

## SECCION B : INGENIERIA QUIMICA

### PERSPECTIVA GLOBAL DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES

A. Palomino-Infante\*, James H. L. Lawler\*\*

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química  
\*Departamento de Análisis y Diseño de Procesos  
Av. Venezuela s/n - Lima Perú

\*\*Nexial Institute, Dallas, Texas, USA.

**Abstract:** It can be said that Materials Science and Engineering arose such, fostered by the development of the the great Aerospaceal and Defense Projects, which has had the United States of America and the exURSS as contenders, during the years of the Cold War. However, it is known through the history, that the discovery and use of materials has addressed, rather inexorably, the path of our own development. As a matter of fact, it should not appear strange why Materials Science and Engineering accounts, in a great deal, for the spectacular technological advance that we witness in the present times.

**Key words:** New materials, Materials Science, Composites, Ceramics, Plastics.

**Resumen:** Podemos decir que la ciencia e ingeniería de materiales comotal, surge al calor de los grandes proyectos Aeroespaciales y de Defensa, que ha tenido como contendientes a los Estados Unidos de Norteamérica y la ex URSS en los años de la guerra fría. Sin embargo, sabemos que históricamente el descubrimiento y uso de los materiales por el hombre, ha trazado casi de manera inexorable el rumbo de su propio desarrollo. No es extraño por tanto que esta ciencia, sea en gran medida, la responsable de los grandes avances tecnológicos que experimenta la humanidad en los tiempos actuales.

**Palabras clave :** Nuevos materiales, ciencia de los materiales, compósitos, cerámicas, plásticos.

#### Historia de los Materiales

El surgimiento de la inteligencia del género Homo se atribuye a la capacidad de éste para usar una de las primeras herramientas disponibles en la naturaleza, la piedra. Esto, se considera que se inició hace 1.9 millones de años, hasta llegar a la era del hombre moderno cuya antigüedad se estima en 40,000 años, de acuerdo al análisis de los restos fósiles y los grabados sobre rocas, que datan desde hace 35,000 años (10).

De este modo encontramos que los materiales usados por el hombre primitivo fueron principalmente la piedra y la madera, que los utilizó para la caza y la pesca. Más tarde se hizo sedentario y fue capaz de cultivar plantas y domesticar animales, creando la agricultura hace 9,000 años. Posteriormente, hace alrededor de 5,000 años A.C. aparecen las primeras civilizaciones y se inventa la escritura hace 3,500 años A.C. (4, 10).

Las civilizaciones más antiguas de la humanidad, que se desarrollaron entre 3500 AC. y 200 D.C., como la Caldeo Asiria, Babilonia y el antiguo Egipto, debieron sus avances tanto a su sistema de organización y aparato militar, como al dominio de los materiales. Una muestra elocuente de esto lo constituyen las grandes pirámides del periodo de los Faraones. Así mismo, vemos cómo el gran Imperio Romano logró extenderse por el mundo, soportado, entre otros factores, en la tecnología del concreto y el acero. Paradójicamente se atribuye al inadecuado uso de las vasijas cerámicas para el almacenamiento del vino, como la causante del paulatino envenenamiento con plomo de la familia real.

La Edad Media, caracterizada también por las guerras de carácter religioso, tuvo en el aprovechamiento de la energía hidráulica y eólica, los suficientes estímulos para la innovación en el arte de trabajar los metales, que explican las ventajas de las espadas de los sarracenos

\* e-mail : apalomino@infoweb.com.pe

y más tarde, de las espadas de los japoneses. Así mismo, se beneficiaron de esta disponibilidad de energía las plantas de producción de textiles, la producción del vidrio que reemplazó la ceniza por Soda, la introducción de la rueda giratoria en lugar de la rueca, que virtualmente no había cambiado desde los tiempos prehistóricos. De este modo la generación de energía mecánica hizo posible el cambio de escala de muchos procesos en este periodo, incluyendo la metalurgia del hierro, a tal extensión que a comienzos del siglo XV el hierro forjado conteniendo cerca de 3 % de carbono y aproximadamente el 1 % de silicio, hizo posible disponer de una materia prima que fusionaba a 1200 C, disponible para subsiguientes procesos de producción de aleaciones mejoradas de acero (7).

Dos hechos tecnológicos que precipitaron el fin de la Edad Media y el inicio de la Edad Moderna fueron la invención de la imprenta y la producción de la pólvora con fines militares. Ciertamente, éste material ya se usaba en la China por muchos siglos, aunque con fines más bien artísticos. Alrededor de 1325 se fabricaron los primitivos cañones para arrojar dardos, piedras y otros objetos contundentes para las guerras. Pero es en los 1500 que el arte de la guerra es remecido con la introducción de las bombardas, explosivos y minas. En suma los requerimientos militares empujaron en la escala de producción de materiales durante el Renacimiento; al mismo tiempo, la agricultura, la construcción y el incremento del estándar de vida también contribuyeron a estos cambios, a los cuales contribuyeron también el oro y la plata que llevó España a Europa de América.

