



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **MATERIALES INTELIGENTES Y SOSTENIBLES, ESTUDIO DE APLICACIONES INDUSTRIALES**

**Mauricio José Carrillo García, mauricio.carrillo@correo.uis.edu.co<sup>1</sup>**

**John Faber Archila, jfarchid@uis.edu.co<sup>1</sup>**

**Germán Enrique Vargas Linares, genvali@hotmail.com<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Industrial de Santander, UIS, Cr 27 Cll 9 Ciudad Universitaria, Grupo de Investigación en Robótica y Diseño, GIROD. Colombia.

<sup>2</sup> Universidad Industrial de Santander, UIS, Cr 27 Cll 9 Ciudad Universitaria, Grupo de Investigación en Ergonomía Producto y Significado, GEPS. Colombia.

**Resumen:** *En el mundo, los avances tecnológicos siempre han estado ligados al uso de nuevos y mejores materiales que por sus propiedades físicas han permitido desarrollar soluciones eficientes a las necesidades del momento. En la actualidad, el desarrollo de materiales capaces de responder a estímulos en forma previsible y sostenible suponen el próximo paso en esta relación. El presente trabajo tiene como fin hacer una descripción de los llamados materiales inteligentes que se están evaluando actualmente en el desarrollo de soluciones con aplicaciones industriales sostenibles, ya que, los materiales de uso común tienen propiedades físicas que no se pueden alterar específicamente. Los materiales denominados en el trabajo tienen como característica la posibilidad de ser alterados de manera significativa en propiedades como la viscosidad, volumen, y la conductividad.*

**Palabras Clave:** *materiales inteligentes, nitinol, martensita, austenita, magnetoactivos.*

### **1. INTRODUCCION**

La sostenibilidad es un término ligado comúnmente a la preservación de recursos naturales, atado directamente al cuidado y correcto manejo de estos, siendo este concepto un término que nos lleva a un fin único, la conciencia, y es precisamente el ser conscientes lo que nos permite actuar bajo criterios completamente diferentes, limitar el camino de desarrollo no significa otra cosa que encaminar el resultado a un fin bajo unos parámetros establecidos, y es esto lo que en sí debería ser la sostenibilidad, un parámetro de desarrollo.

El desarrollo de nuevos materiales es una línea base de las tecnologías modernas, rediseñar productos existentes y desarrollar otros, las tecnologías actuales están ligadas al concepto de sostenibilidad, tanto así que es un criterio de evaluación para el desarrollo de nuevos materiales, siendo este la capacidad de ser reciclado y su posibilidad de re-uso (Akhra, 1999).

El presente artículo tiene como objeto presentar los adelantos en el campo de desarrollo de nuevos materiales, los llamados materiales inteligentes (smart materials) así como los campos de aplicación de los mismos.

### **2. CONCEPTOS GENERALES**

#### **2.1. Materiales Inteligentes.**

Los materiales inteligentes son la conjugación de un sistema completo en un material, es decir, un material que responde ante una acción o estímulo, siendo este material un sensor y un actuador a la vez (Matellanes, 2003). De los materiales inteligentes se puede decir que están clasificados como: materiales con memoria de forma, materiales electro y magnetoactivos, y materiales foto y cromóactivos.

El fin de estos desarrollos es obtener un material integrador de funciones, lo cual sería el nuevo paso tecnológico para los próximos adelantos, en la actualidad ya se está dando el salto de la elaboración en laboratorios a la producción en masa, siendo así, estos conllevarían un cambio en los paradigmas de las manufacturas en la actualidad, ya que un material que reemplaza en funciones a un sistema completo significaría una disminución en la necesidad de variedad de recursos para materias primas, lo cual conllevaría a su vez disminuciones drásticas en emisiones de gases y desperdicios por producción, esto repercutiría en producciones más limpias, ya que un material desplaza por sus características en función a muchos otros, los componentes del sistema que actúan para el desarrollo de la misma, la

sostenibilidad de los materiales inteligentes radica este principio, sus características les permiten dado el caso remplazar una función que normalmente sería realizada por un sistema compuesto por más de un material, de esta manera las repercusiones ambientales a futuro serían gratificadamente notorias.

## 2.2. Materiales Con Memoria De Forma.

Son aquellos materiales capaces de cambiar de forma cuando se les aplica algún cambio en la temperatura y son capaces de retornar a su forma original, los más comunes son las aleaciones metálicas, ya que también hay cerámicos y plásticos con este tipo de cualidad.

Este proceso de deformación se le conoce como transformación martensítica y austenítica, La martensita es un desplazamiento atómico en el cual estos se reordenan para generar una estructura cristalina más estable sin perder la naturaleza química de la matriz, con lo cual se puede producir un cambio significativo en su forma, la austenita es una fase en la cual, al calentar el material a un rango definido el material se recristaliza formando una estructura atómica cristalina cúbica de cara centrada. Pero si la pieza se calienta por encima de la temperatura a la cual el material es completamente austenítico, ésta recupera su forma inicial, aún soportando la misma carga (Maya, 2004).

Existe un diferencial en los picos de temperaturas martensita y austenita, este ocurre cuando más o menos el 50% ya se ha transformado, normalmente en un rango de valores de entre 20°/ 40°C, la magnitud de esta diferencia depende del tipo de aleación del material, por lo cual conociendo los rangos de temperaturas se puede lograr un control de los procesos de deformación, la Fig. 1 nos indica la curva de cambio de volumen respecto al aumento de temperatura.

