



Oscar López García

Doctor Ingeniero Industrial. Profesor del Departamento de Fluidos y Calor e Investigador en el Instituto de Investigación Tecnológica de la ETSI-ICAI. Sus campos de conocimiento son la mecánica del medio continuo, sistemas de energía eólica, mecánica de la fractura y fatiga, materiales inteligentes y el método de los elementos finitos.



Alberto Carnicero López

Doctor Ingeniero Industrial del ICAI prom. 1995. Profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica e Investigador en el Instituto de Investigación Tecnológica de la ETSI-ICAI. Sus campos de conocimiento están relacionados con la aplicación de métodos numéricos a la resolución de problemas de dinámica de estructuras y mecánica de medios continuos, así como el modelado de materiales inteligentes para su empleo en actuadores o sensores.



Rosa Ruiz Pablos

Licenciada en Ciencias Físicas por la Universidad de Salamanca (Especialidad Fundamental). Ha trabajado en proyectos de investigación en las áreas de energía atómica, física nuclear, física del estado sólido e ingeniería de materiales. Actualmente investiga en el Instituto de Investigación Tecnológica de la ETSI-ICAI (Análisis y diseño en Ingeniería).



Materiales inteligentes (II): Aplicaciones tecnológicas

Las nuevas tecnologías de fabricación han conseguido un abaratamiento de los materiales inteligentes que permiten el desarrollo de nuevas aplicaciones y la sustitución de materiales tradicionales. Este avance está siendo posible gracias al esfuerzo cooperativo de distintos campos de conocimiento, tales como: física de estado sólido, química, ingeniería de materiales, medicina, mecánica, biología, etc. y a la creación de grupos de desarrollo multidisciplinares. En el artículo: “Materiales inteligentes (I): Introducción a los materiales del siglo XXI” se hizo una breve descripción de los principios físicos y tipos de materiales inteligentes. En este artículo se presentan algunas de las aplicaciones tecnológicas actuales de estos materiales.

Introducción

El desarrollo de los materiales inteligentes ha hecho posible el ensanchamiento del concepto de diseño estructural hasta tal punto que no solo se contempla la posibilidad de diseñar estructuras que monitoricen su integridad estructural sino que incluso sean capaces de adaptarse al entorno e incluso tomar medidas concretas para autorepararse en caso de deterioro. En cambio, en el contexto tradicional, el diseño estructural se contemplaba desde el punto de vista de la selección de materiales y dimensiones capaces de soportar las cargas estructurales previstas durante la vida del componente.

La comunidad científica considera que la tecnología asociada a las estructuras inteligentes se encuentra lo bastante madura como para buscar la innovación a través del desarrollo de nuevos materiales y nuevos diseños que permitan la integración de detección múltiple de estímulos exteriores, diagnóstico y actuación de la estructura produciendo una importante mejora de la integridad estructural. Se necesita un importante desarrollo de métodos de análisis que permitan modelar la microescala ya que es en estos niveles donde se producen los mecanismos básicos de detección y actuación. También se requieren nuevos procesos de fabricación que permitan

