

# COMPARACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO DE BRACKETS METÁLICOS POR MEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS

I. CASTELLANOS<sup>1</sup>; D. Y. PEÑA<sup>2\*</sup>, H. A. ESTUPIÑÁN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Química Grupo de Investigaciones en Corrosión GIC, Universidad Industrial de Santander

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería Metalúrgica  
\*dypena@uis.edu.co

Fecha Recepción: 21 de Octubre de 2009

Fecha Aceptación: 30 de Octubre de 2009

---

## RESUMEN

Las técnicas desarrolladas para realizar el reciclado de brackets metálicos deben garantizar su funcionalidad en el tratamiento de ortodoncia, además de no causar reacciones alérgicas. Esto último ha sido superado, sin embargo, el acero del cual se fabrica, es susceptible a algún tipo de corrosión. Realizando las técnicas comúnmente aplicadas para el reciclo, como arenado y flameado, además de un novedoso procedimiento propuesto, se pretende evaluar los procesos de corrosión a los cuales se ven expuestos, por medio de técnicas electroquímicas, utilizando como electrolito saliva artificial Afnor. Los resultados obtenidos en las pruebas corroboran que el arenado sigue siendo la técnica con los mejores resultados.

**Palabras Claves:** *Brackets, Reciclo, Técnicas Electroquímicas, Corrosión.*

## ABSTRACT

The techniques used to carry out the recycling of the metallic brackets must guarantee their functionality in the treatment as well as not to cause any allergic reactions. The latest has been successfully achieved; however, the steel that they are made of might be corrosive. The techniques commonly applied for the recycling like the sandblasting and direct flaming were carried out, besides a proposed procedure; this work aims to evaluate the processes of corrosion using electrochemical techniques and electrolyte artificial saliva Afnor. The results corroborated that the sandblasting is the best technique.

**Key words:** *Brackets, Recycle, Electrochemical Techniques, Corrosion.*

---

## INTRODUCCIÓN

Los primeros tipos de brackets aparecieron en la década de los 30's, más específicamente en 1935 denominados Rusell Lock, sin embargo, sólo hasta los años 70's se empezaron a patentar las diferentes configuraciones existentes con respecto a éstos, haciendo énfasis en la base del bracket, sus aletas y el tipo de ligación. Junto con estas características, el tipo de material utilizado en la fabricación también fue un factor determinante,

debido al tipo de ambiente intra-oral a los que son expuestos, es decir, la cavidad oral de los pacientes, por lo que su corrosión y desgaste son inevitables [1]. La mayoría de los brackets son fabricados de acero inoxidable austenítico AISI 303, 304, 304L, 316, 316L y 317 [2] (*American Iron and Steel Institute*), basándose en su dureza y su habilidad de resistir las cargas durante el tratamiento sin la deformación. Sin embargo, en la actualidad el más utilizado es el tipo 316L que tiene una composición nominal de (%wt): 0.017

C, 1,73 Mn, 0.023 P, 0.027 S, 0,065 Si, 17,33 Cr, 13,69 Ni, 2,34 Mo, con su respectivo balance de Fe [3].

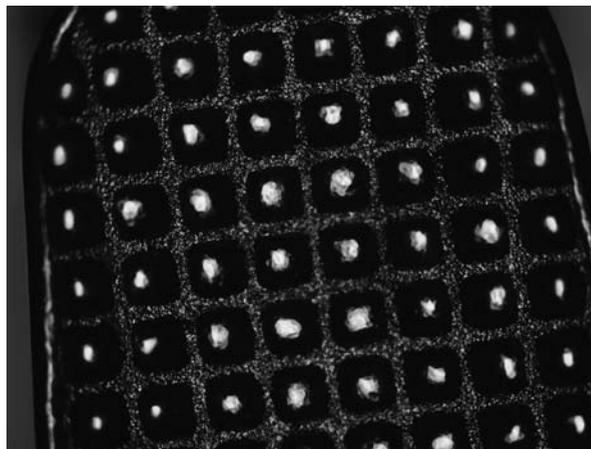
El proceso del reciclado de los brackets surgió esencialmente por la necesidad de reducir el costo de tratamientos en pacientes con problemas ortodóncicos, ante esto, se han buscado métodos de reciclado mediante los cuales se pueda mantener la misma funcionalidad de un bracket nuevo. El principal objetivo de su reciclaje, consiste en eliminar totalmente la resina del bracket sin debilitar o dañar la base de su enmallado, sin distorsionar las dimensiones de sus ranuras, las cuales le proveen adhesión. Este procedimiento tiene varios efectos, entre los cuales se encuentran, la aceleración del proceso de corrosión, la tendencia a la emisión de iones del metal que pueden manchar los dientes o sensibilizar a los pacientes al níquel, la disminución de la fuerza de adhesión y la capacidad de reciclarse una vez más. Los métodos utilizados deben eliminar completamente el material del agente adhesivo sin distorsionar ninguna parte de los componentes del bracket, para lograrlo, se han desarrollado diversos métodos, entre los que se incluye una variedad del tipo mecánico (Fresas rotatorias o Arenador) y una variedad de métodos térmicos (Flameado o Calentamiento en horno).[4]