El efecto de memoria de forma puede ser usado para generar movimiento o fuerza, la superelasticidad puede almacenar energía de deformación, se puede utilizar su recuperación libre, es decir, a temperatura ambiente, en estado martensita, el material se deforma y se calienta, lo cual aprovecharía su recuperación de forma, pero si lo estiramos a temperatura ambiente y le impedimos que recupere su forma al fijarlo antes de calentar se puede estar generando fuerza por recuperación impedida. Se puede generar trabajo, si la fuerza opositora puede ser vencida por la fuerza generada por este al intentar recuperar su forma generando desplazamiento, en estos casos las deformaciones recuperables son del orden del 10% más o menos, pero en aplicaciones cíclicas es mucho menor (De la Flor, 2006).

En la Tabla 1 y 2 podemos observar algunos materiales con el efecto de memoria de forma, así como algunas características.

**Tabla 1. Algunos Materiales Metálicos que Presentan Efecto Memoria de Forma (Peña A, 2002).**

Materiales no Férricos		Materiales Férricos	
Aleación	Composición (%)	Aleación	Composición (%)
Ag Cd	44-49 Cd	Fe Pt	25 at% Pt
Au Cd	46,5-48,0 Cd, 49-50 Cd	Fe Ni Co Ti	23% Ni, 10% Co, 10% Ti
Cu Zn	38,5-41,5 Zn		33% Ni, 10% Co, 10% Ti
Cu Zn X (X= Si, Sn, Al, Ga)	Pequeño %at de X		31% Ni, 10% Co, 3%Ti
Cy Al Ni	28-29 Al, 3,0-4,5 Ni	Fe Ni Co Ti	31% Ni, 0,4% C
Cu Au Zn	23-28 Au, 45-47 Zn	Fe Ni Nb	31% Ni, 7% Nb
Ni Al	36- 38 Al	Fe Mn Si	(28-33)% Mn, (4-6)% St
Ti Ni	49-51 Ni	Fe Cr Ni Mn Si	9%Cr, 5%Ni, 14%Mn, 6%Si
Ti Ni Cu	8-20 Cu		8%Cr, 5% Ni, 20% Mn, 5% Si
To Pd Ni	0-40 Ni		12% Cr, 5% Ni, 16 % Mn, 5% Si
In Tl	18-23 Ti	Fe Mn Si C	17% Mn, 6% Si, 0,3% C
In Cd	4-5 Cd	Fe Pd	30 at% Pd
Mn Cd	5-35 Cd	Fe Pt	25 at% Pt

**Tabla 2. Propiedades comparativas de varias aleaciones con memoria de forma. (UN Med. 2006)**

PROPIEDAD	Ni-Ti	Cu-Zn-Al	Cu-Al-Ni
Temperatura de Fusión, en °C	1240-1310	950-1020	100-1050
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	6,45	7,64	7,12
Conductividad térmica (W/mK)	18	120	30-43
Modulo de Young (Gpa)	83 (austenita)	72 (fase beta)	85 (fase beta)
	70-140 (martensita)	10 (martensita)	80 (martensita)

Resistencia a la Cedencia (Mpa)	195-690 (austenita)	350 (fase beta)	400 (fase beta)
	70-140 (martensita)	80 (martensita)	130 (martensita)
UTS	895	600	500-800
Deformación de memoria de forma, %	8,5	4	4
Intervalo de transformación, °C	(-) 200 a 110	< 120	< 200
Histéresis de transformación, °C	30- 50	15-25	15-20
Compatibilidad Biológica	Excelente	Mala	Mala
Tamaño de Grano, ?m	1-10	50-100	
Fusión, Fundición y control de composición	Difícil, en vacio	Aire, fácil	Aire, fácil
Maquinabilidad	Difícil	Muy buena	Buena
Resistencia a la corrosión	Similar a la de los aceros inoxidables de la serie 300	Similar a los bronces y aluminio	Mejor que las Cu Zn Al
Relación de costos	10	1	01-feb

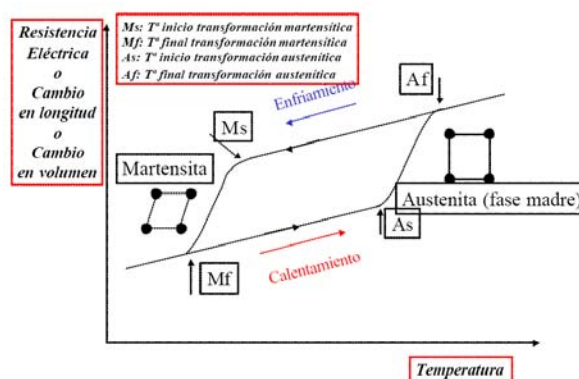


Figura 1. Representación de los cambios en las propiedades vs cambios de temperatura. (De la Flor S, 2006).

### 2.3. Materiales Electro Y Magnetoactivos.

Los materiales electro y magnetoactivos cambian sus propiedades físicas cuando se someten a un campo eléctrico y magnético respectivamente, dentro de esta clasificación podemos nombrar los materiales piezoelectricos, los electro y magnetostrictivos, y los electro y magnetoreológicos.

Los materiales piezoelectricos adquieren un potencial eléctrico o un campo eléctrico cuando se someten a esfuerzo mecánico, también se produce el efecto contrario, ya que estos materiales se deforman cuando se les aplica un voltaje. Similarmente, los materiales electrostrictivos presentan el efecto de electrostricción, es decir, un cambio de la dimensiones cuando se le aplica un campo eléctrico, una de las diferencias de éstos materiales con los piezoelectricos es que en los primeros existe una dependencia cuadrática de la permisividad sobre el campo eléctrico, mientras que en los últimos existe dependencia lineal. Los materiales magnetostrictivos pueden responder a campos magnéticos como los piezoelectricos responden a un campo eléctrico.

