



CORDOBENSIS

PROGRAMA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

SXXI

La era de los
materiales

Nanos, inteligentes
y compuestos



GOBIERNO DE LA
PROVINCIA DE
CÓRDOBA

Ministerio de
CIENCIA Y
TECNOLOGÍA

Un día en la vida de Juan



Juan se despierta. Mira la hora en su reloj sumergible de titanio: ya las siete treinta. Se les hace tarde. Despierta a su mujer y se levanta primero para ganar el baño. Se afeita con suavidad gracias al filo excepcional de las hojas de afeitar logrado por los recubrimientos de diamante.

Su esposa María ya está en la puerta del baño esperando para maquillarse. Los cosméticos contienen nanopartículas de oro y carbón que darán un brillo duradero a sus labios durante todo el día.

Juan toma sus anteojos de vidrios orgánicos y marco de aleación inteligente de níquel-titanio y bromea sobre la imagen de su mujer que devuelve el espejo aluminizado. Busca luego la ropa deportiva de nylon microporoso que permitirá evaporar la transpiración sin dificultad y las zapatillas de ultrahexalite que elimina el sudor, evita alergias y mantiene los pies acolchados con cámaras de aire y burbujas de gel. Las zapatillas son la envidia de sus compañeros de tenis por los sensores que le indican las pulsaciones cardíacas durante el ejercicio.

Nunca consiguió que María lo acompañara a jugar tenis, ella prefiere la natación. Así que pone en su bolso el traje de baño high-tech de poliuretano repelente del agua.

Juan mira con deleite las plantas tropicales del jardín interior. Las cintas de riego aseguran la humedad exacta. Afuera, las aspas del generador eólico no se detienen y aseguran la iluminación de la casa.

Va hacia la cocina y enciende la hornalla. El gas proviene de un biodigestor. Llena la cafetera con agua de lluvia que se almacena en el tanque y llega pura a la canilla gracias a un ingenioso sistema de filtrado. Sirve el café en sendas tazas de cerámica esmaltadas con óxido de titanio y le agrega azúcar al suyo con una hermosa cuchara de acero inoxidable.

Antes de sentarse, arroja las cáscaras de naranja al procesador de lumbricompost.

A las ocho quince suben al auto último modelo fabricado con nuevos aceros livianos y con combustible de hidrógeno. Cuando decidieron su compra, fue el diseño exterior lo que motivó la elección frente al de carrocería totalmente de aluminio. En la maniobra

de retroceso, casi pisa la bicicleta de fibra de carbono que quedó fuera de lugar desde la tarde anterior.

Maneja casi sin hablar y lleva a su mujer hasta la piscina cubierta del club. Después, se dirige a la cancha de tenis. Está convencido de que hacer unos minutos de ejercicio antes del trabajo lo mantiene joven y vital. El médico le asegura que si continúa con esa rutina nunca necesitará de los nuevos medicamentos en cápsulas de plástico biodegradable. Sólo tiene que estar atento a ese dolor en la articulación de la cadera, quiere evitar lo que le tocó a su padre: le implantaron una prótesis de titanio recubierta de hidroxiapatita microporosa.

Termina su entrenamiento diario, se ducha y se viste de camisa y corbata. A las 9:30 entra a su oficina.

La empresa ha invertido mucho dinero en la edificación al usar materiales tradicionales como el vidrio, acero estructural y perfiles de aluminio, combinándolos armónicamente con materiales muy modernos como los compuestos de fibra de vidrio y carbono, magnesio y varios detalles en materiales inteligentes que disminuyen las vibraciones ocasionadas por el tráfico intenso de la avenida.

Enciende su computadora. Los nuevos microchips de silicio le aseguran una rapidez y memoria no imaginable hace un año atrás. Revisa informes toda la mañana.

El almuerzo es frugal: tan sólo un sandwich de vegetales en una bandeja de poliestireno de alto impacto, recubierto de un film plástico que impide la oxidación de la comida por contacto con el aire. No le gustan los cubiertos de polipropileno porque se rompen con facilidad.

A las cinco y media de la tarde se despide de sus compañeros y sale hacia su casa. En el camino va escuchando el último CD que compró. La tecnología láser reproduce el sonido perfecto de los compases de la sonata de Bach. Es invierno y en la calle comienzan a encenderse las luminarias ecológicas alimentadas con paneles solares.

Siente frío y levanta el vidrio. El pequeño motor apenas zumba. Es de alta eficiencia fabricado con materiales magnéticos optimizados.

Al fin llega. Se alegra de estar otra vez en casa. Su perro le da la bienvenida abalanzándose cariñosamente sobre él.

Este cuento parece de ciencia ficción. ¿Lo es? Los materiales y la tecnología que presenta están disponibles en la actualidad. Sólo que, normalmente, no pensamos ni analizamos el mundo que nos rodea.

Definir qué son los materiales resulta una empresa complicada. Sin embargo, cuando se habla de materiales todo el mundo tiene

una idea acerca de los mismos.

El hombre ha estado en contacto con materiales desde tiempos remotos. Hoy convivimos diariamente con muchísimos materiales de diferente tipo. Puede afirmarse que la evolución del hombre está marcada por una conquista continua sobre estos elementos.

Ahora veamos un poco la historia.



CORDOBENSIS PROGRAMA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Índice

- 1 Un día en la vida de Juan
- 3 Breve repaso a la historia
- 4 Los materiales de hoy y del futuro
- 6 Nanomateriales
- 9 Materiales inteligentes
- 12 Materiales compuestos
- 17 Bibliografía

Equipo

Autores

Oldani, Carlos Rodolfo

Co-autor

Angelozzi, Silvina Marcela

Coordinación

Juan José Cantero, Sergio Mansur

Producción general

Ministerio de Ciencia y Tecnología
Secretaría de Promoción Científica

Diseño gráfico

Natalia Bassotti, Andrés Esquivel

Oldani, Carlos Rodolfo

S.XXI, la era de los materiales : nanos, inteligentes y compuestos / Carlos Rodolfo Oldani y Silvina Marcela Angelozzi. - 1a ed. - Córdoba : Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba, 2012.

E-Book.

ISBN 978-987-25617-7-2

1. Ciencia. 2. Tecnología. 3. Nanomateriales. I. Angelozzi, Silvina Marcela II. Título
CDD 620.195

Fecha de catalogación: 13/09/2011

Breve repaso a la historia



Fig.1: Tallado de piedras del hombre prehistórico

La sola creación o descubrimiento de un nuevo material ha impulsado importantísimos cambios en la historia mundial y en la vida cotidiana de las personas. Esto ya sucedió cuando un antecesor nuestro se encontraba aburrido y golpeaba dos piedras entre sí. En un momento, una de las piedras se rompió dejando un filo (rocas de rotura concoidea, como el sílex, el cuarzo, la cuarcita, la obsidiana). Nuestro "inventor" descubrió que ese filo le permitía cortar fácilmente ramas de árboles, cazar y cortar animales que le servirían de comida (Figura 1). A partir de allí se inició la Edad de Piedra en la cual, el hombre prehistórico comenzó a utilizar este material en diversas aplicaciones. Se presupone que este período comenzó en África hace 2,5 millones de años. Con el tiempo, fue posible fabricar armas como hachas, flechas, lanzas, cuchillos y numerosas herramientas que le facilitaron la vida diaria (Figura 2). Este descubrimiento le dio mucho poder frente a otros

hombres ya que además pudo defenderse del vecino que le robaba su comida e iniciar el cultivo de algunos alimentos. Sin embargo, la piedra es frágil y difícil de trabajar por lo que presentaba grandes limitaciones.