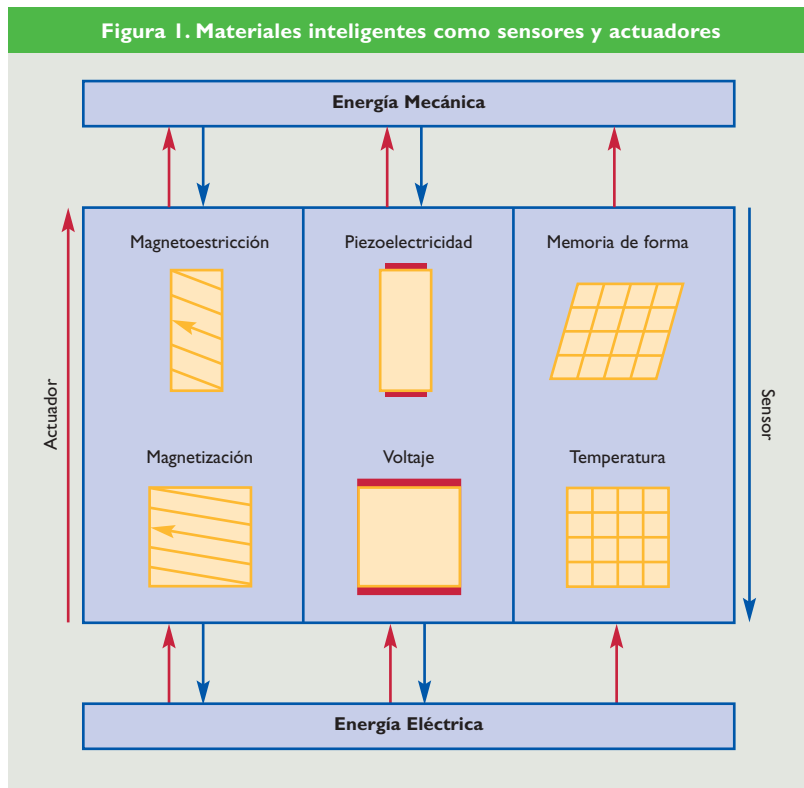
la obtención de componentes estructurales especialmente diseñados desde el nivel microscópico hasta el macroscópico. Teniendo en cuenta estas necesidades es evidente que se debe realizar un esfuerzo multidisciplinar, que abarca campos tan diferentes como la química, ingeniería de materiales, metalografía, física de semiconductores, electrodeposición, micromecánica, electrónica, matemáticas, etc, y crear las sinergias necesarias para que a través de una estructura cooperativa entre grupos dispares de investigación se produzcan los avances necesarios. Dentro de este contexto cabe destacar el esfuerzo y el interés que el campo de la nanotecnología ha despertado en la comunidad científica. Posiblemente desde escalas tan pequeñas como las asociadas a la nanotecnología es desde donde se puede plantear de forma realista dotar a las estructuras del nivel de inteligencia suficiente como para abordar la toma de decisiones necesarias para autorepararse o incluso actuar con criterios complejos de inteligencia ante estímulos exteriores. El lector interesado puede encontrar más información en la referencia [5].

Los materiales inteligentes se pueden utilizar como sensores o como actuadores.

- Los sensores son realizados con materiales inteligentes que emplean como señal de entrada campos mecánicos, como deformaciones, esfuerzos o temperaturas y en base al correspondiente fenómeno físico estos campos son transformados en señales de salida que pueden ser fácilmente medibles, y que generalmente implican campos eléctricos o campos magnéticos que inducen corriente eléctrica (ver Figura 1).
- Los actuadores emplean como señales de entrada campos eléctricos, térmicos o magnéticos que mediante las propiedades del material activo son transformadas en una señal de salida mecánica como un campo de desplazamientos, deformaciones o esfuerzos, con la consiguiente generación de un fuerza que puede ser empleada en realizar un cierto trabajo (ver Figura 1)

Entre los diferentes materiales inteligentes los más versátiles son los piezoeléctricos y magnetostrictivos porque pueden operar como sensores o como actuadores. Las aleaciones de forma pueden emplearse como actuadores, pero no como sensores. Los fluidos reológicos se emplean principalmente en aplicaciones muy específicas relacionadas con el amortiguamiento activo de vibraciones.

Figura 1. Materiales inteligentes como sensores y actuadores



La fibra óptica se emplea exclusivamente como sensor y los MEMS son empleados principalmente como sensores.

Las aplicaciones tecnológicas de las estructuras inteligentes se pueden encontrar prácticamente en casi todos los campos, como por ejemplo industria aeroespacial, biomedicina, ingeniería civil, automoción, etc. A continuación se presentarán algunas de sus aplicaciones tecnológicas.

