

EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA CORROSIÓN GALVÁNICA DE PLACAS ANATÓMICA MEDIAL DISTAL DE TIBIA DE TITANIO

Yelitza Figueroa de Gil^{1*}, Jacinto Rosas¹, Glorys López de Gómez², Blanca Rojas de Gáscue¹
Carlos Narváez³

1: Instituto de Investigación en Biomedicina y Ciencias Aplicadas (IIBCA), Laboratorio de Corrosión Universidad de Oriente. Cumaná, Estado Sucre, Venezuela

2: Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Departamento de Mecánica. Núcleo de Anzoátegui. Universidad de Oriente. Venezuela

3: Coordinador Plan de Reemplazos Articulares, Hospital “Antonio Patricio de Alcalá”, Cumaná, Estado. Sucre, Venezuela

* Contacto: yelidegil@gmail.com

RESUMEN

En el presente estudio se investigó la interacción galvánica entre una placa anatómica medial distal de tibia de titanio acopladas con tornillos de bloqueo de acero inoxidable y de titanio de Ø 3,5 y 5 mm utilizados para fracturas intrarticulares y extra articulares, en solución de cuerpo simulado a fin de determinar un proceso de corrosión en el futuro. Los ensayos fueron realizados por medio de un amperímetro de resistencia cero (ZRA, por sus siglas en inglés), y empleando una celda electroquímica de tres (03) electrodos. Los resultados obtenidos muestran que los pares galvánicos estudiados no presentaron diferencias significativas en cuanto al orden de magnitud de la intensidad de corriente galvánica correspondiente a cada uno de los pares evaluados.

Palabras Claves: *Corrosión galvánica, Placa distal medial de tibia, Titanio, Acero inoxidable*

ABSTRACT

In the present study the galvanic interaction between a titanium anatomical plate (tibia-medial-distal) and locking screws 3.5 and 5 mm in diameter made of stainless steel and titanium was investigated. These mechanical devices are coupled to heal intra and extra articulate fractures in human body. These parts were coupled and immersed in a body simulated solution in order to determine the possibility of a galvanic corrosion process in the metal joints. Tests were carried out by means of an ammeter of zero resistance (ZRA), and using three electrodes electrochemical cell. The obtained results did not show significant differences in terms of magnitude of the galvanic current corresponding to each one of the pairs assessed.

Keywords: *Galvanic Corrosion, Medial distal tibia, Titanium plate, Stainless steel*

1 INTRODUCCIÓN

Las placas anatómicas medial distal de tibia, están diseñadas anatómicamente para seguir la forma de la tibia distal, facilitar su colocación y reducir la necesidad de modelos adicionales. Los agujeros combinados en el cuerpo de la placa combinan un agujero para la unidad de compresión

dinámica con un agujero para el tornillo de bloqueo, proporcionando la flexibilidad de la compresión axial y la capacidad de bloqueo en toda la longitud del cuerpo de la placa [1,2]. Los materiales utilizados en la fabricación de implantes tienen que ser inertes o bien tolerados por el cuerpo [3].

La fabricación de implantes con aleaciones metálicas se ha incrementado en los últimos años, donde el titanio y sus aleaciones se han utilizado ampliamente en implantes ortopédicos [4]. El elemento titanio presenta una relación resistencia/peso alta, lo cual lo hace atractivo en muchas aplicaciones. Su resistencia a la corrosión, a la corrosión-fatiga en fluidos corporales, su biocompatibilidad y su osteointegración lo califican como un biomaterial de extraordinarias cualidades. Este comportamiento está íntimamente relacionado con su estructura metalográfica y cristalográfica, al formar una variedad de estructuras cuando es aleado con otros elementos, tal como sucede en las aleaciones $\alpha+\beta$, el Ti-cp, monofásico α , y las aleaciones más complejas β , que están siendo desarrolladas y aplicadas exitosamente en el campo de la biomedicina y de la bioingeniería donde las condiciones de corrosión-fatiga son factores esenciales a considerar [5].