Hace unos 5000 años, en Oriente se comienza a utilizar un metal fundido en la fabricación de utensilios. Este metal se basaba en el cobre nativo que se encontraba naturalmente asociado con estaño. El bronce, aleación cobre-estaño, inició un nuevo cambio en la historia de la humanidad (Edad del Bronce). Este material presenta muy buenas propiedades mecánicas y es dúctil, maleable y de fácil fabricación (Figura 3). Sin embargo, el cobre no es muy abundante en la naturaleza lo cual constituye una gran limitación para su uso en la vida cotidiana.

Un cambio mucho más importante se da hacia el 1000 a 1500 AC cuando se comienzan a producir objetos de hierro (Edad de Hierro), ya que los minerales de hierro son mucho más abundantes en la naturaleza. Con este metal se construyen máquinas, equipos, carruajes y otro sinnúmero de aplicaciones que antes no podían siquiera pensarse (Figura 4). Sirve además para descubrir y extraer nuevos materiales (cerámicos) y metales (aluminio, titanio, magnesio).

Pasaron muchos siglos y recién hace 2000 años se descubrió la técnica de soplado del vidrio fundido y hace tan sólo 50 años que se popularizaron los plásticos. Durante milenios se han conocido y utilizado materiales plásticos naturales como el asta, el ámbar y el carey. Sin embargo, es hacia el final de la Segunda Guerra Mundial cuando, con el abaratamiento del petróleo y sus productos derivados, se originó un rapidísimo crecimiento de sus aplicaciones.

Los materiales entraron en una vorágine de desarrollo que hoy perdura. Nuevos materiales, con nuevas modificaciones o con novedosas aplicaciones, aparecen día a día.



Fig. 2: Herramientas de piedra



Fig. 4: Objetos de hierro

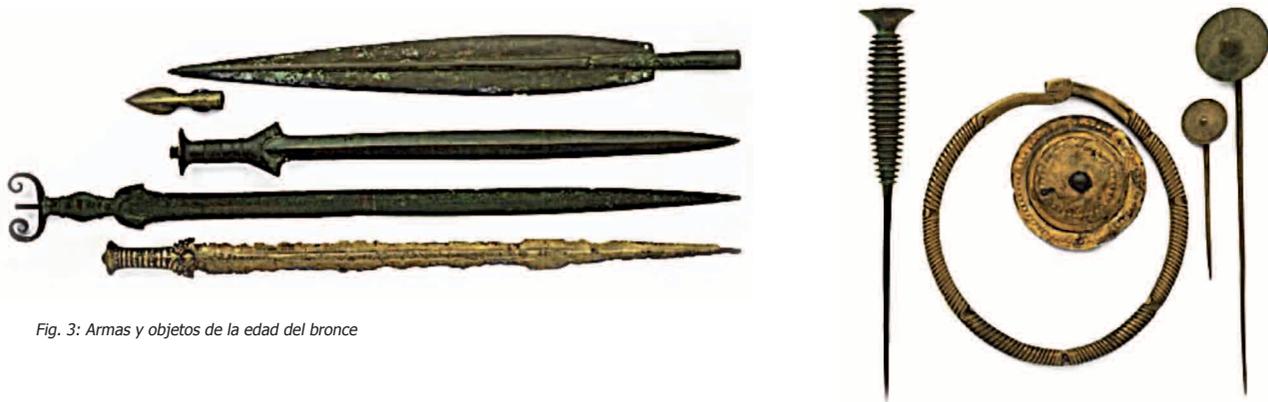


Fig. 3: Armas y objetos de la edad del bronce

Los materiales de hoy y del futuro

En la actualidad, gracias a los avances en física, química, ingeniería e informática, el campo de los nuevos materiales se ha convertido en uno de los más promisorios. Hay que destacar que muchos de ellos son indispensables para superar los actuales retos tecnológicos: desde autos de menor consumo hasta chips más potentes o motores más eficientes.

A partir del fuerte desarrollo de los mate-

riales en los últimos 50 años, se los ha clasificado en tres grandes grupos: metales, cerámicos y polímeros (plásticos y gomas). Es posible compararlos a partir de sus propiedades (*ver recuadro: Definición de algunas propiedades*). Las principales propiedades se comparan en la Tabla 1:

Existe una fuerte competencia entre los materiales de los distintos grupos. Se intenta abarcar el mayor mercado posible. No existe

Tabla 1: Comparación de propiedades de los diferentes grupos de materiales

Propiedades	Metales	Cerámicos	Polímeros
Resistencia mecánica	alta-media-baja	alta	baja
Ductilidad (maleabilidad)	alta-media-baja	nula	alta-baja
Peso (densidad)	alta-media-baja	bajo-medio	muy baja
Temperatura de fusión	alta-media-baja	muy alta	muy baja
Conductividad	muy alta	baja	muy baja
Brillo	brillo metálico	no	no
Transparencia	opacos	opacos-transparentes	transparentes
Fabricación	fácil	difícil	muy fácil
Costo	alto-medio-bajo	alto	bajo

el material ideal sino sólo aquel que mejor cumple una determinada función y que podría ser reemplazado por otro de mejores prestaciones. Tal es el caso, entre otros miles de ejemplos, de los cuadros de bicicleta (Figura 5). ¿Quién podría pensar hace 20 años atrás, que este elemento estructural se podría fabricar de otro material que no fuera acero? Sin embargo, las bicicletas de competición hoy se hacen de titanio o de plásticos reforzados, con un peso muy inferior y prestaciones mecánicas similares o mejores que las del acero.

Juan, nuestro personaje del cuento, convive diariamente con una enorme cantidad de materiales. Metales en su reloj de titanio o su auto de acero liviano, cerámicos en los vidrios de su oficina y también plásticos en sus envidiables zapatillas.

El mundo de los materiales es dinámico. Al inicio del siglo XXI ya se vislumbran las nuevas tendencias. Son tres sus campos principales: los nanomateriales, los materiales inteligentes y los materiales compuestos.

Hemos ingresado a **la Era de los Materiales**.



Fig. 5: Bicicletas de ayer y de hoy

Definición de algunas propiedades

Resistencia mecánica (Resistencia a la tracción): Fuerza (carga) máxima por unidad de área ($F_{\text{máx}}/A$) soportada por el material durante un ensayo mecánico.

Elasticidad: Capacidad de un material a deformarse sin sufrir deformaciones permanentes.

Rigidez: Medida cualitativa de la deformación elástica producida en un material. Un material rígido tiene un Módulo de elasticidad elevado.

Módulo de elasticidad: Pendiente de la curva fuerza-deformación en su región elástica (sin deformaciones permanentes).

Ductilidad (Maleabilidad): Capacidad de un material a deformarse de manera permanente sin romperse, cuando se le aplica una fuerza.

Tenacidad: Medida cualitativa de las propiedades de impacto del material. Un material que resiste un impacto se dice que es tenaz.

