

IV. LOS MATERIALES HOY

LA INVESTIGACION sobre materiales es en nuestros días una de las disciplinas más cultivadas. En este libro he querido hacer énfasis en el aspecto social que presenta la ciencia-ingeniería de materiales. A lo largo del mismo se ha comentado con insistencia que en la actualidad la ciencia-ingeniería de materiales se enfoca a la satisfacción de las demandas de la humanidad mediante la creación de materiales hechos a la medida. Consecuentemente, el estado actual de la investigación atiende tanto a necesidades de la humanidad de orden muy general como a requerimientos muy particulares de ciertas comunidades.

En el primer caso se obtienen resultados universalmente aplicables y en el segundo soluciones de importancia local y que pudieran tener poco sentido para otra comunidad.

Son muchos los ejemplos útiles para dar un panorama general sobre el estado actual y las perspectivas de la ciencia-ingeniería de materiales. De entre ellos he escogido tres temas de gran relevancia a nivel mundial y que actualmente se desarrollan con muy buen éxito en los laboratorios del Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIM-UNAM) .

ALEACIONES CON MEMORIA DE FORMA

La primera vez que uno escucha que un pedazo de material ha "aprendido" algo, no puede menos que prepararse a escuchar algún cuento tradicional o de ciencia ficción en el que los objetos inanimados se mueven por sí solos, hablan y aprenden. La disposición a escuchar la fantasía se incrementa cuando se nos afirma que, una vez que el material ha aprendido algo, es capaz de recordarlo. Sin embargo, nuestra curiosidad por dicha narración se convierte en curiosidad científica cuando podemos presenciar el experimento siguiente: Una cinta de material similar al latón, en forma de semicírculo, se aproxima a una flama. Pronto empieza a enderezarse hasta tomar la forma de una regla, es decir, ahora está recta. A continuación se le sumerge en un vaso que contiene agua y súbitamente se curva para tomar su forma inicial de semicírculo. El experimento se repite una y otra vez, y la cinta invariablemente "recuerda" que cuando está en presencia de una flama (60°C) debe estar recta, y que cuando está expuesta al ambiente (20°C) debe tomar la forma de semicírculo.

Si ahora se nos preguntase el nombre que le asignaríamos a tan sorprendente fenómeno, estoy seguro que el más apropiado sería: memoria de forma doble", pues el material guarda memoria de las formas que debe adoptar cuando se encuentre a dos temperaturas bien determinadas. ¿Qué es lo que provoca que el material se comporte de esta manera?

Microscópicamente, el llamado efecto memoria de forma consiste en el desplazamiento de los átomos en ciertas aleaciones cuando éstas se enfrían bruscamente. Técnicamente se trata de un cambio de fase denominado transformación martensítica, de la cual ya se habló en este libro al tratar el "misterio" de los aceros de Damasco. Cuando hablamos sobre ellos, mencionamos como responsable de su dureza a un proceso de transformación de una fase estable a alta temperatura (austenítica) a otra fase, generalmente metaestable, llamada martensítica, que ocurre como consecuencia del enfriamiento brusco. Esta transformación tiene la particularidad de llevarse a efecto sin difusión, es decir, sin migración de moléculas. Lo que ocurre es simplemente un desplazamiento de átomos en forma organizada, de modo que la estructura cristalina se modifica.

Si bien fue el acero el primer material en el que se observó este tipo de transformación, no es el único en el que ocurre, y tal proceso cobra particular significación cuando se observa en aleaciones no ferrosas como níquel-titanio, en la que se traduce en el efecto memoria de forma. Además, en estas aleaciones es posible obtener la transformación martensítica no sólo mediante cambios de temperatura sino también por esfuerzo mecánico. Considérese, por ejemplo, una tira (plaqueta) de la aleación níquel-titanio en fase

austenítica (A) a la temperatura T_1 Figura 25 (a)). Mediante enfriamiento rápido pasamos la muestra a su fase martensítica (M) y tendremos la (Figura 25 (b)), en la que la tira tendrá la misma forma geométrica pero estará en una fase distinta (martensítica) y a temperatura T_2 . Si en esta fase y a la temperatura T_2 se aplica un esfuerzo creciente, la plaqueta se deformará en dos etapas: primero de manera elástica, para continuar deformándose por reorientación de granos de diferente orientación cristalográfica (Figuras 25 (c) y 25 (d)). En esta segunda etapa se llegan a obtener deformaciones hasta de un 10% sin que se inicie la deformación plástica del material. Al retirar el esfuerzo la muestra se encuentra en las condiciones siguientes: en fase martensítica, deformada en relación con su forma original, sin esfuerzo externo y a temperatura T_2 . Si ahora se eleva la temperatura de T_2 a T_1 , lo que ocurre es que la plaqueta regresa a su fase austenítica y recobra su forma original (Figura 25 (e)). Dicho de otra manera, el material recuerda la fase y forma que tenía a la temperatura T_1 , y de aquí el nombre de "memoria de forma simple".

