

BIOMATERIALES I.

Clasificación de los Materiales

F. Climent Montoliu

Académico Numerario.

Prof. Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica.

Universidad de Barcelona.

SUMARIO

Los Biomateriales se pueden considerar como la mayor revolución terapéutica médica de los últimos treinta años y aunque en principio se utilizaron para situaciones críticas de los pacientes en la actualidad su uso concierne a campos tan amplios en su utilización clínica que pueden ir desde la rehabilitación y el bienestar, hasta la conveniencia sanitaria y la estética.

Este trabajo pretende estudiar la realidad actual de los Biomateriales o materiales de aplicación médica. Para ello trataremos en una primera parte, la clasificación y propiedades más destacadas de los diferentes materiales existentes, para extendernos en otros artículos de las características de los mismos bajo el aspecto específico aplicativo en medicina.

INTRODUCCION

Sabemos que cuando se plantea la necesidad de reemplazar una parte del cuerpo humano, muchos médicos desecharían la utilización de un sustituto artificial en favor del trasplante de un tejido compatible de donante humano. Sin embargo, la realización de un trasplante no se cuenta siempre entre las opciones posibles.

Para paliar en parte la necesidad de injertos vivos, la investigación científica y tecnológica está dirigida en el de-

sarrollo de órganos y tejidos artificiales. Entre los factores que han contribuido al éxito en este sentido citemos el gran impulso en la investigación sobre biomateriales, sustancias no farmacológicas apropiadas para su inclusión en sistemas que potencian o sustituyen las funciones de los órganos y tejidos corporales.

Los biomateriales actuales se prestan a múltiples aplicaciones, desde la sustitución de lentes intraoculares hasta corazones artificiales. Nos limitaremos a citar con algunos ejemplos, sistemas médicos que se han beneficiado del desarrollo de los nuevos materiales, o de la aplicación de materiales originariamente destinados para usos ajenos a la medicina.

En un principio, la investigación se centró en el desarrollo de materiales con baja reactividad con los tejidos y que provocaban una reacción mínima. El comportamiento inerte constituye aún un objetivo para muchos propósitos, pero no hay nada totalmente inerte en el cuerpo. Más aún, se admite que no todas las reacciones entre los materiales extraños y el organismo son necesariamente perjudiciales. En cambio, se valora cada vez más algunos materiales muy interactivos. Por ejemplo, varios materiales de implantación forman enlaces químicos con el tejido circundante lo que estabiliza el

implante. Otros materiales los absorbe (es decir, se descomponen y se absorben) gradualmente el organismo cuando dejan de cumplir su finalidad inicial.

Un campo que se ha beneficiado notablemente de los avances de la ciencia de materiales es el del desarrollo de elementos reemplazables para el sistema cardiovascular.

En los últimos 30 años, las prótesis valvulares cardíacas han experimentado muchos cambios de diseño poniendo a prueba la biocompatibilidad y la duración de muchos materiales nuevos. Las primeras válvulas mecánicas se fabricaron con acero inoxidable y caucho de silicona; su duración era razonable, pero requerían un tratamiento anticoagulante para prevenir la formación de coágulos de sangre. Hacia los años 70 se introdujo un nuevo modelo: tejidos animales modificados químicamente. Recientemente se han fabricado válvulas con carbono pirolítico, para conferirles una sólida resistencia mecánica y mayor compatibilidad con la sangre.

Mientras que la mayoría de materiales para el sistema cardiovascular deben ser elásticos y compatibles con la sangre, los materiales utilizados para los implantes óseos tienen que ser rígidos y resistentes a la carga. Además, es deseable que los implantes óseos residan en el hueso, sin obstruir el proceso de remineralización, mecanismo éste mediante el cual el cuerpo repone el hueso.

Las prótesis metálicas constituyen, desde hace tiempo el pilar principal de ortopedas, traumatólogos y dentistas. Muchos de los implantes dentales, de articulaciones y de huesos contienen titanio o aleaciones de cromo y cobalto entre otras.