Mientras tanto los componentes separados de la metalurgia del hierro y elementos no ferrosos, cerámicas, tintes, fibras, polímeros orgánicos y la ingeniería estructural siguieron su propio camino de desarrollo y las ciencias básicas de la física y la química iniciaron lentamente su contribución al entendimiento de la naturaleza de la materia. Hace aproximadamente 100 años se descubre el plástico, que genera nuevas tecnologías de proceso y nuevas aplicaciones para este material. En la actualidad vivimos lo que muchos científicos convienen en llamar la etapa de transición a la gran revolución globalizada, donde los composites, las superaleaciones, los nanomateriales, las cerámi-

cas avanzadas, los biopolímeros, los materiales fotónico, etc. están transformando nuestra forma de ver al mundo (7,9)

Conforme hemos visto, la historia ofrece una perspectiva de la importancia de los materiales en la calidad de vida de cualquier sociedad. Cada material ha sido descubierto y/o dominado en un periodo y es usado en adelante por las diferentes civilizaciones en un volumen mayor; de este modo la calidad de vida mejora como consecuencia de la introducción del nuevo material y el uso extendido del material antiguo, constituyendo una pirámide cuya base está formada por los materiales más abundantes y de fácil disponibilidad como la piedra, el barro y la madera. Así, no resulta difícil entender las eras tecnológicas precedentes, como la Edad de Piedra, la Edad de Bronce, la Edad de Hierro y la actual Era Espacial.

Algunos acontecimientos que han influido de manera significativa en el desarrollo científico y tecnológico de la humanidad en los últimos 1500 años, son la invención del Astrolabio en el año 500, el Microscopio de Hooke en 1590, el Telescopio de Galileo en 1609, La Máquina a vapor de Watt en 1765, el primer Puente de Hierro Forjado en 1779, la primera computadora de Charles Babbage en 1834, el avión en 1903, la Teoría de la Relatividad en 1905, el transistor en 1948, la estructura del DNA en 1953, la comunicación vía Satélite en 1993 y el Proyecto del Genoma Humano para el año 2000 (10). La mayoría de ellos tienen también, relación estrecha con el desarrollo de nuevos materiales

### Los Nuevos Materiales

Los avances en los superconductores constituyen sólo una parte de una revolución más amplia que tiene lugar en los nuevos materiales, así como en el procesamiento de éstos. Podemos ver que las nuevas cerámicas tienen poco en común con las clásicas lozas chinas, éstas son livianas, resisten enormes temperaturas y son muy resistentes a la abrasión. Por otra parte, los nuevos plásticos de alto rendimiento, basado en fibras de carbón parece que lograrán transformar la industria automotriz y aeroespacial. Ya se observa que muchos autos tienen carrocerías de plástico, de modo que los carros y aviones hechos con plástico y supergomas podrían ser comunes en el próxi-

mo siglo. Muchos semiconductores hechos de silicio y nuevos materiales como el arseniuro de galio prometen mayores saltos cuánticos en la potencia de las computadoras, así mismo las computadoras fotónicas y la computación con ADN ofrecen alternativas no menos espectaculares para la producción de computadoras de nueva generación. Observemos igualmente cómo los avances en la producción de las fibras ópticas están transformando la industria de las telecomunicaciones e influenciando diferentes áreas de la medicina. Por otra parte, tenemos las nuevas aleaciones metálicas - hechos por procesos tales como «solidificación rápida» y «pulvimetalurgia» - las cuales tendrán impactos mayores en la industria manufacturera; a tal extensión que incluso el cemento será «high tech» en el futuro (10).

La investigación y desarrollo de nuevos materiales será crucial para superar la escasez de los materiales considerados estratégicos en la actualidad. La innovación en los materiales en gran medida determina el avance tecnológico en muchas industrias claves -especialmente la industria de la computadora- la cual influencia a su vez la productividad, la generación de capital, la creación de fuentes de trabajo, y la velocidad global de crecimiento económico. Nuestro actual estándar de vida viene a ser el resultado de los descubrimientos pasados de «nuevos» materiales, y nuestra prosperidad futura, dependerá en gran medida, de los frutos de la investigación contemporánea de nuevos materiales y de los procesos de producción de éstos. Así por ejemplo, la «nueva» tecnología de la impresión fue precedida por la invención del papel, y la sociedad nunca fue la misma desde que el hierro fuera fusionado. La Revolución Industrial en sí misma fue el resultado de nuevas formas de procesar los materiales tales como el carbón, hierro y acero.