Los fluidos magnetoreológicos (MR) y electroreológicos (ER) (fluidos inteligentes) pueden cambiar su viscosidad, drásticamente y de manera reversible, cuando se someten a un campo magnético y eléctrico, respectivamente. En la Figura 2 podemos observar un material piezoelectrico desarrollado por la NASA en el Centro de Langley de Investigación.



Figura 2. Material flexible piezoelectrico, NASA Morphing Project en LaCR.

## 2.4. Materiales Foto y Cromoactivos

Los materiales fotoactivos experimentan cambios de diferente tipo cuando se someten a la acción de la luz, y pueden producir luz bajo ciertos estímulos. En los cromoactivos se generan cambios de color en presencia de un estímulo externo, como por ejemplo la temperatura, la corriente eléctrica y la radiación UV. Ejemplos de materiales fotoactivos son los electroluminiscentes, fluorescentes y fosforescentes, y de materiales cromoactivos, los fotocromicos, termocromicos y electrocromicos. En la Figura 3 se observa la reacción de un panel fotoactivo al ser expuesto a luz solar y artificial.



Figura 3. Materiales fotocromicos, (inteligentes.org).

## 2.5. Polímeros Inteligentes

Los sistemas poliméricos inteligentes o polímeros sensibles al estímulo son polímeros que en respuesta a ligeros cambios en su entorno, como temperatura, pH, luz, campo eléctrico o magnético, concentración iónica, moléculas biológicas, etc. sufren cambios drásticos en sus propiedades (Aguilar MR, 2007), un polímero es una sustancia obtenida de el resultado de la unión de monómeros, que a su vez forman cadenas, siendo estas las que al enlazarse dan las características del polímero de acuerdo a sus moléculas componentes. En las Tablas 3 observamos la clasificación de los polímeros inteligentes, según el estímulo aplicado y en la Tabla 4 se representan posibles aplicaciones según la forma física de las cadenas poliméricas, así como el tipo de respuesta de la misma.

Tabla 3. Clasificación de los polímeros inteligentes (Bag y Rao, 2007).

Polímeros	Estímulo	Respuesta
Polímeros termosensibles	Temperatura	Tensión/Volumen
Polímeros fotosensibles	Intensidad de la Luz	Tensión/ Propiedad óptica
Polímeros químicamente activos	Químico	Cambio de Volumen
Polímeros magnetoactivos	Campo magnético	Tensión/luz/color
Polímeros electrosensibles	Campo eléctrico	Tensión
Polímeros multi-sensibles(multirespuesta)	Mas de uno	Tensión/volumen

Tabla 4. Ejemplo de las posibles Aplicaciones según los tipos de Polímeros Inteligentes (Aguilar MR, 2006).

Forma Física de las Cadenas	Tipo de respuesta	Ejemplo y Referencia
Conjugados, cadenas lineales no entrecruzadas	Solubilización/precipitación Transiciones sol-gel (formación reversible del gel)	Compuestos conjugados polímero-activos Formulaciones de geles inyectables in-situ. BST-Gel® (ByoSynthech) y ReGel® de Macromed
Anfifílico (no entrecruzado) copolímeros en bloque e injertos	Micelización	Pluronic o Poloxamers
Hidrogel entrecruzados químicamente	Hinchamiento/encogimiento	Liberación de fármacos pulsada
Superficies modificadas	Interfaces sensibles	Nuevos sustratos para cultivos celulares

### 2.5.1. Geles Inteligentes (polímeros reticulados)

Los geles son materiales que poseen las características normales de los sólidos (estabilidad formal, resistencia, etc.) así como pueden absorber disolvente e hincharse hasta dimensiones mucho mayores que su tamaño en seco (Cano, 2008), los geles, de acuerdo al tipo de enlace de red, son de tipo físico (agregados físicos) y químicos (enlaces covalentes). Los geles inteligentes se pueden clasificar de acuerdo a su reacción al estímulo externo, pero de acuerdo a su naturaleza polimérica se pueden definir como polímeros cargados y no cargados, los cargados son polímeros capaces de formar enlaces de hidrogeno con el agua, lo cual genera contracción del gel, ejemplos: poli(N-isopropilacrilamida), (PNIPAM), poli(N-vinilpiperidina), poli(N-vinilcaprolactama).

Los polímeros no cargados (polielectrolitos), del tipo soluble, el campo de aplicación es muy variado, desde el desarrollo de músculos artificiales hasta encapsulados en los nuevos medicamentos.

### 2.5.2. Polímeros Lineales y Copolímeros de Bloque.

Los polímeros lineales son materiales que en si presentan las características de los homopolímeros que lo componen, en los copolímeros de bloque ocurre lo mismo, la deferencia se da en el orden de las unidades componentes, en el primero se compone por cadenas polimericas, el segundo las unidades están asociadas en bloques.

Los reacciones de estos se manifiestan en los cambios de temperatura y el PH, son muy prometedores por la facilidad de sinterización (Zhao, 2006), los últimos avances nombran entre otros los materiales basados en polimetacrilatos, óxidos de polietileno y óxidos de polipropileno.