El presente trabajo estudia un método de reciclado, el cual consiste, en un decapado por medio de un ácido, seguido de un tratamiento de electropulido y finalmente un proceso de pasivación de los mismos, además, de las evaluaciones electroquímicas llevadas a cabo por medio de las mediciones de la Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIE), la Extrapolación Tafel y la Polarización Cíclica.

## MATERIALES Y METODOLOGÍA

Como probetas de ensayo, se utilizó el Kit de brackets, *OrthoClassic*, modelo Roth [5], compuesto por 20 Brackets con una superficie de la base aproximada de 12 mm<sup>2</sup>, como se observa en la Figura 1, los cuales fueron limpiados inicialmente con aire seco. Se realizó una distribución para cada técnica de la siguiente manera: dos son los

blancos, cuatro fueron para el arenado, cuatro para el flameado, diez para la técnica propuesta y de éstos, cinco se les realizó una pasivación, mientras que a los otros cinco se dejaron con la superficie electropulida.



**Figura 1.** Micrografía del Bracket utilizado en los ensayos, tomada a 5X.

## ENVEJECIMIENTO DE LOS BRACKETS

Se aplicó una mezcla de resina con Metil-Metacrilato a los 18 brackets dispuestos al procedimiento del reciclo, el cual es usado normalmente como adhesivo entre el bracket y el diente. Posteriormente se mantuvieron durante una semana en una solución de saliva artificial Afnor [6], cuya composición se muestra en la Tabla 1, a cual se usó para simular el montaje ortodóncico de los brackets en una cavidad bucal; anterior a esto, se realizó el mismo procedimiento sin la resina durante un lapso de 15 días.

**Tabla 1.** Composición de la saliva Artificial Afnor

| Sustancia   | Concentración |
|---|---------------|
| NaCl  | 0,7 g/l       |
| KCl   | 1,2 g/l       |
| NaHCO <sub>3</sub>                                  | 1,5 g/l       |
| KSCN  | 0,33 g/l      |
| Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O | 0,26 g/l      |

### **Arenado**

El chorro de arenado se realizó, con una proyección horizontal sobre la base del bracket a una distancia de 10 mm con óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) y un tamaño de grano de 50  $\mu m$  [7], a una presión de 250 kPa, con un dispositivo de arenado, durante 30 segundos. Posteriormente, los residuos se limpiaron con un chorro de aire seco durante 10 segundos.

### **Flameado**

Se realizó el flameado por medio de un soplete de mezcla oxígeno - acetileno, manteniendo una llama a 10 mm de distancia de los brackets, a una temperatura de 950 °C a cuatro brackets durante un lapso, de cinco segundos al primero, cuatro segundos al segundo, y tres segundos a los dos últimos.

Posteriormente se lavaron los brackets en agua destilada y luego se secaron con aire seco durante treinta segundos.