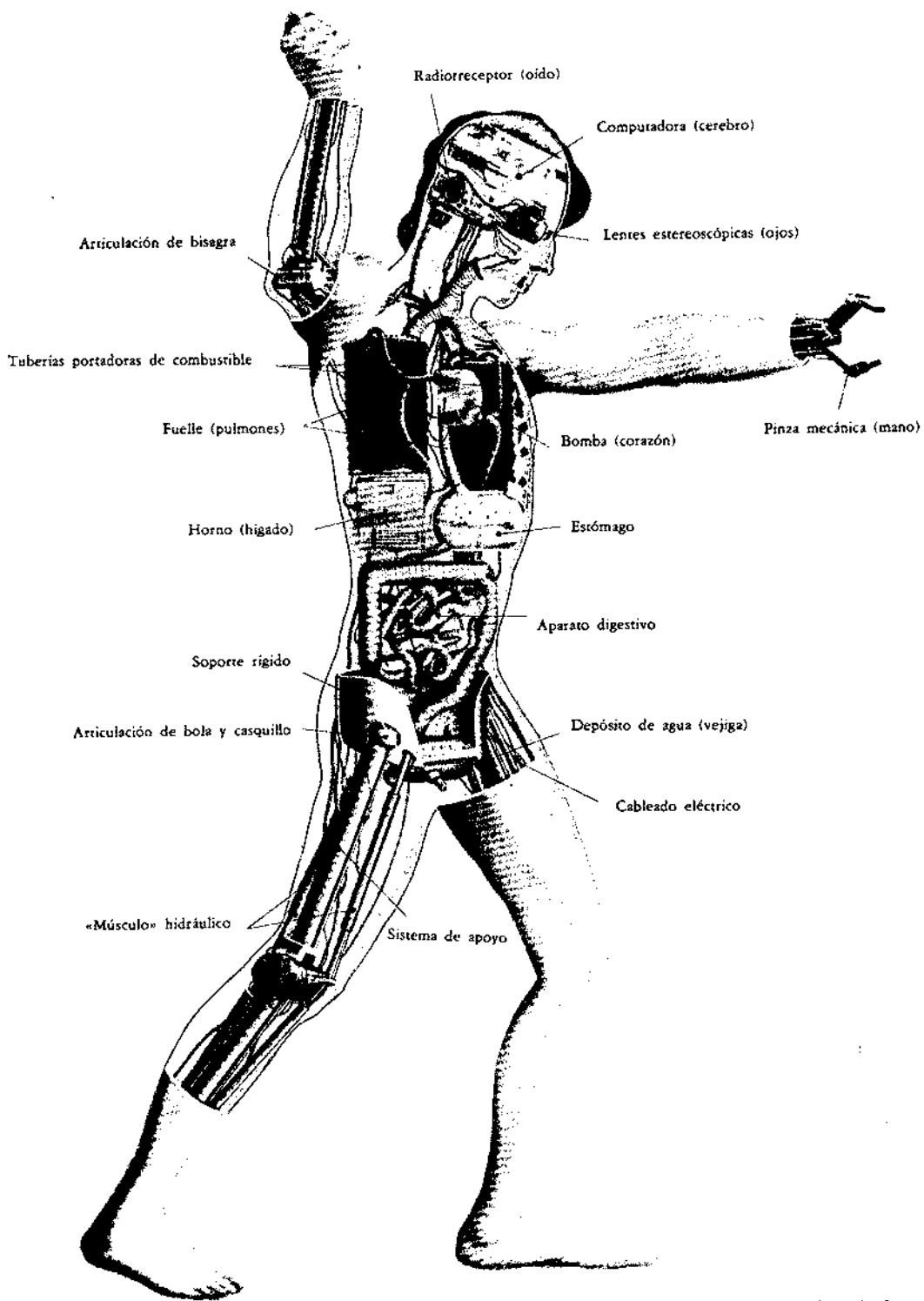
Se están utilizando igualmente polí-

meros reforzados con fibras fuertes de grafito; este tipo de implante parece transferir la carga al hueso inmediato, evitando una pérdida excesiva de tejido óseo. Se están desarrollando también distintos materiales cerámicos, vítreos y vitro-cerámicos, todos ellos "bioactivos" (interactivos), que forman enlaces químicos entre su superficie y el hueso adyacente estimulando la formación de hueso nuevo. En el futuro, los materiales cerámicos de fosfato de calcio quizá constituyan los sistemas sintéticos más bio-compatibles para la sustitución del tejido duro. Se ha comprobado que esos materiales cerámicos no provocan respuesta inflamatoria ni de rechazo por parte del organismo, se unen firmemente al hueso, al parecer mediante mecanismos de cementado normal y no dificultan la deposición natural de minerales en el hueso circundante.

En cuanto a las partes no óseas del sistema músculo-esquelético se han beneficiado igualmente de los avances registrados en los biomateriales. En particular nuevos materiales que mejoran la reparación de ligamentos y tendones, mediante fibras elásticas y resistentes que unen respectivamente, el hueso al hueso y el músculo al hueso o al músculo.

También para la piel humana se viene investigando desde hace tiempo materiales sintéticos, de especial importancia en el caso de personas que han sufrido quemaduras graves y de gran extensión.

Durante muchos años, los científicos han experimentado con sustitutos poliméricos de piel normal. Hasta hace poco, esos sustitutos no podían impedir la aparición de infecciones y estaban sujetos a reacciones de rechazo. Sin embargo, en los últimos años varios laboratorios han producido nue-



(Foto procedente "El libro de la Salud" Editorial Kairós, S.A.)

vos materiales con resultados muy positivos en la sustitución de la piel.

Las técnicas utilizadas en la producción de sustitutos de la piel pueden servir de modelo para sintetizar otros tejidos. A este propósito se ha fabricado además de piel, una glándula tiroidea sintética e igualmente el páncreas endocrino artificial se encuentra en una fase de desarrollo muy avanzado.

Una transformación física tan alegada en principio de la medicina como son las reacciones en estado sólido van a tener una gran importancia clínica. Nos referimos a las aleaciones con memoria de forma (cambios de fase cristalina como consecuencia de variaciones de ordenación atómica del material en función de la temperatura).

Una aplicación actual de estas reacciones en el campo de las prótesis que permiten suplir complicadas grapas y aparatos dentales por ejemplo, que se tienen que implantar para reparar roturas introduciendo la pieza construida con el material de características adecuadas de memoria, para contraerse al adaptarse a la temperatura del cuerpo.