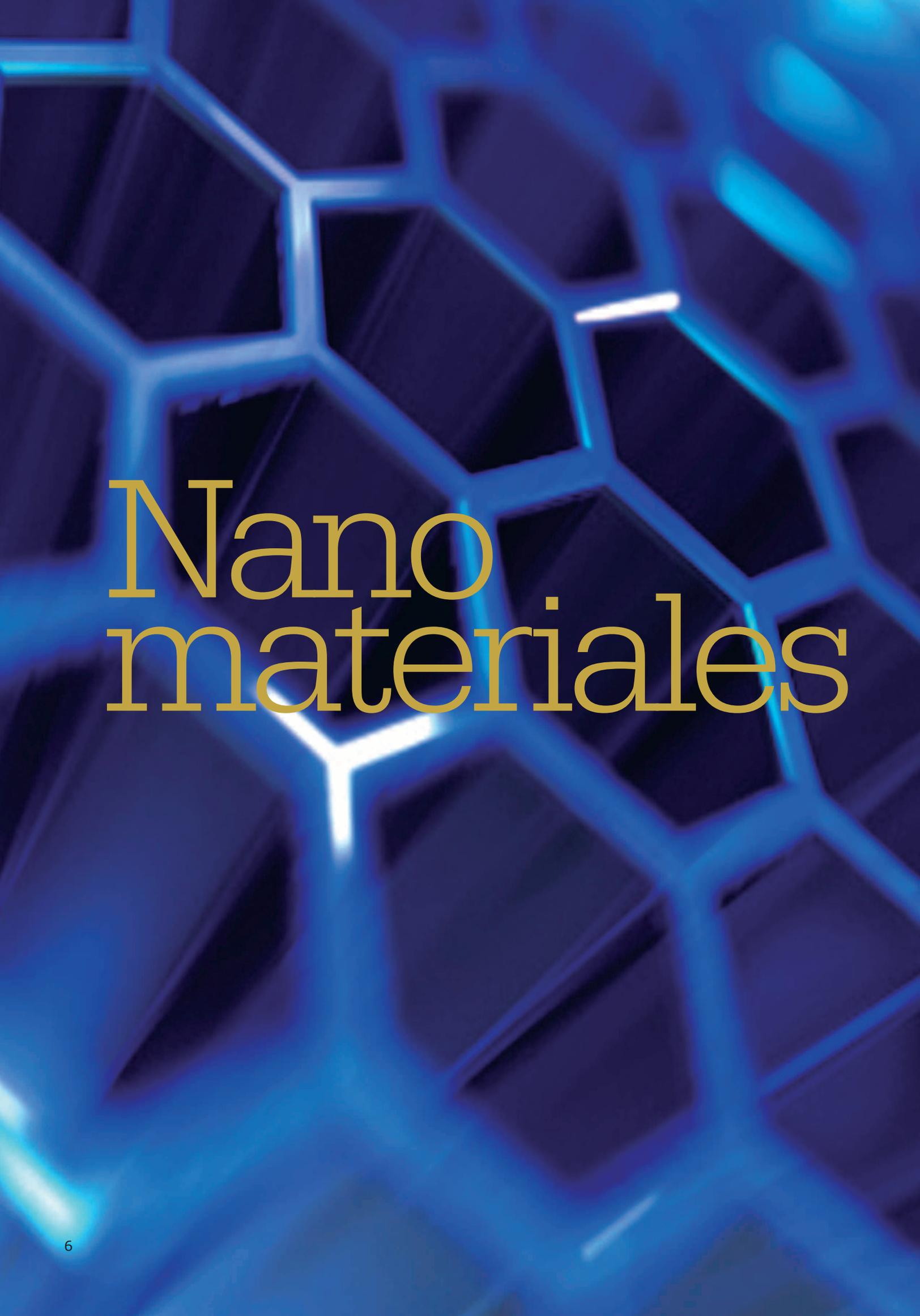
Dureza: Medida de la resistencia de un material a una deformación permanente.

Conductividad eléctrica: Medida de la facilidad con que la corriente eléctrica atraviesa un material.

Conductividad térmica: Medida de la velocidad a la cual se transfiere calor a través de un material.

Densidad: Relación entre la masa y el volumen unitario de un material.

Temperatura de fusión: Temperatura a la cual un material cristalino pasa del estado sólido al líquido.



Nano materiales

En los Estados Unidos se está desarrollando un dispositivo que parece de ciencia ficción: un microchip que funciona como retina artificial para que las personas ciegas puedan ver, aunque sea parcialmente. Pero lo particular del caso es que lleva un ingrediente, el diamante nanocrystalino, que para ser fabricado es manipulado en una escala de 1 a 100 nanómetros.

Un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro.

El diamante nanocrystalino es sólo uno de todo un abanico de materiales, conocidos como nanomateriales, que los científicos modifican en escalas infinitamente pequeñas para dotarlos de nuevas propiedades.

Hace poco tiempo, se ha realizado una clasificación de los nanomateriales constituida por cuatro grupos:

Basados en carbono

Están formados con un gran porcentaje de carbono y suelen adoptar formas como esferas huecas, elipsoides y tubos.

Basados en metal

Incluyen nanopartículas de oro o plata y óxidos metálicos como el dióxido de titanio.

Dendrímeros

Polímeros construidos a partir de unidades ramificadas.

Compuestos

Este tipo de nanomateriales combina nanopartículas entre sí o con otros materiales de mayor tamaño.

Un aspecto singular de los nanomateriales es que presentan una superficie muy elevada respecto a su volumen, lo que se traduce en una mayor reactividad para su aplicación en campos como adsorción o catálisis. Otra ventaja significativa reside en la capacidad

de modificar sus propiedades fundamentales (tales como magnetización, propiedades ópticas, temperatura de fusión, etc.) respecto a los materiales a escala micro o macroscópicas (*Ver curiosidad 1*).

Materiales reducidos a nanoescala pueden repentinamente mostrar propiedades muy diferentes en comparación con las que presentan a macroescala, lo que permite aplicaciones únicas. Por ejemplo, sustancias opacas llegan a ser transparente (cobre), materiales inertes se convierten en catalizadores (platino) o materiales aislantes se transforman en conductores (silicio). Materiales como el oro, que es químicamente inerte a escalas normales, puede servir como un potente catalizador químico en nanoescalas.

Las nanopartículas de polvo son potencialmente importantes en cerámica, metalurgia de polvos, en materiales con nanoporosidad uniforme y aplicaciones similares.

Gran parte de la fascinación con la nanotecnología se deriva de los fenómenos de superficie que exhibe la nanoescala.

Curiosidad 1: nanouñas repelentes

Ya existe el material capaz de repeler casi cualquier líquido, ya sea agua, disolvente, aceite o detergente. Esto se debe a su superficie esculpida con nanoestructuras que parecen diminutas uñas. El líquido sólo toca el material por los extremos de estas nanouñas como "si reposara en una silla de aire". Lo curioso es que después de recibir un pulso eléctrico las cosas cambian: el líquido se desliza a través de las nanouñas y la superficie se humedece.

Algunas de las futuras aplicaciones del material pueden ser la fabricación de mini-laboratorios integrados en un chip, superficies auto-limpiantes o sistemas para apagar las baterías cuando no se están usando.

Nanopartículas

Las nanopartículas o nanocristales de metales, semiconductores u óxidos, son de interés por sus propiedades mecánicas, eléctricas, magnéticas, ópticas, químicas y otras. Las nanopartículas se han utilizado como puntos cuánticos y como catalizadores químicos.

Las nanopartículas presentan una serie de propiedades especiales en relación con el mismo material masivo. Por ejemplo, la flexión del cobre se produce por el movimiento de los átomos de cobre, más o menos en la escala de 50 nm. Las nanopartículas de cobre de menos de 50 nm se comportan como materiales muy duros que no muestran la misma maleabilidad y ductilidad que el cobre macroscópico.

Las nanopartículas tienen a menudo inesperadas propiedades ópticas porque son lo suficientemente pequeñas para limitar el movimiento de sus electrones y producir efectos cuánticos. Por ejemplo las que son de oro aparecen de color rojo profundo a negro (*Ver recuadro Cosméticos 'nano'*).

Las nanopartículas tienen una elevada superficie con respecto a su volumen, lo cual proporciona una enorme fuerza impulsora para la difusión (movimiento de materia dentro del material), especialmente a temperaturas elevadas. Esto genera la aglomeración (sinterización) de las partículas a temperaturas más bajas y a tiempos considerablemente

menores que las partículas más grandes.