### **Modelo Experimental Propuesto**

Para el decapado se utilizó una solución acuosa de ácido fosfórico al 37% a una temperatura de 60°C. Luego, los brackets se lavaron en agua destilada y se secaron con aire seco durante 30 segundos. La solución empleada para realizar el electropulido de los aceros inoxidable austeníticos presenta la siguiente composición: 55% ácido ortofosfórico ( $H_3PO_4$ ), 12% ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y 33% agua [8]. La temperatura a la cual se llevó este proceso fue a temperatura ambiente, la densidad de corriente y tiempo utilizado para los 10 brackets, se describe en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Valores de los parámetros utilizados en el proceso de Electropulido

| Brackets                             | Denominación | Corriente (A) | Tiempo (min) |
|--------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
| <b>C-01</b><br><b>Sin Pasivación</b> | 01           | 1             | 1            |
|                                      | 02           | 2             | 2            |
|                                      | 03           | 1             | 2            |
|                                      | 04           | 0,8           | 1            |
|                                      | 05           | 0,8           | 2            |
| <b>C-02</b><br><b>Pasivación</b>     | 01           | 1             | 1            |
|                                      | 02           | 2             | 2            |
|                                      | 03           | 1             | 2            |
|                                      | 04           | 0,8           | 1            |
|                                      | 05           | 0,8           | 2            |

De acuerdo con la Norma ASTM A380-99 [9], la solución al 20% de Ácido Nítrico ( $HNO_3$ ), es la adecuada para llevar a cabo la pasivación de un acero inoxidable 316L. Se sumergieron los 5 brackets en este baño a una temperatura de 47 °C por 10 minutos, y finalmente se realizó un baño ultrasónico en etanol por 5 minutos.

### **Pruebas de Caracterización**

En el esquema de la Figura 2 se muestra el montaje realizado para la caracterización electroquímica, el electrolito utilizado fue la saliva artificial Afnor, a una temperatura de 37,7 °C (temperatura corporal)

mediante una plancha de calentamiento. Se utilizó como electrodo de referencia Ag/AgCl saturado con KCl 1M y como electrodo de auxiliar, grafito. Las mediciones electroquímicas se realizaron por medio del Potenciostato/Galvanostato Gamry 600. Los ensayos de EIE se realizaron a una amplitud de 10 mV, con un barrido de frecuencia desde 0,01 Hz hasta 100.000 Hz. En las pruebas de Extrapolación Tafel, se realizaron a una velocidad de 1 mV/s, con un rango de potencial entre -1,5 V y 1,5 V. Finalmente la Polarización Potenciodinámica Cíclica, se realizó a una velocidad de 5 mV/s donde el potencial inicial fue de -0,2 V y la exploración de reversa de 5V.

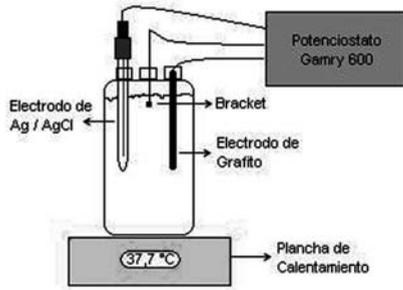
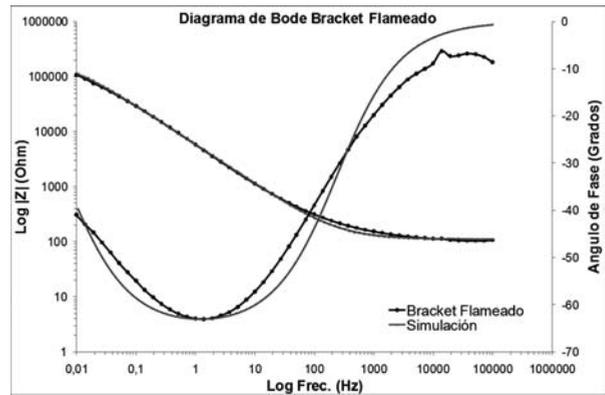


Figura 2. Montaje Celda Tipo Balón para las pruebas Electroquímicas

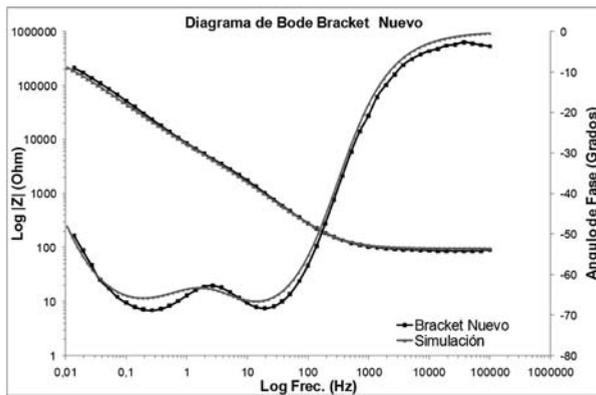


C.

