

Corrosión por picadura en aleaciones de níquel-cromo (Ni-Cr) utilizadas en odontología

GLADYS VELAZCO* • REYNALDO ORTIZ** • JENAIR YÉPEZ* • ANDREA KAPLAN***

*. Cátedra de Materiales Dentales, Laboratorio Integrado de Biología Molecular y Celular, Facultad de Odontología. **. Laboratorio de Electroquímica Fundamental y Aplicada Facultad de Ciencias Universidad de los Andes Mérida, Venezuela. ***. Cátedra de Materiales Dentales. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. E-mail: gvelazco@ula.ve.

RESUMEN

La cavidad bucal puede representar un medio biológico desfavorable para ciertas aleaciones metálicas utilizadas para tratamiento odontológico, originando procesos de corrosión que alteran las propiedades del material. Las aleaciones de níquel-cromo son ampliamente usadas en odontología, siendo susceptibles de presentar fenómenos corrosivos que comprometen su integridad. El presente estudio tuvo como objetivo analizar por curvas de polarización cíclica, la corrosión por picadura en aleaciones de níquel-cromo utilizadas en odontología. Se realizó un estudio de tipo experimental y corte transversal, comprobando el desarrollo de la corrosión en brackets de ortodoncia a base de níquel-cromo, sumergiéndolos en medios de saliva artificial modificada con café, gaseosa y vinagre. Las curvas de polarización cíclica no revelaron una diferencia significativa entre el potencial de protección y el potencial de picadura en los diferentes medios, pero sí se evidenció un cambio de potencial indicativo de procesos de corrosión por formación de porosidad en la superficie del material. El proceso de corrosión constituye un factor de riesgo importante para aquellos pacientes con tratamientos ortodónticos con brackets a base de níquel-cromo. Los diferentes profesionales de la salud deben estar conscientes del estudio acentuado de las propiedades óptimas de un material y su interacción con los medios biológicos que lo soportan.

Palabras clave: aleaciones de níquel-cromo, brackets de ortodoncia, corrosión por picadura.

PITTING CORROSION IN NICKEL-CHROMIUM (Ni-Cr) USED IN DENTISTRY

ABSTRACT

Oral cavity may represent a biological environment unfavorable for certain metal alloys used for dental treatment, resulting in corrosion processes altering the material properties. Nickel-Chromium are alloys widely used in dentistry. They are likely to be sensitive to corrosive phenomena that compromise patients' integrity. This study aimed to analyze pitting corrosion in Chromium-Nickel alloys used in dentistry, by cyclic polarization curves. Based on an experimental and cross-sectional study, development of corrosion of Nickel-Chromium orthodontic brackets was analyzed by immersing them in artificial saliva modified with coffee, soda and vinegar. Cyclic polarization curves did not reveal a significant potential difference between the potential of pitting and protection in the different media, but there was a change in potential indicative of corrosion processes by formation of voids in the material surface. Corrosion process is an important risk factor for patients with orthodontic treatment with Nickel-Chromium Brackets. Health professionals should be aware of the ideal properties of a material and its interaction with biological environments.

Key Words: Nickel-chromium alloys, orthodontic brackets, pitting corrosion.

Introducción

El incremento en el uso de biomateriales metálicos para tratamientos tanto en el campo médico como en el odontológico, ha estimulado la realización de numerosas investigaciones relacionadas con la producción de elementos tóxicos para la salud, una vez que dichos materiales entran en contacto continuo con la cavidad bucal.

Las condiciones y componentes propios de la cavidad bucal (propiedades iónicas, térmicas, microbiológicas, enzimáticas, humedad, variaciones de pH, entre otras) pueden conducir a la biodegradación de ciertas aleaciones metálicas utilizadas en diversos materiales para tratamiento odontológico, originando la liberación y filtración de metales pesados en el medio bucal (1). Este proceso se conoce como corrosión, y se puede definir de varias maneras: La destrucción o deterioro de un material debido a la reacción con el medio que lo rodea; la destrucción de un material por otros medios directamente mecánicos (2); serie de acontecimientos

mediante los cuales un metal cambia a un óxido metálico (3).