Integridad estructural

La detección de daño y monitorización de la integridad estructural es uno de los campos en los que el uso de materiales inteligente parece tener una mayor penetración. Existen diversas estrategias para detectar el daño en una estructura empleando materiales inteligentes. Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- *Diagnóstico mediante sensores pasivos.* Se basan en medidas de sensores pasivos que se encuentran distribuidos en la estructura y corresponde al enfoque más tradicional. Independientemente de la variable que es medida, la respuesta producida por la estructura dañada y sin dañar será diferente y es esta característica la que se emplea para este tipo de diagnóstico. Por ejemplo, los modos de vibración son muy sensibles a la presencia de una fisura, conociendo los modos de vibración

Figura 2. Sistema de diagnóstico mediante sensores pasivos

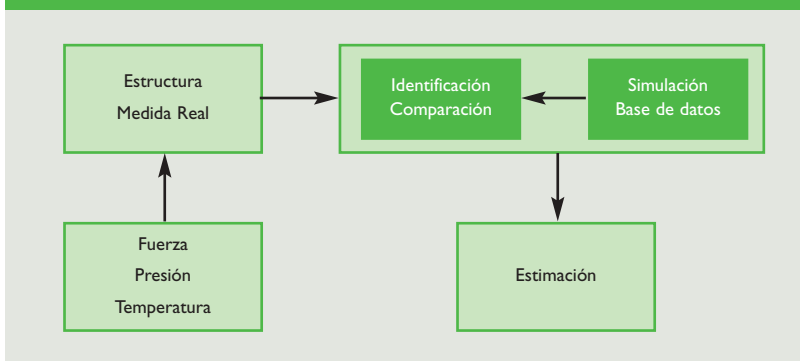
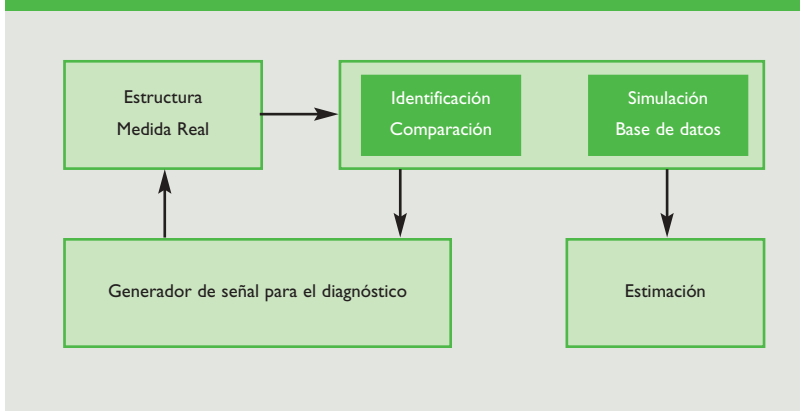


Figura 3. Sistema de diagnóstico mediante sensores activos



de la estructura sin dañar cuando se miden los modos de la estructura dañada habrá una diferencia y esta diferencia debe relacionarse con el daño estructural producido. En general para la estimación de daño este tipo de diagnóstico proporciona información limitada. En este tipo de sistema se necesita desarrollar la relación entre la medida de los sensores y el daño estructural (ver Figura 2).

- *Diagnóstico mediante sensores activos.* La principal diferencia respecto del anterior tipo se basa en que se incorporan elementos activos que juegan el papel de actuadores. De esta forma, las medidas de los sensores son inducidas por elementos activos embebidos en la estructura. Normalmente se suelen usar elementos piezoeléctricos que se emplean no solo como sensores sino también como actuadores para enviar y recibir ondas de esfuerzos. La identificación del daño se puede conseguir mediante el análisis de las diferencias entre las señales medidas antes y después de producirse el daño. Para ello es necesario desarrollar un sistema de identificación que sea capaz de determinar la localización y extensión del daño a partir de las señales medidas. Se pueden monitorizar es-

tructuras enteras con un número limitado de sensores-actuadores. Empleando estos sistemas se ha detectado delaminación en estructuras de materiales compuestos, identificado impacto en estructuras caracterizando no solo la localización del impacto sino también reconstruyendo la fuerza del impacto (ver Figura 3).