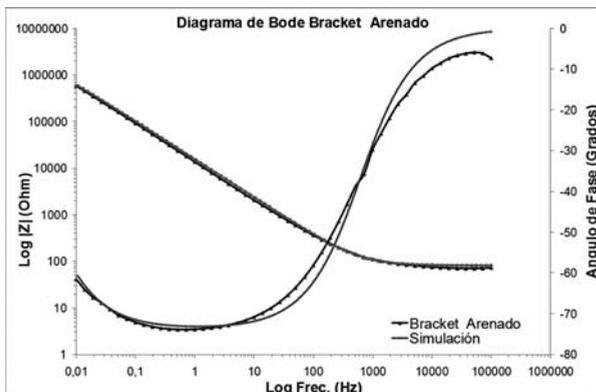
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Espectroscopia de Impedancia

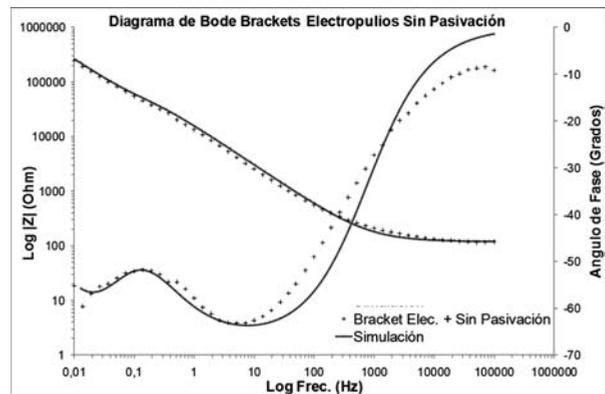
Los diagramas de Bode obtenidos para cada técnica aplicada, de acuerdo a la Figura 3, identifican los fenómenos superficiales asociados a los procesos corrosivos y de doble capa que se llevan a cabo en la interfase saliva artificial/bracket. En general todas las técnicas de reciclo presentaron



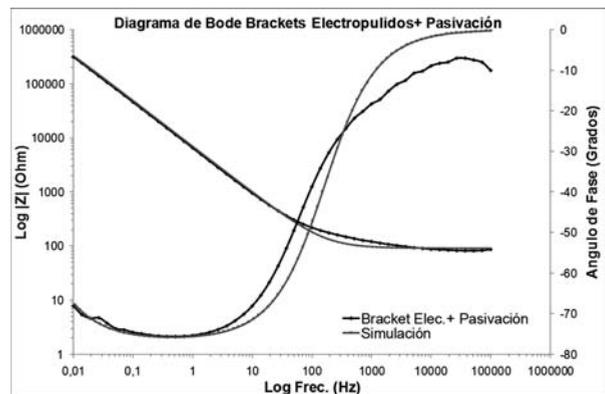
a.



b.



d.



e.

Figura 3. Diagramas de Nyquist y Simulación para los Brackets: a) Nuevo, b) Arenado, c) Flameado, d) Electropulido + Sin Pasivación y e) Electropulido + Pasivación.

comportamientos resistivos relacionados con la caída óhmica, y comportamientos atribuidos a la resistencia a la transferencia de carga ( $R_t$ ). En pendientes de logaritmo de la frecuencia versus

el logaritmo del módulo de la impedancia, se caracterizaron comportamientos capacitivos, los cuales están representados por elementos de fase constante (CPE) en el rango de frecuencias medias, presentando pendientes inferiores a 0,9. Esta naturaleza de fase constante de la impedancia es una consecuencia del defecto de transporte en la película de óxido formado, debido principalmente a la migración de las cargas bajo la influencia netamente electroquímica (transporte producido a través de la migración y no por difusión) [10]. Existen varias explicaciones físicas para este comportamiento, la principal y la que se aplica en este caso, es que el CPE se compensa con la rugosidad de la base del bracket, ya que modifica la distribución de carga de la doble capa y por tanto su impedancia.