Sin embargo, el cambio en las propiedades no es siempre deseable: materiales ferromagnéticos de menos de 10 nanómetros pueden cambiar su dirección de magnetización a temperatura ambiente por efecto del calentamiento, por lo cual resultan inútiles para memorias de almacenamiento.

Nanotubos de carbono

En esta rama de la ciencia de los materiales a escala ultrapequeña, el carbono es la estrella. Su estructura puede conseguirse naturalmente con diferentes formas: desde minúsculas láminas en el grafito a estructuras muy rígidas y resistentes en el diamante. En 1991, se descubrió una nueva forma conocida como nanotubos de carbono, donde una lámina de carbón se cierra sobre sí misma, creando tubos de tan sólo 0,6 a 1,8 nanómetros de diámetro (*Figura 6*). Los nanotubos de carbono (CNTs) están constituidos por redes hexagonales de carbono curvadas y cerradas, de esta manera conforman tubos nanométricos con una serie de propiedades fascinantes que fundamentan el interés que han despertado en numerosas aplicaciones tecnológicas.

Son sistemas ligeros, huecos y porosos que tienen alta resistencia mecánica y por lo tanto, son muy interesantes para el reforzamiento

Cosméticos 'nano'

El mundo de los cosméticos va a la vanguardia de la tecnología en uso de nanomateriales:

Maquillaje: los nuevos maquillajes con nanoesferas de nylon, sílice o silicona, dispersan la luz en todas direcciones creando una especie de "borrosidad artística".

Sombra de ojos: partículas de mica recubiertas en oro, plata o titanio y nácares artificiales son usados para generar iridiscencia.

Rimel: compuesto con un gel polimérico transparente que solidifica en forma de esférulas cuando se parpadea, da a las pestañas la sensación de tener diminutas gotas de rocío.

Lápiz de labios: los de estilo permanente utilizan aceites de vaciado para plásticos duros, que son volátiles y se evaporan al poco tiempo de aplicarlos sobre los labios, logrando que el color se extienda con facilidad y se fije sobre ellos.

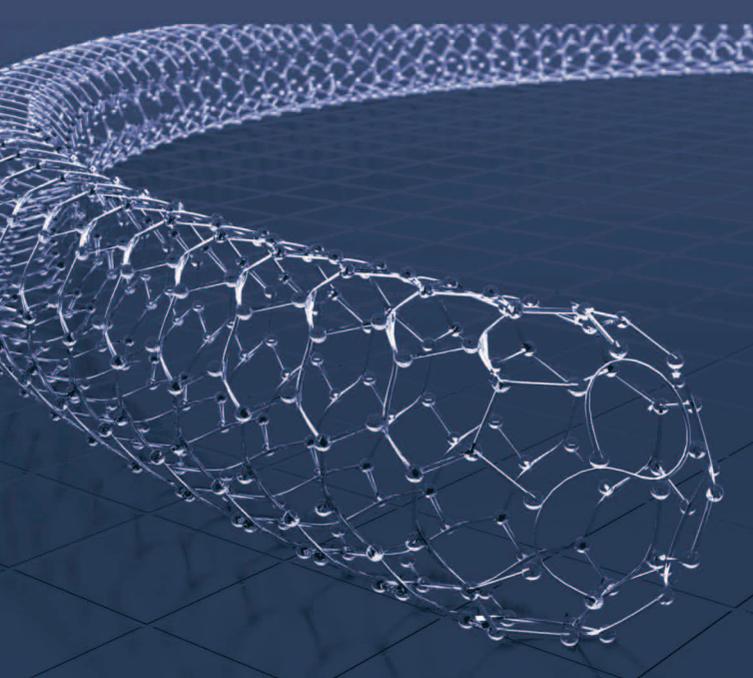


Fig. 6: Nanotubo de carbono

to estructural de materiales.

Los nanotubos son los materiales más resistentes que se conocen. Superan al acero por más de 100 veces y tienen gran elasticidad. También son excelentes conductores eléctricos cientos de veces más eficientes que el cobre, que es el material conductor eléctrico por excelencia. Además, su densidad es seis veces menor que la del acero. Estas propiedades, obtenidas sólo con estructuras controladas a escala atómica, prometen una revolución tecnológica aún difícil de imaginar.

En la *tabla 2* se ven las principales propiedades de los nanotubos de carbono y se comparan con las de otros materiales de uso actual.

Muchas de las aplicaciones de los nanomateriales las podemos observar en industrias tan dispares como la del deporte y la de los cosméticos (*Ver recuadro Lo 'nano' en el deporte - pág 10*).

Materiales inteligentes

En la mayoría de los casos, los fundamentos físicos de estos materiales se conocen desde el siglo XIX, el campo tecnológico de los denominados materiales inteligentes ha evolucionado rápidamente en los últimos años.

A pesar de que se han intentado diversas definiciones, la más precisa podría ser: un material inteligente es aquel que responde ante un estímulo exterior cambiando sus propiedades o incluso su forma. Su uso como parte de dispositivos "inteligentes", intenta imitar a la naturaleza mediante la combinación de componentes activos y pasivos. Al igual que en el caso de nuestros sentidos: vista, oído, gusto y tacto, se han desarrollado análogamente sensores ópticos, acústico-ultrasónicos, eléctricos, químicos y térmico-magnéticos.

Existen diversas formas de clasificar estos materiales. Desde el punto de vista de sus fundamentos de acción, se los puede agrupar de acuerdo a las siguientes características: piezoelectricidad, magnetoestricción, aleaciones con memoria de forma, fluidos reológicos y fibra óptica, entre muchos otros.

Piezoelectricidad

El efecto piezoeléctrico se basa en que un proceso de deformación en estos materiales induce una diferencia de potencial eléctrico. El efecto también existe en sentido contrario: un

Tabla 2: Propiedades de los nanotubos de carbono

Propiedades	Nanotubo de carbono	Comparación
Densidad	1,33 a 1,40 g/cm ³	El aluminio tiene una densidad de 2,70 g/cm ³
Resistencia a la tracción	45 x 10 ⁹ Pa	Los aceros de alta resistencia rompen a los 2 x 10 ⁹ Pa
Elasticidad	Pueden doblarse y recuperarse sin daño	Los metales se fracturan ante esfuerzos similares
Conductividad eléctrica	1000 x 10 ⁶ A/cm ²	1 x 10 ⁶ A/cm ²
Conductividad térmica	6000 W/m °K	El diamante puro tiene 3320 W/m °K
Estabilidad térmica	Estable hasta los 2800 °C en vacío y hasta los 750 °C en aire	Los metales de los chips funden entre los 600 y 1000 °C

Lo 'nano' en el deporte

A la hora de desarrollar material deportivo, la regla es que sea más fuerte y más liviano y los nanotubos de carbono parecen ser la respuesta.

Ciclismo: En el Tour de Francia de 2005, se utilizó por primera vez una bicicleta que incorporaba nanotubos de carbono en su estructura. Los nanotubos fueron usados como relleno-refuerzo de la matriz polimérica en las interfases con la fibra de carbono. Aunque pesaba menos de un kilogramo, demostró estar dotada de una excelente rigidez y resistencia.

Tenis: En el mundo del tenis, las raquetas con nanotubos de carbono son extremadamente livianas, resistentes y flexibles y son capaces de impulsar la pelota a una velocidad hasta diez veces superior a la que imprimen las convencionales. Algunos profesionales del tenis de primer nivel mundial han alertado de que estas nuevas raquetas podrían arruinar el juego, ya que hacen que, en algunas ocasiones, los servicios resulten imposibles de devolver.