La obtención de materiales apropiados para los sistemas médicos está siendo por tanto producto de una extensa colaboración interdisciplinaria entre investigadores en Ciencia de Materiales, Bioingeniería, Medicina Clínica y diversas disciplinas básicas. El trabajo se dirige hacia el desarrollo de implantaciones y otros dispositivos que posibiliten la resolución de problemas médicos de índole crónico o incapacitadora.

CLASIFICACION DE LOS MATERIALES

Toda clasificación es subjetiva a la finalidad que se pretende de lo que se debe clasificar, en el caso de los mate-

riales nuestro objetivo está en la vertiente aplicativa de los mismos y muy específicamente en medicina.

El término de Biomaterial es usado para designar aquellos materiales extraños de origen natural o artificial que se implanten a un organismo vivo con la finalidad de restaurar morfológicamente y funcionalmente tejidos u órganos alterados por traumatismos, malformaciones o enfermedades degenerativas.

Los materiales los clasificaremos teniendo en cuenta un doble punto de vista, apartir de consideraciones intrínsecas según el enlace atómico y también, como consecuencia del uso y por tanto de las propiedades que presentan en general. Según el enlace atómico la clasificación será según sean de, **enlace iónico**, que es el que se establece entre iones o sea átomos cargados positiva o negativamente, los iones con cargas opuestas sufren fuerzas de atracción mutua. **Enlace covalente**, en este caso cada pareja de átomos comparte sus electrones externos para llenar la última capa o nivel electrónico. **Enlace metálico**, los electrones de las capas exteriores que permanecen semilibres son compartidos por todos los átomos moviéndose a través de la red cristalina, constituyen los llamados electrones de conducción. **Enlace de Van der Waals**, consistente en fuerzas de atracción pequeñas entre moléculas o átomos neutros y próximos. El débil **enlace por puentes de hidrógeno**, está mediado por un átomo de hidrógeno que es compartido por dos moléculas.

No obstante debemos puntualizar que en la mayoría de los materiales se dan alguna combinación de estos enlaces.

Los materiales los podemos clasificar igualmente según sus característi-

cas en metálicos, cerámicos, polímeros y compuestos.

Materiales Metálicos: Son sustancias inorgánicas que están formados por uno o más elementos metálicos, pudiendo contener también algunos no metálicos como por ejemplo Carbono, Nitrógeno, Oxígeno, etc. Los metales tienen una estructura cristalina en la que los átomos están dispuestos de manera ordenada como consecuencia de su enlace atómico de tipo metálico.

Como características generales, presentan buenas conductividades térmicas y eléctricas, relativa alta resistencia mecánica, elevada rigidez, ductilidad o conformabilidad y resistencia al impacto. Los metales son particularmente útiles en aplicaciones estructurales o de carga. Ocasionalmente se utilizan en forma elemental aunque se prefiere normalmente el empleo de sus combinaciones denominados aleaciones con el fin de mejorar ciertas propiedades. Los metales y aleaciones suelen dividirse en dos clases, en ferrosos cuando el constituyente principal es el hierro e incluye las ferritas, los aceros y las fundiciones, y en aleaciones no ferreas que son los que carecen de hierro o solo lo contienen en cantidades relativamente pequeñas.

Materiales ferreos, su clasificación depende del contenido de carbono que presente el hierro.

Las ferritas son practicamente hierro puro, sus propiedades mecánicas salvo la plasticidad son poco interesantes sus principales aplicaciones están en la micro-electrónica y muy particularmente por las propiedades ferromagnéticas que presentan.