Existe además el fenómeno de "memoria de forma doble", que consiste en que el material recuerda tanto la forma geométrica observada en la fase austenítica o fase a alta temperatura, como la de la fase martensítica o de baja temperatura, de tal modo que siempre que el material se encuentre a la temperatura T_1 tomará la forma que "aprendió" en tal condición y ocurrirá lo mismo a la temperatura T_2 .

En el cuadro 5 se muestran ejemplos de la gran variedad de aplicaciones que habrá de tener este fenómeno. (Este cuadro fue tomado del artículo "Aleaciones con memoria de forma" del doctor David Ríos Jara, aparecido en la revista *ICYT*, noviembre de 1987.)

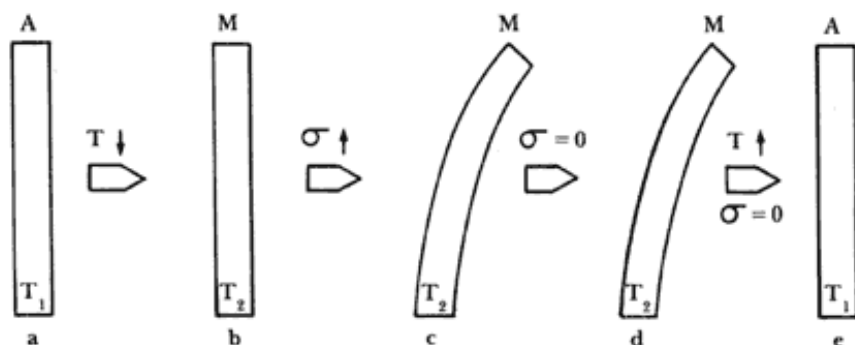


Figura 25.

Cuadro 5. Aplicaciones tecnológicas de las aleaciones con memoria de forma.

<i>Aplicación</i>	<i>Aleación (es)</i>	<i>Observaciones</i>
-------------------	------------------------	----------------------

EFFECTO MEMORIA DE FORMA SIMPLE

Fusibles térmicos	Cu-Zn-Al	Rearmables
	Cu-Zn-Ni	Rearmables
Detectores y accionadores de dispositivos de control térmico (alambres contra incendios, por ejemplo)	Cu-Zn-Al	El elemento con memoria de forma puede efectuar las dos funciones al mismo tiempo
	Cu-Al-Ni	
Detectores de calentamiento excesivo de celdas en cuñas electrolíticas	Cu-Zn-Al	Elimina la detección manual
	Cu-Al-Ni	
Anillos de ensamblaje rápido de tubería	Cu-Zn-Al	Elimina la necesidad de soldadura en tubería submarina (Ti-Ni). Procesos económicos
	Cu-Al-Ni	
Barras de tratamiento de escoliosis severas (desviaciones de la columna vertebral)	Ti-Ni	Implantable en el cuerpo humano Aleación inerte

Grapas para ligadura de Trompas de Falopio	Ti-Ni	Contracepción
Dispositivos diversos para ortopedia	Ti-Ni	Aleación inerte. Buena resistencia mecánica
Antenas autodesplegables para satélites	Ti-Ni	Ya han sido utilizadas

DOBLE EFECTO MEMORIA DE FORMA SIMPLE

Controles térmicos de flujo de agua o gas	Cu-Zn-Al Cu-Al-Ni	Válvulas térmicas
Relevadores térmicos	Cu-Zn-Al Cu-Al-Ni	No necesitan ser rearmables
Motores de estado sólido	Cu-Zn-Al Cu-Al-Ni	De baja eficiencia pero económicos y de mantenimiento simple

Alambres para guías de fibras ópticas

Ti-Ni

Ayudan a la introducción de una fibra óptica en el interior del cuerpo humano

Sistemas de abertura automática de aereación

Cu-Zn-Al

Invernaderos, automóviles, etc.

