obligatorio en los segmentos de energía y gas en el Reino Unido. En el año 2008, surgió una nueva versión de la norma (BSi PAS 55, 2008). Dicha norma comprende todas las etapas en el ciclo de vida de un activo, desde su origen, la ingeniería, operación, mantenimiento hasta la renovación de los mismos. Para finalizar, en 2014, se publicó la serie de normas internacionales ISO 55000/1/2, las cuales determinan los parámetros para que una organización logre sus objetivos a través de la gestión eficaz y eficiente de sus activos, y de manera consistente y sostenible en el tiempo (ibid.).

El propósito de contar un sistema de gestión de activos es el de apoyar la ejecución del plan estratégico de la empresa, con el fin de compensar las expectativas técnicas y económicas de los diferentes activos de operación. (Brown & Humphrey, 2005). Cabe anotar, que el punto de partida es el plan estratégico de la organización ya que con este se desarrollan las políticas, estrategias, objetivos, tal cual como se puede ver en la Figura 1.

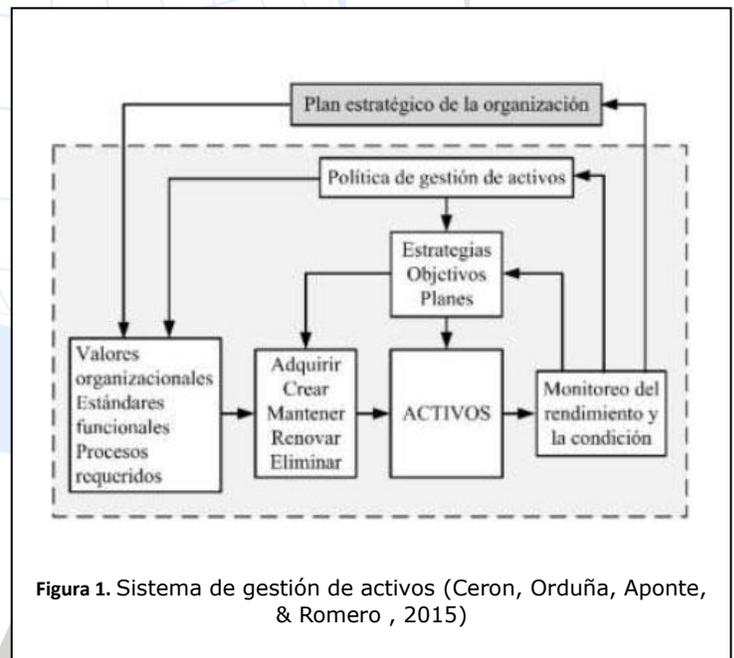


Figura 1. Sistema de gestión de activos (Ceron, Orduña, Aponte, & Romero, 2015)

Teniendo en cuenta lo anterior, los transformadores hacen parte de las inversiones más importantes en las empresas de la cadena de generación, distribución y transmisión eléctrica, es por eso, que el diagnóstico, monitoreo y control del estado de funcionamiento de los transformadores son tratados con alta prioridad.

Ante este escenario el transformador de energía en el contexto de la matriz económica del sistema energético es un activo de vital importancia no solo por lo significativo de la inversión económica, sino porque en caso de falla, los costos que involucran escenarios de parada de

funcionamiento, son por lo general muy elevados, en algunos casos alcanzando varias veces su propio valor, no solo por la reparación del daño, sino porque se integran a los costos los tiempos de lucro cesante, indemnizaciones, multas y otros costos asociados en donde no solo pierde la empresa sino la matriz del sector energético (Mago , Valles, Olaya , & Zequera, 2011).

## 6. CONCLUSIONES

La industria eléctrica se enfrenta a varios desafíos, uno de los cuales es la llegada de los transformadores al fin de su vida operativa debido a factores como sobrecargas, fallas en maniobras, falta de mantenimiento entre otros factores que disminuye la vida útil del activo. Es por eso que se hace de vital importancia, tener protocolos de mantenimiento preventivo y predictivo que aumente la eficiencia y la vida útil del transformador y así proteger la continuidad de la operación de la cadena de valor de la energía (generación, transmisión, distribución).

La gestión de activos y entre ellos los transformadores de distribución y potencia, cobra cada día mayor importancia para las empresas del sector eléctrico, ya que se potencializan beneficios tales como: mejoras en el impacto financiero, reducción de costos, información relacionada con decisiones de inversión, mejor manejo de la gestión del riesgo, incremento en la continuidad y calidad del servicio, entre otros.

Es por eso, que las empresas deberán invertir para acceder a tales beneficios, y para eso es necesario que cuenten con sistemas eficientes de adquisición y mantenimiento de activos, los cuales deberán estar centralizados en sistemas de gestión (TIC), para que luego la información recolectada pueda ser procesada para generar información útil a la gerencia. Esto permitirá una buena gestión del ciclo de vida del transformador, activo estratégico para la operación del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R., & Pozo, M. (2007). *Mantenimiento de transformadores de potencia*. La plata, Argentina: Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos (IITREE).
- Brown , R., & Humphrey, B. (2005). Asset management for transmission and distribution. *IEEE Power and Energy Magazine* , p. 39 - 45.
- Campos, R. (1991). Análisis de las fallas en transformadores causadas por la operación del pararrayos ante sobretensiones externas. *Ingeniería e Investigación*, p. 34-46.
- CDM. (2013). *Reparación de Transformadores de Distribución*. Norte de Santander, Colombia: CDM .
- Ceron, A., Orduña, I., Aponte, G., & Romero , A. (2015). Panorama de la Gestión de Activos para Transformadores de Potencia. *Centro de Información Tecnológica*, 26(3), 99-110.
- Duran, J. (2014). *Gestión de Mantenimiento bajo Estándares Internacionales como PAS 55 Asset Management*. Mantenimiento Mundial (en línea). Retrieved from <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/PAS55.pdf>
- ICONTEC. (2015). *GUIA PARA LA RECLAMACIÓN DE GARANTÍAS DE TRANSFORMADORES*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Mago , M., Valles, L., Olaya , J., & Zequera, M. (2011). *Analisis de fallas en transformadores de distribucion utilizando ensayos no destructivos y pruebas de tension mecanicas*. Carabobo, Venezuela: Revista Ingenieria UC, Vol 18.
- OEDER. (2014). *Large Power Transformers and the U.S. Electric Grid, Infrastructure Security and Energy Restoration*. Estados Unidos: Office of Electricity Delivery and Energy Reliability.



 (57)+1 6725048  
(57) 315 796 6545  
 Carrera 20 No 184 - 48 Local 4  
Bogotá D.C., Colombia.  
 [gzamudio@colinnovacion.com](mailto:gzamudio@colinnovacion.com)  
[contacto@colinnovacion.com](mailto:contacto@colinnovacion.com)



[www.colinnovacion.com](http://www.colinnovacion.com)

INNOVACION