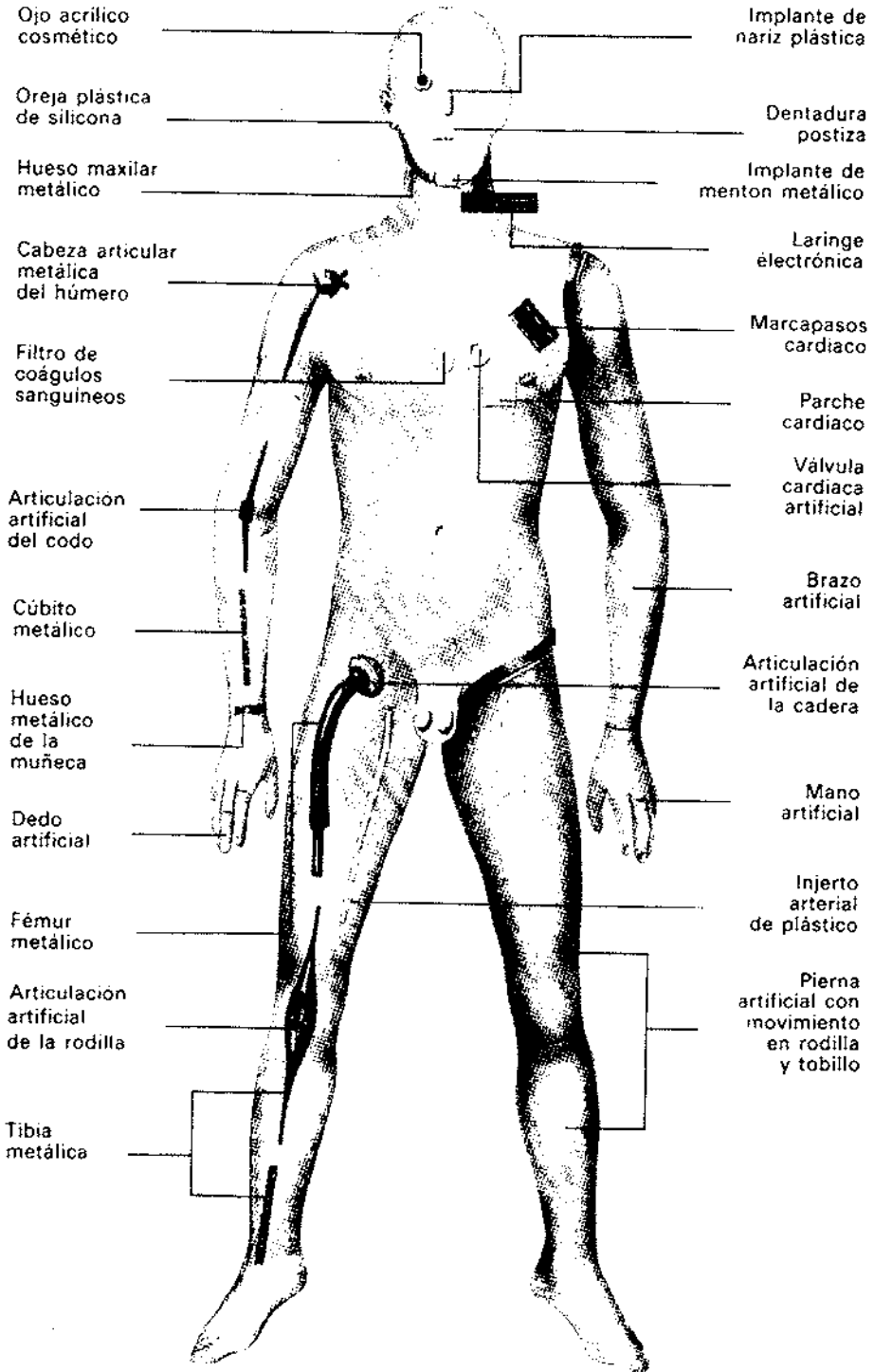
Los aceros constituyen cualitativa y cuantitativamente el mayor volumen de todos los metales que se usan. Existen una ingente variedad en función

del carbono que contienen que puede ir del 0,1% al 1,5% y de los elementos de aleación que se añaden en su formación.

Por su selectividad los aceros aleados son los que presentan mejores propiedades generales y por tanto una más amplia especificidad en sus aplicaciones. Solo citaremos a título informativo las propiedades que más se potencian en los aceros aleados según los efectos de la adición de los elementos de aleación: **Aluminio**, es un desoxidante eficaz; **Cromo**, aumenta las características mecánicas a altas temperaturas, aumenta la resistencia a la oxidación y a la corrosión, aumenta la relación límite elástico-resistencia a la tracción, aumenta igualmente la resistencia y el límite de fatiga, mejora la resistencia a la abrasión y al uso; **Cobalto**, mejora la resistencia a la fluencia; **Manganeso**, aumenta la templabilidad, forma aceros muy resistentes al uso, aumenta la tenacidad; **Molibdeno**, aumenta la resistencia a la corrosión en los aceros inoxidable, forma partículas que elevan la resistencia a la abrasión; **Niquel**, aumenta la resistencia de los aceros no tratados o recocidos, aumenta igualmente la relación límite elástico-resistencia a la tracción y el límite de fatiga, aumenta la tenacidad de los aceros ferríticos-perlíticos; **Silicio**, se emplea como desoxidante, mejora la resistencia a la oxidación, eleva la resistencia de los aceros poco aleados; **Titanio**, mejora la resistencia a la oxidación en caliente (soldaduras); **Tungsteno**, forma partículas duras y resistentes a la abrasión, mejora la resistencia en caliente, afina la textura.

Finalmente diremos que conjuntamente con los elementos de aleación, las diferentes propiedades de los aceros tales como la resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, resistencia a

Algunos tipos de prótesis



(Foto procedente "Guía Médica" Salvat Editores, S.A.)

la soldadura y a la abrasión se mejoran según los diferentes tratamiento térmicos que se les apliquen.

Las fundiciones, son aleaciones de hierro, carbono y otros elementos de aleación, cuya característica es el alto contenido de carbono que esta básicamente entre 2% y el 4%. Sus propiedades mecánicas son en general muy inferiores a la de los aceros, aunque las llamadas fundiciones maleables y muy particularmente las esperoidales (llevan elementos de aleación tales como Niquel, Cromo y Manganeso) mejoran ostensiblemente la dureza, la resistencia a la tracción, el límite elástico y en algunos casos significativamente la ductilidad.

Aleaciones de Aluminio, el aluminio es un metal ligero con una densidad de $2,70 \text{ gr/cm}^3$ osea un tercio del acero, aunque las aleaciones de aluminio tienen propiedades de resistencias a la tracción relativamente bajas comparadas con las del acero, su relación resistencia-peso es excelente. Por mecanismos de endurecimiento las aleaciones de aluminio pueden ser 30 veces más resistentes que el aluminio puro.

El aluminio tiene muy buena maleabilidad y formabilidad (excelente maquinabilidad y capacidad de trabajado), además no es tóxico, ni magnético, ni produce chispas.