En años recientes las investigaciones sobre materiales han estado orientadas al ahorro del costo de los procesos, veamos por ejemplo las películas de plásticos, las llantas radiales, las latas de aluminio, los nuevos biopolímeros autoreplicantes, el diamante artificial, los materiales moleculares armonizados, etc. La diferencia de nuestros días con los siglos precedentes es, que en el pasado el hombre adaptaba los materiales existentes en la naturaleza a sus necesidades, en tanto que

ahora la ciencia y la tecnología están permitiendo que el hombre diseñe los materiales de acuerdo a su necesidad específica.

Los así llamados «Nuevos Materiales», conocidos también como «Materiales Avanzados» o «Materiales con Ingeniería», aparecieron primero en la mente de los científicos en el laboratorio. La tecnología de los nuevos materiales representa por otra parte una nueva forma de ver las cosas, constituyendo un nuevo desafío para los diseñadores, las empresas, los administradores, y más importante aún, para los hacedores de las políticas de ciencia y tecnología en todo el mundo.

### **Clasificación de los Materiales**

De manera global los materiales pueden agruparse en cerámicos, metálicos, poliméricos, composites y semiconductores.

### **Materiales Cerámicos y sus Oportunidades**

En un sentido más amplio, los materiales cerámicos están formados de materiales arcillosos, que comprenden todos los productos de arcillas cocidas, incluyendo ladrillos, baldosas, tubos forjados y moldeados que son cocidos previo a su uso. Esto incluye por supuesto a las rocas ígneas así como a los materiales cementíticos, el aluminato de cerio, carburo de silicio, aluminato de zirconio y otros. Los mercados mayores de las cerámicas lo constituyen; en primer lugar las clásicas lozas y vajillas de cocina, cerámicos de cocina y baños. En segundo lugar se pueden agrupar los electrocerámicos que tienen un mercado más sofisticado tales como capacitores, piezoeléctricos, etc. El tercer segmento lo ocupan los cerámicos estructurales avanzados, tales como elementos de corte, productos para cohetes espaciales, etc.

Las cerámicas tradicionales, en suma, son sólidos inorgánicos no metálicos que son estables a altas temperaturas, usualmente sobre 1000 C. Las cerámicas avanzadas por otra parte, son estables por encima de 1500 C., entre estas podemos citar la mullita, composites que contienen ytrio-zirconio-aluminio, composites cerámico-metal como el carburo de boro-aluminio, composites polímero-cerámico y cerámicos bimetálicos, composites con gradiente de funcionalidad (FGM), que pueden soportar gradientes de temperatura de hasta

1000 K, conocidos también como « composites carentes de frontera»; muchos de ellos están clasificados como secreto de estado (2, 11).

### **Materiales Electrocerámicos**

Este segmento está conformado por los sustratos, los cuales son usados como base para el montaje de semiconductores o circuitos. La mayoría de los sustratos y las multicapas están hechas de alúmina, aunque también se están usando berilio debido a su excelente conductividad térmica.

Los paquetes cerámicos son a menudo multicapas y son imprimidos con tintas conductoras de circuitos antes de ser horneados, estos por lo general son semiconductores encapsulados.

Los piezoeléctricos son aparatos cerámicos que son capaces de generar ya sea corriente eléctrica, cuando son sometidos a presión mecánica, o pueden ser movidos al aplicar corriente eléctrica. En la actualidad muchos de estos productos se fabrican a partir de materiales basados en zirconato de plomo-titanado (7).

Los capacitores son por lo general multicapas o discos. Los capacitores multicapas son sandwichs de conductores y material cerámico que pueden tener hasta 40 capas. El producto resultante se puede montar en el circuito de múltiples maneras.

### **Cerámica Estructural**

En este grupo de materiales podemos mencionar las herramientas y dados. Aquí la mayor aplicación es en la fabricación de elementos cerámicos de corte, que pueden ser monolíticos o composites reforzados con whiskers tales como de carburo de silicio, carburo de wolframio, etc. Estos materiales por lo general tienen altas propiedades tribológicas y no ofrecen problemas de maquinabilidad.

Las nuevas cerámicas de alta tecnología se caracterizan por ser más duras, más resistentes, más livianas y más durables que muchos metales; no se humedecen, no se deterioran con facilidad y son capaces de soportar altas temperaturas y acidez extrema. Eventualmente pueden requerir poco maquinado. El Sialon por ejemplo, es una aleación cerámica de silicio,

aluminio, oxígeno y nitrógeno, es tan duro como el diamante, más resistente que el acero, y liviano como el aluminio, características que lo hace ventajosamente aplicable para prestaciones bajo condiciones drásticas (11, 17).

Los cuchillos y tijeras que se producen con cerámica avanzada duran 60 veces más que los producidos con acero; lo cual constituye una remarcable ventaja cuando se usan para cortar fibras de carbón, aramida o vidrio en la industria de los composites.