En muchos casos se suele limitar el concepto "corrosión" a la destrucción electroquímica de los metales, cuando en realidad la reacción de un material con su entorno produce una oxidación del metal. Si el óxido que se forma no es adherente sino poroso, puede dar lugar a la destrucción de todo el metal, además el ataque a un material por el medio que le rodea conlleva la pérdida de masa y deterioro de sus propiedades (4). Generalmente, la destrucción de un cuerpo sólido causada por un ataque no provocado, se inicia en la superficie, atacando en ocasiones las áreas pequeñas y produciendo pigmentaciones y picaduras (perforaciones), como consecuencia del ataque químico y electrónico del medio (3).

La corrosión de los metales también puede ser considerada como el proceso inverso de la metalurgia extractiva, es decir, muchos metales existen en la naturaleza en estado combinado, como por ejemplo los óxidos, sulfatos, carbonatos o silicatos; en estos

estados, las energías de los metales son más bajas, mientras que en el estado metálico las energías de los metales son más altas, y por eso, hay una tendencia espontánea de los metales a reaccionar químicamente para formar compuestos (3,2).

Para que una restauración metálica se mantenga inalterable en el medio bucal, no debe corroerse, puesto que la aparición de corrosión conduce a la destrucción electroquímica del material. Sin embargo, en presencia de ambientes agresivos (como el medio bucal) que contienen iones cloro, ciertas aleaciones como la de Ni-Cr son susceptibles de ser corroídas por picadura (5).

Las aleaciones de Ni-Cr son ampliamente utilizadas en odontología, destacándose su uso en la elaboración de incrustaciones, prótesis fijas metal-porcelana, prótesis parciales removibles, confección de brackets para tratamientos ortodónticos, entre otras aplicaciones (4). Así como ocurre con todos los materiales y aleaciones metálicas, la integridad y propiedades tanto físicas como mecánicas de este tipo de aleación, pueden alterarse por la influencia de los elementos y procesos biológicos inherentes a la cavidad bucal. En efecto, la literatura (1, 6, 7, 8) reporta casos de filtración de metales pesados procedente de los aparatos de ortodoncia confeccionados con Ni-Cr, con su consecuente potencial tóxico para el entorno bucal.

Por otra parte, la velocidad de corrosión depende de la facilidad con que el metal pierde electrones (y de las propiedades del medio en el que esté sumergido). Como la producción de iones y electrones en una solución crea un potencial eléctrico, es posible comparar la diferencia de potencial que se genera entre un metal específico y uno de referencia al ser sumergidos en una solución y conectados formando un circuito (4). Esta diferencia evidencia un potencial de corrosión (E_{corr}) que adquirirá el metal en el medio corrosivo, siendo un potencial mixto que debe estar entre los potenciales reversibles de las reacciones individuales bajo la siguiente ecuación:

$$E_{r1} < E_{corr} < E_{r2}$$

Estas consideraciones se deben tener en cuenta, por la importancia de los procesos corrosivos en la cavidad bucal, importancia no sólo por el deterioro del material sino también porque la exposición de un paciente a los productos de corrosión de estas aleaciones, puede conducir a necrosis tisular o fenómenos de alergia graves (1,4,7). De igual forma, el hecho de conocer el fenómeno corrosivo, permite predecir las condiciones del ambiente con el cual el material va a interactuar, comprobando la duración y estabilidad estructural del mismo y planteando la posibilidad de reducir el gasto económico que genera el reemplazo de materiales deteriorados por corrosión (9). Toda reacción de corrosión que transcurre según un mecanismo electroquímico, consta al menos de dos reacciones parciales: una anódica de oxidación y una catódica de reducción. Por ello, la corrosión ocurre gracias a la formación y movimiento de las partículas con carga eléctrica y a los procesos parciales anódicos y catódicos, a los cuales les corresponde una intensidad de corriente que es proporcional a la velocidad del fenómeno. El presente estudio de tipo experimental y corte transversal tiene como objetivo analizar por curvas de polarización cíclica, la corrosión por picadura en aleaciones de níquel-cromo (Ni-Cr) utilizadas en odontología, particularmente en la confección de brackets de ortodoncia.

Materiales y métodos

Diseño del sistema electroquímico

Se diseñó un sistema electroquímico de tres electrodos en una celda de un compartimiento, un contra electrodo de platino (Pt), un electrodo de referencia de plata (Ag/AgCl) y un electrodo de trabajo elaborado con un bracket de ortodoncia confeccionado a base de níquel-cromo, estudiando su comportamiento electroquímico frente al fenómeno corrosivo.