Cu-Al-Ni

PSEUDOELASTICIDAD

Resortes con geometrías diversas

Cu-Zn-Al

Aplicaciones de alta tenacidad

Cu-Al-Ni

AMORTIGUAMIENTO

Partes de aviones y automóviles

Cu-Zn-Al

Se han usado también en cohetes militares

Cu-Al-Ni

Sistemas de reducción de ruido

Cu-Zn-Al

Cubren el espectro audible

Cu-Al-Ni

BIOMATERIALES

La pérdida de un miembro o parte del organismo es sin duda alguna uno de los eventos que más ha preocupado a la humanidad desde siempre. Consecuentemente, son muchos los esfuerzos que ésta ha hecho para remediar estas pérdidas, desarrollando implantes o prótesis como medios correctivos sustitutos del miembro natural. Los materiales más apropiados para estas funciones han tenido que investigarse en términos no sólo de la función que habrán de realizar sino del medio en el que estarán y de su interrelación con el resto del organismo.

La ciencia médica ha conseguido con éxito el trasplante de órganos, sustituyendo el órgano dañado por otro igual, perteneciente a otra persona. La ciencia de materiales, por su parte, ha hecho posible la sustitución de elementos vivos por elementos artificiales y así es como hemos oído hablar —o la hemos experimentado— de la implantación de un pedazo de hidroxiapatita en sustitución de un hueso o de la colocación de una válvula cardíaca construida con titanio y nylon en vez de una válvula "original". Esta rama de la ciencia-ingeniería de materiales que se ha desarrollado en apoyo directo a la vida recibe en nuestros días una gran atención a nivel mundial. El cuadro 6 muestra en forma resumida algunos de los dispositivos para implantes que actualmente están en proceso de prueba para su aplicación real, o tienen ya un uso generalizado.

En México, esta rama de la ciencia-ingeniería de materiales no se ha desarrollado en forma organizada, si bien los esfuerzos aislados de algunos laboratorios y de investigadores independientes han logrado ciertos éxitos.

Cuadro 6. Dispositivos de implante en uso o probados, su función y los biomateriales empleados.

<i>Dispositivo</i>	<i>Función</i>	<i>Biomaterial</i>
Humor artificial vítreo	Llenar la cavidad vítreo del ojo	Esponja de silicón teflón: poligliceril metacrilato (PGMA)
Prótesis de córnea	Proporciona una vía óptica a la retina	Polimetil metacrilato (PMMA); hidrogel

Lentes intraoculares	Corregir problemas causados por cataratas	PMMA (lentes); nylon, polipropileno, Pt, Ti, Au (aros)
Ducto artificial del saco lagrimal	Corregir la obstrucción crónica	PMMA
Trompa de Eustaquio artificial	Propiciar tránsito de ventilación pura	Goma elástica de silicón, teflón
Tubulación nerviosa	Poner en línea recta diversos nervios	Membrana de silicón, metales quirúrgicos porosos
Prótesis oído medio	Reemplazar huesos dañados del oído medio	PMMA; hilo metálico; proplast (PTEE+fibra de carbón); biovidrio
Guías percutáneas	Conducir potencia o electricidad a dispositivos sensoriales	Nylon o dacrón terciopelado, PMMA

Prótesis
auditivas,
prótesis visuales

Restauración de
oído y visión

Alambres y
electrodos de Pt y Pt-
Ir; electrodos de Ta-
Ta₂O₅, acero
inoxidable, goma
elástica de silicón;
PMMA

Analgesia
eléctrica

Eliminar dolor
crónico

Alambres y
electrodos de Pt y Pt-
Ir; electrodos de Ta-
Ta₂O₅, acero
inoxidable, goma
elástica de silicón;
PMMA

Control eléctrico
de ataque
epiléptico

Conducir señales
eléctricas al
cerebro

El mismo

Estimulación
frénica

Control de la
respiración
eléctricamente

El mismo

Control de vejiga

Estimular la
liberación de
lavejiga

El mismo

CORAZON Y SISTEMA CARDIOVASCULAR

Estimulación al miocardio y endocardio (marcapasos de corazón)

Mantener el ritmo cardiaco

Acero inoxidable, contenedores de Ti, goma elástica de silicón, cera epoxy encapsulada; electrodos de Pt o aleaciones Pt-Ir