El amplio uso de metales y aleaciones ha dado lugar a estudios de corrosión asociados a fenómenos biológicos. Cuando un material extraño es implantado; existen varias formas en las que el cuerpo puede reaccionar desfavorablemente. La presencia del implante puede inhibir los mecanismos de defensa del cuerpo, conduciendo esto a infecciones [3], más aún si se llegara a presentar algún proceso corrosivo de las partes metálicas, situación que pudiera facilitarse si no se seleccionan adecuadamente los materiales del implante y de los elementos de fijación. Al colocar materiales diferentes en contacto inmersos en la misma solución, ocurre un proceso de corrosión galvánica entre los pares expuestos, uno de estos metales se convertirá en cátodo al tiempo que el otro actuará como ánodo. En este caso, la velocidad de corrosión del metal ánodo será mayor que la que posee cuando no forma parte de un par galvánico, mientras que con el metal cátodo ocurrirá lo contrario. Este tipo de corrosión es una de las formas más comunes y perjudiciales y por lo tanto, el control de la corrosión galvánica es de gran importancia [5 6].

En esta investigación se evaluó la interacción galvánica entre una placa anatómica medial distal de tibia de titanio acopladas con tornillos de bloqueo de acero inoxidable y de titanio de \varnothing 3,5 mm utilizados para fracturas intraarticulares y extra articulares, en solución de cuerpo simulado a fin de determinar si hay posibilidad de que se presente un problema de corrosión en el futuro.

2 METODOLOGÍA

Para el estudio de los pares galvánicos se empleó una placa anatómica medial distal de tibia de seis orificios y 144 mm de longitud, fabricada de titanio, (Figura1a), acoplada con tornillos de bloqueo utilizados para fracturas intraarticulares y extra articulares de \varnothing 5,0 mm x 5 y 4 cm de largo fabricados en acero inoxidable, y de \varnothing 3,5 mm x 2,9 cm de largo fabricado en aleación base titanio, los cuales fueron denominados respectivamente para este estudio T1, T2 y T3, y tal como se indica en la Figura1b. Los ensayos fueron realizados por medio de un amperímetro de resistencia cero (ZRA, por sus siglas en inglés) empleando una celda electroquímica de tres (03) electrodos conectados a un potencióstato/galvanostato GAMRY Reference 600. Como electrodo

de trabajo y control se utilizó la placa de titanio, como electrodo auxiliar los tornillos de bloqueo correspondiente en cada caso: acero inoxidable (T1), acero inoxidable (T2) y aleación de base titanio (T3), y como electrodo de referencia uno de calomel saturado con capilar de Luggin – Harbert de agar y KCl_{sat}, colocándose lo más cerca posible frente al electrodo de trabajo, aunque este electrodo no es de fundamental importancia en el montaje de los ensayos de corrosión galvánica. Los electrodos estuvieron inmersos en una solución de cuerpo simulado o solución de Hanksy el registro de la intensidad de corriente se realizó durante 1800 s. Los ensayos se llevaron a cabo conservando la razón de área de las piezas en condiciones de servicio a la temperatura de $37 \pm 1^\circ\text{C}$ y pH 7,44. Se realizó ensayos metalográficos a fin de definir la microestructura de los materiales en estudio y para ello se extrajeron muestras que fueron preparadas según técnicas tradicionales para su observación mediante microscopía óptica (MO).



Figura 1. (a) Placa anatómica distal medial de tibia y (b) tornillos de bloqueo de acero inoxidable (T1 y T2) y de titanio (T3).

3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La figura 2 muestra las curvas de potencial de corrosión en circuito abierto de la placa de titanio y los respectivos tornillos de bloqueo. Se observa que las curvas presentan el mismo comportamiento después de 1800 s de inmersión, mostrando éstas un continuo desplazamiento de los potenciales hacia valores más positivos a medida que transcurre el tiempo, lo que claramente indica la formación de una capa de protección pasiva sobre cada uno de los materiales. Un desplazamiento hacia valores menos negativos se observó en el tornillo de titanio (T3) y el tornillo de acero inoxidable T2, y esto sugiere que los tornillos de T3 y T2 presentarían en la misma solución más resistencia a la corrosión que el tornillo T1 y la placa distal de titanio. Esto se puede corroborar a partir de los valores de potencial obtenidos al término de la prueba donde la placa de titanio obtuvo un valor de E_{corr} igual a $-141,2\text{mV}$, seguido del tornillo T1 con $-92,24\text{mV}$, mientras que con potenciales de $-40,94\text{y} - 32,04\text{mV}$ se ubicaron respectivamente los

tornillos T3 y T2, que desarrollaron potenciales más nobles que la placa de titanio y el tornillo T1.