### 2.5.3. Mezcla de Polímeros

Es la combinación de al menos dos polímeros o copolímeros en la cual el contenido de una de estas es de al menos el 2% (Cano, 2008), es un mundo de grandes posibilidades, siendo uno de los de mayor crecimiento en materia de polímeros, con aplicaciones en el campo de desarrollo de materiales biocompatibles, compuestos, adhesivos, entre muchos otros.

### 2.5.4. Redes Interpenetradas

Una red interpenetrada (IPN) está constituida por al menos dos sub redes de dos polímeros diferentes en la que una de ellas se forma en la presencia de la primera, se distingue de una mezcla de polímeros, copolímeros en bloque o copolímeros de injerto de dos maneras:

- a) El IPN se hincha en disolventes pero no se disuelve.
- b) Ni fluyen ni experimentan fluencia.

Existen diferentes tipos de IPNs: secuenciales, simultáneos (SIN), látex, gradiente, termoplásticos y semi-IPN (Utracki, 2002).

La Tabla 5 nombra algunas aplicaciones de las IPN, según los polímeros componentes.

**Tabla 5. Ejemplos de redes interpenetradas IPN, (Cano, 2008).**

Polímero 1	Polímero 2	Aplicación
Chitosan	N-vinilpirrolidina 2-Hidroximetilmetacrilato	Sistema liberación fármacos
Poliuretano	Polimetilmetacrilato	Amortiguar el sonido y la vibración
Polietilenglicol	Acido poliacrílico	Implantes corneales
Poliuretano	Polimetilmetacrilato	Materiales para amortiguar
Polivinilpirrolidina	Poliacrilamida	Semi- IPN- nanocompuestos de plata para materiales antibacterianos

### 2.5.6 Polímeros con Memoria de Forma.

Así como las aleaciones, los polímeros con memoria de forma responden a los estímulos modificando su forma sin degradar el material, siendo una alternativa más económica que las aleaciones.

## 3. APLICACIONES

### 3.1. Materiales con Memoria de Forma

En este término existen cuatro clases, las cuales son:

- Aleaciones con Memoria de Forma (*Shape Memory Alloys, SMAs*). Estos son los más abundantes. El material más importante dentro de las aleaciones es el Nitinol (Ni-Ti), pero existen otros como Cu-Al- Zn o Cu - Al - Ni.
- Cerámicas con Memoria de Forma (*Shape Memory Ceramics, SMCs*). El caso de las cerámicas es también importante aunque no tan desarrollado como el de las aleaciones. En este caso es el ZrO2 el material más importante, englobando la mayoría de las cerámicas tenaces con memoria de forma.
- Polímeros con Memoria de Forma (*Shape Memory Polymers, SMPs*).
- Aleaciones Ferromagnéticas con Memoria de Forma (*Ferromagnetic Shape Memory Alloys, FSMAs*).

Actualmente para el campo de la medicina, se está desarrollando sondas tipo stent en nitinol para aplicaciones cardiovasculares, ya que la posibilidad de crear una malla auto expandible, como el de la Fig. 4, es ideal para las obstrucciones arteriales, esto sin contar las otras posibles aplicaciones para este tipo de instrumentación, como los catéteres o filtros, aprovechando la simplicidad en diseño que permite el material se pueden lograr soluciones con tratamientos menos invasivos.

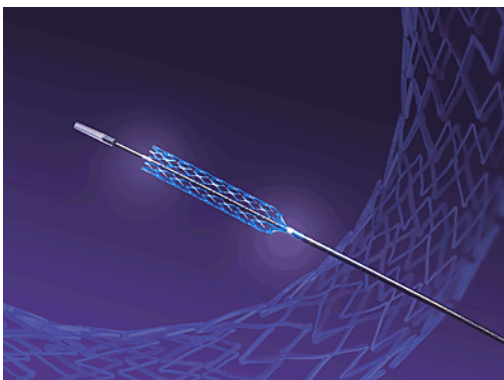


Figura 4. Stent autoexpandible de nitinol, (Cemotec).

El desarrollo de los actuadores es el paso a seguir para los próximos progresos en la robótica y automatización, en este campo los desarrollos se enfocan en las aleaciones (Faber, 2008), como el actuador de la izquierda de la Fig. 5.

Los actuadores poliméricos como el Micromusculo AB, derecha en la Fig. 5, de la empresa Creganna, tienen la habilidad de hincharse y contraerse al aplicarle pequeñas cargas eléctricas, por lo cual se pueden obtener actuadores por expansión de superficie, lineares o en conjunto. Si se une con un material como un metal, el micromusculo por su prestaciones tiende a doblar el material, aplicación que permitiría la generación de codos de movilidad, de gran utilidad para el diseño de las nuevas generaciones de prótesis por el bajo peso, claridad de la acción por la disminución de piezas, simplificando en proceso, pero faltan avances en el control de estos materiales, por lo cual están en desarrollo más experimentos al respecto (Dorador, 2004).