Así mismo se emplean para producir partes de herramientas o equipos que deben soportar condiciones extremas de trabajo, por ejemplo, toberas para disparo con arena, cortado con jet de agua, secado de materiales abrasivos en spray, sellos de bombas, válvulas, etc.

Por otra parte, tenemos los cojinetes cerámicos fabricados con nitruro de silicio, éstos son estables a altas temperaturas y no requieren lubricación, lo cual le otorga ventajas sobre el acero.

Los intercambiadores de calor construidos con cerámicas avanzadas ofrecen ventajas respecto a los metales, en especial para servicios en ambientes corrosivos o abrasivos, aunque su mayor debilidad sea su todavía baja resistencia al impacto.

Los usos en la medicina dental datan ya de bastante tiempo, pero los composites de última generación tienen ventajas mayores que los conocidos en el pasado.

En los motores de combustión, las cerámicas avanzadas prometen tener un gran mercado en el futuro. Así mismo habrá un promisorio mercado para los motores de turbina de gas, debido a su resistencia a altas temperaturas, medios abrasivos y corrosivos (11).

### **Polvos Cerámicos**

Como hemos señalado, las ventajas de los materiales cerámicos sobre otros, radican en su capacidad para soportar altas temperaturas sin perder estabilidad, así mismo, su alta resistencia a ambientes corrosivos y abrasivos. Sin embargo, para que los diseñadores puedan formular materiales a partir de los polvos cerámicos hace falta aún

ampliar la base de datos mediante investigaciones de laboratorio.

Los avances en el desarrollo de los materiales cerámicos comienzan con el control de calidad de los polvos cerámicos, lo cual incluye el control del tamaño de las partículas. A diferencia del pasado, ya no se admite depender de materiales tal como aparecen en la naturaleza, si se quiere lograr un producto con altas prestaciones. Esto explica porqué la química y las tecnologías de la ingeniería química están al frente de las mejoras necesarias de los polvos cerámicos.

Las técnicas recientemente implementadas para producir cerámicas avanzadas, incluyen el empleo de organometálicos, técnicas sol-gel, lazer, plasma, precipitación acuosa e hidrotérmica, carbotérmica de autopropagación y de alta temperatura, nitruración de metal y deposición química y física de vapor.

### Consolidación de las cerámicas

Las fallas en los materiales cerámicos provienen de la existencia de impurezas o vacíos, que generan posteriormente las fisuras. Como quiera que se busca producir materiales consistentemente superiores, se desea eliminar o reducir las fallas de manera significativa, cuando esto no es factible se emplea una segunda fase para disminuir tal efecto en el producto crudo, teniendo en cuenta que las fallas no son superables en la etapa de consolidación.

El método de consolidación más comúnmente usado es la sinterización, aunque muchas veces se usa combinado con la presión. Otros métodos como la compactación explosiva también se están evaluando en muchos laborato-

rios. Un esquema del método de sinterización se ilustra en la **figura 1** (11).

### Materiales Poliméricos

Desde 1907, cuando el químico Leo Bakeland, un belga inmigrante a los Estados Unidos produjo el primer verdadero plástico al cual lo denominó Bakelita, los plásticos se han hecho más y más populares en nuestro siglo.

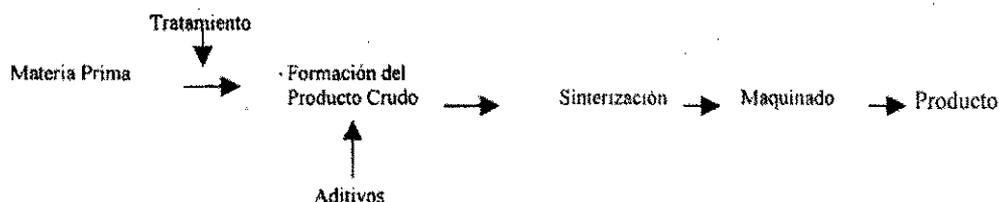
Los nuevos plásticos no sólo se están usando en automóviles, aviones, barcos y discos de memoria en reemplazo de metales o vidrios; en años recientes se han inventado plásticos conductores de electricidad que encuentran aplicación en la tecnología aeroespacial. También encuentran uso para disminuir ruidos, vibraciones y fricciones. Su desventaja son sus altos costos finales (8,16).

Por otra parte, los plásticos reforzados constituyen en sí una nueva generación de materiales, que iniciaron su existencia durante la Segunda Guerra Mundial. Actualmente se usan en múltiples aplicaciones, conforme señalaremos más adelante.

### Materiales Metálicos y Nuevas Aleaciones

Los Metales se consideran todavía como uno de los materiales de ingeniería más versátiles, teniendo en cuenta que pueden ser deformados plásticamente y pueden ser endurecidos por una variedad de métodos.