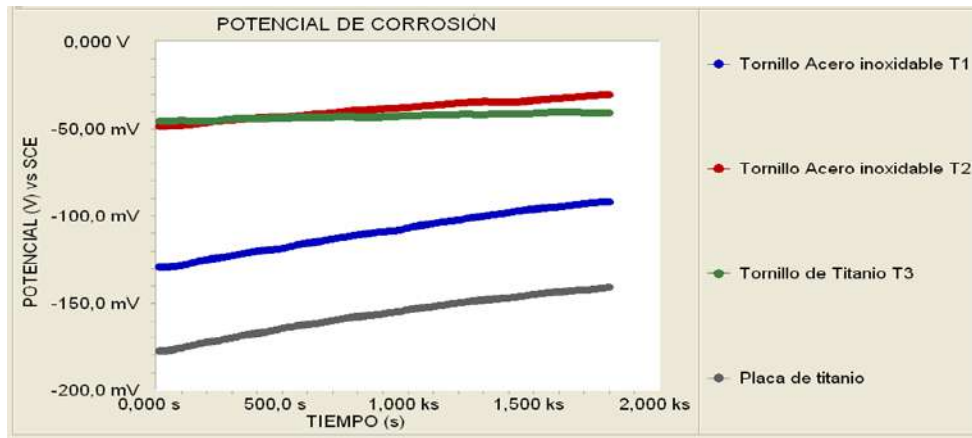


Figura 2. Curvas de potencial de corrosión versus tiempo para la placa de titanio y los tornillos de bloqueo.

En las curvas mostradas en la figura 3, se presenta el comportamiento del potencial de corrosión y la intensidad de corriente galvánica contra el tiempo de prueba.

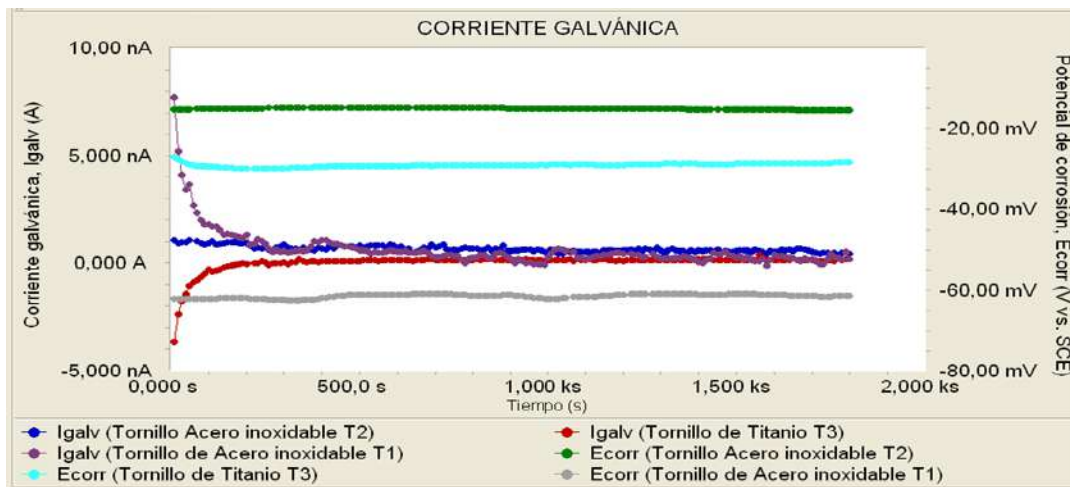


Figura 3. Comportamiento electroquímico del par galvánico formado por la placa de titanio y los respectivos tornillos de bloqueo.