Preparación de las muestras

Se utilizó como medio electrolítico saliva artificial preparada en la Facultad de Farmacia, Departamento de Galénica, la cual estuvo com-

puesta de metilcelulosa (1 g), cloruro de potasio (0,0120 g), sorbitol (3 g), cloruro de magnesio (0,005 g), fosfato dibásico de potasio (0,034 g), agua destilada (100 ml). Para efectos de observar cómo los alimentos de uso frecuente influyen en el proceso corrosivo, se procedió a modificar la saliva artificial con café, gaseosa y vinagre, obteniéndose de esta manera 4 muestras de estudio:

- Muestra 1: 15 ml de saliva artificial, sin modificadores, con pH = 8,0
- Muestra 2: 15 ml de saliva artificial en 1 ml de café, con pH = 6,3
- Muestra 3: 15 ml de saliva artificial en 1 ml de gaseosa, con pH = 3,0
- Muestra 4: 15 ml de saliva artificial en 1 ml de vinagre, con pH = 2,4

Cabe resaltar que la temperatura del sistema electrolítico se mantuvo constante en 37 °C +/- 0,5 °C, a través del empleo de un baño termostatzado.

Curvas de polarización

Para comprobar el desarrollo de la corrosión por picadura, en presencia y ausencia de modificadores de los medios en saliva artificial, se realizaron curvas de polarización cíclica para cada medio en el intervalo de potencial desde -1,5V hasta +1,5V vs. Ag/AgCl. Las pruebas se realizaron con el mismo electrodo usado para obtener las curvas de polarización lineal en cada medio en particular. Las soluciones fueron preparadas media hora antes de cada experiencia, simulando el consumo de estos compuestos y logrando la mayor similitud con el medio bucal.

Todas las experiencias electroquímicas fueron realizadas en un Potenciostato/Galvanostato EcoChemie 4.0 acoplado a un computador para el manejo de los datos.

Resultados

Con respecto a la muestra 1 (saliva artificial sin modificadores), se observó un potencial de protección $E_{(prot)}$ (donde las curvas de los barridos anódicos

y catódicos se cruzan) de 0,099 V, desde ese valor de potencial y hasta el potencial de 0,645 V la corriente se mantuvo constante, siendo a partir del valor de 0,645 V donde se evidenció un aumento brusco de la corriente, lo que es indicativo de un proceso de corrosión por picadura (Figura 1).

De igual manera que en las curvas de polarización lineal, se observó una zona de corrientes negativas, debido a degradación de especies presentes. Los valores de corriente de las curvas de polarización lineal y de las curvas de polarización cíclica son diferentes, debido a que se emplea el mismo electrodo para ambas experiencias; por lo tanto, cuando se realiza la curva de la polarización cíclica el bracket ya se ha corroído cambiando la rugosidad del sistema, generándose corrientes mayores por la mayor área efectiva del electrodo.

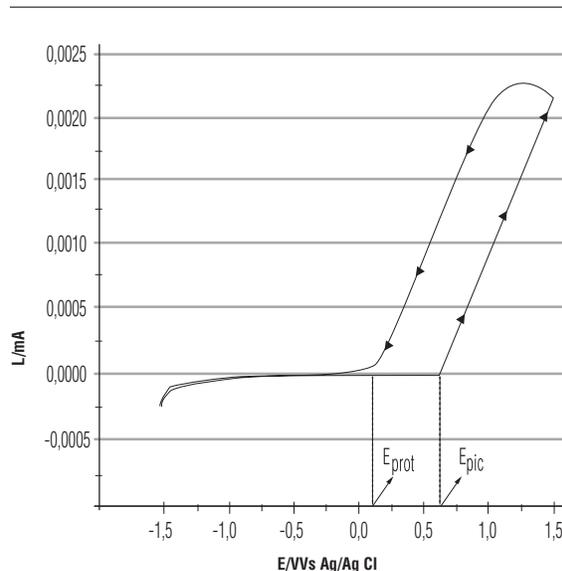


Figura 1. Curva de polarización cíclica obtenida para el bracket de ortodoncia en saliva artificial sin modificadores

En la muestra 2 (Figura 2) se reporta la curva de polarización cíclica para el bracket en el medio saliva artificial/café, en este sistema el potencial de protección $E_{(prot)}$ estuvo en 0,084 V y en 0,699 V el potencial de picadura. También se observó la generación de corrientes negativas, tanto en el barrido ascendente como en el descendente.

