



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Odontología
Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Odontología
“Dr. Keisaburo Miyata”

“Liberación de iones metálicos en aparatología fija de ortodoncia, tratada con y sin electropulido”

Proyecto Terminal
Para obtener el diploma de
Especialista en Ortodoncia

Presenta:

C.D. Brenda Andrea Ramírez García

Directora:

Dra. en C.S. Edith Lara Carrillo

Co-Directores:

Dr. en C. S. Ulises Velázquez Enríquez

Mtra. en A.P. Ana Miriam Santillán Reyes

Toluca, Estado de México, abril 2023



Contenido	
1. Introducción	2
2. Marco teórico	4
2.1 Ortodoncia	4
2.2 Aparatología fija en ortodoncia	4
<i>Definición</i>	4
2.3 Metales con aplicación en ortodoncia: Propiedades químicas y toxicidad	10
2.4 Corrosión	14
<i>Liberación de iones metálicos</i>	14
<i>Factores que influyen en la corrosión</i>	15
<i>Tipos de corrosión</i>	17
<i>Corrosión en ortodoncia</i>	18
2.5 Tratamiento de superficies metálicas	19
2.6 Electropulido	20
<i>Aplicaciones típicas</i>	21
<i>Electropulido en ortodoncia</i>	21
<i>Proceso del pulido electroquímico</i>	22
<i>Pulido electroquímico del acero inoxidable</i>	24
2.7 Espectrofotometría	24
3. Planteamiento del problema	28
4. Justificación	29
5. Hipótesis	30
6. Objetivo	301
<i>Objetivo General</i>	31
<i>Objetivos específicos</i>	31
7. Metodología	32
8. Resultados	45
9. Discusión	59
10. Conclusiones	62
11. Referencias	63

1. Introducción

El uso de aditamentos y aparatos fijos o removibles en ortodoncia son fabricados, en su mayor parte con componentes metálicos, cerámicos y poliméricos, los cuales se consideran clínicamente biocompatibles con el medio bucal. En este contexto, dichos aditamentos son indispensables en la práctica clínica, siendo los metálicos los de uso principal; no obstante, la alteración dada por el uso clínico puede modificar sus propiedades biológicas y provocar efectos adversos indeseables.⁽¹⁾ La interacción de los materiales metálicos con los tejidos y fluidos locales, contribuye en la formación de compuestos órgano-metálicos que, con la influencia del pH bucal y la variación de la temperatura pueden incrementar su corrosión, existiendo evidencia científica de que los aditamentos compuestos de Níquel presentan mayor porcentaje de reacciones alérgicas.

El fenómeno de corrosión se define como una reacción electroquímica, que involucra la transferencia de electrones de un metal cero valente a un electrón receptivo externo, esta reacción causa la liberación de iones de metal en el medio que lo rodea, así como deterioro del mismo.⁽²⁾ En ocasiones se añaden elementos para reducir el deterioro tales como: Ni y Mn, esto ayuda a preservar la fase de solución sólida, además de que los vuelve resistentes a la corrosión, a temperatura ambiente.⁽¹⁾

La biocorrosión es aquella en la que la corrosión es influenciada por microbiología (MIC) y tiende a variar según: 1. Nutrientes presentes, 2. Temperatura, 3. Estrés y 4. pH. ⁽²⁾ La corrosión ocurre intraoralmente, independientemente de la estructura metalúrgica de las aleaciones; y aquellos defectos incorporados durante la fabricación y esta etapa puede acelerar el proceso.⁽¹⁾

Con el paso del tiempo, los aditamentos utilizados han mejorado las propiedades, como la resistencia a la corrosión, los materiales más comúnmente utilizados para el confeccionamiento de brackets y arcos de acero inoxidable, o de aleaciones de Níquel; como, Níquel- Titanio, Beta-Titanio y Níquel-Cromo-Titanio.⁽¹⁾

Existen procedimientos que son empleados para disminuir el porcentaje de corrosión de los aditamentos por la exposición a las características ya mencionadas de la cavidad bucal. Una de ellas es conocida como “Electropulido o “Pulido Electroquímico”, este es un proceso mediante el cual la superficie del metal, que es una capa protectora se

remueve; este proceso está dado por la aplicación de un electrolito y condición electrolítica apropiada, su uso es industrial, con gran importancia en el área médica.⁽³⁾

Por lo que la implementación del electropulido como auxiliar en el tratamiento de los metales utilizados en ortodoncia es una opción que se estudiará para dotarlo de mejoras en su superficie.

2. Marco teórico

2.1 Ortodoncia

Definición

Ortodoncia es la rama de la odontología que se encarga de la prevención, estudio, interceptación y corrección de las arcadas dentarias, de maloclusiones dentarias y discrepancias esqueléticas, con el fin de reestablecer el equilibrio funcional y anatómico de la cara, la boca y con esto mejorar también la estética facial.

El tratamiento de ortodoncia está orientado por fases, dichas fases tienen objetivos bien estipulados para llevarse a cabo, la primera etapa de este tratamiento es la de alineación y nivelación de las arcadas, utilizando alambre de menor a mayor calibre, por ejemplo; los primeros arcos utilizados son de Níquel-Titanio, estos arcos han sido evaluados con anterioridad, describiendo su comportamiento mecánico según la composición de cada uno.

(4)

2.2 Aparatología fija en ortodoncia

Definición

Todos aquellos accesorios utilizados en el tratamiento de ortodoncia, los cuales pueden ir desde lo más básico como los brackets hasta el uso de aparatos diseñados a medida y a necesidad del paciente, son piezas que se agregan para complementar o completar “algo” en este caso para poder realizar el movimiento y corrección de las posiciones dentarias.

En el tratamiento de ortodoncia existen diferentes tipos de aparatología fija, los cuales harán posible el movimiento de los órganos dentarios, cada uno de ellos cumple con una función importante del proceso.

Algunos de los componentes de las aleaciones utilizadas en ortodoncia son níquel, hierro, titanio, molibdeno y cromo. (5)

Brackets

Según Proffit w. et al.⁽⁶⁾ son dispositivos metálicos o cerámicos que guían los movimientos dentales en conjunto con los arcos de alambre, cuando se ejerce una fuerza, dichos dispositivos van adheridos a los órganos dentarios. La primera aparición de aparatos ortodóncicos fue en el siglo XIX, los cuales eran bandas hechas de cobre, oro o plata; a la necesidad de contar con un aparato fijo que realizara y controlara los movimientos dentales de manera individual Kingsley, Angle y Case mejoraron el diseño de las bandas para poder sujetar los alambres.

Componentes de los brackets

1. Base: zona de contacto con el diente, tiene una parte retentiva que es rugosa, llamada malla, varía de tamaño y grosor.
2. Aletas: parte del bracket que permite que se fijen los arcos de alambre a la ranura del bracket, son 4, dos en la porción oclusal y dos en la cervical.
3. Slot: también llamada ranura, puede ser de diferente tamaño, para recibir diferentes calibres de alambre; 0.025", 0.030", 0.022" y 0.018", siendo los de mejor desempeño en proporcionar más espacio para movimientos más libres de los alambres los de 0.022".
4. Hook: parte del bracket que facilita el uso de aditamentos como cadenas elásticas, resortes, elásticos intermaxilares, entre otros, ubicados en la porción disto cervical de los caninos y premolares.
5. Punto de orientación: facilita la colocación del bracket, se ubica en el ángulo disto cervical (Imagen 1).⁽⁶⁾



Imagen 1. Partes del bracket. Fuente: <https://soluciondental.pe/brackets/>

Clasificación de los Brackets

Por su tamaño:

- Standard: de 3.8 mm a 4.2 mm de ancho mesiodistal.
- Medianos: de 3.4 mm a 3.8 mm de ancho mesiodistal.
- Mini: de 2.6 mm a 3.2 mm de ancho mesiodistal.

Por su manera de adhesión:

- Soldables a bandas.
- Adhesión directa. ⁽⁷⁾

Por los materiales de los que están elaborados:

1. Metálicos: elaborados de oro, titanio, acero inoxidable y níquel (Imagen 2).
Actualmente son elaborados en su mayoría de acero inoxidable, tienen características de poseer una alta fuerza de adherencia.
 - a) Brackets de acero inoxidable: pueden estar elaborados por dos procesos diferentes, fundidos por la inyección de acero inoxidable, o maquinados por fresado mecánico a partir de un bloque de acero inoxidable.
 - b) Brackets de Ti: utilizados como variante en pacientes con reacciones alérgicas, son biocompatibles y poseen una alta resistencia a la corrosión. ⁽⁶⁾



Imagen 2. Bracket metálico acero inoxidable, Unitek 3M™ Fuente: 3M México

2. Cerámicos: actualmente populares por su propiedad estética, su composición está dada de piedras preciosas, acrílicas, mezclas de cerámica y vidrio. ⁽⁸⁾
Pueden estar elaborados de alúmina de dos tipos, monocristalina y policristalina.
 - a) Monocristalina: proceso de fresado de segmentos de zafiro sintético.
 - b) Policristalina: fusión de óxido de aluminio, por inyección.

3. Poliméricos: elaborados con policarbonato reforzado con fibra de vidrio, absorben líquidos lo que propicia al cambio de color y tienen mayor adherencia microbiana.⁽⁶⁾

Proceso de fabricación de los brackets metálicos

Las aleaciones más utilizadas para la fabricación y soldado de los brackets metálicos son 303, 304, 316, y 17-4, el acero inoxidable endurecido por precipitación tiene mejores propiedades mecánicas que el acero inoxidable austenítico 303, 204, 316/316L; las reacciones citotóxicas, están relacionadas con la cantidad de corrosión que presentan, las aleaciones con menor resistencia a la corrosión se ha encontrado que son 304 y 17-4. La confección de los brackets normalmente está dada por fresado y fundición, durante esta fabricación existe pérdida de la aleación siendo mayor durante el proceso de fundición donde se pierde alrededor del 90% de la aleación, después de estos pasos la unión de los demás componentes, así como las aletas se realiza por soldadura.⁽⁵⁾

Alambres de uso ortodóncico

Aditamentos encargados de realizar los movimientos activos de los tratamientos de ortodoncia, estos almacenan energía y al liberarla producen estímulos sobre el ligamento periodontal y generan cambios físicos, químicos y biológicos, que a su vez dan el movimiento dental.

