



Recubrimientos de Titanio para prolongar la vida útil de implantes óseos



Ciencia al Instante

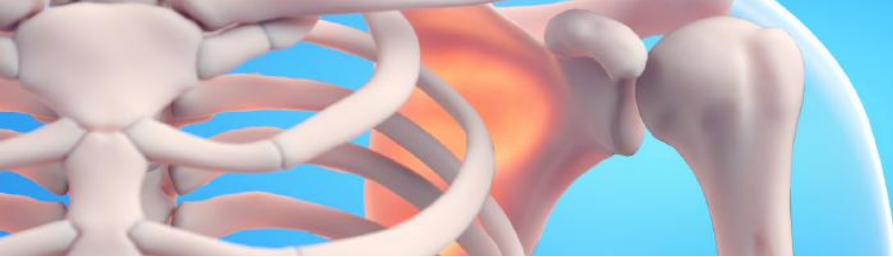
El titanio es un metal ampliamente usado en dispositivos óseos por su biocompatibilidad y resistencia a la corrosión, pero se desgasta fácilmente con la fricción, provocando fallas en los implantes. Mediante anodización electroquímica, una técnica sencilla y de bajo costo, se puede crear una capa protectora de dióxido de titanio con nanoestructuras que protege el metal del desgaste e incrementa su incorporación al hueso. En la Universidad Veracruzana se trabaja actualmente en incorporar niobio a este recubrimiento para mejorar aún más sus propiedades mecánicas y ópticas, lo que podría revolucionar la durabilidad y eficiencia de las prótesis óseas.



Recubrimientos de Titanio para prolongar la vida útil de implantes óseos

Cómo citar este artículo: Rodríguez-Castillo G, Maytorena-Sánchez A, García-González L. 2026. Recubrimientos de Titanio para prolongar la vida útil de implantes óseos. Revista Ciencia y Naturaleza (1214).





Materiales avanzados

La ciencia que se encarga de estudiar a los materiales que nos rodean ha evolucionado en el aspecto de modificarlos haciendo cambios internos, externos, físicos o químicos que extienden su tiempo de vida y mejoran sus aplicaciones y disminuyen sus costos de elaboración, dando lugar a lo que conocemos como materiales avanzados.

Por lo que hoy en día, los especialistas se han centrado en las técnicas de obtención de materiales modificados en laboratorios y centros de investigación para hacerlos óptimos para ampliar sus usos.

Tal es el caso del titanio, un metal ampliamente usado a nivel industrial en partes de autos, barcos, aviones, porque es ligero, pero a la vez es duro, soporta altas temperaturas. Debido a que no es tóxico, también se usa en aplicaciones biomédicas en dispositivos óseos. Esta es el área en donde el titanio ha generado un mayor impacto debido a su resistencia a la corrosión y a su excelente biocompatibilidad (Figura 1).



Figura 1. Aplicaciones y bondades de Titanio en la vida moderna.

Al ser un material biocompatible posee la capacidad de integrarse con el hueso humano, este hecho permite que se use ampliamente en la fabricación de prótesis articulares, placas, tornillos e implantes dentales. Pero no todo en esta vida es perfecto y en el caso de los materiales no existe tal excepción, por lo que, para que ellos puedan tener características optimizadas deben ser modificados. El titanio no es un material perfecto, ya que este se desgasta fácilmente cuando está en contacto y en fricción con otros materiales, y esto hace que pueda fracturarse en un corto tiempo.

El desgaste por fricción del titanio conduce a fallas mecánicas cuando es usado como implante, en otras ocasiones presenta una limitada incorporación ósea, especialmente cuando está en contacto directo con fluidos y tejidos biológicos lo que conduce en algunos casos a fallas en la implantación (Figura 2).

Este tipo de fracasos en los implantes se categorizan en dos tipos: biológicos y mecánicos. Cuando una fractura mecánica sucede no sólo se requiere de una intervención adicional, sino que en muchas ocasiones el dispositivo debe ser removido y reemplazado inmediatamente, lo que genera altos costos extra, un mayor tiempo de tratamiento, y, la insatisfacción del paciente.