Control de vibraciones

El control de vibraciones es otro campo en el que el empleo de materiales inteligentes está progresando rápidamente. En industrias como la aeroespacial o la automoción el control de vibraciones es una de sus áreas más importantes. Los materiales inteligentes se han empleado para suprimir vibraciones en sistemas ópticos espaciales, suspensiones de vehículos empleando amortiguadores viscosos basados en fluidos electroreológicos, control de vibraciones en edificios bajo cargas sísmicas, etc.

Básicamente se pueden distinguir dos tipos de estrategias de control. En primer lugar se encuentra el *control semiactivo* que consiste en un mecanismo pasivo que puede cambiar sus propiedades, rigidez, amortiguamiento, etc, en tiempo real con un aporte energético en general bajo. Aunque suelen comportarse de forma no lineal los sistemas semiactivos son inherentemente pasivos y a diferencia de los sistemas activos no pueden desestabilizar el sistema. En segundo lugar, se encuentra el *control activo* es el que corresponde a una estructura en la que se emplean un conjunto de actuadores y sensores de forma que interactúan entre sí mediante técnicas de realimentación para conseguir la supresión y control de vibraciones. El control activo se suele emplear junto con la realimentación para conseguir el amortiguamiento activo de las vibraciones de una estructura de forma que se reducen los picos de resonancia de la función de transferencia en lazo cerrado.

El objetivo del control activo puede ser el de mantener una de las variables de control fija en un valor determinado, como la posición de una antena, o imponer una variación de una variable de control para conseguir un determinado objetivo, por ejemplo variar el ángulo de paso de una pala de helicóptero, ver [1]. Otras veces se desea mantener la forma de una superficie, de esta forma se han realizado sistemas para mantener rectas columnas de material compuesto evitando problemas de pandeo es-

estructural asociados a imperfecciones en el material compuesto. En la industria aeroespacial se han empleado aleaciones de memoria de forma en mecanismos para desplegar antenas, paneles solares o incluso satélites.

Para disminuir los niveles de ruido se pueden emplear materiales piezoeléctricos que detectan los cambios de la presión del aire debido a las ondas de sonido, y que convierten ese estímulo en una señal eléctrica que se emplea para alimentar un actuador que transmite ondas de presión en el aire en contrafase a la recibida, de forma que la superposición amortigua el ruido o incluso lo anula.

Mediante el empleo de señales eléctricas se pueden inducir vibraciones en materiales piezoeléctricos para producir materiales compuestos que presenten rigidez elásticas variable e incluso ajustable. Este tipo de material se puede utilizar para el amortiguamiento de vibraciones de forma que las propiedades del material son ajustadas de tal manera que absorban las vibraciones y eviten problemas de resonancias. Toyota ha desarrollado un sistema de suspensión que implanta este sistema de rigidez controlada y que se ha incorporado a la gama Lexus.

En el campo de la ingeniería sísmica existen aplicaciones para disminuir las vibraciones producidas durante un terremoto y garantizar la seguridad estructural del edificio. Se han propuesto estrategias de control de las vibraciones de edificios basadas en amortiguadores magnetoreológicos realimentados en aceleración para reducir la respuesta estructural debida a cargas sísmicas, ver por ejemplo [2]. En la Figura 4 se muestra un esquema de un amortiguador magnetoreológico antisísmico.

La industria aeronáutica se encuentra desarrollando alas de rigidez variable que responden a la carga del viento de forma activa para conseguir distintos objetivos como por ejemplo la disminución de cargas de fatiga, optimización aerodinámica, etc. En la Figura 5 se muestra un flap de un ala con actuadores basados en SMA. La idea es reemplazar los actuadores hidráulicos convencionales por sistemas basados en materiales inteligentes en concreto por aleaciones de memoria de forma. De esta forma se consigue una evidente disminución de peso y el sistema resultante es más sencillo, eficiente y compacto.