Golf: Cuando se trata de practicar golf, meter la pelota en el hoyo no sólo es cuestión de técnica y práctica; la pelota también cuenta. Ya hay en el mercado pelotas de golf que reducen el número de giros y permiten un mayor control de la trayectoria. La química y la física de los nanomateriales utilizados en su fabricación permiten redistribuir el peso durante el vuelo de la pelota. La promesa de "menos pelotas perdidas" está consiguiendo que tanto profesionales como aficionados no duden en pagar más para asegurar golpes certeros.

Bolos: Lo nano amenaza con ponerse de moda incluso en el mundo de los bolos donde se recubren las bolas con fullerenos, unas redes tridimensionales de átomos de carbono, con propiedades tales como para aumentar la resistencia al impacto y al desgaste.

Esquí: En las pistas de esquí, la revolución llega de manos de Nanowax, un sustituto de la cera formado por polímeros similares a los que componen la base de los esquís y snowboards. El producto crea una superficie deslizante ultrafina y duradera, que se mantiene inalterable incluso cuando suben o bajan las temperaturas y no deja residuos.

campo eléctrico externo al material, lo deforma en forma proporcional al campo aplicado.

El material que posee esta propiedad en forma natural es el cuarzo pero el efecto recién se pudo utilizar industrialmente cuando se desarrollaron los llamados piezoeléctricos ferroeléctricos que amplifican el efecto piezoeléctrico. Estos son cerámicos basados en el titanato de bario que fueron empleados como elementos sensores de vibraciones en sonares. Posteriormente se han desarrollado otras cerámicas y polímeros con mejores prestaciones.

Actualmente los más usados son el cerámico de titanato de circonio de plomo (PZT) y el polímero poli (fluoruro de vinilideno) (PVDF). Mientras que los cerámicos son rígidos y frágiles, los piezopolímeros son flexibles y dúctiles. Estas características los convierten a los piezocerámicos en excelentes candidatos para ser usados como actuadores mientras que los piezopolímeros están mejor preparados para actuar como sensores.

Los materiales piezoeléctricos han sido utilizados para conseguir el amortiguamiento de vibraciones, detección de impacto y diagnóstico de daño. También han sido empleados como micrófonos, sonares, acelerómetros y sistemas de supresión de ruido. Los equipos de ecografía están basados en este principio.

Magnetoestricción

El efecto magnetoestrictivo se basa en que, ante la presencia de un campo magnético exterior se induce una deformación en el material. Como en caso de la piezoelectricidad, estos materiales también experimentan el efecto inverso.

El material magnetoestrictivo comercialmente más establecido es una aleación de hierro, terbio y disprosio.

Los actuadores magnetoestrictivos se emplean en la industria aeroespacial para activar superficies sustentadoras de aviones, control de vibraciones en palas de helicópteros y amortiguamiento de vibraciones en estructuras espaciales.

Aleaciones con memoria de forma

Las aleaciones con memoria de forma (SMA) son capaces de recordar su tamaño y forma originales después de haber pasado un proceso de deformación. Inclusive son capaces de volver a su configuración inicial a una temperatura determinada. Esta característica denominada efecto de memoria de forma, fue observada por primera vez en 1932 en componentes oro-cadmio y en 1938 en aleaciones cobre-cinc. Pero recién en 1962 se encontró la aleación con memoria de forma de mayor desarrollo actual. Esta es una aleación níquel-titanio, conocida comercialmente como **NITINOL**.

El fundamento físico de su funcionamiento se basa en que la aleación presenta diferentes estructuras a escala atómica a baja y alta temperatura. El Nitinol se caracteriza por presentar una transformación de fase a una determinada temperatura (*ver recuadro: Transformación de fase en el Nitinol*).

Las aleaciones con memoria de forma se han empleado como cables activos para estructuras, monturas de anteojos y mecanismos de

despliegue de satélites. Por su gran biocompatibilidad con los tejidos y fluidos corporales ha encontrado una extensa gama de aplicaciones médicas: dispositivos autoexpandibles para abrir arterias (stents), fijación de fracturas, arcos odontológicos, músculos artificiales, entre muchas otras (*Figura 7 - pág 12*).

Fluidos reológicos

Son fluidos cuyas propiedades cambian ante la presencia de un campo eléctrico o magnético exterior. Se trata de suspensiones de partículas de tamaños en el orden de los 5 micrones, en líquidos inertes. Esta propiedad es consecuencia de la formación de estructuras dentro del fluido, como respuesta a los estímulos exteriores. Estas estructuras, agregados de partículas sólidas, dominan el flujo del fluido y pueden llegar a frenarlo.

Cuando no existe campo exterior, los fluidos se comportan como un líquido normal, pero cuando se aplica un campo exterior, las partículas en suspensión forman cadenas respon-

Transformación de fase en el Nitinol

El nitinol se caracteriza por manifestar una transformación de fase a una determinada temperatura. Durante esta transformación, la estructura de la aleación cambia de una fase de alta temperatura (austenita) a una de baja (martensita), caracterizada por cuatro temperaturas: M_s y M_f (inicio y fin de la transformación de austenita a martensita) y A_s y A_f (inicio y fin de la transformación de la martensita en austenita durante el calentamiento, respectivamente). Esta transformación va acompañada de un cambio de volumen y forma del componente.

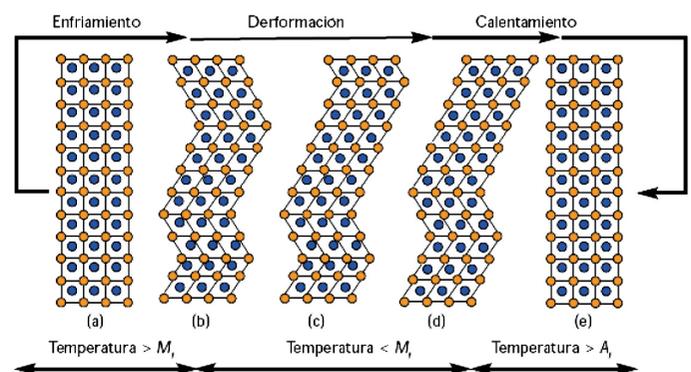
Si el material ha sido apropiadamente diseñado, la transformación puede ser completamente reversible y reproducible. Aunque es extremadamente rápida, la frecuencia del sistema está limitada por las constantes de tiempo asociadas al proceso térmico.

Sin embargo, si la aleación es usada en forma de alambres delgados, se pueden mejorar los tiempos de respuesta.

Dado que la aleación con memoria de forma posee una elevada conductividad eléctrica y los alambres o cables tienen una pequeña sección transversal, permiten que la disipación eléctrica se emplee para calentar la aleación (efecto Joule) y producir la transfor-

mación de fase al hacer pasar una corriente eléctrica.

En la figura se muestra el proceso de enfriamiento, deformación y calentamiento de una aleación con estas características. En (a) se muestra la estructura del cristal original. Según se enfría, la austenita se transforma en martensita hasta alcanzar la temperatura M_f en la que toda la austenita se ha convertido en martensita (b). A temperaturas menores a M_f se puede deformar (c) y (d). Por calentamiento, la martensita se convierte en austenita, de manera que una vez alcanzada la temperatura A_f donde se completó la transformación, el material recupera su forma inicial.



diendo como un sólido en el caso extremo. Entre estos dos extremos, el fluido reológico se comporta como un sólido viscoelástico.

Esta propiedad los hace especialmente atractivos para aplicaciones relacionadas con el amortiguamiento y control activo de vibraciones en amortiguadores, apoyo de motores y palas de helicópteros (*Ver Curiosidad 2 - pág 13*).