Debido a la presencia de electrones no localizados, los metales son muy buenos conductores de electricidad y calor, y no son transparentes a la luz visible. La mayoría de los metales tienen alta resistencia mecánica, razón



**Figura 1.** Esquema de consolidación cerámica mediante sinterización

por la cual se los utiliza en aplicaciones estructurales, en la mayoría de las veces a través de sus aleaciones.

Las aleaciones de la Era Espacial constituyen materiales de mejores propiedades mecánicas así como mayor solidez y resistencia a la corrosión. Son de fácil uso, consolidados mediante técnicas de pulvimetalurgia y la solidificación rápida o «quenching» (16).

Las aleaciones aeroespaciales ya se vienen usando en plantas de proceso, debido principalmente a sus precios más competitivos.

### Materiales Compuestos

Denominados también composites, son materiales multifase que exhiben una proporción significativa de las propiedades de las fases constituyentes. Su fabricación está basada en la aplicación del principio de acción combinada, esto es, se busca la combinación más adecuada de dos o más materiales diferentes. Muchos materiales compuestos están formados por una fase continua denominada matriz y una fase discontinua denominada refuerzo. Los composites ocupan en la actualidad un mercado cada vez más amplio de usuarios, a pesar de que inicialmente sus costos relativamente altos los hacía poco competitivos con los materiales convencionales como el hierro, los plásticos, la madera y otros.

El principio que orienta la formulación de los materiales compuestos es relativamente sim-

ple, en efecto, está basada en la adecuada combinación de los materiales que lo conforman, para obtener un producto con propiedades mejoradas partiendo de sus propiedades intrínsecas individuales y sus interacciones superficiales. Sin embargo, el diseño de estos materiales requiere de un adecuado soporte teórico y matemático, en especial cuando se tenga que diseñar composites estructurales. Es interesante observar que la naturaleza proporciona ejemplos de materiales compuestos; así por ejemplo, la madera es un composite natural constituida por lignina reforzada con fibras de celulosa; el hueso es otro composite constituido principalmente de colágeno e hidroxiapatita.

Los materiales compuestos creados por el hombre se clasifican, atendiendo al tipo de matriz, en composites de matriz polimérica, cerámica y metálica.

### Composites de Matriz Polimérica o Plásticos Reforzados

Los materiales compuestos de matriz polimérica utilizan reforzantes de fibras cortas, fibras largas, polvo, partículas o tejidos a partir de fibra de vidrio, Kevlar, o fibra de carbón, en los cuales la matriz está conformada por resinas poliéster, epoxi, etc. (3, 16).

Las tecnologías de producción industrial comprenden moldeado bajo presión, enrollado

Tabla 1. Esquema de consolidación cerámica mediante sinterización

| Material  | Modulo de Young, GPa | Resistencia tensil, MPa |
|---|----------------------|-------------------------|
| Aluminio (puro, estirado)                           | 71                   | 60                      |
| Aleación de Aluminio de alta solidez (AlZnCuMg)     | 71                   | 650                     |
| Hierro (forjado)                                    | 152                  | 360                     |
| Aleación de hierro de alta solidez (acero Maraging) | 212                  | 2000                    |
| Aleación de Titanio (Ti-Zn-Al-Mo-Si)                | 120                  | 1400                    |
| Polimero de resina epóxica                          | 2.5                  | 60                      |
| Caucho natural                                      | 0.018                | 32                      |
| Madera de Pino Blanco                               | 7.6                  | 161                     |
| Epoxi con 60 % de Aramida                           | 77                   | 1800                    |
| Poliéster con 50 % de fibra de vidrio               |                      |                         |
| Longitudinal  | 38                   | 750                     |
| Fibra de carbono                                    | 290                  | 3100                    |
| Fibra de polietileno                                | 172                  | 2964                    |
| Monolito de polietileno                             | 0.4                  | 26                      |
| Carburo de silicio en fibras                        | 406                  | 3920                    |

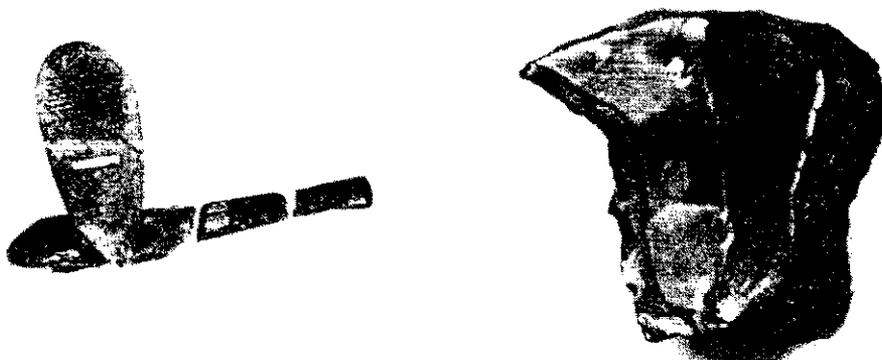


Figura 2. Primeros materiales usados por el hombre

filamentario (filament winding), pultrusión y otras.