Los alambres de uso ortodóncico pueden encontrarse en diferentes formas como son: ligaduras, arco, o ansas, se caracterizan por poseer elasticidad, las aleaciones controlan las fuerzas.⁽⁹⁾

Propiedades de los alambres de uso ortodóncico

1. Biocompatibilidad: esta propiedad engloba la resistencia a la corrosión y le da a la aleación tolerancia tisular a sus elementos.
2. Estabilidad ambiental: se refiere a mantener las características o propiedades deseables del alambre.

3. Límite de elasticidad: el punto máximo en el que existe deformidad en el alambre.
4. Límite elástico: es el punto a donde regresará el alambre después de colocarle una carga.

Su rigidez, elasticidad, resistencia y rango dependerán de sus características:

- a) Longitud
- b) Diámetro
- c) Manipulación

Los alambres pueden clasificarse por:

1. Sección transversal: acintados, ovalados y esféricos.
2. Por diámetro: cuadrados, rectangulares o redondos.
3. Por número de hebras: trenzados, individuales y múltiples.
4. Por el tipo de su aleación.⁽¹⁰⁾

Aleaciones de los alambres ortodóncicos

Los alambres son metales en los que se combinan diferentes aleaciones que al ser estirados con fuerzas traccionales se forman a manera de hilos.

Cobre y zinc

Llamada cobre amarillo el latón es maleable y dúctil, utilizado como separador interproximal para la posterior colocación de bandas.

Acero inoxidable

Utilizado en ortodoncia por primera vez por Decoster, está caracterizado por tener un buen módulo de elasticidad, capacidad de soldar, baja fricción, bajo costo, resistencia a la corrosión, resistencia a la deformación, maleabilidad, rigidez, entre otros.

Cromo cobalto

Arcos utilitarios, ideales y en resortes en técnicas como la bioprogresiva de Ricketts, y la técnica MEAW, tienen buena maleabilidad, buen módulo de elasticidad, pueden templarse y generar fuerzas muy altas, mayor duración de tiempo funcional.

Níquel -Titanio

Alambres con memoria de forma y super elasticidad, desarrollado en la NASA, e introducido a la ortodoncia por George F. Andreasen, su característica más importante es la resistencia a la deformación permanente, la super elasticidad que posee es 10 veces más que la del acero inoxidable. Proporciona fuerzas continuas, alta flexibilidad, y puede ser utilizado en todas las fases de la ortodoncia.

Cobre Níquel Titanio (cooper NiTi)

Utilizados y desarrollados por Roht Sachdeva, poseen gran memoria y super elasticidad, se encuentran en presentaciones según haya sido su manera de fabricación, se dividen en: super elásticos y termoactivos. Se recubren con películas de carbono para hacerlos más resistentes a la corrosión.

Titanio Molibdeno

Compuesto por titanio y molibdeno, estos elementos tienen propiedad de tener un gran módulo de elasticidad y resistencia, es maleable pero quebradizo, también tiene resistencia a la corrosión.⁽⁹⁾

En la práctica ortodóncica se utilizan diferentes aleaciones de metal en su confección, como se observa en la tabla 1:

Tabla 1. Composición de aleaciones más usadas en alambres de uso ortodóncico.

	Tipo de aleación	Composición
1	Aleaciones de oro	15-65% Au, 11-18% Cu, 10-25% Ag 5-10% Pd
2	Acero inoxidable	71% Fe, 18% Cr, 08% Ni, C menos de 0.2%
3	Cromo-Cobalto	40% Co, 20% Cr, 15% Ni, 15.4% Fe, 07% Mo, 02% Mn, 0.4 Br, 0.05% otros.
4	Níquel- Titanio	54-55% Ni, 43-44% Ti, 1.6-3% Co.
5	Cobre- Níquel- Titanio	43% Ti, 50% Ni, 0.50% Cr, 6.5% Cu.
6	Beta-Titanio	79% Ti, 11%Mo, 06%Zr, 04%Sn.

Fuente: Universidad de Banarás Hindú.

El cromo ofrece una gran resistencia a la corrosión, siendo así el acero inoxidable la aleación más fuerte contra la liberación de iones, por los altos niveles de dicho elemento además de que contiene bajas cantidades de Cu y Mb (Imagen 3).⁽⁴⁾



Imagen 3. Arcos de alambre de acero inoxidable.

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/bulk-packing-of-dental-orthodontic-stainless-steel-arch-wire-1553605442.html>

2.3 Metales con aplicación en ortodoncia: Propiedades químicas y toxicidad

Cromo

Conocido en la tabla periódica como Cr es un elemento que podemos encontrarlo en la naturaleza, los depósitos de mayor tamaño de este elemento se encuentran en la Federación Rusa, Zimbabue, Filipinas. Su uso más importante es dentro de la industria automovilística y equipos eléctricos; usualmente es utilizado para la creación de acero inoxidable con aleaciones de hierro y níquel.

Dentro de los riesgos que se pueden provocar al contacto con la piel o mucosas son la formación de úlceras, por la acción corrosiva, que penetra en cortes o abrasiones. La formación de pápulas es indolora, la dermatitis es otro riesgo que puede ser causado por irritación cutánea, los mayores riesgos son relacionados con trabajos en los que se produce

o se utiliza el cromo y van desde alteraciones en las vías aéreas respiratorias hasta la consecuencia de cáncer, pero en el uso de la ortodoncia no existen estudios que puedan comprobar que dicho elemento puede causar alguna alteración de importancia a nivel sistémico o local.⁽¹¹⁾

Molibdeno

En la tabla periódica conocido como (Mo), se obtiene por el proceso del cobre, alrededor del 90% se usa como aleación del hierro, metales no ferrosos y acero, posee gran resistencia al calor, su uso se da en la industria automovilística, militar, para la fabricación de pigmentos y tintes, así como componente de algunos fertilizantes.

Uno de los compuestos más importantes del molibdeno es el trióxido de molibdeno, usado en la fabricación de aleaciones de acero. Es altamente tóxico cuando existe una alta exposición a él, algunos de los síntomas característicos de su intoxicación son irritación en mucosas.

Níquel

Por su signo en la tabla periódica (Ni), es un elemento que se puede encontrar en forma de minerales, junto con el oxígeno, azufre, arsénico y antimonio. Es utilizados para la producción de alrededor de 3,000 aleaciones, como ejemplo principal tenemos la producción de acero inoxidable, utilizado en la fabricación de equipos que requieren alta resistencia a la corrosión por ejemplo en el área de la medicina, cocina y arquitectura. En el área de la medicina es utilizado para la fabricación de prótesis dentales y quirúrgicas.

Su toxicidad se presenta durante la exposición profesional y puede estar clasificada en tres categorías:

1. Alergias,
2. Rinitis, sinusitis y enfermedades o alteraciones respiratorias y,
3. Cáncer en aparato respiratorio.

Es un elemento con altos niveles de alergia en la población, algunas de las afecciones que puede provocar al contacto son; conjuntivitis, dermatitis, reacciones locales o sistémicas causadas por prótesis, como los clavos intraóseos, implantes dentales, entre otros.

Titanio

El elemento (Ti) es utilizado como metal puro en algunas aleaciones y compuestos, es utilizado para la elaboración de aviones, barcos y naves espaciales, además de ser utilizado en la industria médica a nivel quirúrgico en odontología para prótesis e implantes. Su toxicidad es estudiada, en el ámbito de su elaboración.

Plata

Conocida como el elemento (Ag), se obtiene como subproducto de algunos minerales como el cobre, zinc, y plomo. Se caracteriza por ser un elemento blando, utilizada en la confección de objetos de joyería, en odontología es utilizada para amalgamas dentales y el revelado de radiografías, en el área médica es utilizada como profiláctico, antiséptico y astringente, así como el tratamiento de heridas locales.

Se utiliza como germinicida, es un potente oxidante. Su exposición puede producir “argiria” conocida como “hombres azules” dado que algunas partes del cuerpo se tornan de un color grisáceo, puede producir ulceraciones en mucosas, su mayor riesgo de toxicidad está dada por su manipulación, las dosis en aire de 0.01 mg/m³ y orales de 3.8 g no son probables de producir alteraciones en el organismo.⁽¹¹⁾

Aleación de Acero Inoxidable

Utilizado en ortodoncia por primera vez en los años 40 y 50 ⁽¹⁰⁾, el acero es una mezcla de hierro con carbono, el acero inoxidable además de estos elementos contiene al menos 12% de cromo, níquel, cobre, molibdeno, titanio y zinc. Se caracteriza por tener resistencia a la corrosión, se les llama inoxidables dado que a presencia de oxígeno forman una capa delgada adherente de óxido de cromo que por medio de la pasivación protege al metal.

Se puede clasificar según su carga de carbono, denominando con una L a aquellos con baja concentración de éste, dado a que entre más carbono posee, menor es su resistencia a la corrosión.

La disminución del carbono y el aumento de nitrógeno aumentan la corrosión del acero inoxidable por picadura, que es el tipo más común de corrosión que este acero presenta.⁽¹²⁾

División de los aceros inoxidables:

- a) Austeníticos: series 200 y 300.
- b) Ferríticos: serie 400
- c) Martensíticos: series 400 y 500
- d) Aceros dúplex: combinación de ferríticos y austeníticos.⁽¹³⁾

La aparatología fija en ortodoncia está elaborada en su mayoría de acero inoxidable AISI 303, 304 y 316L.⁽¹⁴⁾

Aleaciones de níquel titanio

Desarrollado por Gilfrick, Wiley y Buehler, en los años 60's, las aleaciones de NiTi contienen martensita y austenita, esta última provee al metal de estabilidad termodinámica a altas temperaturas y por el contrario la martensita a bajas temperaturas lo que dota a la aleación de gran maleabilidad y la capacidad de regresar a su forma en altas y bajas temperaturas. Tiene también como propiedades alta elasticidad, y resistencia con un rango de trabajo amplio y mayor resistencia a la corrosión en relación con el acero inoxidable.