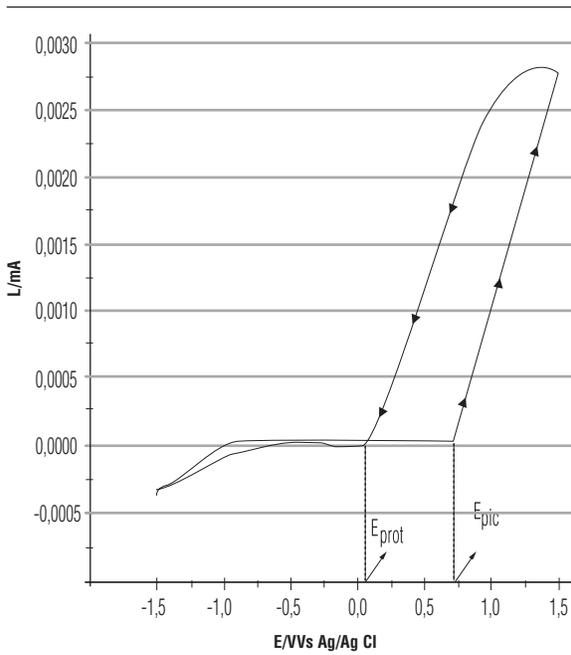


Figura 2. Curva de polarización cíclica obtenida para el bracket de ortodoncia en saliva artificial/café

En la curva de polarización cíclica para el bracket en saliva artificial/gaseosa (Figura 3), se observó un potencial de protección de 0,120 V, los valores de corriente permanecieron más o menos constantes hasta alcanzar el valor del potencial de picadura en 0,645 V, donde la corriente aumentó bruscamente.

En la Figura 4 el potencial de protección para el bracket en saliva artificial/vinagre, se localizó en 0,287 V, a partir de allí los valores de corriente se mantuvieron más o menos constantes para luego aumentar considerablemente a partir del potencial de 0,813 V, zona donde comenzó la corrosión por picadura.

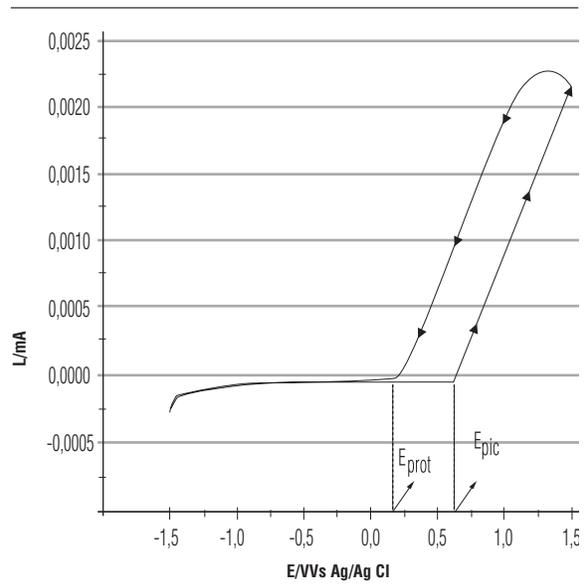


Figura 3. Curva de polarización cíclica obtenida para el bracket de ortodoncia en saliva artificial/gaseosa

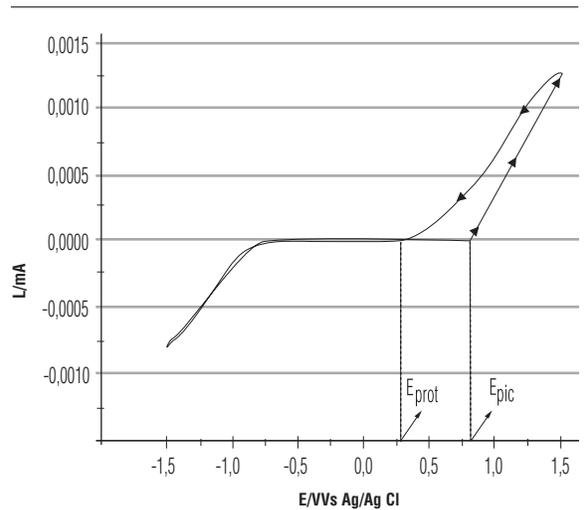


Figura 4. Curva de polarización cíclica obtenida para el bracket de ortodoncia en saliva artificial/vinagre

En la Tabla 1 se muestran comparativamente los potenciales de picadura y protección para cada medio en particular, observando que la diferencia de potencial entre el potencial de protección y el de picadura permaneció relativamente constante a pesar de los diferentes medios utilizados.