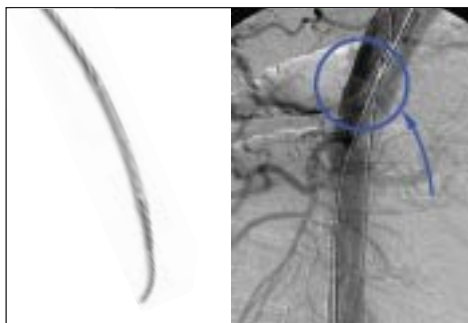
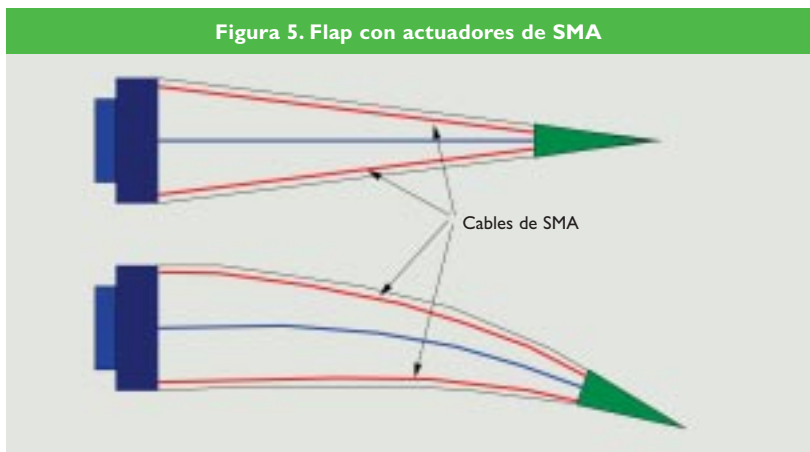
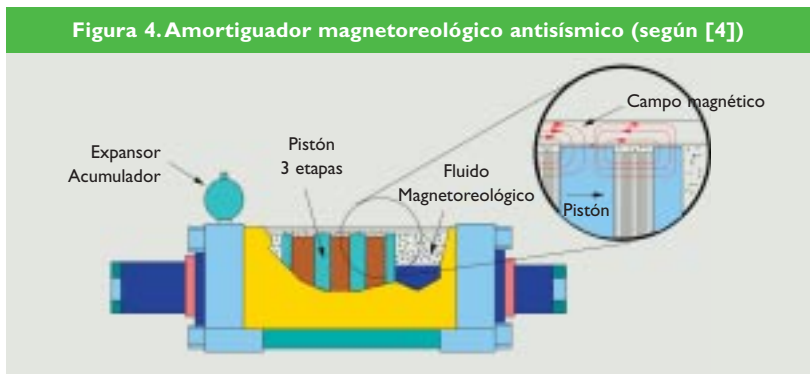


Figura 6. Stent de SMA, deformado y extendido. Aplicaciones en el campo de la medicina de materiales inteligentes

Medicina

El Nitinol puede emplearse para fabricar alambres superelásticos que se pueden tejer en formas cilíndricas para varios usos. Una de las aplicaciones más habituales son los stents vasculares para reforzar los vasos sanguíneos. El stent se introduce comprimido en el vaso sanguíneo y se posiciona en la localización adecuada. A continuación se calienta por encima de su temperatura de transformación, se expande recuperando la forma cilíndrica y proporciona el refuerzo a las paredes del vaso sanguíneo. En la Figura 6 se presenta una imagen de un stent de SMA.

Figura 7. Aplicación MEMS para regular la posología de un tratamiento médico

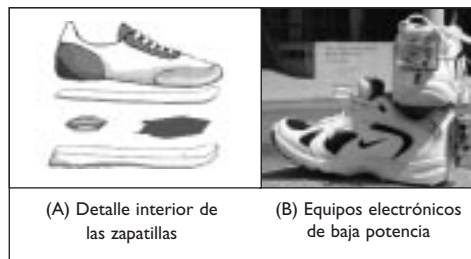
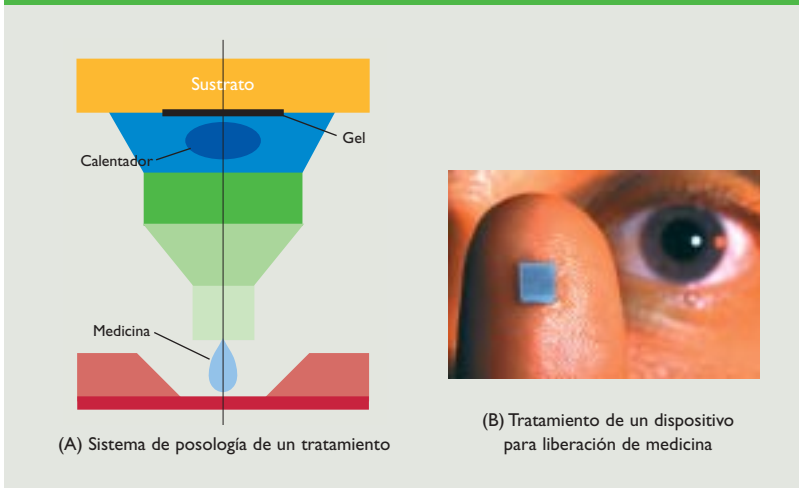