Aleaciones de titanio-molibdeno (TMA)

Es una aleación muy resistente a la corrosión, contiene titanio (79%), molibdeno (11%), zinc (6%), además posee biocompatibilidad con los tejidos bucales, tiene una alta resistencia a la corrosión por la pasivación natural, tiene alta elasticidad y mucha capacidad de recuperación.⁽¹²⁾

2.4 Corrosión

Proviene de la palabra griega “corrodis” que tiene por significado despedazado, arañado, o deshecho;⁽¹²⁾ es la interacción fisicoquímica de un material metálico y su ambiente puede ocasionar la corrosión de éste, la liberación de iones de metal en el medio que lo rodea dada por una acción química, es llamada corrosión electroquímica, en la que existe la transferencia de electrones de un metal cero valente, a un receptor externo.⁽²⁾

El fenómeno de corrosión cambia las propiedades y estructuras de las aleaciones metálicas, cuando el metal se encuentra en un ambiente seco tiende a la oxidación, la capacidad de un metal de protección contra la llegada del oxígeno se dará por esta capa de óxido formada, algunos de los metales con mayor capacidad de protección son entre otros el aluminio, el titanio y el cromo.

Según Ibáñez, la corrosión es un proceso donde interfieren: 1. Pieza metálica, 2. Ambiente y 3. Humedad, por medio de una acción electroquímica.⁽¹⁰⁾

La aparatología fija utilizada en ortodoncia, siendo en su mayor parte metálica sufre de este fenómeno, pero en un ambiente húmedo; exhibe un patrón de reacción continua dentro del medio ambiente de la cavidad bucal, la humedad propicia las condiciones para que exista una pérdida de metal con rapidez, lo que propicia a que la vida útil del mismo se encuentre en riesgo.

Liberación de iones metálicos

Los metales que son electropositivos, en niveles altos tienden a ser más resistentes a la corrosión, a continuación, se muestran los metales según su grado de resistencia a la liberación de iones metálicos al medio bucal:

1. Au +1.50
2. Pt 0.86
3. Pd 0.82
4. Hg 0.80
5. Ag 0.80
6. Cu 0.47

7. Bi 0.23

8. Sb 0.10

Se toma como referencia el Hidrógeno por su potencial de voltaje eléctrico. ⁽¹⁵⁾

En la cavidad bucal, la presencia de actividad microbiana con biopelículas que se forman en la superficie de los materiales metálicos, esto puede afectar la cinética de las reacciones catódicas y/o anódicas, y así modificar considerablemente la química de las capas protectoras, incrementando la aceleración de la corrosión. ⁽²⁾

Existen estudios que afirman la liberación de Cr, Zn, Ti, Co y Ni de las aleaciones de acero, es por eso que es importante la correcta elección del metal a utilizar durante el tratamiento. ⁽¹⁵⁾

Factores que influyen en la corrosión

El contacto de aparatología metálica con los tejidos y fluidos bucales son considerados no citotóxicos bajo ciertas condiciones del medio, cuando existe alguna alteración en las propiedades biológicas pueden aparecer alteraciones o efectos adversos. ⁽¹⁾

El principal factor que actúa en este fenómeno es la diferencia de potencial eléctrico entre metales, cuando están sumergidos en un electrolito conjuntamente. Los metales jugarán un papel de ánodo o cátodo según su potencial, en este caso los metales con mayor actividad electroquímica exhiben una mayor tendencia a la disolución de metales con potencial más negativo se convertirá en ánodo, el cual se oxidará ocasionando el fenómeno de corrosión. ⁽¹³⁾

Proteínas que se encuentran en la comida y las enzimas secretadas por el sistema digestivo en la saliva, la hacen un sistema proteico complejo, se ha demostrado que la presencia de proteínas interactúan en el proceso de corrosión, cuando estas proteínas participan en el proceso de corrosión éstas compiten con el oxígeno. ⁽¹⁶⁾

La presencia de oxígeno actúa como formación de óxidos y despolarizadores catódicos, cuando los óxidos se forman se incrementa la corrosión.

Otros estudios como el realizado en, Japón en el año 2014, por Takashi Kameda y cols,⁽²⁾ demostró que las bacterias autóctonas representativas de la cavidad oral como el *S. mutans* y el *S. sanguis*, fácilmente generan biopelícula en la superficie de los dientes y los aditamentos y corroen el acero inoxidable pero no aquellos de Ni Ti.

Estos hallazgos se confirmaron midiendo la elución metálica con un espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y midiendo la rugosidad de la superficie con microscopía láser tridimensional (3D).

Dicho estudio mostró que los cambios en los alambres y los brackets de acero inoxidable fueron notorios en aquellos que estaban inmersos en la solución con bacterias y nula en aquellos en los que no estaban presentes. Sus resultados demuestran que la corrosión de los aparatos ortodóncicos de acero inoxidable por las bacterias orales está dada por corrosión galvánica, este tipo de corrosión es común en el uso de los materiales dentales.

Si la diferencia de potencial entre dos metales es alta, ocurre una “reacción galvánica”, en la cual el metal menos estable se corroe y libera iones a la sustancia que lo rodea, otros de los hallazgos son que la presencia de bacterias intrabucales aumenta la corrosión se demostró que en aquellos alambres que poseen titanio presentaron mayor resistencia a la corrosión; y que la corrosión depende de la calidad de la superficie dada por el proceso de manufactura. ⁽¹⁾

En otro estudio llevado a cabo por N. Montañez,⁽¹⁷⁾ se señaló mediante microscopía electrónica de barrido y fluorescencia de rayos X que la corrosión presente en boca de los aditamentos metálicos es corrosión localizada por picado, y que sí existe una liberación en el medio fisiológico bucal; también se demostró que el Nitinol tiene biocompatibilidad, pero en aquellos pacientes que padecen de alergias al Níquel puede afectar la superficie de la mucosa oral.

Tipos de corrosión

La agresión a la capa superficial del metal puede estar dada por diferentes formas:

Corrosión por picado (pitting)

Dada de manera irregular en sitios aleatorios de la superficie del metal, se propaga hacia el interior por lo que se considera una de las formas más peligrosas de corrosión, es muy frecuente en los brackets.⁽¹⁵⁾ El ataque a la superficie se centra en una porción pequeña de la superficie total, no constituye más del 2 % de ella, pero esto no quita importancia, ya que la profundización de este proceso se da con rapidez.

Corrosión por tensión

Está caracterizada por la aparición de grietas que llevarán la misma dirección a la que se ejerce la tensión, para que este tipo de corrosión es necesaria la aparición de 3 aspectos:

1. Presión superior al umbral del material.
2. Susceptibilidad al agrietamiento, variable por la composición de la aleación, tamaño de su grano y si es que fue sometido a radiación.
3. Si es que el material está en contacto con algún medio agresivo.⁽¹³⁾

Corrosión galvánica

Se produce al estar en contacto dos metales en contacto de diferente potencial eléctrico dentro de un medio salino, en el que el metal menos noble sufre un proceso de oxidación (anódico) y libera iones catódicos en el medio, por el contrario, el metal más noble no sufre cambios (catódico) (Imagen 4). El uso de arcos de diferente aleación dentro del slot del bracket produce este fenómeno.

Tomando en cuenta la composición diferente de las partes de los brackets, y las soldaduras empleadas para unirlos, se justifica el menoscabo que sufren por el tiempo prolongado de uso dentro de la cavidad bucal.

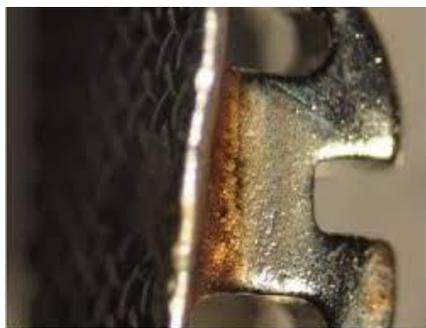


Imagen 4. Corrosión galvánica. Fuente: <https://www.semanticscholar.org/paper/Galvanic-Corrosion-of-and-Ion-Release-from-Various-Tahmasbi-Ghorbani/a137170da61f13f404eb916eaf0d879146a398ed>

Corrosión fisurante

Está dada cuando un metal se encuentra sometido a una tensión y a un medio corrosivo, por ejemplo, al realizar una tracción, generando fisuras que llegan al interior, puede producir fractura de éste, es la que más se produce en el uso de alambres. ⁽¹⁵⁾

Corrosión microbiana

La actividad microbiana por su degradación enzimática forma microfracturas, está demostrado que entre más controlado este el pH bucal menor corrosión se presentará en la aparatología. ⁽¹⁸⁾

Corrosión en ortodoncia

La corrosión en la aparatología fija de ortodoncia, está dictada por diversos factores que son agresivos a los metales con los que están elaborados, por ejemplo, la saliva, pH y temperatura, el uso de dentífricos dentales y los alimentos. La corrosión metálica es conocida y afecta a todos los metales inclusive al acero inoxidable, en ortodoncia esta corrosión puede ser acelerada por la tensión continua o intermitente, además por el contacto del bracket con los alambres. Los movimientos realizados durante un tratamiento de ortodoncia son tensionales, que en conjunto con la masticación aceleran el proceso de corrosión en los aparatos fijos. ⁽¹³⁾

Un bracket corroído presenta una superficie irregular y puede ser reservorio de residuos. Al realizar movimientos en los que la fricción aumenta por presencia de irregularidades en la superficie del bracket, se pueden tener como resultado, resorciones radiculares, por la

aplicación de fuerzas mayores, esto se convierte en un círculo vicioso, en el que la fricción provoca mayor corrosión y viceversa.⁽¹⁴⁾