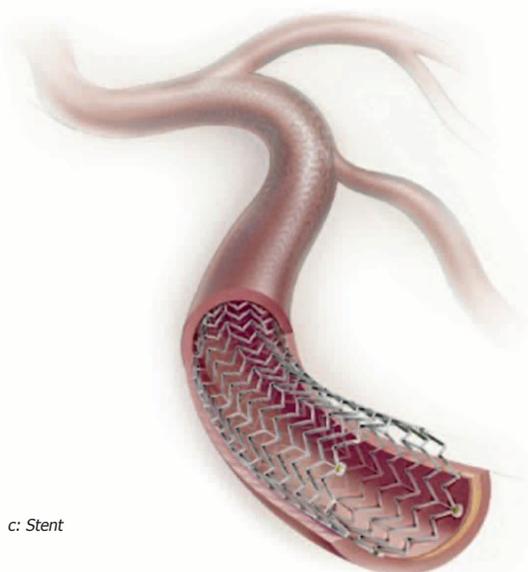
Fig. 7: Diversas aplicaciones del nitinol



a: trabas para fracturas



b: arcos de ortodoncia



c: Stent

Fibras ópticas

Al igual que el cable de cobre conduce electricidad, la fibra óptica transmite luz. El uso más común de la fibra óptica es el de transmisión de datos como televisión, teléfono, etc. En el campo de las estructuras inteligentes, la fibra óptica es empleada como elemento sensor debido principalmente a su inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, pequeño tamaño, liviandad y la enorme capacidad para transportar información. La fibra óptica es capaz de detectar diversos tipos de información: temperatura, cambios químicos, deformación, presión y vibraciones.

Se suelen fabricar en vidrio por ser un material con alto índice de refracción lo cual permite que la luz viaje por su interior sin poder salir (*Figura 8 - pág 13*).

Materiales compuestos

Muchas de las tecnologías modernas requieren materiales con una inusual combinación de propiedades, que no se pueden conseguir con las aleaciones metálicas ni con los materiales poliméricos ni cerámicos convencionales. Esto es especialmente válido para materiales usados en las industrias aeroespacial, submarina y del transporte. Por ejemplo, los fabricantes de aviones requieren de materiales estructurales livianos, fuertes, rígidos, resistentes a la abrasión y al impacto y que no se corroan. Esta es una combinación de propiedades que ninguno de los materiales convencionales lo presenta ya que, normalmente, los materiales resistentes y rígidos son densos y cuanto más rígidos, menor es su capacidad de absorber impactos.

Un material compuesto es aquél formado por dos o más materiales para aprovechar las mejores propiedades de cada uno de ellos, combinándolas de manera que se produzca un efecto sinérgico y se obtengan propiedades mejores y superiores a la de sus componentes. Esto hace que los científicos hayan intentado en el último tiempo mezclar los

Curiosidad 2: Chaqueta líquida

La guerra de Irak en 2006 dejó atrás gran cantidad de soldados heridos en zonas no protegidas por los chalecos antibalas. Un "blindaje líquido" podría ser la solución para proteger esas áreas (brazos y piernas) donde ocurren muchas lesiones devastadoras y peligrosas para la vida. El líquido de comportamiento reológico de espesamiento por agitación es una mezcla de partículas duras en un líquido no-evaporable. Fluye normalmente en condiciones de poca energía pero cuando se agita por un impacto, se rigidiza y se comporta como un sólido. Este comportamiento temporal ocurre en menos de un milisegundo después del impacto.

El líquido se integra con la tela balística misma (Kevlar), haciéndola más resistente a la penetración y reduciendo enormemente el trauma del golpe. La rigidización del líquido permite que la energía del impacto se distribuya sobre un área superficial mucho más grande, de manera que la fuerza, en vez de estar centrada en el área de la cabeza de la bala, se distribuye sobre el área de la tela circundante.

El Kevlar tratado resiste los proyectiles agudos, puñaladas con cuchillos y metralla de bombas desde el borde de la carretera.

diferentes tipos de materiales (metales, polímeros y cerámicos), como se muestra en la *Figura 9 - pág14*.

Cuando se habla de un material compuesto, conviene pensar en tres fases o partes: una fase continua llamada matriz, una fase dispersa normalmente llamada refuerzo porque esa es su función y la interfase entre estas dos partes.

No todas las combinaciones posibles son adecuadas pero se han encontrado algunas de gran aplicación práctica en distintas ramas de la industria. Una buena combinación fue la conseguida con una matriz plástica reforzada con fibra sintética. Esto se debe a que se aprovecha la liviandad del plástico y la enorme resistencia de las fibras cerámicas y poliméricas. Sin embargo, continúa el desarrollo de otras combinaciones para aplicaciones particulares. Estos materiales han dado un fuerte impulso a la industria aeronáutica y espacial y están adentrándose en el reemplazo de componentes mecánicos y en la industria de la construcción civil.

Generalmente, los materiales compuestos se clasifican de acuerdo al tipo de refuerzo en: compuestos fibrados (con fibra larga o corta), compuestos particulados y espumas.

Materiales compuestos fibrado

Tecnológicamente, son los materiales compuestos más importantes. Son aquellos donde la fase dispersa está en forma de fibras buscando mejorar la resistencia mecánica y la rigidez en relación a su peso. Esto se consigue con fibras muy resistentes y matrices de bajo peso específico.

Matrices

La fase matriz de los materiales compuestos fibrados cumple varias funciones: mantener las fibras unidas entre sí, actuar como medio para trasladar los esfuerzos externos y distribuirlos entre las fibras para lo cual debe ser dúctil, proteger las fibras individuales del daño superficial como resultado de la abrasión