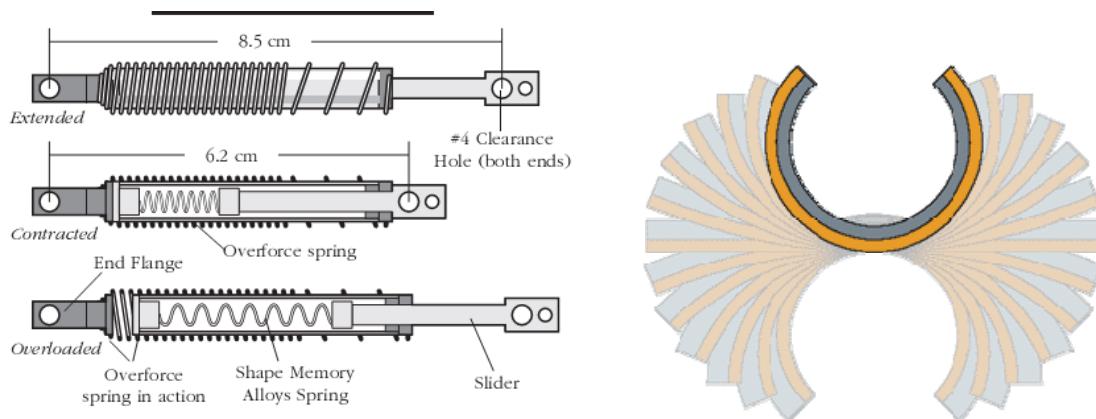


Figura 5. A la izquierda, actuador de aleación metálica, (SCM Store). A la derecha, actuador AB, (Creganna).

Un ejemplo de un sensor actuador sería la válvula la Fig. 6, la cual controla el paso de agua caliente en un sistema de calefacción, por reacción del material a la temperatura, es decir, sistemas de control de paso, siempre y cuando se tengan fuentes de calor.

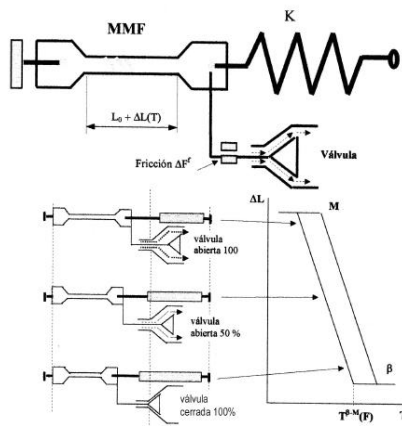


Figura 6. Esquema de un dispositivo sensor actuador (DSA). (Yawny, 2000).

### 3.2. Hidrogeles

Los hidrogeles son polímeros hidrófilos, insolubles en agua, blandos, elásticos y en presencia de agua de hinchan, como el presentado en la Fig. 7, aumentado considerablemente su volumen hasta alcanzar un equilibrio físico-químico, entre sus aplicaciones, esta la de mantener húmeda la tierra cultivada así como ser material absorbente, como productos auxiliares para la industria del papel, soportes para catalizadores y ligantes de productos farmacéuticos. Se destacan sus posibilidades en la biomedicina, como los sistemas de difusión controlados mediante poros o microporos que existen en la estructura polimérica reticulada (Katime, 2005).

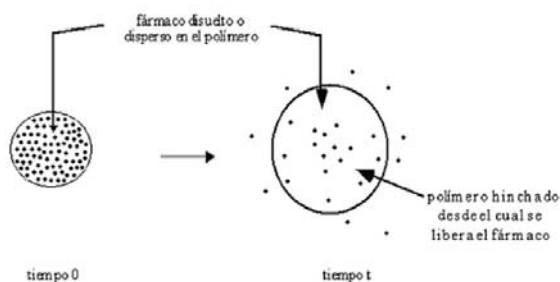


Figura 7. Esquema de un sistema de liberación de fármaco por hinchamiento. (Katime, 2005.)

### 3.3. Textiles

Los textiles funcionales son cada vez una realidad mas próxima, así como la eficiencia planteada en la actividad al aire libre con materiales como el gore tex, izquierda en la Fig. 8, ya se ven en exposiciones trajes biométricos que responden al medio ambiente así como a los signos vitales del usuario, ropa que cambia de colores, luminiscentes como la imagen de la derecha en la Fig. 8, o telas que permiten el camuflaje, según estudios realizados por la Universidad de Arizona, se podrían diseñar trajes especiales que reaccionan a patógenos externos específicos.

Una buena ayuda puede venir de un nuevo descubrimiento llevado a cabo en la universidad de Stanford, donde se han diseñado tejidos que pueden transmitir y almacenar la electricidad. En efecto, estos resultados han podido conseguirse mediante la inmersión del tejido en una tinta a base de nanotubos de carbono, moléculas de carbono cilíndricas con excelentes propiedades eléctricas.

Cuando la tinta se seca, los nanotubos envuelven las fibras (algodón o polyester), y hacen conductores los tejidos. El tejido queda flexible y retiene sus propiedades eléctricas incluso aunque se estiren y doblen.

Los tejidos eléctricamente conductores son muy interesantes, pero el nuevo material puede utilizarse para hacer algo que se denominan supercondensadores. Este tipo de dispositivo está siendo investigado para ser usado en un rango de aplicaciones industriales donde las baterías son insuficientes o inapropiadas.

Si una capa de tejido ordinario se dispone entre dos capas de tejido sumergidos en tinta de nanotubos se produce una combinación que almacena carga. Estas capas actúan como conductores mientras que el tejido que queda en el medio forma el aislante. El tejido resultante no solamente almacena mucha carga, sino que retiene su capacidad para descargar y recargarse en muchos ciclos de carga y descarga.

El asunto con los textiles inteligentes es que no son aplicaciones simplemente de un material, también pueden obtenerse mediante la aplicación posterior de determinados acabados a un tejido, que produzcan los mismos o diferentes efectos que los logrados con las fibras desarrolladas con materiales inteligentes.