Los composites de matriz polimérica se están utilizando para la fabricación de pequeñas embarcaciones deportivas y de pesca, asientos de vehículos, muebles, tanques, chalecos antibalas, carrocerías de vehículos, cascos para soldados, prótesis, órganos artificiales, etc.

Los plásticos reforzados se han constituido en materiales de ingeniería trabajables, cubriendo en la actualidad un amplio espectro de aplicaciones. El éxito de estos materiales radica en que ofrecen ventajas de estabilidad térmica, altos radios de resistencia y rigidez con respecto al peso, resistencia inherente a la corrosión, calidades superiores como aislante térmico, resistencia al impacto y durabilidad. Así mismo, ofrecen grandes potenciales para el diseño.

A diferencia de los metales, los cuales son materiales isotrópicos homogéneos, que ofrecen sólo dos variables de la propiedad de rigidez, los composites son materiales no isotrópicos con no menos de 81 variables discretas. El sistema de resina de la matriz, la selección de la fibra y la orientación de ésta se pueden variar para lograr literalmente una ilimitada combinación de criterios de diseño. Sin embargo, debemos acotar que el campo de los composites es todavía un campo emergente, donde la tecnología de producción y de materiales aún deben ser mejoradas. En la actualidad las resinas termo estables son las que tienen mayor aplicación, en razón de la facilidad de su aplicación y sus costos relativamente bajos.

Por otra parte, el uso de termoplásticos en el mundo de los composites, es un tema de gran

interés para la investigación, en especial para los casos donde los termo estables fallan.

### Composites de Matriz Cerámica

Los compositores de matriz cerámica, como ya hemos señalado arriba, son uno de los materiales con mayores proyecciones para el futuro, debido a las posibles repercusiones que tendrán sus aplicaciones tecnológicas.

### Composites de Matriz Metálica

Los materiales compuestos de matriz metálica están volviendo al campo de las investigaciones luego de un periodo de poco interés. En la actualidad la formulación de muchas superaleaciones se funda en el concepto del reforzamiento de la matriz metálica. Las aleaciones metálicas de la Era Espacial constituyen materiales más livianos, fuertes y más fáciles de usar que muchos metales convencionales. Las nuevas aleaciones se hacen mediante pulverimetallurgia donde el formado se realiza por presión y calentamiento de los polvos metálicos en moldes. Esta técnica reduce los costos de maquinado. La solidificación rápida o quenching también se viene utilizando con este propósito.

### Materiales Semiconductores

Los semiconductores se caracterizan por tener propiedades que van entre los conductores eléctricos y los aislantes. Las propiedades eléctricas de estos materiales son extremadamente sensibles a la presencia de pequeñas concentraciones de impurezas, las cuales pueden ser controladas sobre muy pequeñas regiones espaciales. Los semiconductores han hecho

posible el advenimiento de los circuitos integrados que han revolucionado la electrónica y la industria de las computadoras en las dos décadas pasadas (1,5).

### Materiales Nano Estructurales

Se conocen también como materiales Nanofase, estos son cerámicos, metálicos o combinaciones de los dos, constituidos por bloques de construcción ultra pequeños que tienen propiedades mecánicas, ópticas y magnéticas inusuales.

El término «nano» deriva del uso de bloques de construcción del orden de los nanómetros ( $10^{-9}$  m) ó décimas de nanómetros. De manera general, cualquier material que contiene granos o partículas de 1 a 100 nm a través de capas o filamentos de ese espesor, pueden ser consideradas como materiales nano estructurales. La preparación de estos materiales requiere de tecnologías sofisticadas. En la actualidad existen todavía pocas compañías que están incursionando en la producción de nano materiales en los Estados Unidos y el Japón. La Figura 3 ilustra algunos arreglos que son posibles realizar con las capas de conformación.

Así por ejemplo, el comportamiento de una cerámica nanofase a  $1660^{\circ}\text{C}$  puede parecerse a una goma de mascar, haciendo fácil la fabricación de objetos. A condiciones ambientales estos materiales son también más duros y resistentes que los materiales cerámicos convencionales. Otra cerámica nanofase como el óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), es un catalizador más eficiente para la remoción de azufre que las formas convencionales de Titanio. Un composite polimérico que contiene partículas de óxido de hierro de dimensiones nano, es transparente y

magnético, y puede ser convertido en líquido magnético. Todavía más, los materiales nano estructurales muestran combinaciones de propiedades magnéticas eléctricas y ópticas que no son posibles encontrar en materiales convencionales (13).