Desviaciones crónicas y caréteres

Auxiliar en hemodiálisis

Polietileno, revestimientos hidrofílicos

Válvulas cardiacas

Reemplazar válvulas enfermas

Aleaciones Co-Cr; carbón isotrópico a baja temperatura, injertos porcinos; aleaciones de Ti con silastic o discos de carbón pirolítico

Prótesis arteriales y vasculares; componentes artificiales del corazón; dispositivos auxiliares del corazón

Reemplazar arterias dañadas y vasos sanguíneos; reemplazar el corazón

Segmentos de poliuretano, goma elástica de silicón o ejes de carbón pirolítico con mallas de dacrón; heparina +GBH o TGBH revestimientos sobre teflón o goma elástica de silicón; PHEMA revestidas con polímeros; dacrón terciopelado, fieltros y tejidos; tejidos de poliolefinas (TP), TP con superficie de gelatina enlazada transversal; tan sólo teflón (PTFE)

REPARAR Y REEMPLAZAR EL ESQUELETO

Cadera total artificial, rodilla, hombro, codo, carpo, etc.

Reconstrucción artroscópica o fractura de articulaciones

Vástagos: acero inoxidable 316L; aleaciones Ti-Al-V; aleaciones ahuecadas de Co- Cr- Mo-Ni; polietileno de alta densidad; "cemento" PMMA; alúmina de baja densidad; polímero poliacetal; recubrimientos de metal-carbón pirolítico; recubrimiento de metal-biovidrio; politetrafluoroetileno poroso (PTFE); recubrimientos de PTFE-carbón sobre metal; fibras de PMMA-carbón, polvos compuestos de PMMA-cervital; acero inoxidable poroso; Co-Cr; Ti y aleaciones de Ti

Placas de hueso, tornillos, alambre

Reparar fracturas

Acero inoxidable 316L; aleaciones Co-Cr; Ti y aleaciones de Ti; fibra compuesta de polisulfona-carbón; fibra compuesta de biovidrio-metal; compuesto de ácido poliláctico-ácido poliglicólico

Clavos
intramedulares

Alinear fracturas

El mismo

Varillas
Harrington

Corregir la
curvatura
crónica de la
espina

El mismo

Miembros del
cuerpo
artificiales
implantados
permanentemente

Reemplazar
extremidades
perdidas

El mismo, además
de nylon o dacrón
terciopelados sobre
silastic para tejido
suave con
crecimiento interno

Separadores y
extensores
vertebrales

Corregir
deformidades
congénitas

Al_2O_3

Fusión espinal

Inmovilizar
vértebras para
proteger la
médula espinal

Biovidrio

Estimulación
funcional
neuromuscular

Controlar
músculos
eléctricamente

Electrodos de Pt, Pt-
Ir; silicón;
aislamiento de teflón

DENTAL

Reposición de hueso alveolar, reconstrucción mandibular

Restaurar el soporte alveolar para mejorar la dentadura adecuada

PTFE carbón compuesto (proplast); Al_2O_3 poroso; cervical; HEMA hidrogel-relleno, apatita porosa; fosfato tricálcico; copolímero PLA/PGA; biovidrio, apatita densa

Implantes de reemplazo de dientes (aletas, anclas, espirales, cilindros en forma natural o con base modificada)

Reemplazar dientes enfermos, lesionados o no existentes

Acero inoxidable, aleaciones Co-Cr-Mo, Ti y aleaciones de Ti Al_2O_3 , biovidrio, carbón LTI, PMMA, proplast, aluminato de calcio poroso, mineral de $MgAl_2O_4$, carbono vítreo, hidroxiapatita densa

Implantes de reemplazo o de dientes subperiósticos

Soportar el puente de trabajo o directamente dientes sobre el hueso alveolar

Acero inoxidable, aleación de Co-Cr-Mo, recubrimientos de carbón LTI

Anclas ortodónticas

Proporcionar postes para la aplicación del esfuerzo requerido para cambiar deformidades

Biovidrio bañado de Al_2O_3 ; biovidrio bañado de Vittalium

PROTESIS PARA RELLENO DE TEJIDO BLANDO

Contorno de cara y prótesis de relleno (nariz, oreja, mejilla)