El aluminio puro, las aleaciones con pequeña cantidad de elementos de aleación y las aleaciones de moldeo Al-Si no tienen tendencia a producir rotura por corrosión bajo tensión. El aluminio presenta una elevada resistencia a la corrosión debido a una capa pasivamente invisible que le protege.

Las aleaciones de aluminio se clasifican en dos grupos, de moldeo y de hechurado.

Las más importantes de moldeo

son: Al-Cu que tiene buena colabilidad y resistencia a la tracción, Al-Si magníficas propiedades de moldeo, resistencia a la corrosión y facilidad de soldadura, Al-Cu-Si mejoran la resistencia a la tracción y el maquinado, Al-Mg, Al-Si-Mg presenta muy buenas propiedades físicas, excelente resistencia a la corrosión y se mecanizan con facilidad, Al-Zn-Mg-Cr-Ti proporcionan altas propiedades mecánicas, buena resistencia a la corrosión y muy buena maquinabilidad.

Las aleaciones más importantes de hechurado son: Al-Cu que con otros elementos de aleación presentan excelentes propiedades mecánicas en general, Al-Mn tiene buena formabilidad, gran resistencia a la corrosión y buena capacidad de soldadura, Al-Si bajo coeficiente de expansión térmica, Al-Mg grandes capacidades de soldadura y resistencia a la corrosión, Al-Si-Mg muy elevada resistencia a la corrosión, aleaciones con Al-Zn presentan las más altas resistencias tensiles y muy buena resistencia a la corrosión.

Aleaciones de Magnesio, el magnesio es más ligero que el aluminio con una densidad de $1,74 \text{ gr/cm}^3$. Aunque las aleaciones de magnesio no son tan resistentes como las del aluminio, sus relaciones resistencia-peso son comparables. El magnesio tiene sin embargo un bajo módulo de elasticidad, escasa resistencia a la fatiga y a la termofluencia. Presenta riesgos en la fundición y en el maquinado puesto que se combina fácilmente con el oxígeno y arde.

Las aleaciones de magnesio siguen siendo iguales de ligeras que el metal puro, pero mejoran sus prestaciones como por ejemplo la resistencia a la tracción. Los elementos de aleación los podemos agrupar en dos categorías, los que influyen activamente

en la masa fundida por ejemplo el berilio y el manganeso que ambos actúan disminuyendo la velocidad de corrosión y los elementos que modifican la microestructura de la aleación como Al, Ag, Zr, Zn, Mn, etc.

Las aleaciones Mg-Al son las más importantes y mejoran las propiedades de dureza, el añadir Mn tiene como efecto el aumento de la resistencia a la corrosión. Las aleaciones con Zr mejoran la ductilidad y la tenacidad. Las aleaciones polinarias tipo Mg-Zr-Zn-tierras raras, mejoran las propiedades mecánicas en general. La aleación Mg-Zr-Ag-tierras raras, presentan una alta resistencia mecánica y buenas propiedades de fluencia. La reciente aleación tipo Mg-Zr-Y-tierras raras, aumenta considerablemente la resistencia a la fluencia.

Aleaciones de Berilio, el berilio es más ligero que el aluminio con densidad de $1,84 \text{ gr/cm}^3$ y es mucho más tenaz que el acero. Las aleaciones de berilio presentan altas relaciones resistencia-peso y mantienen sus propiedades a elevadas temperaturas, desafortunadamente, el berilio es caro, frágil, reactivo y tóxico.

Aleaciones de Cobre, el cobre metal es dúctil y conformable en frío, adquiere acritud fácilmente, presenta una elevada conductividad eléctrica y térmica y son estas propiedades las que se utilizan principalmente en sus aplicaciones. Las aleaciones de cobre son más densas que el acero y aunque es elevado el punto de fluencia de algunas aleaciones, la relación resistencia-peso es inferior a las aleaciones de aluminio y de magnesio. Las aleaciones tienen mayor resistencia a la fatiga, termofluencia y al desgaste abrasivo que las aleaciones de aluminio y de magnesio. Presentan una excelente, ductibilidad, resistencia a la corrosión,

conductividades eléctrica y térmica, y respuesta al endurecimiento por deformación.

Las aleaciones de cobre más importantes son, las Cu-Zn que algunas de ellas presentan pequeñas cantidades de otros elementos como Pb, Sn o Al. Las principales propiedades según la composición son la resistencia, la ductilidad, la maquinabilidad y la resistencia a la corrosión. Los bronce que son principalmente aleaciones de cobre y estaño, pueden contener también berilio, aluminio y silicio. Las aleaciones Cu-Sn son las más importantes y sus propiedades más destacables son sus grandes conductividades eléctricas y térmicas y su resistencia mecánica. Presentan una gran tenacidad y un bajo coeficiente de fricción y sus aplicaciones se basan en que tienen una gran estabilidad química.

Aleaciones de Níquel y de Cobalto, se usan como protección contra la corrosión y por sus elevadas resistencias mecánicas. Las aleaciones de níquel se caracterizan por su buen conformabilidad. Las aleaciones de cobalto se usan por conferir una excepcional resistencia al desgaste y por su resistencia a los efectos atacantes de los fluidos corporales humanos y por tanto sirven para construir muchos aparatos de prótesis.