La corrosión de los brackets y alambres no son los únicos aditamentos utilizados en tratamientos de ortodoncia, entre ellos también se encuentran los aparatos utilizados para ortopedia maxilar, se ha demostrado que la limpieza de los aparatos con algunas sustancias como las pastas dentales pueden aumentar los niveles de corrosión, así como alimentos ácidos y la presencia de ácido láctico en la cavidad oral, en conjunto con las bacterias, son factores que aumentan la liberación de iones metálicos.⁽¹⁹⁾

2.5 Tratamiento de superficies metálicas

Además del electropulido existen diferentes tratamientos que emplean la química para el tratamiento de las superficies metálicas entre las que se encuentran:

- a) Decapado: utilizado en soldaduras, para la eliminación de óxidos de la termo colocación, tiene por objeto la obtención de superficies limpias, se utiliza ácido nítrico y fluorhídrico.
- b) Pasivado: está dada de manera espontánea con la presencia de una atmósfera oxidante presente en el acero inoxidable. Este tratamiento acelera el proceso de la formación de una capa pasiva para obtener el grosor deseado de manera controlada, se utiliza ácido nítrico con un tiempo variable de 15 minutos a 1 hora.
- c) Descontaminación o limpieza ácida: se centraliza en eliminar partículas férricas, para prevenir la corrosión en la superficie del acero.
- d) Electropulido: los resultados obtenidos tienen alto grado de precisión, ya que el proceso no está sujeto a cambios mecánicos o térmicos, por lo que es un tratamiento de elección y se describe a continuación.⁽²⁰⁾

2.6 Electropulido

Existen diferentes tratamientos que pueden ser aplicados a la superficie de los metales, entre los cuales se encuentra el electropulido también llamado “pulido electroquímico” el cual es un proceso mediante el cual se remueve la capa superficial del metal, es aplicado a nivel industrial, así como en el área médica, este proceso, interviene en su confección dotando al metal de brillo y proporcionando una superficie más suave, este tratamiento ha demostrado ser un papel importante en odontología, mejorando las mecánicas, protección a la corrosión y como agente de limpieza.⁽³⁾

El electropulido es un proceso mediante el cual se le da un acabado químico a la superficie del metal, la cual se disuelve electrolíticamente, dada ion por ion; uno de sus objetivos principales es reducir la micro rugosidad, esto disminuye la adhesión de residuos y así mejora la limpieza de la superficie, además de ayudar a eliminar las rebabas y dotarlo de brillo.

Puede tener también objetivos estéticos, cuando tiene como resultados de alta calidad, estos pueden ser observados, dotando al metal de una superficie más brillante y lisa, al observar imágenes microscópicas de las superficies se puede observar que la superficie electropulida no tendrá marcas, a diferencia de un pulido regular, el cual presentará ligeros rasguños en la superficie del metal.

La resistencia a la corrosión es aprovechada completamente, por esto el electropulido es uno de los tratamientos que se le da al acero inoxidable cuando la resistencia a la corrosión es uno de los requisitos en los que las necesidades de limpieza son especialmente cuidadas, como ejemplo la farmacéutica, industria alimentaria y el uso médico.

Ya que el tratamiento electroquímico no implica o afecta en la mecánica, ni en la parte química o térmica, se pueden tratar elementos pequeños y frágiles, ampliando su aplicación a piezas de cualquier tamaño y forma. Este procedimiento está caracterizado por no dejar partículas, contaminación además de darle al metal la característica de anti-adherencia.

Se emplea para reducir la micro rugosidad, se basa en la electrólisis en la cual existe un flujo de corriente junto con una solución de ácido ortofosfórico, que será el electrolito. Su tiempo de tratamiento es de aproximadamente 2 a 20 minutos. ⁽²⁰⁾

Aplicaciones típicas

Algunas de las aplicaciones que dentro de la industria y el área médica son:

1. Tuberías: dando un acabado al interior de ellas, inhibiendo la contaminación y la adherencia de partículas.
2. Aplicaciones médicas: la mayoría de los equipos utilizados en el área hospitalaria como, equipos médicos quirúrgicos, aquellos instrumentos metálicos que requieran una descontaminación regular.
3. Fabricación de semiconductores.
4. Industria farmacéutica: utilizado en los elementos internos de sus mezcladoras, filtros, secadoras, sistemas de corte, así como intercambiadores de calor, por su importancia en la microbiología y demás tipos de contaminación.
5. Industria alimentaria: por su ventaja higiénica, dota al acero inoxidable de uso alimentario con resistencia a la corrosión, y disminución de depósitos residuales.
6. Tratamiento de agua. ⁽²⁰⁾

Electropulido en ortodoncia

El electropulido juega un papel importante en la odontología, así como en la ortodoncia, proporciona propiedades mecánicas mejoradas, mejora la resistencia a la corrosión, y facilita la limpieza.⁽²¹⁾

Se ha estudiado que el pulido electroquímico en alambres tiene mejores propiedades contra la corrosión que el mecánico. Lee y Lai, realizaron investigaciones en alambres de acero 316L, con la aplicación de electropulido utilizando ácido fosfórico mezclado con un electrolito, con el uso de tests electroquímicos, hallaron un incremento significativo en la resistencia a la corrosión en el ácido sulfúrico después del electropulido.

Hryniewicz, Rokosz y cols., ⁽²²⁾ encontraron una mejora significativa en la resistencia a la corrosión del acero AISI304L y AISI316L, después del electropulido al ser testeado con una solución Ringer de NaCl al 3% y agua destilada a 25°C.

Uno de los usos del electropulido en ortodoncia con anterioridad, fue la aplicación del electropulido en brackets usados, junto con la esterilización de estos para su re uso, el

proceso que siguieron fue el de aplicar calor, en la superficie de adhesión del bracket, enfriamiento en agua, arenado y la aplicación del electropulido por 20 segundos, este método de electro pulir los brackets utilizados, no demostró un cambio significativo entre aquellos sin el tratamiento. ⁽²³⁾

Instrumentos elaborados de aleaciones de NiTi, tienen como manufactura final el electropulido, que se aplica con un potencial y corriente eléctrica que disuelve la superficie en titanio y se convierte en TiO₂, que ayuda a la protección de la corrosión, la cantidad de Níquel disminuye. ⁽²⁴⁾

Estudios experimentales como el realizado en la Facultad de Odontología de la UAEMex, en 2019, cuyo objetivo fue determinar el efecto del electropulido de brackets y arcos de alambre, demostró un incremento en la mecánica de deslizamiento en aquellos aditamentos tratados con el pulido electroquímico. ⁽³⁾

Proceso del pulido electroquímico

Con el uso de una corriente eléctrica y al sumergir la pieza a tratar en el electrolito de un ácido específico, es inversamente proporcional a la galvanización, en la cual los iones metálicos se depositarán sobre la pieza, por el contrario, en el electropulido se desprenderán y se añadirán iones del metal a la solución (Imagen 5).

Cuenta con una fuente de alimentación que transformará la corriente CA en CC, es necesario el uso de un recubrimiento de plástico o plomo para realizar el baño químico, se pueden utilizar placas de cobre, acero inoxidable o plomo como placas catódicas que se sumergen en la sustancia química conectadas al polo de carga negativa. Los materiales empleados para la rejilla de sujeción del material a tratar pueden ser de bronce, cobre o titanio, esta rejilla se conecta al polo positivo de la fuente que se usa como alimentación.

Cátodo: las piezas a tratar quedan conectadas al polo positivo.

Ánodo: es el polo negativo al que irá conectado al conductor.

Densidad de corriente: 5 A/dm² a 25 A/dm²

Temperatura: de 40°C a 75°C.

Tiempo: de 2 a 20 minutos.

Se debe emplear corriente continua (CC) ambos polos sumergidos en la solución electrolítica, la pieza a ser tratada estará en carga positiva sumergida en la sustancia química, al aplicar la corriente el electrolito fungirá como conductor que llevará los iones del metal fuera de la pieza, los iones serán atraídos por el cátodo, algunos de los restos metálicos quedan pegados al cátodo por lo que es necesario realizar una limpieza de éste para eliminarlos.

La cantidad de iones liberados del metal será proporcional a la corriente que se aplica, el tipo de electrolito y cuánto tiempo se encontró expuesto, es necesario fijar parámetros para calcular la cantidad de metal que se quiere eliminar. ⁽²⁰⁾

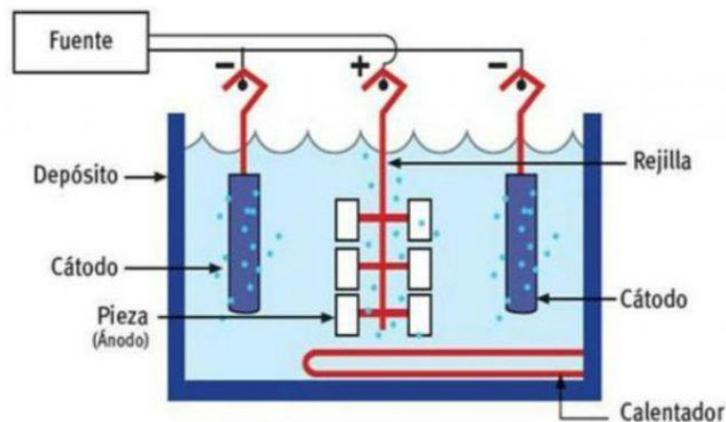


Imagen 5. Electropulido. Fuente: <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/electropulido-de-acero-inoxidable>

Pasos que seguir:

1. Preparación del metal: se debe eliminar de su superficie los contaminantes que puedan interferir. Se utilizan productos disolventes que sean capaces de eliminar aceites, grasa, huellas dactilares o restos de materiales de su fabricación.
2. Pulido electroquímico: se usa ácido sulfúrico al 96% y ácido ortofosfórico al 85%.
3. Tratamiento post electropulido: consiste en la eliminación de los residuos secundarios causados por el electrolito, y posterior secado. Se puede utilizar agua fría para la eliminación y disolución del ácido nítrico, posteriormente se deberá aclarar con agua caliente con la finalidad de elevar la temperatura del metal para causar que esta superficie se seque espontáneamente, en caso de no obtener un secado del 100% pueden utilizarse centrifugas u otros mecanismos de secado,

siendo de vital importancia llevar a cabo un secado completo para evitar que las piezas se manchen. (20)

Pulido electroquímico del acero inoxidable

Al estar compuesto de diferentes metales el acero inoxidable y su tratamiento dependerá de los componentes de la aleación, siendo el hierro y el níquel aquellos que serán extraídos más fácilmente que el cromo.

