

CARACTERIZACIÓN DE LA IMPEDANCIA ELÉCTRICA DE IMPLANTES DE TITANIO POROSO MODIFICADOS SUPERFICIALMENTE CON LÁSER DE FEMTOSEGUNDO

Paula Navarro^{1,3}, Alberto Olmo^{1,2}, Marleny Rodríguez-Albelo³ y Yadir Torres³

¹*Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad de Sevilla, Sevilla*

²*Instituto de Microelectrónica de Sevilla, IMSE-CNM, Sevilla*

³*Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, Universidad de Sevilla, Sevilla*

E-mail de correspondencia: aolmo@dte.us.es

RESUMEN

En este trabajo, se evalúa la impedancia eléctrica de distintas muestras de titanio poroso modificadas superficialmente con un láser de femtosegundo; como método experimental para caracterizar la macroporosidad inherente al proceso de fabricación y el efecto del tratamiento superficial de los discos. El estudio se realiza sobre discos con distinto contenido en volumen y rango de tamaño de poros. Las medidas de impedancia eléctrica se realizaron usando el Hewlett-Packard 4395A de Agilent. Los resultados revelan la potencialidad de esta técnica de medida en términos de ventajas frente a técnicas más engorrosas y costosas, permitiendo de forma semi-cuantitativa relacionar las medidas de impedancia con el contenido y tamaño de los poros, así como detectar el efecto de la modificación superficial generada con el láser de femtosegundo (microporosidad adicional y capa de óxido de titanio).

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de biomateriales para la fabricación de implantes como solución a los daños a los que están expuestos los tejidos óseos, permite a los pacientes mejorar su calidad de vida. El titanio y sus aleaciones son excelentes elecciones, sin embargo, hay aspectos que comprometen su uso como biomaterial asociados a una mala osteointegración (Liu, Liu, & Wang, 2019). Este problema se ha abordado mediante el diseño y fabricación de materiales porosos y el estudio de la modificación de la superficie del implante para promover la proliferación, diferenciación y adhesión de las células del tejido. Los tratamientos con láser de femtosegundo son los más utilizados en aplicaciones biomédicas, ya que poseen una duración de pulso más corta y consiguen obtener gran variedad de estructuras superficiales (Rodríguez *et al.*, 2020).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Piezas porosas vírgenes y tratadas con femtosegundo

En este trabajo se utilizaron 18 discos fabricados con titanio comercialmente puro (grado VI), cuyas dimensiones eran de 12 mm de diámetro y unos 4 mm de grosor. Se fabricaron dos muestras totalmente densas mediante pulvimetalurgia convencional, prensado y sinterizado. Las 16 muestras porosas se obtuvieron mediante la técnica space-holder, mezclando el polvo de titanio con volúmenes de espaciador al 30%, 40%, 50% y 60%; eligiendo bicarbonato de amonio (NH_4HCO_4) como espaciador y usando dos rangos de tamaño para estas partículas: 100-200 μm y 355-500 μm (Moriche *et al.*, 2021; Rodríguez *et al.*, 2020).

Tabla 1. Imágenes de la macroestructura de algunas muestras estudiadas antes y después del tratamiento con láser de femtosegundo.

	Antes de FEMTO	Después de FEMTO
Pieza totalmente densa		
30% vol. poroso		

De estos discos, se conservó virgen una muestra de cada tipo, y a la otra, se le realizó una modificación de la superficie mediante irradiación con láser. Se utilizó un láser de fibra dopado con Yb con una longitud de onda de 1040 nm y pulsos de 396 fs a una velocidad de repetición de $f = 100$ kHz. Los parámetros elegidos en (Rodríguez *et al.*, 2020) buscaban la combinación de ondulaciones y microestructuras columnares/micropilares en la superficie.

2.2. HP 4395A

El equipo Hewkett-Packard 4395A de Agilent, permite obtener medidas de impedancia de las piezas de titanio fabricadas, y poder así estudiar y ver las diferencias entre ellas. Si se utiliza como analizador de impedancia, configuración utilizada en este

trabajo, se requiere el kit o módulo de impedancia 43961A. En él se puede encontrar la circuitería electrónica necesaria para realizar las medidas de la impedancia, utilizando el método de medición I-V durante las distintas frecuencias a las que son sometidas las muestras (Ge, 2002).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como era de prever gracias a estudios anteriores (Olmo *et al.*, 2020), las medidas obtenidas para los discos de ambos tamaños de poro, pusieron de manifiesto que existía relación entre el aumento de la porosidad y el aumento de la impedancia. Se observó cómo fue aumentando la impedancia eléctrica conforme aumentaba el porcentaje en volumen de porosidad. También se comprobó cómo el tamaño del poro, influye en los valores de la impedancia. Observando el gráfico 1, vemos que las piezas de tamaño de poro 100-200 μm presentan valores menores de impedancia que las que tiene tamaño de poro mayor (para ambos porcentajes de porosidad).