Aleaciones de Titanio, el titanio presenta una excelente resistencia a la corrosión, alta relación resistencia-peso y propiedades favorables a temperaturas elevadas, químicamente es un metal reactivo especialmente con el O_2 .

Hay variadas aleaciones de Ti destacaremos como más significativas aleaciones Ti alfa (5% Al, 2,5% Sn) tienen buena resistencia a la corrosión, su resistencia a la tracción es baja pero tiene un buen comportamiento a la fluencia, es soldable y con buen ductibili-

dad; aleación Ti beta (13% V, 11% Cr, 3% Al) presentan mejor resistencia, tenacidad y fortabilidad, y mayor templeabilidad, la aleación Ti (8% V, 6 Cr, 4 Mo, 4 Zr, 3 Al) presentan mayor templeabilidad y buenas moldabilidad, soldabilidad y comportamiento a la fatiga y a la fractura.

En todas estas aleaciones hay que destacar la alta resistencia a la tracción combinada con una buena tenacidad.

La aleación Ti (6% Al, 4% V) presenta memoria de forma. Las principales razones para usar materiales de base Ti radican en la gran resistencia a la corrosión, baja densidad y alto límite elástico.

Se utilizan en prótesis médicas no sólo por sus excelentes resistencias a la corrosión por líquidos corporales salinos, sino a su resistencia mecánica, no toxicidad, compatibilidad con tejidos e incluso a su buen comportamiento a la corrosión bajo tensión. Se emplean en grapas, tornillos para implantes dentales, así mismo, se fabrican válvulas aórticas con densidades y comportamiento enercial similares a los de la sangre.

Materiales Cerámicos: Las propiedades generales de los materiales cerámicos son consecuencia del tipo de enlace químico con que se encuentran unidos sus átomos como son los enlaces iónicos y covalente. Son materiales complejos que contienen elementos químicos tanto metálicos como no metálicos. Comúnmente los cerámicos son duros, frágiles con baja tenacidad y ductilidad, presentan altos puntos de fusión y bajas conductividades eléctrica y térmica, así mismo se comportan con relativa alta estabilidad en la mayoría de los medios más agresivos, debido al equilibrio de sus fuertes enlaces.

Los cerámicos los podemos clasifi-

car en compuestos con estructuras cristalinas relativamente sencillas y estructurales de silicatos.

Los cerámicos sencillos en su mayoría presentan enlaces atómicos que son mezcla de iónico y covalente, citaremos entre los más importantes (indicamos el porcentaje de cada uno de los enlaces): óxido de magnesio MgO (átomos enlazados Mg-O) 73-27; óxido de aluminio Al_2O_3 (Al-O) 63-37; dióxido de silicio SiO_2 (Si-O) 51-49; Nitruro de silicio Si_3N_4 (Si-N) 30-70; Carburo de silicio SiC (Si-C) 11-89. Dentro de este grupo encontramos otros más complejos pero igualmente importantes de estructura cristalina como la perovskita ($Ca Ti O_3$) de los que existen varios compuestos tales como, $Sr Ti O_3$, $Ca Zr O_3$, $Sr Zr O_3$, $La Al O_3$, etc., estas estructuras son importantes como materiales piezoeléctricos; otro ejemplo de estructuras cristalinas son los que corresponden a la espinela ($Mg Al_2 O_4$) que se caracterizan por ser materiales magnéticos no metálicos con amplios usos en electrónica; finalmente la estructura de grafito que es una fase polimórfica de carbono y se presenta en forma de capas que se encuentran unidas mediante enlaces covalentes fuertes en disposiciones hexagonales. La facilidad de deslizamiento de las capas confiere al grafito sus propiedades lubricantes tan características.

La estructura de silicatos son particularmente importantes por sus aplicaciones tanto como materiales en ingeniería como materiales aislantes eléctricos. La unidad básica estructural de los silicatos es el tetraedro ($Si-O_4^{4-}$) en el que, el enlace Si-O es aproximadamente 50% iónico y 50% covalente.

Los compuestos de algunos silicatos importantes son la sílice (fases cristalinas comunes de SiO_2), silicatos de aluminio

(fases de Al_2O_3 , SiO_2 y H_2O), silicatos de aluminio e iones alcalinos (ejemplos K_2O , Na_2O , MgO), silicatos de magnesio (ejemplo $\text{MgO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$).

Los materiales cerámicos se utilizan en gran variedad de aplicaciones eléctricas y electrónicas, como son aislantes, capacitores sobre todo si se requiere miniturización y algunos como ya se ha dicho, se emplean como materiales piezoeléctricos.

En cuanto a las propiedades mecánicas consideradas en su totalidad, los cerámicos son relativamente frágiles, también exhiben grandes diferencias entre la resistencia a la tensión y a la compresión siendo estos alrededor de 5 a 10 veces más altas que las tensores. Muchos materiales cerámicos son duros y tienen baja resistencia al impacto. Los fallos mecánicos se dan principalmente por defectos estructurales y las causas de fractura en cerámicos policristalinos han de buscarse en las grietas superficiales producidas durante los procesos de conformación.