Pero aquí es en donde entra en acción la ciencia de los materiales avanzados. La **anodización electroquímica** que es una técnica de laboratorio sencilla que modifica la superficialmente los metales (Figura 3).



Figura 2. Problemática actual del uso de Titanio.

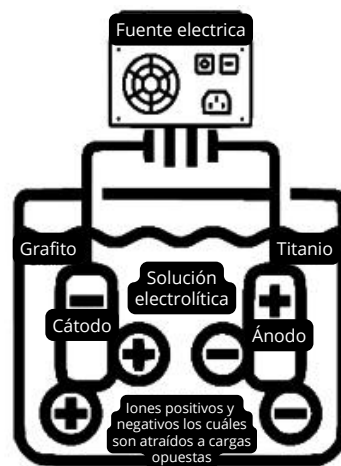
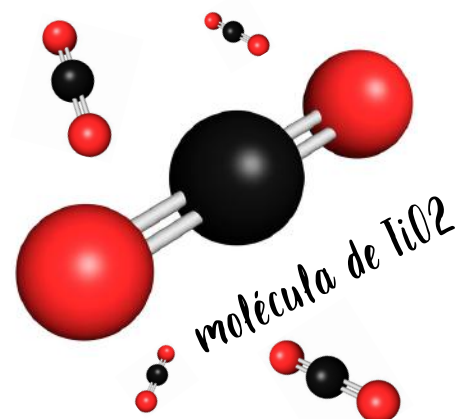


Figura 3. Anodización electroquímica.

Mediante este proceso se genera una capa de óxido sobre el metal en forma de nanoestructuras controladas como los nanotubos. El cual, tiene el propósito de proteger al metal del desgaste e incrementar el anclaje al hueso. Si se incorpora un elemento durante la anodización, se puede lograr un recubrimiento más duro. Este recubrimiento adquiere propiedades semejantes a las del hueso humano. El resultado son dispositivos óseos eficientes, duraderos y fáciles de replicar. La anodización electroquímica, se destaca por ser un procedimiento químico flexible a la hora de manipularse, de bajo costo, y es fácil de reproducir las condiciones experimentales en gran escala en la industria.

Este proceso consiste en aplicar energía eléctrica sobre titanio sumergido en una solución electrolítica, que posteriormente se convierte en energía química, dando paso a una reacción que produce una capa de óxido en la superficie del metal, la cual lleva por nombre dióxido de titanio (TiO_2), debido a que esta capa superficial está formada por moléculas que contienen dos átomos de oxígeno por cada átomo de titanio.



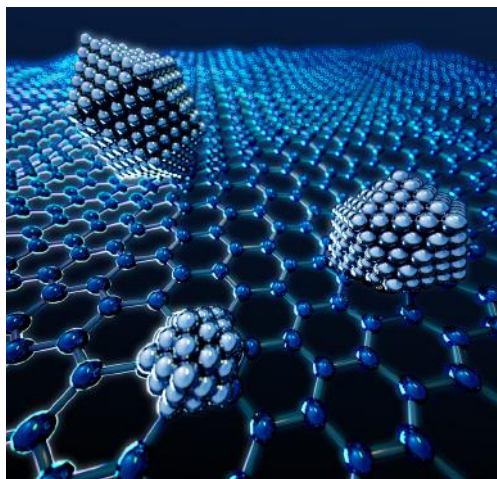
Este recubrimiento generado en la superficie del metal puede apreciarse como un simple cambio de color en el material, pero este cambio de color en realidad va más allá de lo que nuestros ojos pueden ver, ya que es un recubrimiento que protege al metal contra el desgaste, mejora la resistencia a la corrosión, extiende su tiempo de vida útil y no solo eso, sino que también las geometrías obtenidas al realizar este recubrimiento (que sólo pueden verse bajo un microscopio de alto alcance) incrementan las posibilidades de que el material tenga una incorporación exitosa al hueso cuando este es usado con fines ortopédicos.