Tabla 1. Potenciales de picadura y protección en los diferentes medios

Medio	E _{picadura}	E _{protección}	ΔE
Saliva artificial	0,645 V	0,099 V	0,546 V
Saliva artificial/Café	0,699 V	0,084 V	0,615 V
Saliva artificial/ Gaseosa	0,645 V	0,120 V	0,525 V
Saliva artificial/Vinagre	0,813 V	0,287 V	0,526 V

Discusión

A pesar de que no se obtuvo una diferencia de potencial significativa entre el potencial de protección y el de picadura en los diferentes medios utilizados, se evidenció un cambio de potencial indicativo de procesos de corrosión por picadura o formación de porosidad en la superficie del material, lo cual sugiere que los distintos modificadores del medio alteran de manera importante la estructura de la aleación, destruyendo y deteriorando el material. Costa et ál. (10) evaluaron la corrosión y citotoxicidad *in vitro* de brackets confeccionados con aleaciones de acero inoxidable convencionales y con bajo contenido de níquel, reportando un mejor comportamiento y mayor biocompatibilidad de los brackets de bajo contenido de níquel, apoyando la consideración de que tanto el medio bucal como los componentes de la aleación influyen en la corrosión y potencial de citotoxicidad del material.

Cabe destacar que los potenciales reportados en el presente estudio son relativamente bajos, pudiendo presentarse de igual forma en cavidad bucal. Los resultados se correlacionan con los estudios citados por Costa et ál. (10), en los cuales realizaron pruebas para la determinación de corrosión electroquímica utilizando medios de saliva artificial, obteniendo potenciales de corrosión variables (unos bajos y otros altos), que pueden deberse a la composición diferente de los medios de saliva artificial empleados, así como también a los diferentes elementos considerados para la modificación del medio.

Con variaciones en el material de experimentación y la metodología aplicada, existen diversos

estudios (6,11,12,13,14,15) que comprueban y soportan la generación de fenómenos corrosivos en aleaciones metálicas con contenido de níquel-cromo utilizadas para la fabricación de brackets de ortodoncia, concluyendo que como consecuencia de la corrosión, se liberan iones metálicos al medio bucal que alteran la biocompatibilidad del material y, a su vez, el proceso corrosivo modifica sustancialmente la superficie del material, haciéndola rugosa, propiciando la producción de tensiones friccionales y deteriorando las propiedades físicas y mecánicas del mismo.

Desde el punto de vista clínico, todas estas consideraciones tienen relevancia, puesto que el pronóstico de un tratamiento, en este caso, del tratamiento ortodóntico, se ve comprometido a causa de los procesos corrosivos que se generan. Ciertos autores (6) consideran que la corrosión impide predecir el control de fuerzas ortodónticas, debido a la corrosión superficial del bracket y de los arcos metálicos que se emplean. En efecto, es fundamental que el material utilizado para la confección de los elementos de ortodoncia, tenga resistencia corrosiva y conserve sus características de integridad, aspecto estético y biocompatibilidad.

Las propiedades de la aleación metálica también pueden ser alteradas por daños físicos que acompañan el ataque químico (corrosión-erosión), que producen desgaste corrosivo por fricción (2). De hecho, las partículas abrasivas provenientes del medio modificado producen surcos o ranuras en la superficie del material, incrementando la concentración de esfuerzos y propiciando lugares para la formación de grietas con depósitos de productos de oxidación y corrosión que tienen un efecto de cuña sobre dicho material (16).

Tomando en cuenta la diferencia de pH observada en los medios de experimentación (pH saliva > pH café > pH gaseosa > pH vinagre), se puede pensar que el efecto del mismo sobre el rango de protección no es significativo. Sin embargo, al considerar los cambios de pH que se pueden presentar en cavidad bucal por la ingesta de alimentos, la mala higiene oral y la presencia de microorganismos, se puede inferir que estas variaciones modifican las condiciones del medio bucal, produciendo

efectos adversos sobre la aleación y sobre las estructuras anatómicas bucales, como, por ejemplo, la generación de pigmentaciones en las superficies dentarias a raíz de los fenómenos corrosivos (6,12).

