Recibido: 07.07.2018 | **Aceptado:** 30.08.2018

Palabras clave: Ciencia de materiales, física del estado sólido, fisicoquímica, materiales inteligentes y tecnología.

¿Qué son los materiales inteligentes?



LUIS CARLOS ORTIZ DOSAL
carlos.ortiz@alumnos.uaslp.edu.mx
DOCTORADO INSTITUCIONAL EN INGENIERÍA Y CIENCIA DE MATERIALES, UASLP
GABRIELA ÁNGELES ROBLES
POSGRADO EN CIENCIAS INTERDISCIPLINARIAS, UASLP

La cultura popular ha adoptado de muchas obras literarias y cinematográficas la figura del trol, esos ogros del folclore y la mitología escandinava que al ser expuestos a la luz solar se convierten instantáneamente en piedra y por las noches vuelven a la normalidad. De forma similar al organismo de estas criaturas fantásticas, algunos materiales son capaces de cambiar una o más de sus propiedades de forma controlada en respuesta a un estímulo externo, que pueden ser luz, calor, humedad, cambios de pH, ciertos compuestos químicos, campos eléctricos o magnéticos o una fuerza mecánica.
A estos materiales reactivos, en los que los cambios se realizan de forma automática o son inducidos activamente con un propósito relevante, se les conoce como materiales inteligentes; existen muchos tipos, incluso algunos de ellos los utilizamos en nuestra vida cotidiana, por ejemplo, los materiales piezoeléctricos.

El uso de materiales pizoeléctricos en la cotidianidad

Pensemos en un reloj de cuarzo al que la batería suministra un voltaje a la piedra, que en respuesta vibrará un cierto número de veces por segundo; esta frecuencia de vibración es la que permite medir el paso del tiempo con precisión. De manera inversa, un micrófono utiliza un piezoeléctrico que transforma las variaciones de la presión del aire (sonido) en una señal eléctrica que posteriormente puede ser procesada y reproducida en una bocina.

Los materiales piezoeléctricos tienen una estructura cristalina que les permite convertir un potencial eléctrico aplicado en tensión mecánica, y viceversa. Esta propiedad proporciona a estos materiales la capacidad de absorber energía mecánica de su entorno, usualmente vibración ambiental, y transformarla en energía eléctrica que puede usarse para alimentar otros dispositivos (Sodano, 2004). Este fenómeno llamado efecto piezoeléctrico puede ser explicado de la siguiente manera: los cristales de cuarzo, como el utilizado en los relojes, están hechos de átomos de silicio y oxígeno en un patrón repetitivo; los átomos de silicio tienen carga positiva y los de oxígeno una negativa.



Este proceso es denominado el piezoefecto directo. A la inversa, estos cristales también sufren una deformación controlada al ser expuestos a un campo eléctrico, un comportamiento denominado piezoefecto inverso. La polaridad de la carga depende de la orientación del cristal relativa a la dirección de la presión.

Cuando el cristal no está bajo ningún tipo de tensión mecánica externa, las cargas positiva y negativa se dispersan uniformemente en las moléculas a través del cristal, pero cuando al cuarzo se estira y se comprime, el orden de los átomos cambia ligeramente. Este cambio causa que las cargas negativas se acumulen en un lado y las positivas en el opuesto, formando un polo positivo y uno negativo, es decir, un dipolo. Si se conectan los extremos del cristal, puede aprovecharse esta diferencia de potencial (voltaje) para producir corriente; de forma similar, enviar una corriente eléctrica a través del cristal cambia su forma.

Este tipo de materiales están evaluándose como medios para la generación de energía eléctrica sostenible, ya que al colocar estos cristales piezoeléctricos en una calle convertirán la vibración y presión generada por los automóviles, e incluso de peatones, en energía eléctrica (Pérez, 2014). De igual forma, un material termoeléctrico puede —mediante una diferencia de temperatura entre los lados de un material— producir electricidad, o viceversa, aplicar una corriente eléctrica a través de un material crea una diferencia de temperatura entre sus dos lados.

> Los materiales inteligentes pueden cambiar sus propiedades como respuesta a un estímulo externo

Piezoelectricidad. Colocación de cristales piezoeléctricos en una calle para generar energía eléctrica sostenible.