Al generar este dióxido de titanio como recubrimiento en el material, también es posible incorporar otros nuevos elementos, por ejemplo hierro (Fe), cobalto (Co), cromo (Cr) y niobio (Nb). Estos dentro de la misma reacción de anodización, los cuales pueden cambiar la forma y la composición química de la capa formada.

En el Laboratorio de Materiales Avanzados del Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología de la Universidad Veracruzana (MICRONA UV), se está trabajando con la incorporación de niobio (Nb) en la misma reacción de anodización. El Nb es un metal no tóxico que posee características atómicas parecidas a las del titanio. En experimentos previos realizados en 2021 por H. Gomes y su equipo de trabajo, se demostró que cuando el niobio es añadido al recubrimiento de TiO_2 , producen cambios en la estructura interna del dióxido de titanio y se mejoraron sus características ópticas y mecánicas. A este añadido de un material en otro a nivel atómico se le conoce como dopado, y, al hacer pruebas posteriores en el recubrimiento obtenido se ha comprobado que se incrementa y se mejora la capacidad óptica y de almacenamiento de energía del material, la dureza y la posibilidad de descontaminar el agua.

Sin embargo, en estos experimentos preliminares no se evaluaron las características mecánicas como la dureza, ni las de desgaste del material como lo es el coeficiente de fricción, el cuál es un dato muy importante para revelar cómo se comporta este material cuando está en constante carga, y cuando se encuentra dentro del cuerpo humano y el metal está rodeado de fluidos como la sangre y la saliva.





Debido a que el niobio no es un elemento tóxico y es biocompatible, se espera que también se optimice la actividad biológica en la implantación. Lo que propiciaría el crecimiento de tejido óseo en la parte intermedia entre el hueso y la prótesis, haciendo que el material sea más parecido al hueso humano con respecto a sus características superficiales.

Así se mejoraría su biocompatibilidad y se evitaría el rechazo del cuerpo ante un material extraño. Esto último mencionado es algo que ha sido poco explorado y forma parte de la novedad en la investigación. Así en el Centro MICRONA UV, se está trabajando actualmente en encontrar las condiciones de trabajo óptimas para incorporar a este elemento en la capa protectora de TiO_2 de una manera fácil, costeable y que este método pueda replicarse en gran escala en la industria de las prótesis óseas.

Para llevar

El titanio, a pesar de sus múltiples bondades también nos muestra un claro ejemplo de cómo incluso en los metales tampoco existe la perfección y que, a pesar de ello, es posible reinventarse y evolucionar gracias a los esfuerzos de la investigación científica. Este avance tecnológico no solo permite extender la vida útil de los implantes óseos, sino que también reduce complicaciones clínicas en los pacientes que los reciben. De esta manera se puede observar que, la modificación superficial del titanio brinda una perspectiva aún más profunda, donde la fractura de un hueso puede marcar una diferencia significativa en la autonomía del ser humano. Gracias a los esfuerzos de años de investigación en el área de la ciencia de los materiales, hoy en día es posible ofrecer soluciones más prácticas, seguras, duraderas y humanas que permiten una vida mucho más digna.

"Al alterar las propiedades físicas y químicas de un material, estamos reescribiendo las reglas de lo que podemos lograr."

*Cuando trabajas solo llegas rápido, pero cuando trabajas en equipo llegas más lejos.
-Proverbio africano de autor desconocido.*



Como sucede en la sociedad, cuando trabajas solo llegas rápido, pero cuando trabajas en equipo llegas más lejos, así también sucede con este metal, que, combinado con otros elementos se vuelve más duro, con mayor resistencia al desgaste y a la corrosión, además de que puede presentar una mejor biocompatibilidad, logrando así que la vida útil de este material se extienda por mucho más tiempo. 🍀



Figura 4. Prótesis con recubrimiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del proyecto SIREI No. 302192023172, el apoyo secihti (CVU 733057). Al Laboratorio de Materiales Avanzados del Centro MICRONA y a todos los compañeros del laboratorio, por transmitir sus conocimientos con amabilidad.