En todos los casos a excepción de la técnica de flameado, se presentan dos constantes de tiempos, a una frecuencia de 1 Hz. En los brackets arenado y electropulido con pasivación, estas constantes se traslapan debido a las similitudes dieléctricas que existe ente las interfaces óxido/metal y óxido/electrolito, representándose así por medio del circuito equivalente de la Figura 4a. En comparación con el bracket nuevo y el electropulido sin pasivación estas constantes no presentan el mismo comportamiento, esto supone que, el enriquecimiento del óxido de Cr se realiza en las regiones más internas, identificada con el circuito de la Figura 4b.

La técnica del flameado, es un caso particular, ya que se representa por el circuito equivalente de Randles, simbolizado en la Figura 4a, la diferencia se encuentra, en que la película de óxido no se forma homogéneamente sobre el metal, lográndose así que la película superficial sea porosa, esto está soportado por los valores más bajos que se obtuvieron para el comportamiento capacitivo y resistivo.

Finalmente, el valor más alto de  $R_t$  se observó en el bracket arenado, lo cual implica la buena resistencia a la corrosión que tiene en comparación con los demás brackets debido a la estabilidad y compactibilidad ofrecida por la capa de óxido.

Los circuitos se obtuvieron de acuerdo a la simulación por medio del Software Zview 3.1, con porcentajes de error inferiores al 10%.

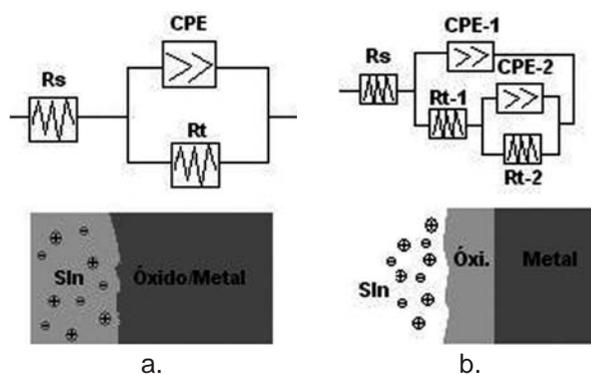


Figura 4. Circuito Equivalente a) I y b) II

### Extrapolación Tafel

La Figura 5 muestra la gráfica obtenida de la Extrapolación Tafel para los tratamientos superficiales llevados a cabo. Los brackets electropulidos con y sin pasivación fueron los que obtuvieron comportamientos similares, de acuerdo a las curvas de polarización obtenidas.

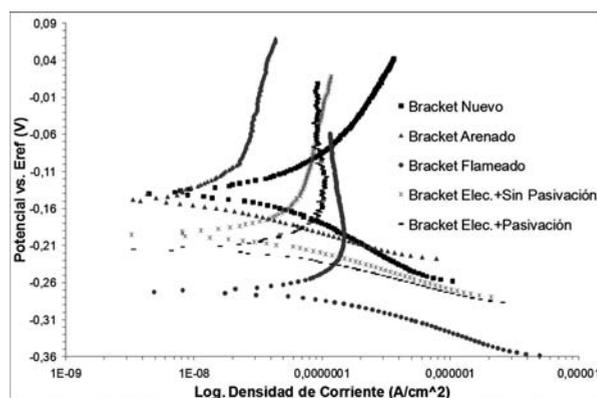


Figura 5. Resultados de Tafel en los brackets con las técnicas de reciclado.

Los valores más bajos de la densidad de corriente ( $i_{corr}$ ) se obtuvieron para los brackets nuevo y arenado, seguido de los electropulidos y finalmente del flameado, indicando así que el bracket arenado presenta las mejores propiedades de resistencia a la corrosión, por encima del bracket nuevo; esto puede ser posible, a que el tamaño de partícula utilizado durante el arenado, le proporciona a la base del bracket una homogeneidad sobre la superficie logrando favorecer principalmente

la reacción catódica, es decir, formación de cromita, protegiéndolo ante un eventual proceso

de corrosión. Un resumen de estos resultados se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Parámetros calculados a partir de la Extrapolación Tafel