Lo anterior se debe a que los portadores de carga —ya sean electrones con carga negativa o lugares en donde falta un electrón (conocidos como huecos con carga positiva)— se difunden dentro de la estructura del material, desde el lado más caliente al más frío, de manera similar a la forma en que el gas se expande cuando se calienta. Estos materiales son utilizados para construir instrumentos que midan la temperatura, llamados termopares, y desde comienzos de la década pasada, las compañías automotrices han experimentado y evaluado la incorporación de generadores termoeléctricos en los vehículos que permitan aprovechar el calor generado por los autos para convertir la energía térmica en electricidad (Orr, 2016).

Los materiales electroluminiscentes en nuestra vida

Otro tipo de material inteligente que utilizamos de manera cotidiana son los electroluminiscentes, con los que se construyen los diodos emisores de luz (led) usados en pantallas de televisión e iluminación. La electroluminiscencia es un fenómeno óptico y eléctrico en que un material emite luz en respuesta al paso de una corriente eléctrica o a un campo eléctrico fuerte. Este fenómeno se explica de forma general de la siguiente manera: al pasar corriente eléctrica por el material, los electrones de los átomos o moléculas que lo componen son excitados por esa energía y suben a un nivel superior. Cuando este electrón pasa de nuevo a su estado de menor energía, el sistema emitirá un fotón, que es la partícula de las que está compuesta la luz, para regresar ese exceso de energía que tuvo al exterior; esta luz es la que percibimos.

También puede ocurrir el fenómeno inverso: un material puede proporcionar una corriente eléctrica al ser iluminado, debido a que los fotones tienen una energía

característica determinada por la longitud de onda de la luz. Si un átomo absorbe energía de un fotón y tiene más de la necesaria para expulsar un electrón del material, y además posee una trayectoria dirigida hacia la superficie, entonces puede ser expulsado; a este fenómeno se le conoce como efecto fotoeléctrico y Albert Einstein recibió el Premio Nobel de Física en 1921 por su explicación teórica.

Si cambia de color es un material inteligente

Desde niños hemos estado en contacto con materiales inteligentes como los que cambian de color; estos son conocidos como sistemas cromogénicos y pueden ser termocrómicos, fotocrómicos o electrocrómicos. Los primeros cambian de color a medida que aumenta o disminuye la temperatura, de forma reversible; por lo general son pigmentos o cristales líquidos y se utilizan en los termómetros de contacto hechos de tiras de plástico, en juguetes que cambian de color al enfriarse o calentarse y en las tiras indicadoras en el costado de las baterías que indican cuánto se han gastado (el calor proviene de una resistencia eléctrica debajo de la película termocrómica).

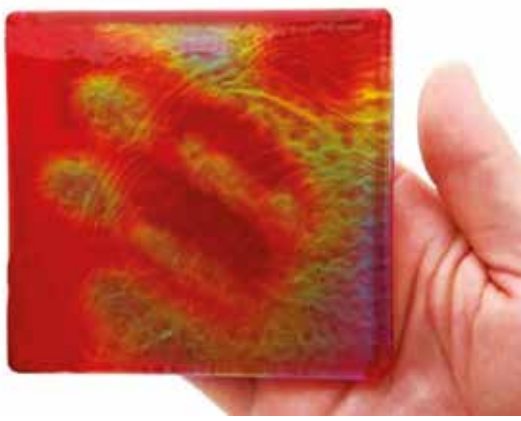
También se utilizan en sarténes que cambian de color cuando se cocina a la temperatura adecuada y en tazas que muestran divertidas imágenes y patrones cuando se llenan con algún líquido caliente: esto se debe a que después de absorber cierta cantidad de calor, la estructura cristalina o molecular del pigmento cambia de tal forma que absorbe y emite luz a una longitud de onda diferente que a temperaturas más bajas. Los materiales fotocromáticos cambian de color según las diferentes condiciones de iluminación; se usan como marcadores de seguridad en billetes que sólo pueden verse cuando son iluminados con luz ultravioleta. Los materiales electrocrómicos cambian de color u opacidad al aplicárseles un voltaje, como en las pantallas de cristal líquido (lcd).

¿Regresa a su forma original? También es un material inteligente

Otro tipo de materiales inteligentes sorprendentes tienen memoria de forma, que pueden ser aleaciones, cerámicas o polímeros (Wei, 1998); son capaces de convertir calor a tensión mecánica y viceversa. Exhiben dos propiedades únicas: el efecto de memoria, que es la capacidad de transformarse cuando se aplica calor, y la superelasticidad, que es la capacidad de deformarse en gran medida y reversiblemente, disipando energía en forma de calor en el proceso.