Reemplazar tejido enfermo, traumatizado o con tumores

Goma elástica de silicón (silastic), polietileno, PTFE, silicón fluido, fluido de colágeno disuelto

Prótesis mamarias

Reemplazar o aumentar el seno

Gel y goma elástica de silicón, tejido de dacrón, esponja hydrón

Huesos para defectos craneales y prótesis de reconstrucción máxilofacial

Rellenar defectos

Resina acrílica curada-uniforme; acero inoxidable, aleación Co-Cr, lámina de Ta, polietileno y uretano poliéster cubierto de tereftalato de poloetileno recubierto de malla tejida

Cartílago articular artificial

Reemplazar los cartílagos deteriorados por artritis

Hodrogel PVA cristalizado y polímeros de poliuretano; PTFE con fibras de grafito (proplast)

MISCELANEA DE TEJIDO SUAVE

Uretra, vejiga y pared intestinal artificiales	Reemplazar tejido dañado	Teflón, nylon-poliuretano compuesto; pericardio tratado de bovino; banda elástica de silicón
Piel artificial	Tratamiento en quemaduras severas	Colágeno procesado; membrana de silicón ultradelgada de espuma de policaprolactona (PCA); película PCA compuesta
Desviación hidrocefálica	Propiciar el drenaje y reducir la presión	Cinta elástica de silicón
Parches suaves	Reparar hernias	Acero inoxidable, malla de dacrón
Desviaciones internas	Propiciar el acceso rutinario a las unidades de diálisis	Colágeno modificado; silastic
Desviaciones externas	Propiciar el acceso rutinario para diálisis	Silastic-teflón o dacrón

Suturas	Mantener el contacto suave para ayudar a la cicatrización	Acero inoxidable, cera, nylon, PGA, dacrón, cuerda de tripa, polipropileno
Sistemas de liberación de drogas	Reemplazar drogas progresivamente; inmovilizar enzimas	Cinta elástica de silicón, hidrogels de copolímero etileno-acetato de vinilo; PLA/PGA polisacáridos-polímeros de vinil
Tráquea artificial	Reconstrucción de la tráquea	Malla de dacrón poroso-poliéster uretano, malla de Ta, esponja Ivalon y malla de polipropileno

Tal es el caso de la producción de prótesis mamarias para uso externo, cuyo proceso fue desarrollado en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM ante los requerimientos presentados por el Grupo RETO, A. C., como parte de su programa de rehabilitación física y psicológica de mujeres con mastectomía (extirpación del seno por tumor canceroso). Desafortunadamente, el número de mujeres en México que tiene que sujetarse a una cirugía de esta naturaleza alcanza la cifra de 5 000 a 6 000 por año.

En este tipo de cirugía, aparte del daño físico resultado de la propia operación, se presenta un daño psíquico severo que impone la necesidad del uso de una prótesis. Los precios de éstas son lo suficientemente elevados como para quedar fuera del alcance de ciertos estratos socio económicos.

En la actualidad, a nivel mundial, existen prótesis mamarias tanto para uso interno como externo. Las primeras, claro está, proporcionan una solución más de fondo, y son el resultado de una tecnología más avanzada tanto de materiales como desde el punto de vista médico, y por consiguiente, tienen un precio más elevado que las segundas. Éstas, por su parte, observan características en cierta manera opuestas, lo que representa enormes ventajas económico-sociales.

La figura 26 muestra los moldes que fueron diseñados y construidos para obtener los prototipos de la prótesis de uso externo y la prótesis misma, la cual es de poliuretano espumado.

Además de este tipo de prótesis, y como resultado de crecientes investigaciones sobre los materiales, se

ha seguido trabajando en forma multi e interdisciplinaria en la obtención de prótesis y dispositivos internos a base de silicón para el tratamiento de enfermedades muy diversas.