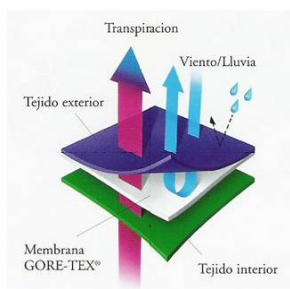


Figura 8. A la izquierda, membrana de Gore-tex, (Gore- Tex). A la derecha, tela luminiscente. (Luminex).

### 3.4. Construcción

Las estructuras inteligentes son estructuras compuestas, al menos en parte, por materiales inteligentes, tales materiales presentan generalmente la capacidad de responder a estímulos externos, sin precisar de un tratamiento externo de la información, así como reversibilidad y reciclabilidad, y aplicación en varias situaciones (Scientific Generics Ltd, 1993). Están en desarrollo productos que puede reducir el daño causado por los terremotos, es llamado fluido magnetorreológico (Fluido MR), y está siendo usado en grandes reguladores para estabilizar los edificios durante terremotos. El Fluido MR es un líquido que se transforma en sólido cuando está expuesto a una fuerza magnética, regresa de nuevo a líquido una vez que se quite la fuerza magnética.

### 4. ANALISIS DE SOSTENIBILIDAD

En el mundo se están desarrollando aplicaciones para determinar los recursos energéticos consumidos para el desarrollo de productos así como análisis de valoración de la capacidad de transporte de acuerdo a su lugar de manufactura y lugar de uso. Estos resultados son comúnmente conocidos como el análisis del ciclo de vida (LCA), y se utilizan en el proceso de toma de decisiones según se aplica en la dinámica del comercio mundial, de esta manera, en el presente artículo se plantea un análisis de sostenibilidad de los materiales componentes del nitinol, buscando con este determinar los valores relacionados al impacto ambiental que se puede generar en el desarrollo de un producto con este material, tomando como base una pieza con aplicación del dicho material, en la Fig. 9 observamos la pieza de análisis.

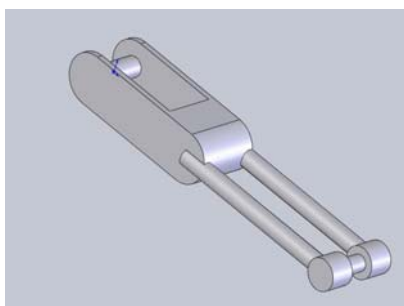


Figura 9. Modelo al cual se le aplico el estudio de impacto ambiental.

Según Jonas Klemas (2002), las aleaciones de níquel- titanio, en términos metalúrgicos son composiciones en proporciones equiatómicas, es decir, en proporciones de composición similar, ya que son estas pequeñas variaciones las que cambian los comportamientos descritos anteriormente, por lo cual para este caso se tomara un ponderación igual al expuesto en la Tabla 1, partes componentes, 51/49. Los valores expuestos en las Fig. 10 y 11 son emisiones según la evaluación realizada con el programa Solid Works 2010, los cuales logra basándose en la información ingresada sobre material, fabricación y ubicación, extrayendo los resultados aproximados dentro de factores de impacto medioambiental obteniendo como resultado de la ponderación los valores expuestos en la Tabla 8.

<p><b>Impacto medioambiental Titanio</b>                  Volumen: 23836.75 mm<sup>3</sup>                  Área Superficie: 11130.17 mm<sup>3</sup>                  Peso:107.50 g</p>
---