| <b>Tipo de Bracket</b>        | <b><math>E_{corr}</math><br/>(V)</b> | <b><math>i_{corr}</math><br/>(<math>\mu A/cm^2</math>)</b> | <b>Coef. de Stern-Geary:<br/>(mV/Década)</b> | <b><math>R_p</math><br/>(<math>K\Omega\text{-}cm^2</math>)</b> | <b>CR<br/>(mm/año)</b> |
|-------------------------------|--------------------------------------|--|--|--|------------------------|
| <b>Nuevo</b>                  | -0,1399                              | 0,0175   | 35,9   | 2053,7   | $1,829 \times 10^{-4}$ |
| <b>Arenado</b>                | -0,1480                              | 0,0135   | 49,1   | 3633,7   | $1,411 \times 10^{-4}$ |
| <b>Flameado</b>               | -0,2726                              | 0,1150   | 34,4   | 298,87   | $1,202 \times 10^{-3}$ |
| <b>Elec. + Sin Pasivación</b> | -0,1954                              | 0,0490   | 39,3   | 802,21   | $5,120 \times 10^{-4}$ |
| <b>Elec. + Pasivación</b>     | -0,2148                              | 0,0600   | 32,1   | 534,57   | $6,269 \times 10^{-4}$ |

El bracket flameado, fue el que presentó el menor  $E_{corr}$ , lo que indica que la técnica hace al bracket más susceptible a la corrosión, incluso presentó la mayor  $i_{corr}$ , donde el proceso de corrosión se favorece con la reacción anódica, es decir, la migración de iones del metal ( $Cr \rightarrow Cr^{3+} + 3e^-$ ), perdiendo la capacidad de formar la película de óxido y haciéndolo más vulnerable a la corrosión.

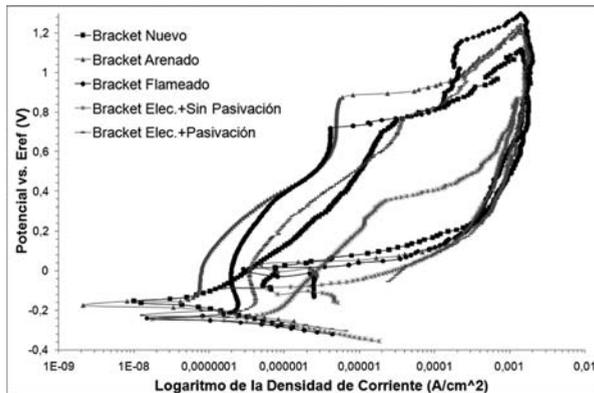
Un requisito esencial para cualquier metal que se emplee en la cavidad intra-oral es que no genere productos de corrosión que sean dañinos para el organismo, sin embargo, es un ambiente ideal para la biodegradación de los metales, en especial, para aquellos que deben permanecer por un período de tiempo muy prolongado, debido a que la saliva contiene agua, oxígeno e iones cloruros que contribuyen al ataque corrosivo.

La velocidad de corrosión (CR) determinada en los brackets no supera el orden de magnitud de  $10^{-3}$  mm/año, demostrando así que en el tiempo que se utilizan, no representan efectos perjudiciales para quienes les dan uso en un tratamiento de ortodoncia. Finalmente la  $i_{corr}$  presentada por los brackets en cualquiera de los tratamientos aplicados, son inferiores a  $1$  mA/m<sup>2</sup>, esto representa que no existen efectos dañinos significativos en los pacientes [11], debido a que se mantiene en un rango en el cual la mayoría de las funciones fisiológicas funcionan adecuadamente.

### **Polarización Cíclica**

De acuerdo a los resultados obtenidos, que se muestran en la Figura 6, el bracket nuevo no presenta un Potencial de Pasivación Primaria ( $E_{pp}$ ) en comparación con el resto de los brackets reciclados debido a que éstos últimos pierden su capa de óxido pasiva por los tratamientos superficiales a los que fueron expuestos. Los brackets inicialmente durante la aplicación del potencial y a una determinada densidad de corriente se pasivan para lograr de nuevo la estabilidad de protección frente a la corrosión formando la película de óxido ( $Cr_2O_3$ ) que caracteriza al acero austenítico 316L. Luego en el Potencial de Picado ( $E_p$ ) el bracket arenado presenta la mayor resistencia a la corrosión por picado (0,845 V), con similares valores obtenidos siguen los brackets electropulido con pasivación, flameado y nuevo, con  $E_p$  de 0,775 V, 0,708 V y 0,686 V, respectivamente.