Conclusiones

Los resultados de este estudio permiten inferir que el proceso de corrosión constituye un factor de riesgo importante para aquellos pacientes a quienes se les realizan tratamientos ortodónticos con brackets a base de níquel-cromo, debido a la posibilidad latente de reacciones de hipersensibili-

dad por los iones metálicos liberados al medio, así como también la disminución considerable de la efectividad del tratamiento por alteración en la resistencia al desgaste y fatiga del material, en presencia de componentes adversos en la cavidad bucal.

En consecuencia, el presente artículo pretende advertir a los diferentes profesionales de la salud sobre la importancia que se le debe dar a los fenómenos de corrosión, debido a los daños potenciales que genera y el hecho de que se debe estar consciente del estudio acentuado de las propiedades óptimas de un material y su interacción con los medios biológicos que lo soportan.

Referencias

1. Graber T, Vanarsdall R, Vig K. Ortodoncia: Principios y técnicas actuales. 4ª ed. Madrid: Elsevier; 2006.
2. Rosario S, Yácono J. Materiales: la corrosión, su tradición y alcances. Publicaciones Biblioteca Virtual de Perú. 2004 [citado 26 Mar 2009]; 6(11): [aprox. 6 p.]. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/publicaciones/geologia/Vol6_N11/materiales.pdf
3. Gladwin M, Bagby M. Aspectos clínicos de los materiales en Odontología. México: El Manual Moderno; 2001.
4. Macchi R. Materiales dentales. 3ª ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2000.
5. Voth B, Hoyos S. Cuantificación de la velocidad de corrosión atmosférica del Al utilizando la técnica de análisis de imágenes [Tesis de Grado]. Maracaibo, Venezuela: Universidad del Zulia; 2001.
6. Lin MC, Lin SC, Lee TH, Huang HH. Surface analysis and corrosion resistance of different stainless steel orthodontic brackets in artificial saliva. *Angle Orthod* 2006; 76(2): 322-329.
7. House K, Sernetz F, Dymock D, Sandy J, Ireland A. Corrosion of orthodontic appliances—should we care?. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 133(4): 584-592.
8. Kang EH, Park SB, Kim HI, Kwon YH. Corrosion-related Changes on Ti-based Orthodontic Brackets in Acetic NaF Solutions: Surface Morphology, Microhardness, and Element Release. *Dent Mater J* 2008; 27(4): 555-560.
9. Weinhold E, Velazco G. Corrosión de brackets ortodónticos y su implicación en los procesos alérgicos bucales. *DENTUM* 2005; 5(3): 84-90.
10. Costa MT, Lenza MA, Gosch CS, Costa I, Ribeiro-Dias F. In vitro Evaluation of Corrosion and Cytotoxicity of Orthodontic Brackets. *J Dent Res* 2007; 86(5): 441-445.

11. Shin JS, Oh KT, Hwang CJ. In vitro surface corrosion of stainless steel and NiTi orthodontic appliances. *Aust Orthod J* 2003; 19(1): 13-18.
12. Schiff N, Dalard F, Lissac M, Morgon L, Grosgeat B. Corrosion resistance of three orthodontic brackets: a comparative study of three fluoride mouthwashes. *The European Journal of Orthodontics* 2005; 12:54-62.
13. Garcia M, Gonçalves E, de Andrade H, Fernandes M. Hypersensitivity to conventional and to nickel-free orthodontic brackets. *Braz Oral Res* 2007; 21(4): 298-302.
14. Velazco G, Weinhold E, Cova JL. Análisis de la respuesta electroquímica de una aleación de Ni-Cr ante el fenómeno corrosivo y sus posibles implicaciones clínicas. *Revista Odontológica de Los Andes* 2007 2(1): 11-17
15. Luft S, Keilig L, Jäger A, Bourauel C. In-vitro evaluation of the corrosion behavior of orthodontic brackets. *Orthod Craniofac Res* 2009; 12: 43-51.
16. Ceballos W, León A, Coronado J. Sinergia entre alta rugosidad superficial y ambiente corrosivo en el comportamiento a la fatiga del acero SAE 1045. *Dyna* 2008; 75(154): 91-100.
17. Schiff N, Guerente L, Dalard F, Grosgeat B. Pre-clinical study of galvanic corrosion between Orthodontic brackets and wires in fluoridated dental Rinses. *European Cells and Materials* 2007; 13(1): 43-52.