Figura 8. Zapatillas deportivas energéticamente eficiente (según [6])

Estas aleaciones superelásticas también se emplean en la fabricación de catéteres.

Cepheid una compañía de Lucas Nova-Sensor está fabricando instrumentos para ensayos biomédicos en los cuales los componentes principales son chips fluidizados micromecanizados. Estos transductores MEMS son empleados como sensores en la punta de catéteres intercardiales para monitorizar la presión sanguínea durante la cateterización cardíaca.

El i-Stat de la Universidad de Princeton ha desarrollado un sistema de "bolsillo" para el análisis químico de la sangre. Éste se basa en un chip como sensor químico, un paquete de soluciones de calibración, varios canales de fluidos y cámaras moldeadas en plástico. El instrumento contiene toda la electrónica necesaria para actuar como interfase con el chip MEMS, un display y teclado de control al igual que el actuador para operar en los componentes fluidos. Este sistema permite disminuir el tiempo requerido por los análisis de laboratorio tradicionales. El instrumento realiza automáticamente las medidas de calibración, dirige la muestra de sangre sobre el microsensado, almacena las medidas de la muestra y muestra el resultado.

Uno de los aspectos más importantes de los tratamientos médicos es la posología del mismo. La efectividad de muchos medicamentos está directamente relacionada con la forma en la que son administradas. Algunas terapias requieren que la medicina sea administrada al paciente de forma repetitiva en un largo período de tiempo o en específicas cantidades en un momento determinado. En muchos casos el paciente puede olvidar tomar la medicina o incluso puede ser incapaz de hacerlo. Por tanto, se están desarrollando sistemas que sean capaces de liberar una amplia variedad de medicinas de forma controlada, pulsátil o continua, y que pueda ser implantado en el cuerpo humano de forma segura. Los MEMS son los sistemas que se están empleando en este tipo de aplicaciones. Un sistema de liberación de medicina consiste en un sustrato que contiene múltiples depósitos capaces de almacenar sustancias químicas tanto sólidas, como líquidas o en forma de gel. Cada depósito está tapado con una membrana conductiva y cableado con un circuito controlado con un microprocesador. Este procesador es capaz de controlar activa y eléctricamente el tiempo exacto de liberación y la cantidad de medicina dispersada mediante el control de la disolución de la membrana (ver Figura 7).

Una de las dificultades más importantes a las que se enfrentan este tipo de soluciones es la del aislamiento del medio fluido de los chips de silicio. Se han propuesto soluciones que implican cubrir las superficies en contacto con el fluido para hacerlas hidrofílicas o hidrófobas.

Otras aplicaciones

Existen y se comercializan gafas cuyas monturas están construidas con una aleación de memoria de forma. De esta manera si la montura resulta deformada o doblada se puede recuperar su forma inicial tan solo calentándola. El material en el cual estas gafas están fabricadas es una aleación de titanio denominada Titanflex.