2.7 Espectrofotometría

Técnica experimental analítica utilizada para la identificación de moléculas y determinación del compuesto de una solución, (25) está caracterizada por tener una alta sensibilidad y precisión, así como que puede ser aplicada a diferentes moléculas. (26)

Para el estudio de la espectrofotometría se utilizan las regiones: visible (400-780 nm) y la ultravioleta (195-400 nm) (Imagen 6). (25)

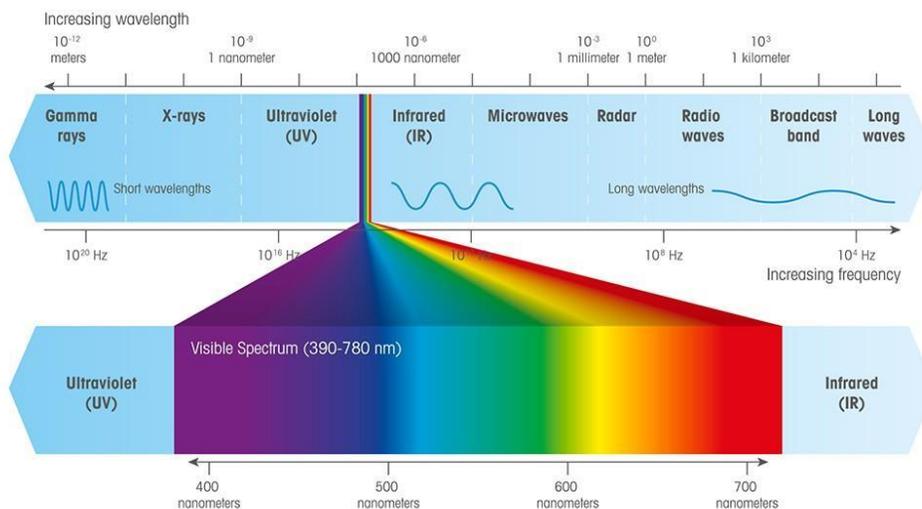


Imagen 6. Espectro electromagnético.

Fuente: https://www.mt.com/es/es/home/applications/Application_Browse_Laboratory_Analytics/uv-vis-spectroscopy/uvvis-spectroscopy-explained.html

Se representa el color absorbido por un compuesto a una longitud de onda determinada en las regiones del espectro visible, según el compuesto que se haya absorbido será el color

que exprese; en la siguiente tabla 2 se puede observar la longitud de onda que corresponde al compuesto:

Tabla 2.

λ	Color absorbido	Color observado
380-450nm	Violeta	Amarillo-verdoso
450-495	Azul	Amarillo
495-570	Verde	Violeta o rojo violeta
570-590	Naranja	Azul
590-620	Amarillo	Azul-verdoso
620-750	Rojo	Verde-azuloso

El instrumento utilizado para realizarla se llama espectrofotómetro, el cual es un instrumento en el cual se llevarán mediciones por intervalos que utiliza rejillas o prismas para la dispersión de la luz.

Este instrumento se compone por:

1. Fuente de luz.
2. Lente.
3. Monocromador.
4. Celdas para la muestra.
5. Detector.
6. Amplificador.
7. Registro (Imagen 7). ⁽²⁷⁾

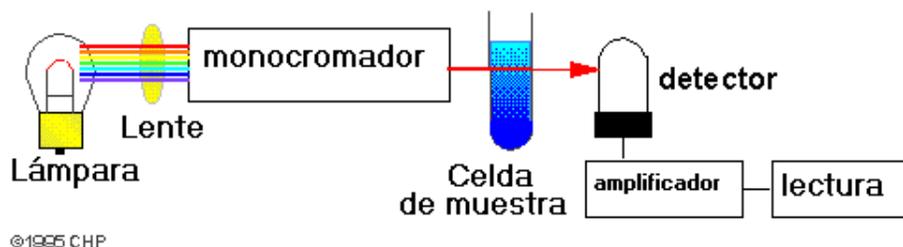


Imagen 7. Partes básicas de un espectrofotómetro. Fuente: <https://arturobola.tripod.com/spectro/xxx.html>

Está fundamentada en que todas las moléculas tienen la capacidad de absorber energía luminosa, y almacenarla como energía interna, dentro de un espectro UV-visible. Su

principio son los fotones, cada uno de estos contiene energía, la sustancia química en la que se sumergen, absorberá la longitud de onda λ , esta sustancia absorberá fotones de la longitud.

$$E_{\text{fotón}} = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

c: velocidad de la luz.

λ : longitud de onda

ν : frecuencia.

h: $6.6 \cdot 10^{-34}$

Cuando una molécula absorbe a un fotón, éste se excitará, y pasará de un orbital de su estado fundamental al orbital excitado. Esto se podrá medir:

$$A + h \cdot \nu = A^\circ$$

$$E(A^\circ) = E(A) + E_{\text{fotón}}$$

A: diferencia de la energía entre su estado fundamental de la molécula

A° : estado excitado de la molécula.

Esta diferencia debe ser igual a la energía del fotón, lo que quiere decir que la molécula sólo podrá absorber a fotones que su energía sea igual que a la del estado molecular excitado (Imágenes 8-11).

Longitudes de onda de los metales con uso en ortodoncia

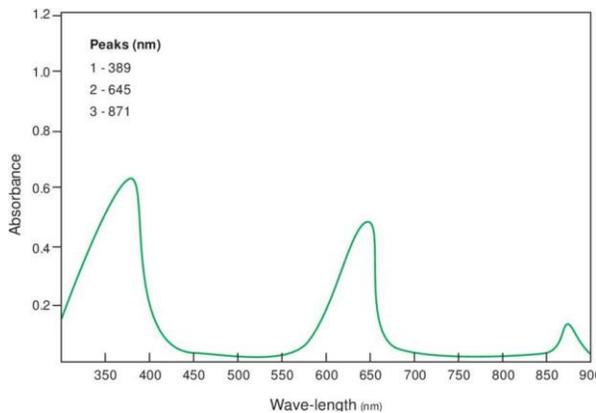


Imagen 8. Longitud de onda de Niquel (Ni)

Fuente: propia

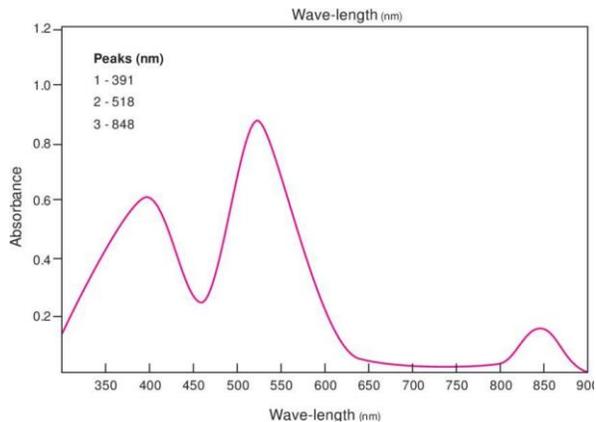


Imagen 9. Longitud de onda de Cobalto (Co)

Fuente: propia

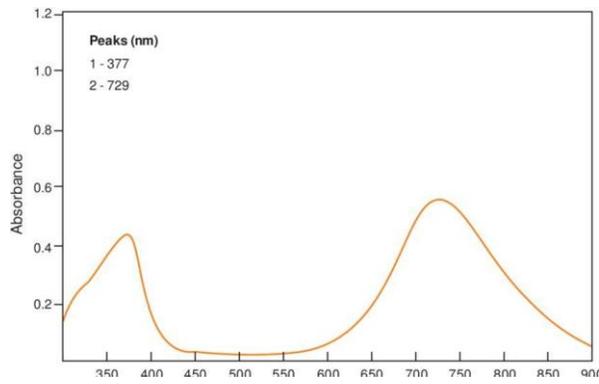


Imagen 10. Longitud de onda de Cobre (Cu)

Fuente: propia

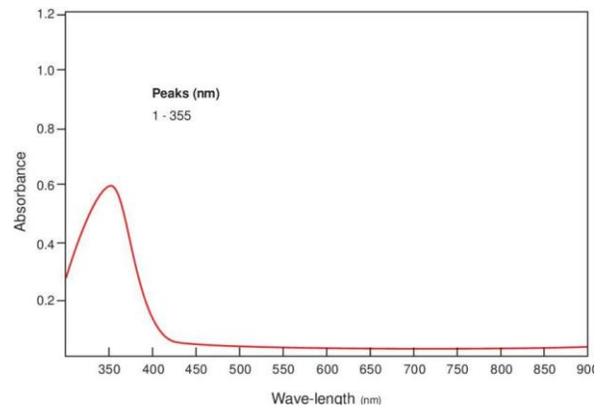


Imagen 11. Longitud de onda de Zinc (Zn)

Fuente: propia

3. Planteamiento del problema

El uso de aparatología fija y aditamentos metálicos en tratamientos de ortodoncia es esencial; su contacto con los tejidos y fluidos bucales es ineludible durante todas sus etapas; tomando en cuenta que la duración promedio del tratamiento activo con dicha aparatología es aproximadamente de 24 meses, se ha demostrado la existencia de fenómenos fisicoquímicos que tiene el metal en contacto con la saliva y a su vez, la liberación de iones al medio bucal, así como la corrosión del metal; algunos reportes demuestran daño local, aunque no se ha demostrado que dichos residuos generen en el cuerpo alteraciones.

Algunos síntomas de alergia al níquel pueden aparecer en cavidad oral durante el tratamiento de ortodoncia, estos incluyen; inflamación de encías y lengua, hipertrofia, gingival, eritema multiforme, exfoliación del epitelio labial o sabor metálico en boca. Tanto el níquel como el cromo pueden causar infecciones de piel y asma, así como genotoxicidad y citotoxicidad.