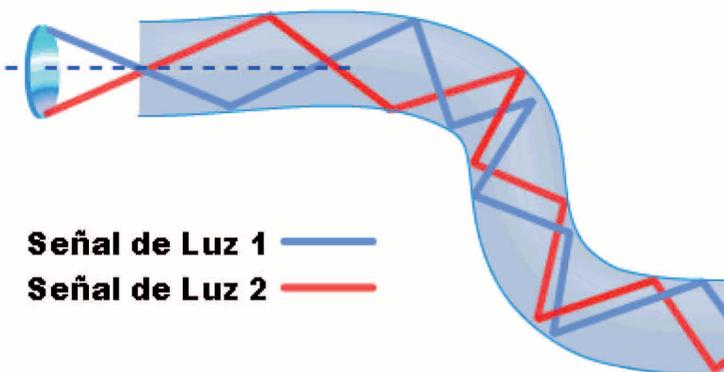


Fig. 8: Refracción total dentro de una fibra óptica

Materiales compuestos

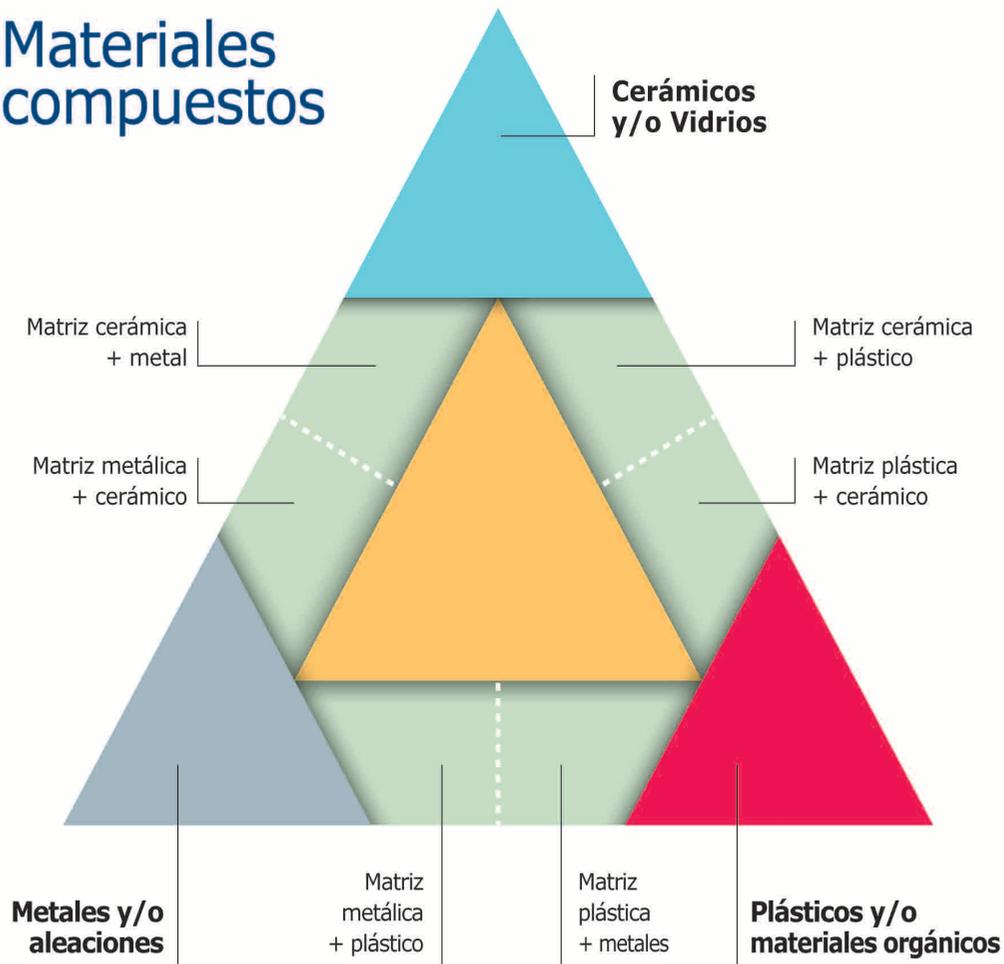


Fig. 9: Relaciones de matrices y refuerzos en los materiales compuestos

mecánica o química del ambiente y finalmente, separar las fibras entre sí para prevenir la propagación de una grieta dada su relativa plasticidad. Para cumplir estos requerimientos, el material compuesto debe presentar una muy buena adhesión entre la matriz y el refuerzo para minimizar la posibilidad de separación de las fibras.

Los materiales para matrices que mejor cumplen estas funciones son los plásticos termoestables de resinas poliéster y epoxi.

Fibras

Son tres los tipos de fibras sintéticas que se utilizan en el mundo para reforzar plásticos: la fibra de vidrio, la fibra de carbono y la fibra de aramida. El vidrio es por lejos el más utilizado para el refuerzo de plásticos debido a sus buenas propiedades y su bajo costo. El carbono y la aramida son fibras muy resistentes

y de baja densidad, por lo que encuentran muchas aplicaciones en el campo aeroespacial y el deportivo, a pesar de su elevado costo.

Las fibras de refuerzo tienen sus mejores propiedades en la dirección longitudinal y se pueden incorporar como fibra larga o fibra corta y a su vez hacerlo en diferentes direcciones y cantidades. Esto genera un abanico de propiedades cuando los materiales compuestos son sometidos a esfuerzos en una o varias direcciones.

El Vidrio: La fibra de vidrio se usa para reforzar matrices plásticas y así formar compuestos estructurados y productos moldeados. Los compuestos obtenidos tienen muy buena resistencia específica (relación resistencia/peso), buena estabilidad dimensional, resistencia al calor y al frío, resistencia a la corrosión y a la humedad, facilidad de fabricación y son relativamente baratos.

Los tipos de vidrio utilizados en la obtención de fibras son conocidos como de Tipo E y Tipo S. Estos vidrios en estado de fibra de 5 micrones de diámetro (0,005 mm) presentan propiedades mecánicas muy elevadas, como se muestra en la Tabla 3. Estas fibras se pueden tejer y se comercializan como hebras, mechas, alfombras y tejidos.

Sus principales aplicaciones actuales son: en piletas de natación, carrocerías de automóviles (fundamentalmente para reparación y accesorios), barcos, tanques de GNC livianos (Figura 10).

El Carbono: La fabricación de la fibra de carbono es un proceso difícil que requiere el calentamiento a temperaturas de 1500 °C de una fibra precursora de PAN (poliacrilo nitrilo) tensionada. Esto hace que su costo sea elevado pero sus propiedades son excelentes. Presenta la mayor resistencia mecánica de los tres tipos de fibra, con una rigidez elevadísima (Tabla 3). Estas características la convierten en un material óptimo para aplicaciones aeronáuticas, donde son requeridas propiedades como alta resistencia y muy bajo peso. Muchas partes de los nuevos aviones comerciales y fundamentalmente los de combate, han sido reemplazadas por materiales compuestos reforzados con fibra de carbono (Figura 11 - pág 16).

También encuentra aplicación en la industria del deporte. Tal es el caso de palos de golf, bicicletas de competición y raquetas de tenis (Figura 12), entre otros. Por ejemplo, gracias al cambio de la caña de bambú por plástico reforzado con fibra de carbono en las garrochas para salto, se están alcanzando marcas de altura nunca pensadas, superando los 6 metros para los varones.

Un ejemplo interesante del desarrollo de materiales compuestos carbonosos es el conocido como carbón-carbón (Ver recuadro: Compuesto carbonoso carbón-carbón - pág 17).

La Aramida: Este material es una fibra de un plástico aromático de poliamida con una estructura molecular muy rígida. Fueron introducidas comercialmente en 1972 por la empresa Du Pont bajo el nombre comercial de