Para el par placa-tornillo T3, la corriente evolucionó desde un valor de $-3,661 \text{ nA}$, al inicio del ensayo hasta $0,1181 \text{ nA}$ ($118,1 \text{ pA}$), mientras que para el par placa-tornillo de acero inoxidable T1 la corriente se situó en un valor de $7,677 \text{ nA}$ al comienzo del ensayo, disminuyendo gradualmente hasta los $0,125 \text{ nA}$ ($125,0 \text{ pA}$) tras los 1800 s de inmersión. Por el contrario, para el par galvánico placa-tornillo de acero inoxidable T2, la corriente fue casi constante a lo largo del tiempo de ensayo, oscilando entre $1,067 \text{ nA}$ y $0,595 \text{ nA}$ ($595,1 \text{ pA}$). Durante el ensayo ZRA, se observó que este par presentó el potencial de corrosión menos negativo ($-14,96 \text{ mV}$) y más estable, el cual se mantuvo cercano al del par placa-tornillo T3 ($-28,00 \text{ mV}$), pero ambos más alejados del potencial establecido en el par placa-tornillo T1, que resultó con el valor más

negativo (-62,50 mV), lo cual sugiere la ocurrencia de un proceso de corrosión más activo del tornillo T1 frente a la placa de titanio.

En el estudio microscópico se observó una estructura monofásica de granos muy finos tanto en la placa distal de titanio (figuras 4 a, b y c) como en los tornillos de acero inoxidable (figuras 4 d y e) y de titanio (figura 4 f). El mayor diámetro de grano fue observado en la placa de titanio en comparación con los granos de los tornillos, donde una marcada diferencia en tamaños de granos fue lo más significativo, destacándose el tornillo de aleación base titanio por presentar una estructura granular muy fina tal como se puede apreciar en la Figura 4.

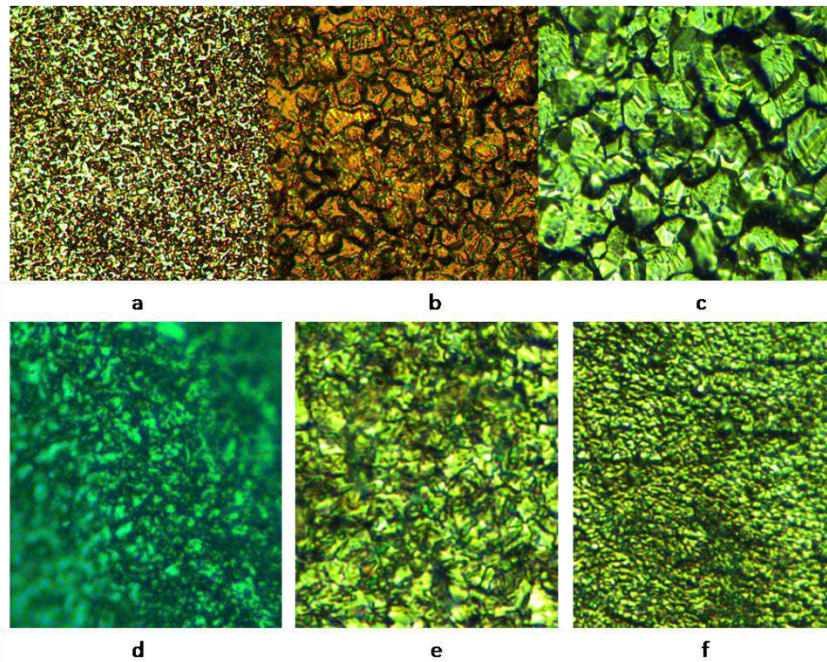


Fig. 4. Microestructura de muestras de los materiales de la placa y los tornillos de bloqueo observados a diferentes aumentos. Placa de titanio (a, b, c), tornillos de acero inoxidable T1 y T2 (d, e), y de aleación base titanio T3 (f). Mag. 100X (a), 500X (b), 1000X (c, d, e, f)