Crédito de imágenes en orden de aparición: Getty Images Signature, Ana Florescu's Images, oksanavectorart, Afika Graphica, AgrNihBoyy, 8-bit icons, Science Photo Library, sasirin pamai's Images, Pexels, Edward Olive Nanotubos de TiO₂ [Link]. Crédito de figuras: Proporcionadas por los autores, creadas con Canva pro y editadas en el software Inkscape. Los autores confirmaron que ningún párrafo del manuscrito ha sido generado completamente o con más del 50% de sus palabras con esta herramienta.

Dra. Selene Ramos

Editora Asociada Revista CyN

Diseño de publicación: Sofia Paz

Para Consulta

- Cottineau T, Béalu N, Gross PA, Pronkin SN, *et al.* 2012. One step synthesis of niobium doped titania nanotube arrays to form (N,Nb) co-doped TiO₂ with high visible light photoelectrochemical activity. *Journal of Materials Chemistry A*.
- Gomes GH, de Jesús MA, Feraluto AS, *et al.* 2021. Characterization and application of niobium-doped titanium dioxide thin films prepared by sol-gel process. *Applied Physics* 127: 641.
- Marín E, Lanzutti A. 2024. Biomedical applications of titanium alloys: A comprehensive review. *Materials* 17: 114.
- Mendes Tribst JP, Werner A, Blom EJ. 2023. Failed dental implant: When titanium fractures. *Diagnostics* 13: 2123.
- Najafizadeh M, Yazdi S, Bozorg M, *et al.* 2024. Classification and applications of titanium and its alloys, a review. *Journal of Alloys and Compounds Communications* 3: 100019.
- Sulka GD. 2020. Nanostructured anodic metal oxides. *Synthesis and applications*. Elsevier, 1-34.

Conceptos

Anodización electroquímica: Método sencillo, económico y directo que puede utilizarse para crear una capa de óxido sobre la superficie de un metal. Normalmente, se lleva a cabo utilizando una celda electrolítica de dos electrodos, con el metal como ánodo y el platino (también plomo, titanio, grafito y otros electrodos) como cátodo.

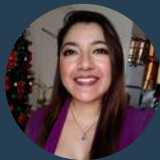
Celda electroquímica: Es un sistema que contiene el electrolito, dos electrodos y un circuito de energía eléctrica externo. En este sistema se usa la energía eléctrica para impulsar reacciones químicas mediante la transferencia de electrones.

Electrolito: Es la solución iónica que permite el movimiento de iones.

Electrodos: Son dos conductores metálicos, donde uno se llama ánodo (aquí ocurre la oxidación, en este caso sería el metal que queremos recubrir) y el otro se llama cátodo (aquí ocurre la reducción).

Reacción óxido-reducción: Es un proceso químico que se caracteriza por la transferencia de electrones entre dos especies químicas, donde una se oxida (pierde electrones) y la otra se reduce (gana electrones).

Dióxido de titanio (TiO_2): Es un compuesto inorgánico que en su red que lo conforma existe un átomo de titanio por cada dos de oxígeno. En este caso es el recubrimiento que se forma en toda la superficie del titanio anodizado.



Gabriela Rodríguez Castillo

Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología (MICRONA). Universidad Veracruzana. Ingeniera Química, Máster en Ingeniería Aplicada, Estudiante de Doctorado en Ciencias de los Materiales y Docente de Ciencias básicas.

contacto: grocas.grc@gmail.com



Alan Maytorena Sánchez

Facultad de Ciencias Químicas, Región Boca del Río-Veracruz, Universidad Veracruzana. Ingeniero Químico, Máster en Ingeniería Aplicada, Doctor en Materiales y Nanociencia con especialidad en el área de recubrimientos duros para evaluar sus propiedades mecánicas y tribológicas.



Leandro García González

Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología (MICRONA), Universidad Veracruzana. Físico, Máster en Ciencias en Física, Doctor en Ciencias en Materiales, Investigador de tiempo completo con especialidad en síntesis y caracterización mecánica, tribológica y estructural de recubrimientos duros.