Factores adicionales como el medio ambiente local, condiciones laborales, dieta, adelgazamiento exagerado, vómitos frecuentes, uso regular de alcohol o tabaco, así como la sensibilidad individual, entre otros, puede fortalecer el papel del níquel y cromo en la etiología de enfermedades generales graves.

Por ello es importante definir el número de iones metálicos que se realizan en la superficie de los aditamentos y aparatología; sin embargo, no existe evidencia suficiente que compruebe o refute, que la aplicación del electropulido puede reducir la liberación de iones metálicos al medio bucal.

Para evitar la corrosión existen diferentes métodos que se realizan en la superficie de los aditamentos y aparatología, sin embargo, no existe evidencia suficiente que compruebe o refute, que la aplicación del electropulido puede reducir la liberación de iones metálicos en el medio bucal.

Por lo que se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál será el nivel de liberación de iones metálicos en aparatología fija ortodóncica que ha sido sometida a tratamiento de electropulido?

4. Justificación

Es escasa la literatura que describe la liberación de iones metálicos a la cavidad bucal, así como los efectos que esta liberación puede producir en los pacientes que se encuentran en tratamiento ortodóncico. En este sentido, siendo la corrosión uno de los principales fenómenos de la cual se derivan, es importante cuestionarse sobre aquellos métodos que pudieran bajar los niveles de liberación, además de ampliar la información cuando se trabaja con aparatología fija la cual lleva años colocada en la boca del paciente.

Durante el tratamiento ortodóncico, la interacción de aditamentos metálicos con los tejidos y fluidos bucales está presente, por lo que es necesario conocer las reacciones o fenómenos que pueden ocurrir por dicho contacto.

Dado que las investigaciones han determinado que la liberación de iones metálicos en boca puede causar impacto en cavidad oral, iniciando con las reacciones alérgicas hasta poder llegar al acúmulo a nivel sistémico, se está tratando de implementar nuevas estrategias que contribuyan a reducir el nivel de iones, pudiendo ser una de ellas el electropulido.

La búsqueda de distintas alternativas como el electropulido resultan ser poco estudiadas en el área de la ortodoncia, recordando que la seguridad del paciente durante el tratamiento es muy importante para el especialista, el encontrar nuevas formas de tratar la corrosión durante el tratamiento, podrá brindar herramientas para garantizar la seguridad de los pacientes.

Los datos o hallazgos de esta investigación serán de gran importancia para la aplicación clínica al poder elegir la aparatología idónea para cada paciente, sirviendo como una estrategia para evitar alteraciones que pudieran aparecer por la liberación de iones metálicos durante el tratamiento de ortodoncia.

5 Hipótesis

Hipótesis de trabajo

El tratamiento de electropulido en la superficie de aparatología ortodóncica fija metálica, disminuye los niveles de liberación de iones metálicos en el medio ambiente bucal.

Hipótesis nula

El tratamiento de electropulido en la superficie de aparatología ortodóncica fija metálica, no disminuye los niveles de liberación de iones metálicos en el medio ambiente bucal.

6 Objetivos

Objetivo General

Comparar los niveles de liberación de iones metálicos en aparatología fija ortodóncica con y sin tratamiento de electropulido.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de electropulido en aparatología fija en ortodoncia, simulando el medio ambiente bucal a través de someter los aditamentos en un pH cíclico.
2. Identificar el efecto del electropulido en los niveles de corrosión mediante espectrofotometría.
3. Comparar los niveles de liberación de iones metálicos en brackets metálicos de diferentes casas comerciales y técnica ortodóncica (Roth y autoligado) con y sin tratamiento de electropulido.
4. Comparar los niveles de liberación de iones metálicos en alambres de diferente composición (acero inoxidable y níquel titanio (NiTi)) y forma (redondos y rectangulares) con y sin tratamiento de electropulido.

7. Metodología

Diseño del estudio

Experimental, comparativo, prospectivo y transversal.

Población y universo de estudio

- 28 Brackets 3M™ Unitek™ Victory SL autoligado .022", Monrovia California EUA.
- 28 Brackets Nu-Edge LN KIT, .018" Roth, TP Orthodontics, Inc, La Porte, Indiana EUA.
- 7 arcos de alambre acero Dentsply GAC International, Islandia Upper .016".
- 7 arcos de alambre níquel-titanio American Orthodontics, Washington Avenue, Sheboygan, WI USA 53081. Upper .016".
- 7 arcos de alambre níquel-titanio, Borgatta A-W-BM02162201 Upper .016" x .022".
- 7 arcos de alambre acero Dentsply GAC International, Islandia .017"x .025" (Imagen 12).



Imagen 12. Brackets y arcos utilizados en el estudio. Fuente Directa.

Muestreo

No probabilístico, por cuota y conveniencia.

Criterios de:

Inclusión

- Brackets de autoligado metálicos slot .022"
- Brackets metálicos prescripción Roth slot .018".
- Brackets sin defecto físico aparente.
- Brackets metálicos nuevos.
- Arcos de alambre NiTi y acero inoxidable.
- Arcos de alambre redondo y rectangular.
- Arcos de alambre nuevos.
- Arcos de alambre sin defectos físicos aparentes.

Exclusión

- Brackets estéticos.
- Brackets reciclados.
- Alambres de calibres .012", .014", .018".
- Alambres reciclados.

Eliminación

- Brackets que sufrieron deformaciones durante su manipulación.
- Arcos de alambre que presentaron deformaciones indeseadas durante su manipulación.

Tabla 3. Operacionalización de las variables

Variable	Descripción conceptual	Definición operacional	Escala de medición	Unidad de medición	Etiqueta
Variable dependiente					
Liberación de iones	Liberación de iones de metal en el medio que lo rodea dada por una acción química.	Cantidad de iones metálicos liberados en solución remineralizante y/o desmineralizante medida por espectrofotometría.	Cuantitativa	Milésima de pulgada	NC.
Variables Independientes					
Electropulido	Proceso químico que remueve la capa superficial de un metal.	Método electroquímico que removerá la capa más superficial del bracket y arcos de alambre de estudio.	Cualitativa	Con electropulido Sin electropulido	EP.
Bracket ortodóncico	Dispositivo metálico o cerámico que guía los movimientos dentales en conjunto con los arcos de alambre cuando se ejerce una fuerza.	Aditamento ortodóncico que se someterá a electropulido, utilizando dos casas comerciales.	Cualitativa	Brackets metálicos de autoligado y roth.	1. GA 2. GB 3. GC 4. GD
Arcos de alambre prefabricados	Aleaciones de metal, utilizados para guiar los movimientos dentales al ser insertados en el slot del bracket.	Aditamento ortodóncico que se someterá a electropulido.	Cualitativa	Arcos de alambre de níquel titanio y acero inoxidable redondos y rectangulares.	1. GE 2. GF 3. GG 4. GH 5. GI 6. GJ 7. GK 8. GL
pH de las soluciones					

Procedimiento

1. *Integración de los grupos de estudio:* se utilizaron un total de 56 brackets divididos en 2 grupos: uno experimental de 28 brackets metálicos (14 de autoligado y 14 de prescripción Roth, así como y un grupo control de 28 brackets metálicos, (14 de autoligado y 14 de prescripción Roth).

Se utilizaron también 28 arcos de alambre, los cuales fueron cortados por la mitad, teniendo un total de 56 partes de arcos de alambre, estos formaron dos grupos, uno de control conformado por 28 mitades de arcos de alambre de NiTi y acero inoxidable, y un grupo experimental, igualmente formado por 28 mitades de arcos de alambre de NiTi y acero, conformados por los diferentes calibres ya mencionados anteriormente.

Brackets grupo experimental:

- Grupo A: 3M™ Unitek™ Victory SL autoligado slot .022", Monrovia California EUA. 14 brackets hemiarcada superior izquierda y hemiarcada inferior izquierda (Imagen 13).
- Grupo B: TP Orthodontics, Nu-Edge slot 0.18", Inc, La Porte, Indiana EUA. 14 brackets hemiarcada superior izquierda y hemiarcada superior izquierda (Imagen 14).

Brackets grupo control:

- Grupo C: 3M™ Unitek™ Victory SL autoligado slot .022", Monrovia California EUA. 14 brackets hemiarcada superior derecha y hemiarcada inferior derecha.
- Grupo D: TP Orthodontics, Nu-Edge slot 0.18", Inc, La Porte, Indiana EUA. 14 brackets hemiarcada superior derecha y hemiarcada inferior derecha.



Imagen 13. Brackets autoligado, grupo control y experimental. Fuente Directa.



Imagen 14. Brackets prescripción Roth, grupo control y experimental. Fuente directa.

Arcos de alambre grupo experimental (Imagen 15):

- Grupo E: 7 mitades de alambre NiTi calibre .016" (American orthodontics)
- Grupo F: 7 mitades de alambre NiTi calibre .016x.022" (Borgatta)
- Grupo G: 7 mitades de alambre acero calibre .016" (Dentsply Sirona GAC)
- Grupo H: 7 mitades de alambre acero calibre .017x.025" (Dentsply Sirona GAC)

Arcos de alambre grupo control:

- Grupo I: 7 mitades de alambre NiTi calibre .016" (American orthodontics)
- Grupo J: 7 mitades de alambre NiTi calibre .016x.022" (Borgatta)
- Grupo K: 7 mitades de alambre acero calibre .016" (Dentsply Sirona GAC)
- Grupo L: 7 mitades de alambre acero calibre .017x.025" (Dentsply Sirona GAC)



Imagen 15. Arcos redondos y rectangulares, NiTi y acero, grupo control y experimental. Fuente Directa.

1. *Preparación del grupo experimental (Electropulido)*: Se colocó un litro de electrolito en la tina de electropulido (Molident, Ciudad de México, México) y se sumergieron los brackets y mitades de arcos de alambre del grupo experimental, sujetos al vástago por 20 seg y 15 seg respectivamente, a una temperatura aproximada de 40°C con una densidad de corriente de 12 voltios de 5 A/dm², posteriormente fueron higienizados con alcohol y secados con aire comprimido durante 1 minuto (Imágenes 16 y 17).