Las propiedades nano estructurales están determinados por un juego complejo de interacciones entre los bloques de construcción y las interfases entre ellos. En algunos nano compuestos, los científicos ya han logrado cierto grado de dominio sobre sus propiedades. Tomemos por ejemplo, el sistema hierro/silice, que consiste de nano partículas de hierro dispersados en silice, en el cual cambiando el tamaño y la fracción de volumen ocupada por el hierro, investigadores de la Universidad de John Hopkins, manifiestan haber cambiado las propiedades de conductividad eléctrica hasta en un orden de magnitud de 14 (13). Otro material, el carburo de cobalto y tungsteno nano estructural, es más duro que el convencional y se viene ensayando su aplicación en elementos de corte. Veamos ahora los Buckytubes, descubiertos por Iijima, que son esencialmente fullerenos estirados que constituyen nano tubos de carbono en una fase diferente al grafito y al diamante, cuyas aplicaciones vienen siendo estudiadas por la NEC y otras compañías transnacionales (17).

Se ha encontrado que los nano composites metal/metal también tienen propiedades mecánicas destacables. En efecto, ofrecen la posibilidad de una mejor aproximación a los valores teóricos, considerando que las aleaciones convencionales generalmente alcanzan 10 % menos del valor teórico.

Ciertamente, los nano componentes prometen ser la onda del futuro, conforme dijera el Lau-

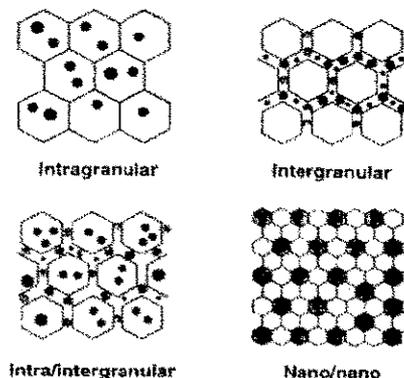


Figura 3. Capas de conformación de materiales nanofase.

reado Premio Nobel de Física Richard Feynman hace algo más de 35 años: Cuando los científicos hayan dominado los arreglos de la materia en una escala muy pequeña, ellos verán cómo los materiales toman una enorme variedad de propiedades de especial utilidad.

### Materiales Superconductores

En 1911, el holandés H. Kammerlingh Onnes, descubrió el fenómeno de superconductividad, cuando probó que el mercurio no ofrecía resistencia al paso de la corriente eléctrica a la temperatura de 4.15 K. Esta temperatura fue conocida como la temperatura de transición del mercurio (4,13,15).

Meissner y Ochsenfeld en 1933 (18), demostraron experimentalmente la expulsión de un flujo magnético de un superconductor, fenómeno conocido como efecto Meissner, que puede ser demostrado soltando un superconductor sobre un imán, y ver que éste permanece suspendido en el aire, como se puede observar en la **Figura 4**.

Hubo de pasar casi 75 años desde el descubrimiento de Onnes, para que Bednorz y Muller del laboratorio de la IBM en Zurich descubrieran un material superconductor a 35 K en 1985, despertando con ello un inusitado interés de los gobiernos de varias partes del mundo, en especial de los Estados Unidos y el Japón, que destinaron importantes recursos financieros para patrocinar investigaciones en procura de obtener un material superconductor a temperatura ambiental. La realidad, sin embargo, demostró que el problema no es de fácil solución. Pese a ello, cabe mencionar que el mundo ha presenciado avances espectaculares en

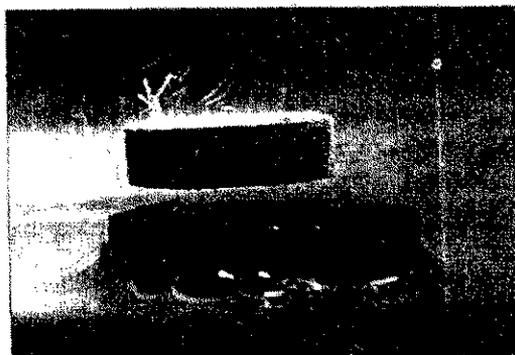
la búsqueda de los superconductores de alta temperatura. Así, Chu y colaboradores de la Universidad de Houston, Texas, encontraron un superconductor a 98 °K en 1986, sentando las bases termodinámicas para las investigaciones en este campo. A la fecha se reportan superconductores cerámicos a temperaturas de hasta 135 °K (4,15).

El descubrimiento de un material superconductor a condiciones ambientales sería sin duda un logro científico mayor, considerando la enorme repercusión que tendría sus aplicaciones en la fabricación de líneas de transmisión, trenes levitados, antenas y circuitos integrados de muy alta frecuencia, resonadores, etc. Los retos tecnológicos para el uso de un material de ésta naturaleza conducen a la generación de películas delgadas o bloques monolíticos. También se han usado técnicas sol-gel con este propósito empleando  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (13).