El principio por el cual funcionan las aleaciones con memoria de forma puede





Ejemplos de objetos con sistemas cromogénicos que cambian de color a medida que aumenta o disminuye la temperatura de forma reversible.

Los materiales inteligentes

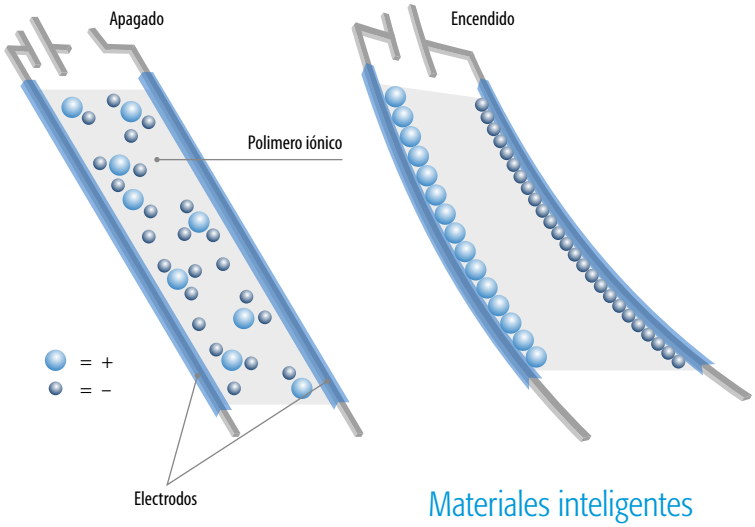
son capaces de cambiar una o más de sus propiedades de forma controlada en respuesta a un estímulo externo.

Los estímulos externos son la luz, calor, humedad, cambios de pH, ciertos compuestos químicos, campos eléctricos o magnéticos o una fuerza mecánica.

Algunos ejemplos de estos materiales son los piezoeléctricos, las aleaciones con memoria de forma, los autoreparables y los que cambian de color en presencia de luz, calor o electricidad.

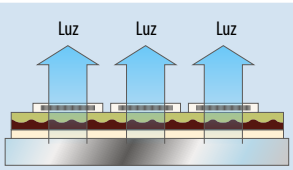
Estos materiales pueden ser utilizados para generar energía limpia, como sensores de temperatura y corrosión y para aparatos de ortodoncia, entre otras aplicaciones.

En conclusión, los materiales inteligentes permiten el desarrollo de nuevas tecnologías y mejorar las tecnologías actuales, ya que facilitan la integración de conceptos fundamentales de ingeniería.



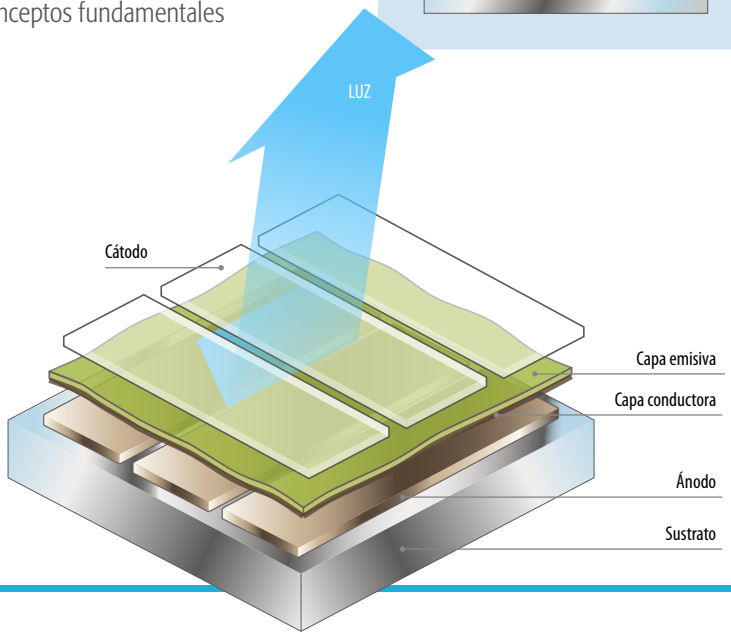
Materiales inteligentes con memoria de forma

El principio por el cual funcionan las aleaciones con memoria de forma puede ser explicado de la siguiente manera: los átomos que la componen pueden cambiar entre dos configuraciones atómicas diferentes, dependiendo de si están o no siendo sometidos a electricidad, calor o incluso magnetismo.