Imagen 16. Máquina de electropulido. Fuente Directa.



Imagen 17. Proceso de electropulido de brackets y alambres, en líquido electrolítico. Fuente Directa.

2. *pH cíclico*: consiste en simular el medio ambiente bucal a través de cambios de soluciones desmineralizantes y remineralizantes. Ambos grupos se sometieron a una solución desmineralizante compuesta por: 2.2 mM CaCl₂, 2.2 mM NaH₂PO₄, 0.05 M de ácido acético con un pH ajustado a 4.4; y una solución remineralizante conformada por: 1.5mm CaCl₂, 0.9 mM Na₂ Po₄, y 0.15 mM de KCl a un pH de 7.0;

las muestras se, mantuvieron a una temperatura de 37°C a temperatura constante. Las soluciones se aplicaron diariamente por 15 días con un pH cíclico de 3 hrs de desmineralización y 21 hrs de remineralización. Ambas soluciones se cambiaron diariamente.

Procedimiento

- a. Preparación de soluciones remineralizante y desmineralizante (Imagen 18).



Imagen 18. Reactivos y materiales utilizados en la realización de las sustancias. Fuente directa.

1. Ácido acético, 2. Cloruro de Calcio, 3. Hidróxido de Potasio, 4. Fosfato de Sodio, 5. Cloruro de Potasio, 6. Potenciómetro y 7. Pistilo.

- b. En primera instancia se disolvieron en 250 ml de agua desionizada los sobres de pH para calibrar el potenciómetro, con sustancias de pH 4.00, p.16 y 6.86, se realiza la calibración (Imagen 19).



Imagen 19. Calibradores de potenciómetro. Fuente directa.

- c. Posteriormente se trituraron los reactivos que se encontraban en hojuelas, para poder pesarlos y disolverlos para cada sustancia (Imagen 20).



Imagen 20. Cloruro de calcio triturado, fuente directa.

d. Se inicia con la elaboración de la sustancia remineralizante (Imagen 21):



Imagen 21. Reactivos para la realización de la sustancia remineralizante.

Se necesitaron 4 litros de solución remineralizante por lo que se preparó como se describe en la tabla 4:

Tabla 4. Solución remineralizante

Reactivo	1 lt de sustancia remineralizante pH 7	4 lt de sustancia remineralizante pH 7
Cloruro de Calcio	0.177g	0.708g
Cloruro de Potasio	0.0112g	0.0448g
Fosfato de Sodio Dibásico	0.126g	0.504g
Agua desionizada	1 lt	4 lt

Se pesó cada sustancia con el uso de una balanza analítica (Imagen 22):



Imagen 22. Balanza analítica, medición de reactivos. Fuente directa.

Se midieron y disolvieron los polvos de los reactivos en el agua desionizada, para después medir el pH con el potenciómetro, teniendo como resultado un pH de 7.61 (Imagen 23).



Imagen 23. Solución remineralizante y medición con potenciómetro. Fuente directa.

e. Elaboración de la sustancia desmineralizante (Imagen 24).



Imagen 24. Reactivos para la elaboración de la sustancia desmineralizante. Fuente directa.

Se necesitaron 4 litros de la solución desmineralizante por lo que se preparó de acuerdo a la tabla 5:

Tabla 5. Solución desmineralizante

Reactivo	1 lt de sustancia desmineralizante pH 4.40	4 lt de sustancia desmineralizante pH 4.40
Hidróxido de Potasio	0.0641g	0.2564g
Cloruro de Calcio	0.2597g	1.0388g
Fosfato de Sodio Dibásico	0.3098g	1.2392g
Ácido Acético	2.86 ml	11.44 ml
Agua desionizada	1 lt	4 lt

Para la medición se utilizó balanza analítica y pipetas graduadas para la medición del ácido (Imagen 25).



Imagen 25. Colocación del ácido acético en la solución desmineralizante y medición con potenciómetro. Fuente directa.

Se midieron y disolvieron los polvos de los reactivos en el agua desionizada, para después medir el pH con el potenciómetro, teniendo como resultado un pH de 4.40.

3. *Espectrofotometría:* se utilizó para medir y cuantificar la liberación de partículas de los brackets y arcos de alambre en las soluciones remineralizante y desmineralizante, mediante el uso del espectrofotómetro UV-Vis (PerkinElmer, Inc., Lambda 25, Waltham, MA USA) a una longitud de onda de 190 nm-370 nm.
4. *Proceso:* se colocaron los brackets y segmentos de alambre en su grupo correspondiente en cajas Petri de plástico, rotuladas con el grupo al que pertenece, haciendo los cambios de soluciones como se detalló anteriormente.
Posteriormente al término del pH cíclico, se realizó la medición de las partículas presentes en cada tubo de solución de los días 1, 3, 7 y 15 teniendo como resultado 96 muestras al finalizar las mediciones.

Total de muestras:

Grupo control sin tratamiento de electropulido (Imagen 26)

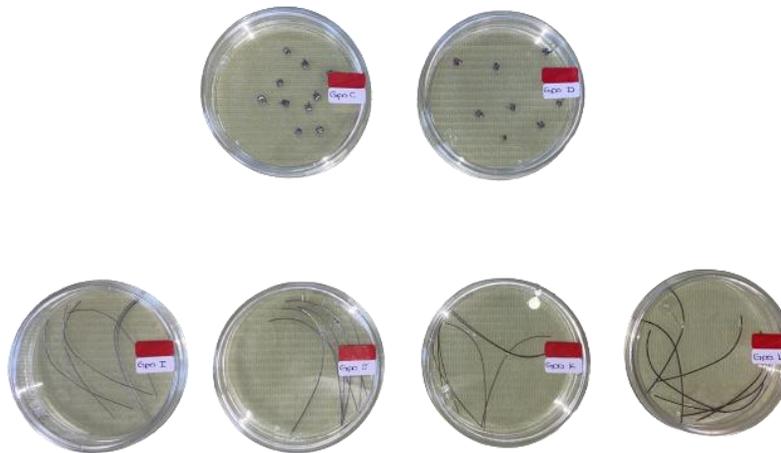


Imagen 26. Muestras grupo control. Fuente Directa.

Grupo experimental con tratamiento de electropulido (Imagen 27)

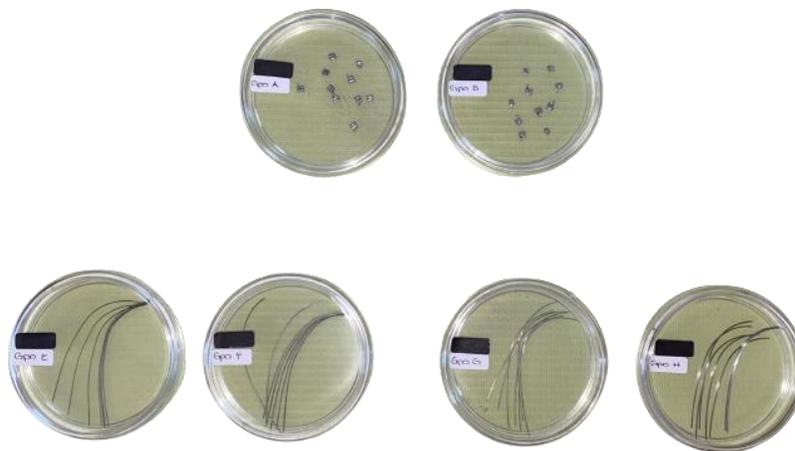
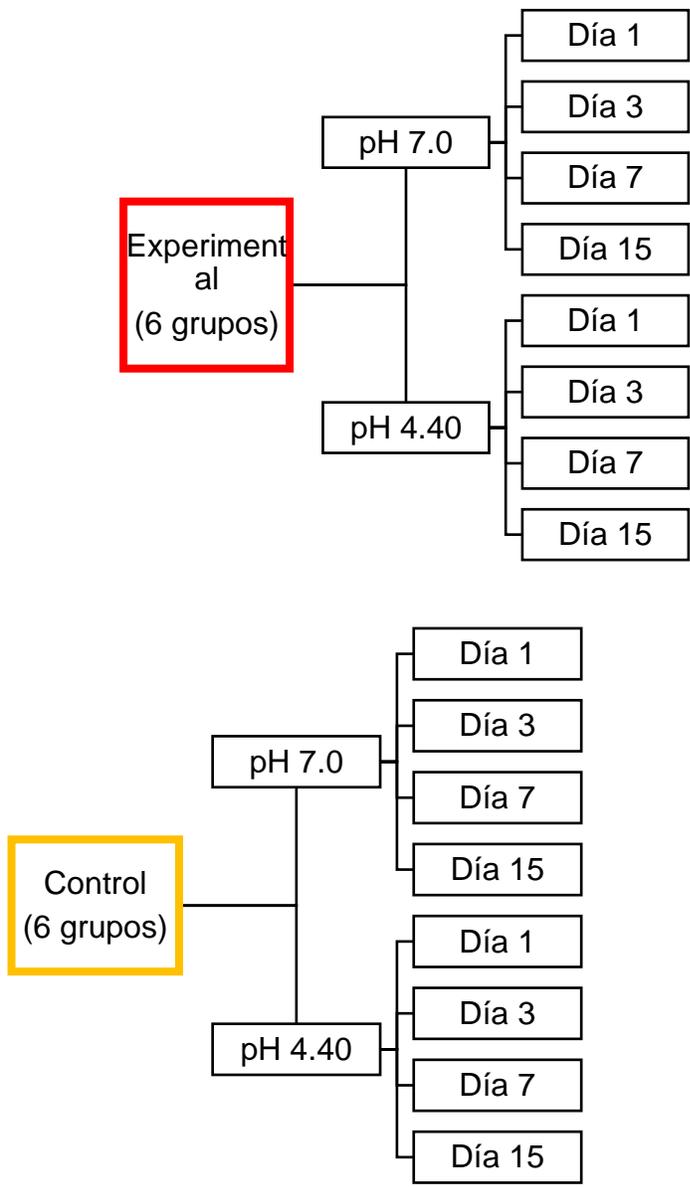


Imagen 27. Muestras grupo experimental. Fuente Directa.