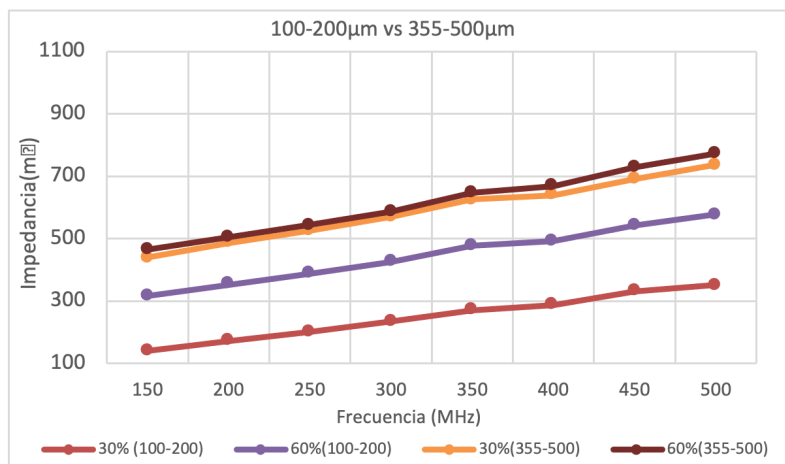


Gráfico 1. Comparación de las piezas al 30% y 60% de volumen poroso en ambos rangos de tamaño de poro.

En cuanto a las diferencias aportadas por la modificación de la superficie de las piezas de titanio con el láser de femtosegundo, se aprecia un aumento considerable en el módulo de la impedancia eléctrica, como podemos ver en el gráfico 2.

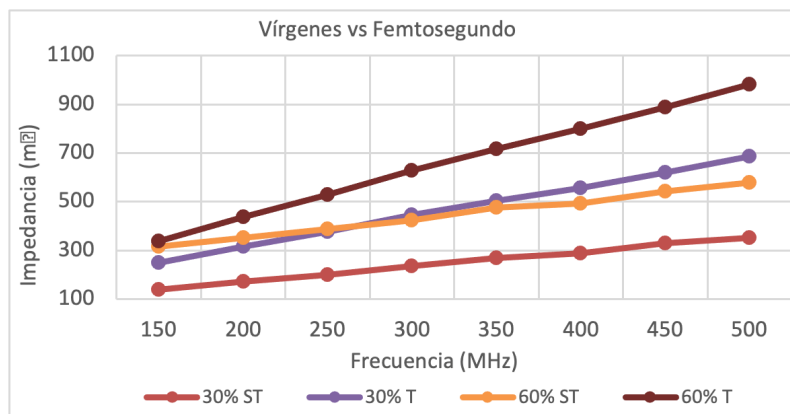


Gráfico 2. Comparación de las piezas al 30% y 60% de volumen poroso vírgenes y tratadas con femtosegundo.

Las piezas tratadas mostraron unos valores mayores a los obtenidos en las piezas sin tratar, esto se debe a que las ablaciones con láser femtosegundo, dan lugar en ocasiones, a una mayor porosidad y rugosidad en las piezas; debido a que consigue producir una gran variedad de nanoestructuras, múltiples patrones paralelos de superficie con pilares y microrugosidades; por lo que, al aumentar la porosidad de las muestras, se produce ese aumento de la impedancia. En cuanto a la relación de aumento de la impedancia con el porcentaje de volumen de porosidad, se siguió conservando. Como se ha podido observar en el gráfico 2, los valores de impedancia son directamente proporcionales al porcentaje en volumen de porosidad de las muestras. Para las piezas del rango de tamaño de poro mayor, el aumento de la impedancia eléctrica en las piezas tratadas también se pudo apreciar.

4. CONCLUSIONES

El método seguido en este proyecto, ha obtenido unos resultados que demuestran la fiabilidad de esta metodología y del equipo empleado para su desarrollo. Como se había visto anteriormente, los resultados han confirmado la relación directa de la porosidad y el tamaño de poro con la impedancia eléctrica de las piezas de titanio. Observando los resultados obtenidos, se podría afirmar que la modificación de la superficie de las piezas de titanio con el láser de femtosegundo, influye y favorece el aumento de la impedancia eléctrica de estas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ge, F. K.** (2002). Operation Manual HP 4395 Agilent. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Liu, W., Liu, S., & Wang, L.** (2019). Surface Modification of Biomedical Titanium Alloy: Micromorphology, Microstructure Evolution and Biomedical Applications. *Coatings*, 9(4), 249.
- Moriche, R., Beltrán, A. M., Begines, B., Rodríguez-Ortiz, J. A., Alcudia, A., & Torres, Y.** (2021). Influence of the porosity and type of bioglass on the micro-mechanical and bioactive behavior of coated porous titanium substrates. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 551(September 2020), 120436.
- Olmo, A., Hernández, M., Chicardi, E., & Torres, Y.** (2020). Characterization and monitoring of titanium bone implants with impedance spectroscopy. *Sensors (Switzerland)*, 20(16), 1–13.
- Rodríguez, Á., Trueba, P., Amado, J. M., Tobar, M. J., Giner, M., Amigó, V., & Torres, Y.** (2020). Surface modification of porous titanium discs using femtosecond laser structuring. *Metals*, 10(6), 1–18.