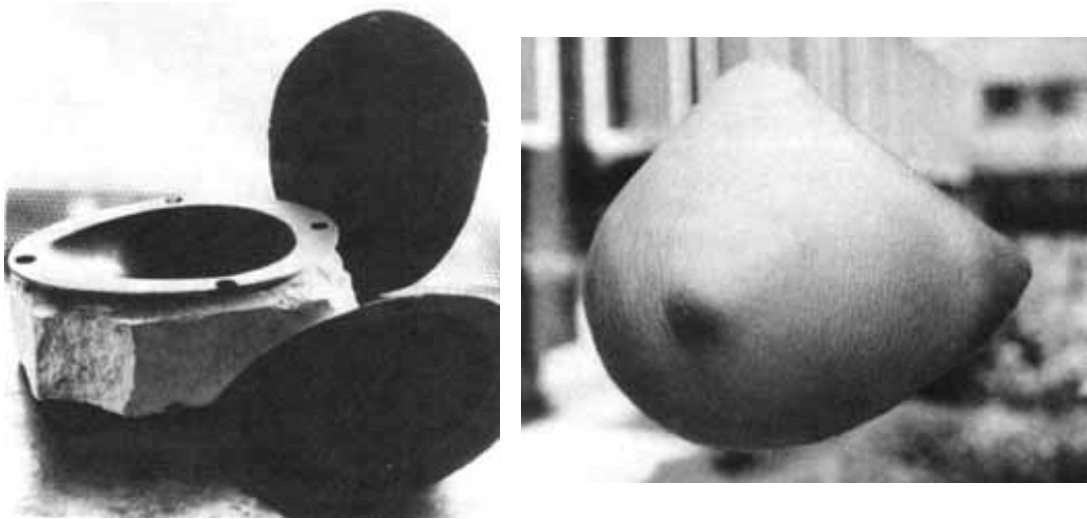


Figura 26.

LOS SUPERCONDUCTORES "CALIENTES"

Durante el proceso de elaboración de este libro, se dio a conocer el resultado de una investigación científica que ha conmocionado al mundo. Se trata de un fenómeno "viejo": la superconductividad (véase pp. 75-77 del volumen 3 de La Ciencia desde México) con un material "nuevo": las cerámicas. Lo que se ha obtenido son materiales cerámicos superconductores de alta temperatura de transición.

El "viejo" fenómeno de superconductividad (descubierto en 1911 por Heike Kamerlingh Onnes) se manifiesta fundamentalmente en dos hechos experimentales, a saber:

— Un material superconductor es aquel que, en una temperatura determinada, presenta una resistencia eléctrica igual a cero.

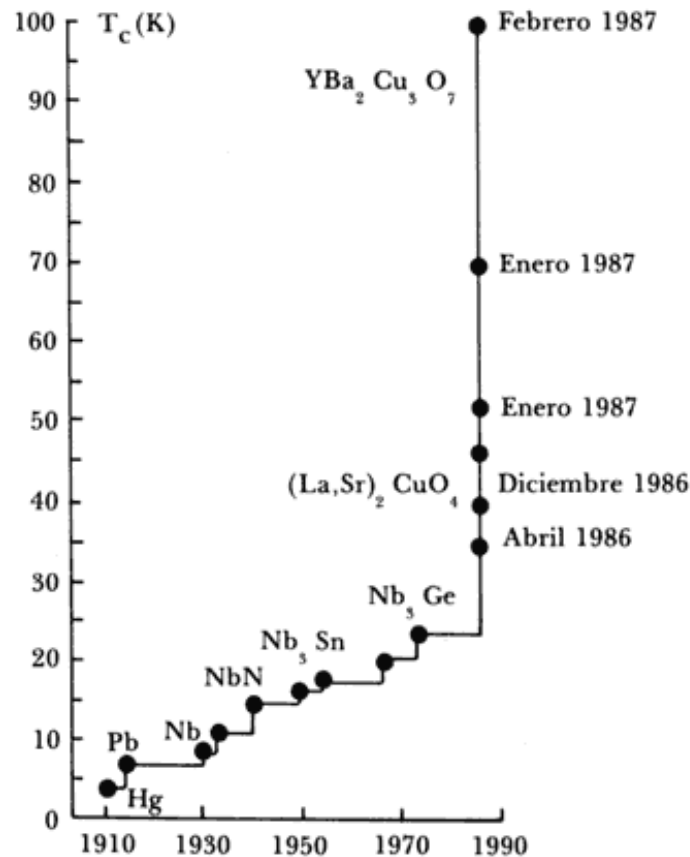
— En el estado superconductor el material se comporta como un diamagneto perfecto, es decir, se opone a que un campo magnético penetre en él (efecto Meissner).

Las temperaturas a las que se había observado este fenómeno eran, hasta 1986, menores a 24 K (249°C por debajo de la temperatura de congelación del agua), lo cual representaba enormes dificultades tanto para observarlo como para utilizarlo en aplicaciones prácticas a costos razonables, ya que la única manera de alcanzar tan bajas temperaturas es mediante helio líquido, que exige una tecnología muy sofisticada tanto para obtenerlo como para manejarlo.