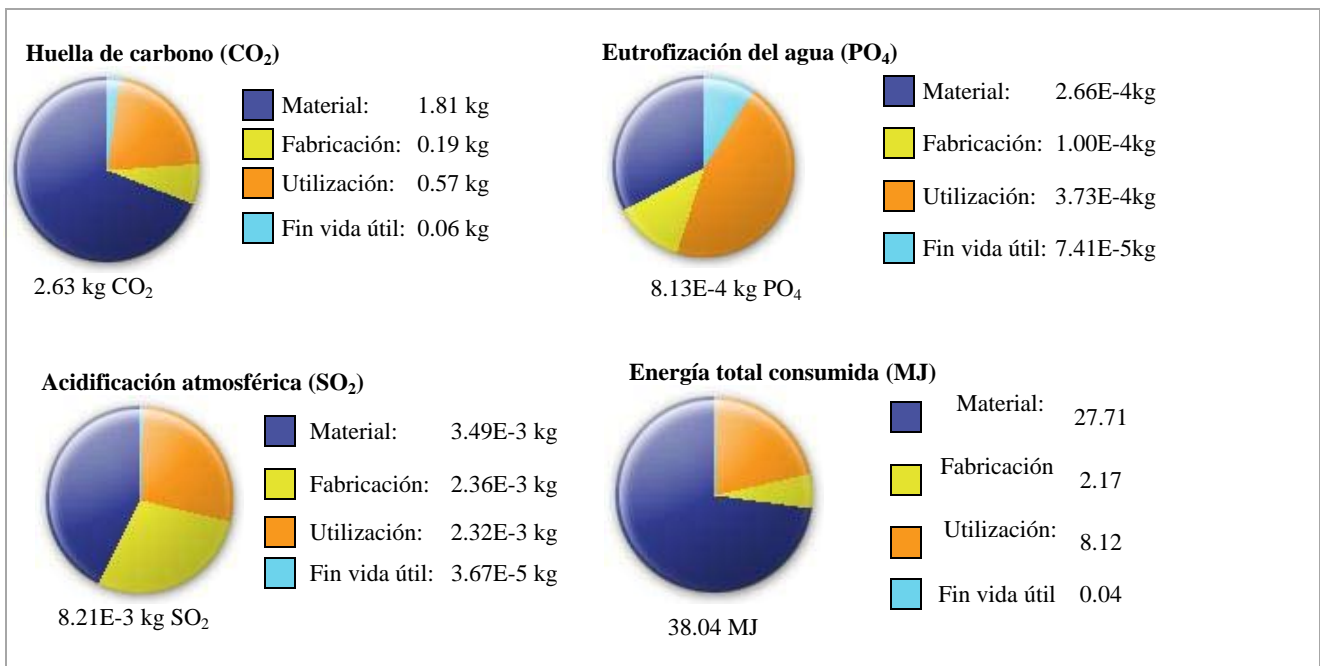


Figura 10. Impacto Ambiental de la pieza en titanio

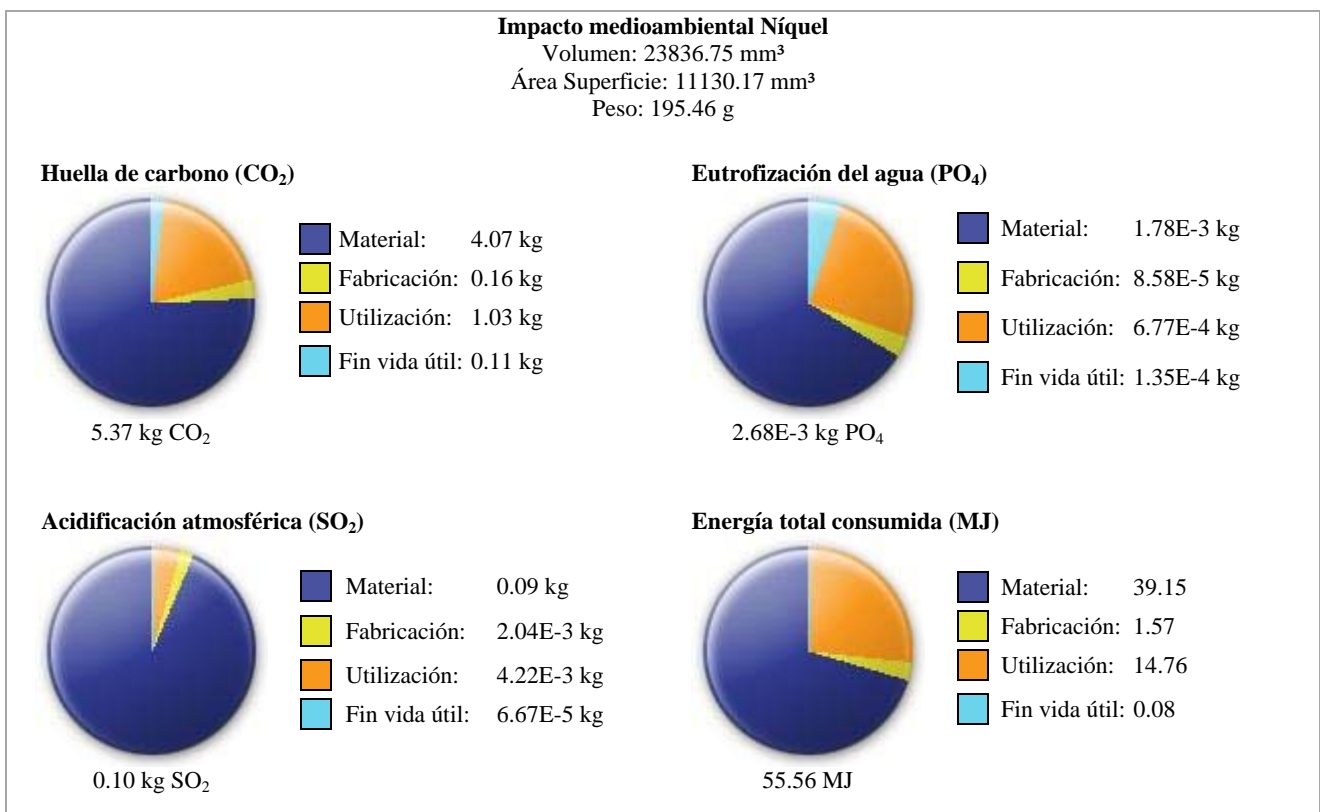


Figura 11. Impacto Ambiental de la pieza en Níquel.

Tabla 8. Resultado de la ponderación de los valores de las emisiones según Sustainability del Solid Works 2010.

	Titanio (49%)	Níquel (51%)	Valor aproximado Nitinol
Huella de Carbono (kg CO <sub>2</sub> )	2,63	5,37	4,0274
Eutrofización del Agua (kg PO <sub>4</sub> )	0,008	0,0268	0,0176517
Acidificación Atmosférica (kg SO <sub>2</sub> )	0,0821	0,1	0,091229
Energía Total Consumida (MJ)	38	55,56	46,9752

De la Tabla 6 podemos concluir que la huella ambiental del nitinol es la media de los materiales componentes, teniendo como base los procesos de desarrollo y transportabilidad de acuerdo a su lugar de fabricación, pero sin contar con este hecho: una pieza de un material común solo es parte de un sistema. Tomando como ejemplo un actuador, la pieza realizada con un material como los nombrados anteriormente entraría a formar parte del actuador, haciendo falta el motor, y demás partes componentes, caso contrario del nitinol, en el cual la pieza en si es el actuador, por lo cual se ve una clara reducción en procesos necesarios para la obtención de un sistema, lo cual es aplicable en cualquier sistema donde se de uso a un material inteligente, es aquí, en esta cualidad donde radica la sostenibilidad del material, en la capacidad de reemplazar a los sistemas existentes, optimizando la relación huella ambiental- beneficio.