Materiales inteligentes electroluminiscentes

La electroluminiscencia es un fenómeno óptico y eléctrico en el que un material emite luz en respuesta al paso de una corriente eléctrica o a un campo eléctrico fuerte.



Este fenómeno se explica de forma general de la siguiente manera: al pasar corriente eléctrica por el material, los electrones de los átomos o moléculas que lo componen son excitados por esa energía y suben a un nivel superior. Cuando este electrón pasa de nuevo a su estado de menor energía, el sistema emitirá un fotón, que es la partícula de las que está compuesta la luz, para regresar ese exceso de energía que tuvo al exterior; esta luz es la que percibimos.

ser explicado de la siguiente manera: los átomos que la componen pueden cambiar entre dos configuraciones atómicas diferentes, dependiendo de si están o no siendo sometidos a electricidad, calor o incluso magnetismo; por ejemplo, imaginemos que tenemos una aleación con memoria de forma a temperatura ambiente, con átomos que se juntan como cubos apilados, una vez que agregamos calor éstos reorganizan su estructura y se conectan en un nuevo patrón hexagonal, como un panal de abejas que cambia la forma de todo el trozo de metal. Si dejamos de calentar la aleación, los átomos vuelven a los cubos y el metal regresa a su configuración original.

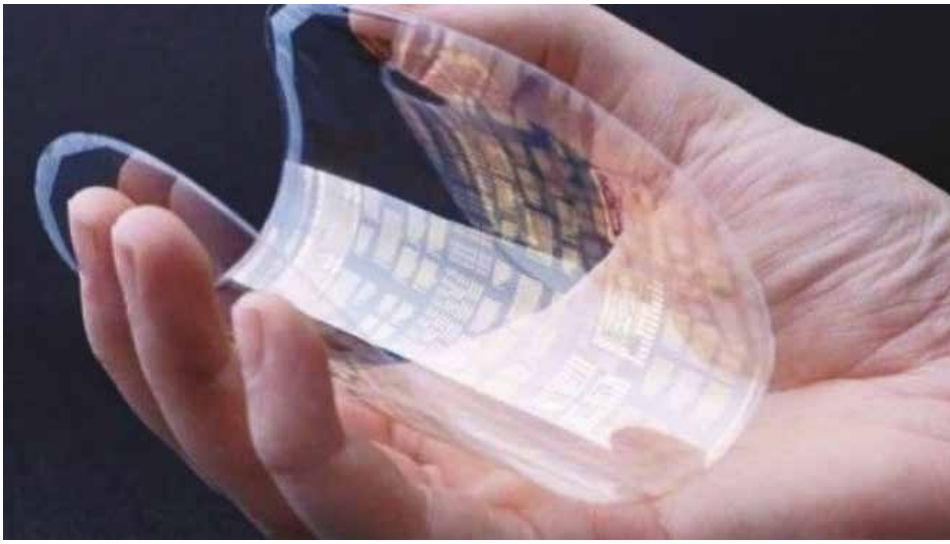
Una de las mayores aplicaciones de este tipo de aleaciones es en la fabricación de aparatos de ortodoncia, conocidos popularmente como brackets, cuyo fin es ejercer una fuerza constante sobre los dientes. Otra aplicación es el concreto inteligente, reforzado por alambres de estas aleaciones que pueden detectar agrietamientos y contraerse para repararlos (Song, 2006). Los polímeros con memoria de forma tienen dos fases en su estructura, una es responsable de la forma permanente o dura del material, a la cual siempre podrá regresar bajo ciertas condiciones, como al ser calentado; la otra fase es responsable de la forma temporal o suave del material, a la cual se puede llegar mediante enfriamiento o deformación de la forma permanente. Tienen ventajas sobre las aleaciones con memoria de forma ya que son más elásticos y baratos. Estos polímeros han sido utilizados en la industria de la construcción como una espuma para sellar los marcos de las ventanas que se expanden con el calor, en defensas de automóviles que regresan a su forma original después de ser golpeadas y en cascos (Xu, 2011).

¿Se autorepara? ¡Debe ser mutante!