Esta clase de materiales debido a la combinación de enlaces iónico-covalente tienen inherentemente una baja tenacidad. La investigación científica de los últimos años ha mejorado ostensiblemente la tenacidad de los cerámicos mediante presión en caliente con aditivos y reacciones de aglutinación. Es interesante hacer notar que por la ausencia de plasticidad en estos materiales al aplicar esfuerzos cíclicos la fractura debido a la fatiga es poco corriente.

En cuanto a las propiedades en general, la mayoría de los cerámicos tienen bajas conductividades a causa de sus fuertes enlaces atómicos y son buenos aislantes térmicos. Presentan una alta resistencia al calentamiento por lo que son usados como refractarios, también en general resisten la ac-

ción de ambientes calientes sean líquidos o gaseosos.

Cerámicos compuestos por sílice, aluminio y borosilicatos presentan unas propiedades mecánicas y estructurales similares a los del hueso, los implantes realizados en monos y ratas no han sufrido rechazos por lo que pueden servir para reforzar huesos fracturados o dañados.

Citaremos finalmente otra clase de materiales cerámicos como son los vidrios, que se caracterizan por presentar una estructura no cristalina, sus específicas propiedades de transparencia, dureza a temperatura ambiente y excelente resistencia a la corrosión en la mayoría de los ambientes, hacen que estos materiales tengan aplicaciones muy singulares y es en óptica en general, el campo fundamental del vidrio como biomaterial.

Materiales poliméricos: Los polímeros constituyen una rama especial de la química orgánica. Si el concepto de celdilla atómica unitaria es fundamental para la comprensión estructural de los materiales metálicos y cerámicos, en el caso de los polímeros la unidad básica estructural son las moléculas. Los polímeros son moléculas gigantes con pesos moleculares del orden de 10.000 a 1.000.000 g/g.mol, son ligeros, resistentes a la corrosión y aislantes eléctricos pero tienen relativamente baja resistencia a la tensión y no son adecuados para ser usados a temperaturas elevadas.

Los mecanismos de polimerización pueden dar polímeros por adición, que se producen uniendo covalentemente las moléculas formando cadenas que pueden tener miles de elementos moleculares (meros) en su longitud y también se forman polímeros por condensación, cuando se unen dos o más tipos de moléculas median-

te una relación química que elimina un producto colateral como es el agua.

Estructuralmente los polímeros pueden ser lineales, que están formados por largas cadenas de miles de moléculas y polímeros de red, que son estructuras reticulares tridimensionales producidas mediante un proceso de enlaces cruzados.

Los polímeros los podemos clasificar en **termoplásticos** que se comportan como plásticos a elevadas temperaturas y que se caracterizan por que sus enlaces no se modifican al elevar la temperatura (estos polímeros son lineales), en **termoestables** que son polímeros de red formados por reacciones de condensación y no pueden ser reprocesados después que hayan sido conformados y finalmente los **elastoméros** que tienen un comportamiento intermedio, pero lo más característico es que pueden deformarse elásticamente en un alto grado sin cambiar permanentemente su forma.

Las propiedades más características de los termoplásticos son la buena ductilidad y baja resistencia, los elastomeros incluyen además alargamientos elásticos excepcionales y los polímeros termoestables presentan altas resistencias pero escasa ductibilidad.

Los termoplásticos de uso general más importantes son: polietileno, cloruro de polivinilo, polipropileno, poliestireno, ABS (acrilonitrilo, butadieno, estireno), polimetil metacrilato, acetato de celulosa y politetrafluoroetileno. Estos materiales presentan como una de sus más importantes ventajas el que sus densidades son relativamente bajas (aproximadamente 1 comparado con la de 7,8 del acero), son materiales buenos aislantes eléctricos, aunque su temperatura de uso es relativamente baja (54 a 149° C) salvo el politetrafluoro-

roetileno que puede soportar temperaturas próximas a los 300° C, también son en general buenos resistentes a la corrosión.

Hay otro grupo de termoplásticos más específico como son: poliamidas, policarbonados, resinas basadas en óxidos de fenileno, acetales, poliésteres termoplásticos, polisulfonas, sulfuro de polifenileno y polieterimidias. Destacaremos como más significativas propiedades sus bajas densidades, buenas resistencias al impacto, altas rigideces eléctricas y que las temperaturas de uso pueden alcanzar los 260° C, además son materiales fáciles de procesar, poseen buena resistencia a la corrosión y en muchos casos tienen una resistencia óptima al ataque químico.

Los polímeros termoestables presentan una serie de ventajas a tener en cuenta en sus aplicaciones, alta estabilidad térmica, elevada rigidez, alta estabilidad dimensional, resistencia a la termofluencia y a la deformación bajo carga, ligera densidad y excelentes propiedades de aislamiento eléctrico y térmico. Los plásticos termoestables más importantes son los fenólicos, los poliésteres, las melaminas, la urea, la alquídica y las epoxi.

Los elastomeros son materiales poliméricos cuyas dimensiones como ya se ha dicho antes pueden variar mucho si son sometidos a tensiones exteriores, volviendo a sus condiciones iniciales cuando el esfuerzo deformante se elimina. Existen muchos elastomeros pero los más significativos son: caucho natural, poliisopreno sintético, caucho de estireno-butadieno, cauchos de nitrilo, policloropreno y siliconas.

En general estos materiales presentan a parte de bajas densidades, relativas bajas resistencias a la tensión, pero

con elongaciones muy altas.