Cabe destacar que varios autores [7,8], han encontrado ocurrencia de la corrosión galvánica entre materiales con diferente tamaño de grano tanto *in vitro* como *in vivo*, por lo tanto es concebible que en el presente estudio, debido a las diferencias de composición y en tamaño de grano pueda haberse presentado corrosión en el siguiente orden de mayor a menor severidad: placa de titanio-tornillo de inoxidable T1, placa de titanio-tornillo de inoxidable T2 y placa de titanio-tornillo de titanio T3. Sin embargo, a partir de los resultados observados en las curvas de corriente galvánica, pareciera que el uso de las aleaciones disímiles no exagera ningún proceso de corrosión ya que en general, los pares galvánicos estudiados no presentaron diferencias significativas en cuanto al orden de magnitud de la intensidad de corriente galvánica correspondiente a cada uno de los pares evaluados, infiriendo que los tornillos de bloqueo de titanio y acero inoxidable poseen un comportamiento galvánico similar frente a la placa de titanio en el medio electrolítico bajo las condiciones estudiadas. Por otro lado, es importante acotar que no deja de existir la interacción galvánica entre ellos, reflejada en los potenciales de corrosión

mostrados en las figuras 2 y 3. Esta interacción es quizás más activa cuando los implantes son posicionados in vivo, ya que éstos inicialmente experimentan una pasivación con desprendimiento de iones, que es esencialmente una corrosión activa de la superficie, tal como lo muestra el comportamiento de las curvas de la figura 2.

4 CONCLUSIONES

Los materiales de los tornillos de bloqueo presentan un comportamiento galvánico similar frente a la placa de titanio bajo las condiciones estudiadas. La placa acoplada con tornillos de acero inoxidable posee un potencial de corrosión más activo que cuando lo está con los tornillos de titanio. El mayor diámetro de grano fue observado en la placa de titanio, la cual presentó una estructura monofásica de granos equiaxiales grandes en comparación con los granos de los tornillos de acero inoxidable y titanio. Considerando todos los aspectos de esta investigación, los tornillos T2 y T3 son los mejores candidatos para uso en conjunto con la placa distal en el cuerpo humano, debido a sus mayores potenciales de corrosión y bajos valores de corriente galvánica.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Synthes, Inc. Placa LCP 3.5 para tibia distal, anterolateral. [Consultado en línea]. (2008). http://www.ipm.com.ve/archivos/pro/4i12ipm21iapplicationi12ipm21i0cf783a8b0i12ipm21i.pdf_lcp_tibia_distal_anterolateral.pdf. (19/05/2013)
2. Stryker Iberia, S. L. Sistema de Placas de Bloqueo. [Consultado en línea]. (2007). [http://quiروفano.wikispaces.com/file/view/AxSOS + Distal + Tibia.pdf](http://quiروفano.wikispaces.com/file/view/AxSOS+Distal+Tibia.pdf). (19 / 05 / 2013)
3. Sudhakar, K.V. “Metallurgical investigation of a failure in 316L stainless steel orthopedic implant”, *Engineering Failure Analysis*, 12, 249–256, 2005.
4. Gringer, J., Fores B., Combrade, P., “Wear analysis of materials used as orthopedic implants”. *Wear*. Article in Press, 2006.
5. Gil, F.J., Ginebra, M.P., Planell J.A., “Metales y aleaciones para la substitución de tejidos duros”. *Biomecánica*, II (13), 73-78, 1999.
6. Sánchez-Tovar, R., Montañés, M.T., García-Antón, J., Guenbour, A. “Galvanic Corrosion of the Base AISI 316L/Micro-Plasma Arc Welded AISI 316L in Polluted Phosphoric Acid Media at Different Temperatures”. *Int. J. Electrochemical. Sci.* 6, 3656 – 3670, 2011.
7. Shih C-C, Shih C-M, Su Y-Y, Lin S-J Galvanic current induced by heterogeneous structures on stainless steel wire. *Corrosion Science*, 47, 2199-2112, 2005.
8. D.M. Devine, M. Leitner, S.M. Perren, L.P. Boure, and S.G. Pearce Tissue reaction to implants of different metals. A study using guide wires in cannulated screw. *European cells and materials*, 18, 40-48, 2005.