### Políticas Nacionales en la Investigación de Materiales

Antes del fin de la guerra fría, el sector académico e industrial de muchos países ya habían percibido la necesidad de crear unidades dedicadas a la investigación y desarrollo de nuevos materiales, impulsado por el requerimiento de materiales de la propia industria química, la industria bélica, los proyectos estratégicos y otras áreas de aplicación.

En la actualidad prácticamente todos los países desarrollados han identificado la enorme importancia de este campo para mantener la competitividad de sus empresas, tal el caso del Japón y los Estados Unidos de



**Figura 4.** Vista de un superconductor levitado

Norteamérica, donde la investigación de nuevos materiales es una prioridad nacional. En el caso de los países subdesarrollados, aquellos gobiernos que estimulan la investigación de nuevos materiales, destinando para ello importantes recursos financieros, parecen haber identificado la importancia estratégica de este campo para el futuro de un país.

La naturaleza multidisciplinaria de la ciencia e ingeniería de materiales y la variedad de aplicaciones de los productos, constituyen un campo de convergencia de muchas profesiones, en un mundo que es cada vez más globalizado, cuyo paradigma premia los productos intensivos en conocimientos. Bajo esta perspectiva se vislumbra que las materias primas tradicionales tendrán cada vez menor valor y eventualmente serán prescindibles para nuevas aplicaciones.

En el futuro los materiales avanzados tendrán todavía mayor impacto, citemos por ejemplo la producción de barcos insensibles a la corrosión, aviones comerciales supersónicos, trenes de alta velocidad «soportado» sobre rieles de superconductores, líneas de transmisión de alta eficiencia, celdas fotovoltaicas más eficientes y económicas, producción de biomateriales tales como tejidos artificiales, huesos artificiales, arterias artificiales, sangre sintética, materiales con memoria, puentes fabricados con cuerdas de fibra de carbono más resistentes que el acero, etc.

Ante este panorama cabe preguntarse ¿qué debemos hacer para no perder el «tren de los materiales»?

### Bibliografía

- (1) Piggott M.R. Load Bearing Fibre Composites-Canada, 1987.
- (2) CEE Procesos de Fabricación de Materiales Compuestos, CYTED, 1994.
- (3) Crivelli Visconti I. Curso Taller de Plásticos Reforzados. Proyecto de Monitoreo de Nuevas Tecnologías, Lima, Perú 1995.
- (4) Lawler J.H. Memorias Curso Internacional de Composites y Materiales Avanzados Lima Perú 1995.
- (5) Hancox N.L. Fibre Composite Hybrid Materiales. Mac Millan Canadá, 1981.
- (6) Rheology of Polymer Composites-Part 1-6. ICE, 34 (1), 97(1994)
- (7) Forester Tom. The Materials Revolution MIT press, USA, 1988.
- (8) Mohr G. And others. Technology and Engineering of Plastics/Composites. Van Nostrand Reinhold Company and Edit., 1975.
- (9) Callister Jr.W. Materials Science and Engineering .Edit, John Wiley & Sons-1991.
- (10) Scientific American. Life in the Universe Oct. 1994. USA.
- (11) Chemical Engineering Progress.New Materials AIChE publication, April 1989,USA
- (12) Scientific American, East Side Story: The Origen of Humankind-May 1994. USA.
- (13) C&EN Chemical & Engineering News. Nanostrured Materials. 23(1992)
- (14) Scientific American, The Large Structure of the Universe, October 1983, USA.
- (15) Desarrollo Regional.Superconductores América Latina, Vol 34 Nro. 6. Impreso en Singapur, Agosto 1986
- (16) Lawler J. (1988) On the Natural and Synthetic Composites. Int. Comm.P.G. Dallas.
- (17) Chemical Engineering Progress-The Aerospace Speciality Alloys in the CPI Plant, AIChE Publication, May 1995, USA.
- (18) Scientific American. The Promise of Diamond Semiconductors-Oct. 1992, USA.
- (19) Meissner W. Ochsenfeld R. Ein Neuer Effekt Bei Der Supralaitfähigkeit, Natuwissenschaften, 21, 787(1933)
- (20) Palomino A., Lawler J. (1993). Memorias del Curso Internacional de Materiales Avanzados. UNMSM Lima Perú
- (21) Palomino A. (1993). Memorias del Curso Internacional de Plásticos Reforzados. CONCYTEC, UNMSM - Lima Perú
- (22) Perez, L. (1990). Los Nuevos Materiales, Síntesis y Aplicaciones. Curso Internacional de Materiales, La Habana Cuba.
- (23) Castaño V. Los Biomateriales y su Formulación. Int. Journal de Materiales, 42(1933)