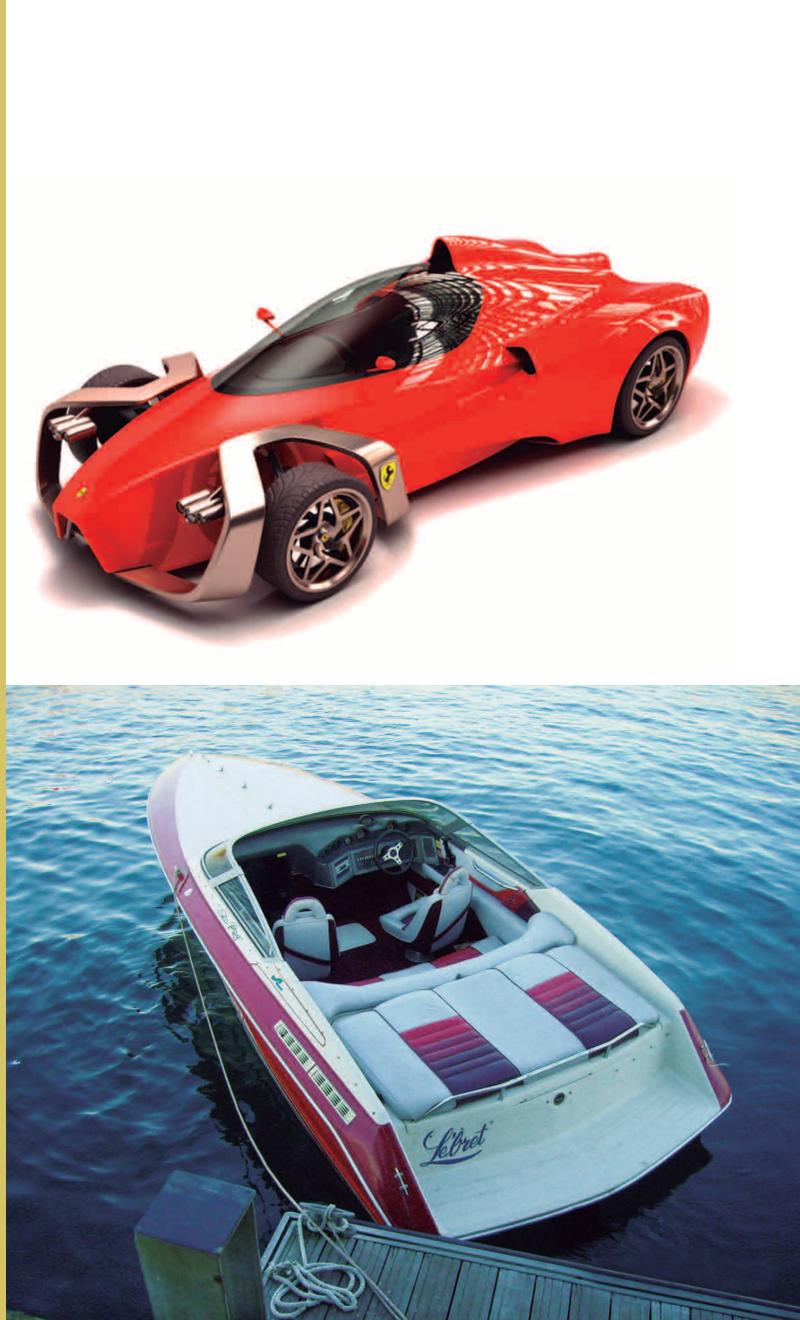


Fig. 10: Algunas aplicaciones de la fibra de vidrio

Kevlar. Es de baja densidad y alta resistencia (Tabla 3) y fue diseñado para aplicaciones balísticas, como chalecos antibala, y tiene muy buenas prestaciones en la industria aeroespacial, marítima y automotriz.

Materiales compuestos particulados

En este caso la incorporación de partículas muy finas se realiza para mejorar otros aspectos diferentes al aumento de resistencia mecánica. Tal es el agregado de óxido de torio (ThO_2) a una aleación de níquel para mejorar la resistencia a la temperatura en recubrimiento de turbinas de aviación o la incorporación de partículas de grafito en aleaciones de aluminio para solucionar la posibilidad de



Fig. 11: Algunas aplicaciones de los materiales compuestos con fibra de carbono en la aviación

Tabla 3: Comparación de propiedades de fibras para refuerzo de materiales compuestos

Propiedades	Vidrio E	Carbono	Aramida
Resistencia a la tracción (MPa)	2410	3100	3617
Módulo de elasticidad (GPa)	69	220	124
Ductilidad (%)	3,5	1,40	2,50
Densidad	2,54	1,75	1,48

agarrotamiento de los pistones de motores de autos de carrera.

Espumas

A pesar de que no son siempre considerados como materiales compuestos, la incorporación de gases en una matriz se puede aprovechar para diversas aplicaciones ingenieriles. Se pueden mencionar dos ejemplos. Un caso son las espumas de aluminio propuestas para ser utilizadas como material para absorber impactos (*Figura 13 - pág 17*). La deformación del material dúctil de la matriz y la absorción de energía que se produce durante el colapso de las burbujas de aire, disminuyen la energía de un impacto producido, por ejemplo, por el choque entre dos automóviles.

Otro ejemplo de desarrollo muy actual, son los materiales porosos poliméricos utilizados como soporte para crecimiento de tejidos (scaffolds). La ingeniería de tejidos pretende crear tejidos nuevos a partir de crecimientos celulares con posibles importantes aplicaciones en el tratamiento de pacientes con una diversidad de patologías.



Fig. 12: Raqueta de squash de fibra de carbono

Compuesto carbonoso carbón-carbón

Este es un material desarrollado específicamente para reemplazar las placas de protección de la trompa y los bordes de ataque de las alas de los transbordadores espaciales, para soportar las temperaturas que se alcanzan en esas zonas del avión en el momento del ingreso a la atmósfera. Este material soporta sin degradarse temperaturas de más de 2500 °C.

Su diseño consiste en fibra de carbono larga ubicada entre láminas de plásticos. Este sistema se calcina dejando una estructura carbonosa muy rígida y de muy alto punto de fusión.

A pesar de que fue desarrollado para una aplicación aeroespacial, se encontró que también tenía otras propiedades que permitieron un nuevo campo de aplicación, esto es, su excelente biocompatibilidad y fundamentalmente su hemocompatibilidad (compatibilidad con la sangre) hizo que se lo aplicara en medicina como material de prótesis de cadera.

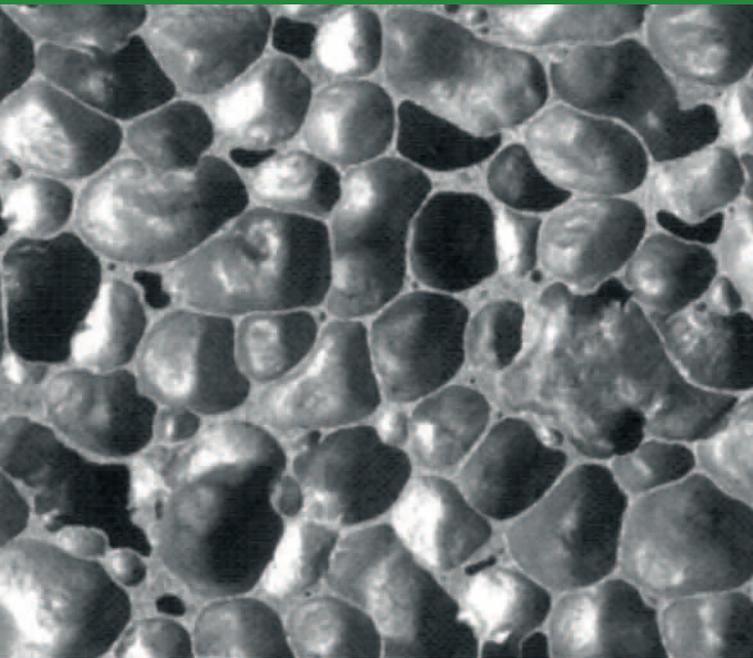


Fig. 13: Espuma de aluminio



Bibliografía

Askeland, D (2008). "Ciencia e ingeniería de los materiales", Ed. Int. Thomson

Buzea, C, Pacheco, I y Robbie, K (2007). "Nanomaterials and Nanoparticles: Sources and Toxicity" Bionterphases 2 MR17-MR71

Galvele, J (2007). "Los materiales, la tecnología y la humanidad" En: http://www.isabato.edu.ar/documentos_2007/losmateriales.pdf

García Oviedo, L (2009) "Aumenta el uso de nanomateriales", Diario La Nación 24 de marzo

López García, O, Carnicero López, A y Ruiz Pablos, R (2003). "Materiales Inteligentes" En: Anales de mecánica y electricidad, Nov/Dic.

Smith, W (1993). "Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales", Ed. McGraw Hill

Algunos sitios de internet con información sobre nuevos materiales y sus aplicaciones

Human evolution, <http://es.wikipedia.org>.

<http://www.solociencia.com/ingenieria/>

<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/default.stm>

<http://web.mit.edu/newsoffice/topic/materials-science.html>

http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/noticias/2005/agosto/nanotecnologia_noticias_22_28.htm

Autoridades

Gobernador de la Provincia de Córdoba
Dr. José Manuel De La Sota

Ministro de Ciencia y Tecnología
Ing. Roger Illanes



GOBIERNO DE LA
PROVINCIA DE
CORDOBA

Ministerio de
CIENCIA Y
TECNOLOGÍA

Av. Álvarez de Arenales 230 B° Juniors - Córdoba, Argentina - Tel.: (0351) 434-2492

www.mincyt.cba.gov.ar

ISBN 978-987-25617-7-2