Quizá los materiales inteligentes cuyas propiedades resultan más sorprendentes son los autoreparables. Estos son polímeros, cerámicas y metales que cuando sufren un daño causado por golpes o calor pueden "curarse" a sí mismos, como si se tratara de un organismo vivo, y volver a su estado original (Wool, 2007). Desde hace muchos años la humanidad ha desarrollado algunos materiales que exhiben dicha capacidad, como el acero inoxidable, el cual es una aleación de fierro, cromo y níquel o molibdeno. El cromo se oxida al contacto con el oxígeno porque es muy reactivo y forma una capa protectora sobre la superficie del metal que puede autorrepararse si sufre rasguños. Otro ejemplo es el concreto romano, que contenía un tipo particular de ceniza volcánica que permitía la cristalización de las fisuras, motivo por el cual ha durado por casi 2 000 años.

En la actualidad existen diferentes métodos para hacer un material autorreparable; algunos incorporan en su estructura

Ejemplo de un material inteligente autoreparable son los polímeros, cerámicas o metales que cuando sufren un daño causado por golpes o calor pueden "curarse" a sí mismos.





LUIS CARLOS ORTIZ DOSAL

Egresado del Doctorado Institucional en Ingeniería y Ciencia de Materiales de la UASLP. Actualmente desarrolla el proyecto "Desarrollo de biosensores".

microcápsulas que contienen pequeñas cantidades de sustancias parecidas al pegamento, al fisurarse el material se rompen y llenan esta fisura, así unen al material nuevamente. Otros tienen un sistema de pequeños canales, análogos a los sistemas vasculares de los organismos vivos, los cuales pueden transportar adhesivos que permitan al material repararse, igual que cuando el sistema vascular de las personas transporta sangre y plaquetas para que una herida coagule y sane posteriormente.

Otro método está presente en ciertos polímeros recientemente fabricados, al romperse, los extremos o fragmentos son altamente reactivos y pueden unirse nuevamente; cuando están dispersos y al recibir calor o luz, es decir, energía, de forma natural, intentan volver a unirse a otras moléculas cercanas del mismo material, revirtiendo de forma efectiva el daño y reparándose. Algunos se rompen para exponer extremos cargados eléctricamente, por lo que los fragmentos rotos tendrán una atracción electrostática, como cuando uno frota un globo contra su cabello y después se atraen. Cuando se produce un daño, las fuerzas electrostáticas unen los fragmentos, permitiendo que el material se autorepare.

Otros materiales inteligentes

Además de los materiales inteligentes anteriormente expuestos, existen muchos otros, como los polímeros electroactivos que cambian de volumen cuando se les aplica un voltaje. Los materiales magnetocalóricos, que cambian de temperatura cuando se exponen a un campo magnético y los halocrómicos, que cambian de color cuando existe un cambio en la acidez del ambiente que los rodea.

En conclusión, este artículo expone que, por definición, los materiales inteligentes son aquellos que tienen propiedades que reaccionan a cambios en su entorno de forma reversible y este cambio puede repetirse muchas veces. Esto significa que una de sus propiedades puede ser modificada por una condición externa como temperatura, luz, presión, electricidad, voltaje, pH o compuestos químicos y que el sistema regresará a su condición original cuando las condiciones primarias se alcancen nuevamente. Hay una amplia gama de materiales inteligentes que pueden utilizarse para la generación de nuevas tecnologías. UP

Referencias bibliográficas:

Orr, B., Akbarzadeh, A., Mochizuki, M. y Singh, R. (2016). A review of car waste heat recovery systems utilizing thermoelectric generators and heat pipes. *Applied thermal engineering*, 101, pp. 490-495.

Pérez de Lema, M. (2014). *Generar energía con las carreteras. Energética XXI*, 146, PP. 84-86.

Sodano, H. A., Inman, D. J. y Park, G. (2004). A review of power harvesting from vibration using piezoelectric materials. *The shock and vibration digest*, *36*(3), pp. 197-205.

Wei, Z. G. y Sandström, R. (1998). Shape-memory materials and hybrid composites for smart systems. *Journal of materials science*, 33, pp. 3743-3762

Xu, T. y Li, G. (2011). A shape memory polymer based syntactic foam with negative Poisson´s ratio. *Materials science and engineering: A, 528*(22-23), pp. 6804-6811.