Así pues, aunque las posibles aplicaciones de la superconductividad fueron advertidas desde el descubrimiento mismo del fenómeno, su utilización se veía muy remota, y quedó como gran reto para la ciencia de los materiales y como gran demanda de la humanidad el encontrar materiales superconductores a temperatura lo más alta posible, incluso a la temperatura ambiente.

En su intento por satisfacer esta demanda, la humanidad ha dado los pasos que se muestran en la gráfica 1, en la que es fácil observar que en 64 años (de 1911 a 1973) se logró un incremento de tan sólo 20 grados (de 4.2 K a 23.4 K), mientras que, tan sólo en 13 años (1973 a 1986), se logró un incremento de

aproximadamente 67 grados! El avance ha sido enorme, espectacular, sobre todo si se toma en consideración que ahora sólo se requiere enfriar el material a la temperatura del nitrógeno líquido (-196°C) para obtener una resistencia igual a cero en el material, así como expulsión del campo magnético.



Gráfica 1.

Por otra parte, no deja de llamar la atención que los materiales que ahora se conocen como "de alta temperatura de transición" son materiales cerámicos, los cuales tradicionalmente se han venido utilizando como aislantes. ¿No son acaso de porcelana los aislantes utilizados en las líneas de alta tensión? ¿Y no es la porcelana una cerámica?

Los mecanismos responsables del fenómeno de superconductividad en estos nuevos materiales no han sido hasta la fecha debidamente dilucidados, y con toda seguridad habrán de llevarse a cabo muchas investigaciones para explicar lo que está ocurriendo en estas cerámicas superconductoras a alta temperatura. Ya se vislumbra que los mecanismos no son idénticos a los que dan lugar a la superconductividad de baja temperatura, y la cantidad de preguntas que están surgiendo en torno a este nuevo fenómeno es enorme: ¿Será posible encontrar otros materiales que sean superconductores a temperaturas más elevadas? ¿Serán éstos los superconductores supercalientes? ¿Será acaso posible llegar a temperatura ambiente? Las aplicaciones que se suponían posibles cuando el fenómeno sólo se observaba a baja temperatura, ¿seguirán como expectativas válidas para estos nuevos superconductores?

En nuestro país se realizan investigaciones tendientes a proporcionar las respuestas a estas preguntas. La figura 27 muestra la levitación magnética producida por el efecto Meissner. Los superconductores que

aparecen en la fotografía son cerámicas de $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$, elaboradas en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM.

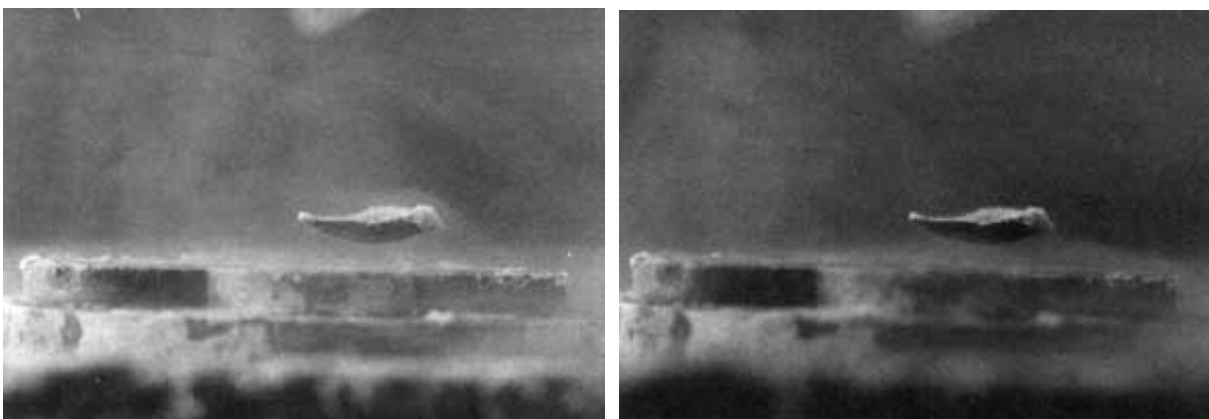


Figura 27.

