

Evaluación electroquímica e *in-vitro* de recubrimientos de hidroxiapatita fabricados por proyección térmica por combustión de alta velocidad (HVOF)

John Henao, CONACYT-CIATEQ A.C., Materiales Avanzados, Querétaro, 76236, México.

Carlos Poblano-Salas, CIATEQ A.C., Materiales Avanzados, Querétaro, 76236, México.

Jorge Corona-Castuera, CIATEQ A.C., Materiales Avanzados, Querétaro, 76236, México.

Jan Mayen Chaires CONACYT-CIATEQ A.C., Moldes y Troqueles, San Luis Potosí, 78395, México.

Juanita Hincapie Bedoya, CIATEQ A.C., Materiales Avanzados, Querétaro, 76236, México.

Diego G. Espinosa-Arbelaez, CIDESI-CONMAD, Consorcio Conacyt de manufactura aditiva, Qro, 76125, México.

Astrid Giraldo, CONACYT-CINVESTAV, Centro de Investigación y de estudios Avanzados del IPN, Querétaro, 76230, México.

john.henao@ciateq.mx, jhenao@conacyt.mx

Palabras clave: Recubrimientos, Proyección Térmica, Hidroxiapatita, *In-Vitro*.

Introducción. El uso de prótesis para el reemplazo de hueso dañado y articulaciones es una de las prácticas más comunes en la medicina moderna. Hoy en día, la modificación superficial de los materiales de estas prótesis es una alternativa atractiva desde el punto de vista médico, debido a las mejoras en las propiedades físicas y biológicas, tales como: soporte mecánico y adhesión, crecimiento y proliferación celular que influyen en el proceso de integración ósea (1). La hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}\text{PO}_4(\text{OH})_{10}$) (HAp), debido a la similitud en composición química que presenta con respecto a la parte inorgánica del hueso, es usualmente empleada como soporte para promover el crecimiento del tejido óseo (2). Por su parte, usada como recubrimiento en implantes comerciales, la HAp es generalmente depositada mediante proyección térmica por plasma al vacío (Vacuum Plasma Spray, VPS); sin embargo, esta técnica promueve la precipitación de fases en los recubrimientos asociadas a la alta disolución del mismo en tiempos cortos de exposición (3). En los últimos años, la proyección térmica de alta velocidad - HVOF ha sido considerada como una alternativa a los recubrimientos obtenidos por VPS, ya que involucra temperaturas de procesamiento inferiores, favoreciendo la obtención de recubrimientos con mayor cantidad de fases cristalinas estables que proveen a estos recubrimientos una tasa de disolución más lenta (4). En este trabajo se plantea establecer el comportamiento electroquímico y el desempeño *in-vitro* (formación de capa de apatita) en fluido corporal simulado de recubrimientos de HAp fabricados por proyección térmica HVOF.

Metodología. Para la fabricación de los recubrimientos se empleó polvo de HAp comercial. La materia prima se caracterizó mediante DRX y MEB, con el fin de conocer fases y morfología inicial, respectivamente. Los recubrimientos se depositaron sobre sustratos rectangulares de Ti-6Al-4V por medio de la técnica HVOF. La microestructura de los recubrimientos obtenidos, en sección transversal, fue caracterizada mediante MEB para revelar las fases presentes después del proceso de fabricación. Las propiedades *in-vitro* de los recubrimientos se evaluaron bajo la norma ISO/FDIS 23317 (5) empleando como medio la solución de Hank. Las propiedades electroquímicas se evaluaron empleando el mismo electrolito en configuración de celda con 3 electrodos y se obtuvieron curvas de polarización e impedancia con el fin de comprender la interacción del recubrimiento con el fluido en condiciones corporales simuladas.

Resultados. Se obtuvieron recubrimientos de HAp por proyección térmica HVOF con espesores promedio de 120 μm . Los recubrimientos consisten en partículas fundidas y semi-fundidas que proveen al recubrimiento de cierta porosidad permitiendo la funcionalización de las superficies. En la

caracterización *in-vitro* (Fig. 1) se reveló la formación de una capa de apatita desde 7 hasta 28 días de inmersión en fluido corporal simulado, constituyendo finalmente una mezcla de HAp cristalina y apatita amorfa después de 28 días.

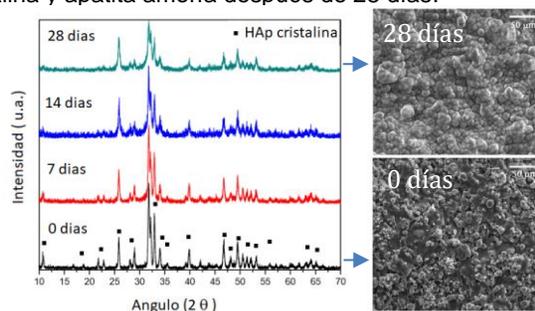


Fig. 1. Difracción de rayos x después de 0, 7, 14 y 28 días en solución de Hank, en la izquierda. Imagen de la superficie libre a los 0 y después de 28 días de inmersión, en la derecha.

En la caracterización electroquímica se estableció la interacción del recubrimiento de HAp con el fluido corporal simulado obteniéndose un cambio en la resistencia a la polarización después de varios días de inmersión. Así mismo, las curvas de impedancia electroquímica confirmaron la formación de la capa de apatita y su efecto tipo barrera una vez formada dicha capa.

Conclusiones. Es posible fabricar recubrimientos de HAp por proyección térmica HVOF sobre implantes metálicos fabricados con la aleación Ti-6Al-4V en la industria biomédica, ya que estos recubrimientos promueven la precipitación de la capa de apatita en condiciones corporales simuladas, lo cual es un primer requerimiento para promover mejores condiciones de integración ósea sobre superficies metálicas.

Agradecimientos. Al Centro Nacional de Proyección Térmica (CENAPROT) y al programa de Cátedras CONACYT, proyecto 848 y 881.

Bibliografía.

1. Ehrenfest, D.M.D et al. "Classification of osseointegrated implant surfaces: materials, chemistry and topography." Trends in biotechnology 28.4 (2010): 198-206.
2. Jallot, E. et al. "Correlation between hydroxyapatite osseointegration and Young's Modulus." Medical engineering & physics 20.9 (1998): 697-701.
3. Guimond-Lischer, S. et al. "Vacuum plasma sprayed coatings using ionic silver doped hydroxyapatite powder to prevent bacterial infection of bone implants." Biointerphases 11.1 (2016): 011012.
4. Henao, J., et al. "HVOF Hydroxyapatite/Titania-Graded Coatings: Microstructural, Mechanical, and In Vitro Characterization." Journal of Thermal Spray Technology 27.8 (2018): 1302-1321.
5. (ultima consulta 12/03/2019)