En base a la capacidad de convertir energía mecánica en energía eléctrica se están desarrollando elementos que puedan generar energía eléctrica a partir de la energía mecánica. Estos sistemas no deben contemplarse como medios eficaces de generar energía sino como sistemas para recuperar parte de la energía mecánica que habitualmente se pierde a través de procesos disipativos. Una interesante aplicación de esta idea es la recuperación de la energía disipada durante un paseo. A partir de la energía liberada en el apoyo de-

lantero del pie y mediante el uso de una lámina de PVDF así como transformando la energía liberada en el apoyo del talón a través de un sistema de materiales piezoeléctricos (ver Figura 8(A)), la energía mecánica disipada puede transformarse en eléctrica que a su vez puede alimentar componentes electrónicos de baja potencia (ver Figura 8(B)). Para más información consultar las referencias [3] y [6].

Algunas cafeteras eléctricas de uso doméstico emplean una válvula fabricada con Nitinol que se activa a la temperatura de ebullición del agua. Este mismo material se emplea para la fabricación de arandelas de pretensado de pernos. El proceso de tensado es sencillo y preciso: se inserta la arandela y se calienta a la temperatura de activación, de forma que ésta se expande y tensa el perno. Sistemas basados en cerámicas piezoeléctricas también se están empleando para la medida de pretensión de tornillos. De hecho, el uso de estos materiales como células de carga ya ha desbancado en algunos campos a las tradicionales células basadas en puentes de bandas extensométricas.

Actualmente los autores están participando en el proyecto europeo IELAS cuyo objetivo es diseñar y construir un sensor de in-

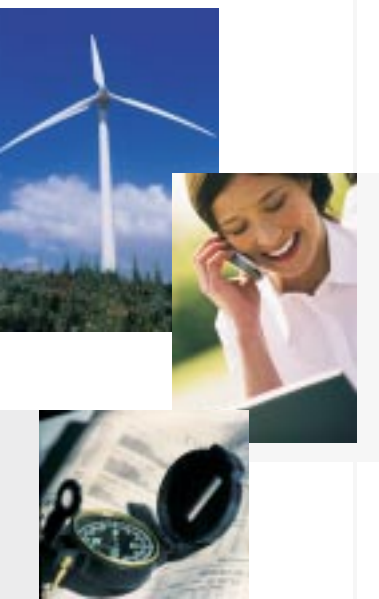
tensidad en líneas de alta tensión basado en el uso de materiales magnetostrictivos y piezoeléctricos. En este proyecto se encuentran empresas líderes en diferentes sectores como son Red Eléctrica de España, Ansaldo, Morgan Ceramics, Enterprise Ireland, Techsonic y Siegert. ■

Referencias

- [1] S. Ashley. Helicopter rotor does the twist. *Mechanical Engineering*, pages 25 26, 1996.
- [2] S.J. Dyke, B. F. Spencer, M. K. Sain, and J.D. Carlson. Modeling and control of magnetorheological dampers for seismic response reduction. *Smart Materials and Structures*, 5:565 575, 1996.
- [3] R. Fletcher. Force transduction materials for human-technology interfaces. *IBM Systems Journal*, 35(3 and 4):630 638, 1996.
- [4] Rheonetic. Magnetorheological manufacturer. HIPERVÍNCULO <http://www.rheonetic.com> <http://www.rheonetic.com>.
- [5] A.V. Srinivasan and D. Michael McFarland. *Smart Structures. Analysis and Design*. Cambridge University Press, 2001.
- [6] T. Zimmerman. Personal area networks: Near field intra-body communication. Master s degree thesis. Massachusetts Institute of Technology, 1995. http://www.computer.org/micro/homepage/may_june/she nck/01.htm.

GESTIÓN ALTERNATIVA

¿BUSCA UNA ALTERNATIVA A LA BAJA RENTABILIDAD DE LA RENTA FIJA?



Una nueva forma de invertir que **busca la rentabilidad positiva** con independencia de la evolución de los índices bursátiles, lo que la convierte en la **OPCION IDEAL** para **DIVERSIFICAR CARTERAS**.

Disfrute de la más amplia gama de **fondos de capital protegido**, **fondos de bajo riesgo y fondos monetarios dinámicos con Renta 4**.

Renta 4

Solicite más información en el **902 15 30 20** o infórmese a través de su oficina habitual de Renta 4