## 5. CONCLUSIONES

El desarrollo de materiales inteligentes sostenibles es un campo de gran relevancia para los próximos avances tecnológicos, aunque la falta de generalizar procesos es un punto que retiene en gran medida los adelantos, el futuro es muy prometedor, pudiéndose visualizar aplicaciones a niveles nano así como desarrollos en sistemas compuestos, en el presente, la desinformación y los sobrecostos para la obtención de los mismos son un problema que tal vez se lleve un tiempo para su solución, pero las aplicaciones están cada vez más vigentes, la presencia de los mismos se hace notar en los diferentes campos, marcando una pauta en la innovación de productos y servicios, y una patrón fundamental de estos nuevos desarrollos es el ambiental, la sostenibilidad como principio cualitativo en los nuevos desarrollos es fundamental para los nuevos adelantos tecnológicos, con soluciones que satisfacen nuestras necesidades, pero con un mínimo de daño ambiental, los materiales inteligentes por su cualidades físicas representan un gran cambio industrial, sin sacrificar en gran parte el ambiente, por lo cual es un campo con un panorama prometedor.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión - VIE de la Universidad Industrial de Santander - UIS, por el apoyo y financiación brindada al proyecto titulado "Estudio y diseño conceptual de una ayuda técnica tipo exoesqueleto" código 5546, de donde surge el presente artículo de investigación.

## 7. REFERENCIAS

- Akhras, G , Advanced Composites for vSmart Structures, *Proceedings, ICCM-12*, 12th International Conference on Composite Materials, Paris, July 5-9, 1999.
- Akhras, G , Smart Materials and Smart Systems for the Future, *Canadian Military Journal*, Autumn 2000.
- Aguilar MR, Elvira C, Gallardo A, Vazquez B, Roman JS. Smart polymers and their applications as biomaterials. In: N. Ashammakhi, R. Reis & E. Chiellini (ed). *Topics in Tissue Engineering*. 2007:1
- A. Yawny, F.C. Lovey Y M. Sade, Posibilidades De Aplicaciones De Materiales Con Memoria De Forma, Iv Coloquio Latinoamericano De Fractura Y Fatiga, Agosto De 2000.
- Bag DS, Rao KUB. Smart polymers and their applications. *Journal of Polymer Materials*. 2006; 23(3):225-248.
- Cano E, Urbina M, Polímeros Inteligentes, Informe de Vigilancia Tecnológica, Noviembre de 2008.
- De la Flor S, Aleaciones con Memoria de Forma, Capitulo 1, Aplicaciones con la Memoria de Forma. 2006.
- Dorador J, Robótica y Prótesis Inteligentes, *Revista Digital Universitaria*, 18 de Enero de 2004
- Faber Archila J. Presentación Músculos Eléctricos, 2008.
- Katime I, Katime O, Katime D, Materiales Inteligentes: Hidrogeles Macromoleculares, Algunas Aplicaciones Biomédicas, *Anales de la real Sociedad Española de Química*, Octubre-Diciembre 2005.
- Klemas Jonas, Materiales Inteligentes Aleaciones Metalicas y Polimeros com Memoria de Forma, CES Medicina, Abril- Septiembre 2002.
- Matellanes, Cuevas, J.M., Clemente, R. Y Allué, S. Materiales y Estructuras "Inteligentes". <http://www.plastunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=2971>, 2003.
- Maya L, Vanegas L, Materiales Compuestos Inteligentes, *Scientia et Technica* Año X, No 25, Agosto 2004.
- Peña A, Aleaciones Con Memoria De Forma, Una Filosofía Diferente en la Ingeniería y el Diseño con Materiales, descriptiva de materials. *Materials en el procés de disseny*, 2002.
- Universidad Nacional Medellín, Documento del Curso de Fundición, Aleaciones con Memoria de Forma, 2006.
- Utracki LA. *Polymer Blends Handbook*. Kluwer Academic, 2002
- Zhao Q, Ni PH. Recent progress in pH. *Progress in Chemistry*. 2006;18(6):768O779.

## 8. DERECHOS DE AUTOR

Los autores son los únicos responsables del material impreso incluido en este artículo.



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **SMART AND SUSTAINABLE MATERIALS, INDUSTRIAL APPLICATION STUDIES.**

**Mauricio José Carrillo García, mauricio.carrillo@correo.uis.edu.co<sup>1</sup>**

**John Faber Archila, jfarchid@uis.edu.co<sup>1</sup>**

**Germán Enrique Vargas Linares, genvali@hotmail.com<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Industrial de Santander, UIS, Av 27 Str 9 University City, Robotics and Design Research Group, GIROD. Colombia.

<sup>2</sup> Universidad Industrial de Santander, UIS, Av 27 Str 9 University City, Robotics and Design Research Group, GIROD. Colombia.

***Abstract:** In the world, technological advances have always been linked to the use of new and better materials because their physical properties have helped to develop effective solutions to current needs. Currently, the development of materials capable of responding to stimulus in a predictable and sustainable is the next step in this relationship. This paper aims to provide a description of the so-called smart materials that are currently being evaluated in the development of sustainable solutions for industrial applications, because, commonly used materials have physical properties that cannot be altered specifically. The materials are called at work as a feature work are characterized by ability to be altered significantly in properties such as viscosity, volume, and conductivity.*

***Keywords:** smart materials, nitinol, Martensite, Austenite, magnetoactive.*