A lo largo de toda la región anódica de las curvas, no se observaron fluctuaciones en la densidad de corriente, lo cual muestra la estabilidad de la película pasiva formada en la base del bracket, sin embargo la altas diferencias entre  $E_p$  y el  $E_{rp}$  indica la baja capacidad de repasivación en todos los casos, en este orden de ideas, todos los brackets no se encuentran exentos a lo largo de su uso, de tener una corrosión localizada, en especial, cuando se encuentran en un ambiente con cloruros.



**Figura 6.** Curvas de Polarización Cíclica de las técnicas de reciclado de brackets metálicos.

## CONCLUSIONES

Los brackets después del reciclado presentan reacciones químicas o electroquímicas en el ambiente intra-oral, que puede por un lado dar a la formación de la película pasiva, retardando el proceso de corrosión y, por otro lado influir en el posterior deterioro de la base del bracket por medio de los procesos de corrosión.

Sobre los comportamientos obtenidos sobre los brackets reciclados, el bracket arenado presentó las mejores características frente a la corrosión, ya que por medio de esta técnica se logra obtener una homogeneidad, estabilidad y compactibilidad de la película de óxido frente a un posible proceso de corrosión, lo que no ocurre en contraste con las demás técnicas de reciclado.

La técnica del flameado fue el procedimiento de recuperación mediante el cual el bracket es más susceptible ante una eventual corrosión localizada, esto debido a los sitios activos que se presentan después del calentamiento, además de lograr un cambio en la apariencia del mismo. El bracket electropulido con pasivación logra mejorar las características superficiales no deseadas por la técnica del flameado pero no supera las expectativas logradas por el arenado.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander, a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, por el financiamiento del proyecto promisorio y al Grupo de Investigaciones en Corrosión GIC.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Harradine, N. "The History and Development of Self-Ligating Brackets. Seminar Orthodontic", vol. 14 N. 1, 2008, pgs. 5-18.
- [2] Huang, T.; Yen, C. "Comparison of ion release from new and recycled orthodontics brackets", *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, Vol.120, 2000, pgs. 68-75.
- [3] Purbaix, M. "Electrochemical corrosion of metallic biomaterials". *Biomaterials*, Vol. 5, 1984, pgs.122-133.
- [4] Garcidueñas, S. y Vargas, M. "Comparación de dos técnicas de reacondicionado de brackets metálicos mediante el índice de resina modificado". *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatría*, 2008, pgs.1-9.
- [5] Ortho Classic, "Ultimim Roth", edición de internet, Sección Bracket System. <http://www.orthoclassic.com/PDF/09%20Roth.pdf>. 2009.
- [6] Aldea, E; Meghea, A Y Demctresci, I. "Comparison of the antioxidant activity of various simulated artificial saliva", 2003, pgs. 331-334.
- [7] Nergiz, I.; Schmage, P.; Herrmann, W. Y Özcan, M. "Effect of alloy type and surface conditioning on roughness and bond strength of metal brackets". *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. Vol. 125, 2003, pgs. 42-48.
- [8] Norma ASTM E1558-99. "Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens" Annual Book of ASTM Standards, Vol. 1.01, 1999, p. 5.
- [9] Norma ASTM A380-99. "Standard Practice for Cleaning, Descaling, and Passivation of Stainless Steel Parts, Equipment, and Systems". Annual Book of ASTM Standards, Vol. 1.03, 1999, p. 1.
- [10] Niciu, I. Y Macdonald, D. "The passivity of Type 316L stainless steel in borate buffer solution". Vol. 379, 2008, pgs. 54-58.
- [11] DEC. MEDIDA. Edición de internet, sección: Segurança em Campos Eléctricos, Magnéticos e Electromagnéticos. <http://www.decmed.pt/index.html?downloads/nevoeiro/nevoeiro4.htm>. 2009.