Los procesos más usados en la conformación de los termoplásticos son el moldeo por inyección, la extrusión y el moldeo por soplado, en cuanto a la conformación de los materiales termoestables son la compresión, la transferencia y la fundición.

Materiales Compuestos o Híbridos:

Un material compuesto es un sistema integrado por una mezcla o combinación de dos o más micro o macroconstituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí. El objetivo de los materiales compuestos es el de la adición de propiedades que no pueden ser obtenidas por los materiales originales. Estos materiales pueden elegirse para proporcionar combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, densidad, rendimiento a temperatura alta, biocompatibilidad, resistencia a la corrosión, dureza, conductividad térmica o eléctrica, etc. en función de las necesidades que impliquen su utilización. Los compuestos pueden ser entre sí mismos, metales, cerámicos y polímeros o bien metal-cerámico, metal-polímero y cerámico-polímero.

Los materiales compuestos pueden clasificarse dependiendo de las formas de los materiales que las forman en tres categorías, con partículas, con fibras y láminares.

Algunos materiales compuestos plásticos reforzados con fibras están hechos con fibras sintéticas de las cuales vidrio, carbono y aramida (la fibra aramida es un polímero aromático de poliamida con una estructura molecular muy rígida) son tipos importantes. De estas tres fibras, las fibras de vidrio son las de más bajo coste, tienen resistencia a la tensión intermedia y la más alta densidad comparada con las

otras. Las fibras de carbono tienen alta resistencia, alto módulo y baja densidad pero son caras y en consecuencia se reserva su uso para aplicaciones en donde se requiera su especialmente alta relación resistencia a peso. Las fibras de aramida tienen alta resistencia y baja densidad pero no son tan rígidas como las fibras de carbono. Las fibras de aramida son también relativamente caras y su uso se reserva para aplicaciones donde además de una alta relación resistencia a peso se requiera también una mejor flexibilidad que las fibras de carbono. Las matrices más comúnmente utilizadas para fibras de vidrio en compuestos plásticos reforzados con fibras son los poliésteres, en tanto que las más usadas para los plásticos reforzados con fibras de carbono son las epoxi. Los materiales compuestos epoxídicos reforzados con fibras de carbono no son de uso común en aplicaciones aeroespaciales. Los materiales compuestos de poliéster con refuerzo de fibras de vidrio se emplean mucho más extensamente.

CONCLUSIONES

En este primer artículo se ha dado una visión somera sobre los biomateriales, para pasar seguidamente a describir características y propiedades de los más importantes materiales de tipo metálico, cerámico, polimérico y compuesto.

Por su gran especificidad no se han citado determinadas propiedades tales como microelectrónicas, magnéticas, nucleares, etc. de los diferentes materiales tratados y que algunos de ellos son muy importantes por ejemplo en robótica y por tanto determinantes en el desarrollo de la medicina.

En el próximo artículo se abordarán diversas consideraciones respecto a

los materiales directamente en contacto o sustitución de órganos del cuerpo humano, así como la activación del propio sistema inmunológico frente a ellos.

Quisieramos terminar diciendo sin incurrir en ninguna especulación, que la introducción de materiales aparentemente extraños al ser vivo y el correspondiente posible problema del rechazo, está vinculado al sistema inmunológico y este al código genético que es el resultado de la acumulación cronológica de datos como consecuencia de la propia evolución. Los átomos y moléculas constituyentes de este bagage informático son así mismo constituyentes básicos de todos los ma-

teriales existentes, recordemos que hace pocos años un equipo de científicos de la Universidad de Yokohama han dado un gran avance en la explicación del origen de la vida. Han realizado un experimento según el cual, deducen que los rayos cósmicos habrían sintetizado primitivas moléculas de tipo biológico. Para ello, bombardearon mezcla de óxidos de carbono, nitrógeno, agua e hidrógeno con protones a altas energías, formándose aminoácidos y ácidos nucleicos.

Será necesario en el futuro sincronizar las estructuras básicas de los diferentes materiales a sustituir órganos o vísceras de seres vivos, con el sistema genético de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

- SMITH W.F. "Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de materiales" Mc. Graw-Hill (1993).
- ASKELAND D.R. "La Ciencia e Ingeniería de los materiales" Ed. Iberoamérica (1987).
- SHACKELFORD J.F. "Introduction to Materials Science for Engineers" Macmillan Pub. Co. (1988).
- FLINN-TROJAN "Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones" Mc Graw-Hill (1989).
- CLIMENT MONTOLIU F. "Aspectos positivos y negativos de las radiaciones" Disc. recep. Real Academia de Medicina D.F. LB 35.984 (1984).
- CHAWLA K.K. "Composite Materials" Springer-Verlag (1987).
- GIMEN R.H. Deutscher Forschungsdienst Vol. XX n.º 7 (1988).
- HABRATEN L. - DE BROUWER J.L. "Grundflange der Metallographie" Pres. Acad. Europ. (1968).
- Investigación y Ciencia (ed. de Scientific American) Prensa Científica S.A. n. 123 (1986).
- CLIMENT MONTOLIU F. "La Ciencia de los Materiales" Revista Real Academia de Medicina Vol. 3 n.º 3 pp 145-155 (1988).