De manera general se presenta en el gráfico 1 los esquemas donde se expone el procedimiento antes mencionado.

Gráfico 1. Explicación de grupos.



Consideraciones bioéticas

En la presente investigación se contemplaron los principios éticos de la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial (64a Asamblea General de octubre de 2013).^(28,29) En el Artículo 7 de este documento se establece que “la investigación médica está sujeta a normas éticas que sirven para promover y asegurar el respeto a todos los seres humanos, proteger su salud y sus derechos individuales”. Así mismo, se cumplieron con las leyes y reglamentos vigentes en México, destacando las siguientes consideraciones estipuladas en

el reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación en Salud. Según el Artículo 17, la presente investigación se considera “sin riesgo”, debido a que son estudios que emplean técnicas y métodos de investigación en los que no se realizará ninguna intervención en individuos. ^(30,31)

Además, en todo momento se cuidó la integridad de los investigadores implementando las medidas adecuadas de seguridad en el laboratorio.

Se apegó al uso del conocimiento sin el uso de plagio, y se otorgó el reconocimiento a cada una de las aportaciones de los autores citados, en concordancia con el comité internacional de editores de revistas biomédicas.

Análisis estadístico

Durante el estudio se observó que pH de las soluciones remineralizante y desmineralizante durante los cambios en el proceso de pH cíclico sufrió modificaciones, por lo que se decidió obtener la estadística descriptiva y mediante prueba T´Student de muestra única valorar si esos cambios eran significativos o mostraban algún cambio estadístico; del mismo modo se aplicó la prueba T Student para muestras relacionadas para realizar la comparación entre grupos experimentales y controles; para ello se utilizó el paquete SPSS v.21.

8 Resultados

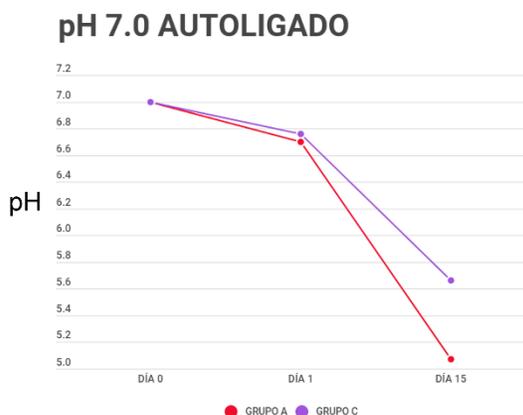
A. Análisis del comportamiento del pH de soluciones remineralizante y desmineralizante

Posterior al procedimiento los resultados se vaciaron en una base de datos, para posteriormente graficar por grupos (gráficas 2-13), tomando en cuenta el día 1 y el día 15.

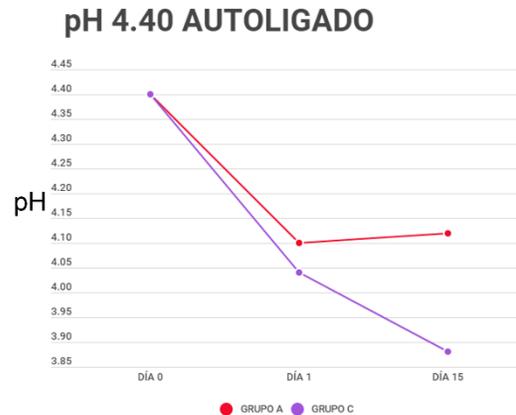
La solución desmineralizante inicia con un pH de 4.40; variando hasta 4.0 en el grupo E y de 4.04 en el grupo F, pertenecientes a arcos NiTi .016", 4.10 en el grupo F y de 4.03 en el grupo J pertenecientes al NiTi .016" X .022", de 3.90 en el grupo G y de 4.0 en el grupo K correspondientes al SS .016", y 4.0 en el grupo L y 3.9 en el grupo H correspondientes a SS .017" X .025", demostrando una acidificación importante, coincidente con el comportamiento normal de la cavidad bucal.

En cuanto a la solución remineralizante la cual inició con un pH de 7.0 también presentó dichas variaciones siendo la mayor en el grupo de brackets Roth, específicamente en el grupo B el cual presentó una acidificación hasta 5.6 en el día 15, con la diferencia más significativa con respecto a su grupo experimental de 6.5; en éste se demuestra que la acidificación pudo haberse visto influenciada por la falta de electropulido, ya que en los demás grupos tienen el mismo comportamiento exceptuando el de SS .016" en el que el grupo experimental (con electropulido) se acidifico más que su grupo control.

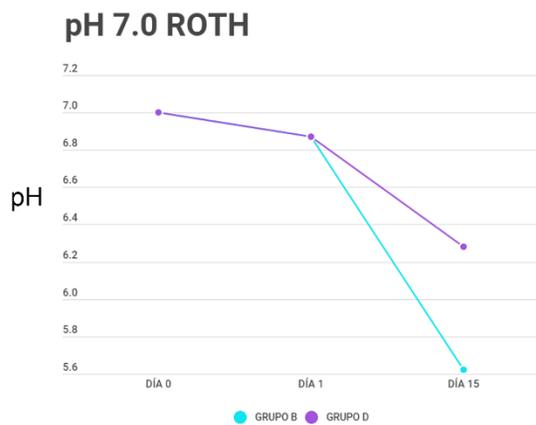
A continuación se presentan los resultados obtenidos por comportamiento del pH de las soluciones ocupadas:



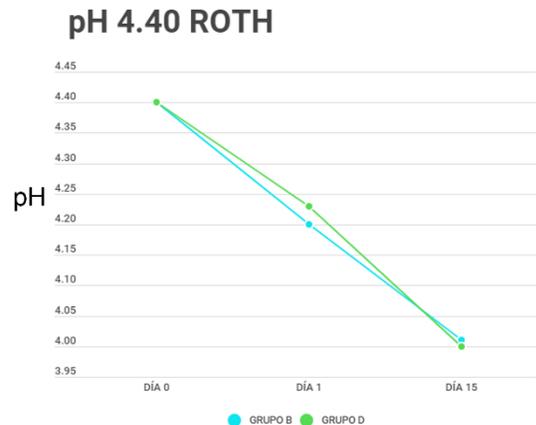
Gráfica 2. Medición de pH solución remineralizante día 0, 1 y 15; grupos A y C brackets de autoligado.



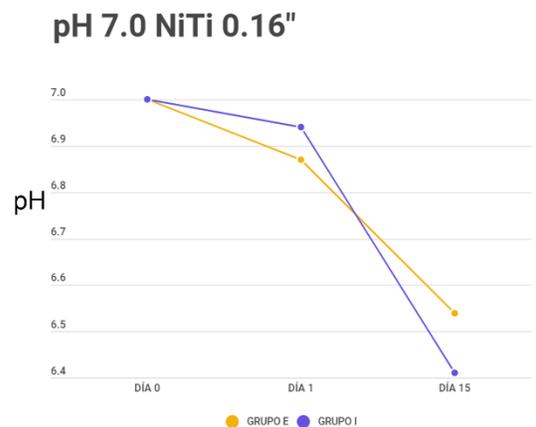
Gráfica 3. Medición de pH solución desmineralizante día 0, 1 y 15; grupos A y C brackets de autoligado.



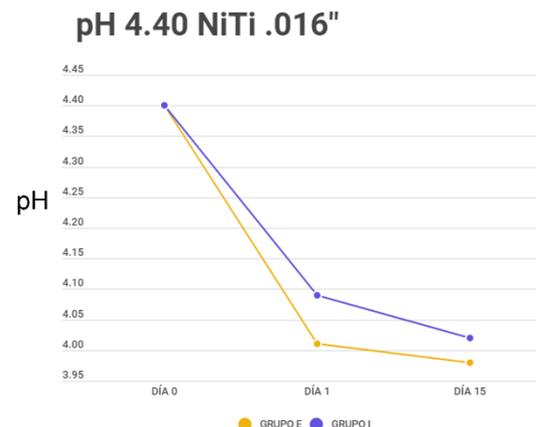
Gráfica 4. Medición de pH solución remineralizante día 0, 1 y 15; grupos B y D brackets roth.



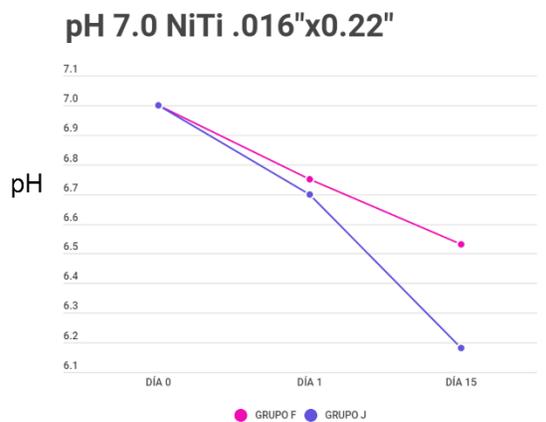
Gráfica 5. Medición de pH solución desmineralizante día 0, 1 y 15; grupos B y D brackets roth.



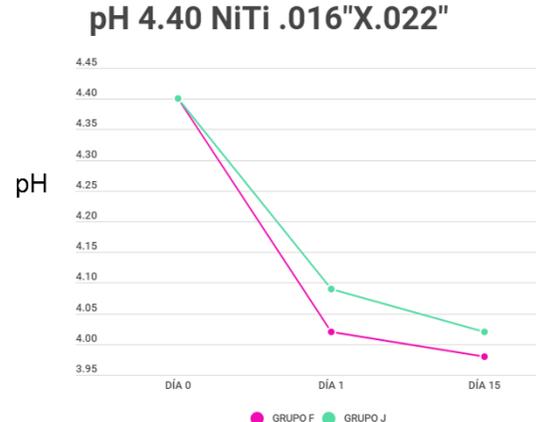
Gráfica 6. Medición de pH solución remineralizante día 0, 1 y 15; grupos E y I arcos NiTi .016".



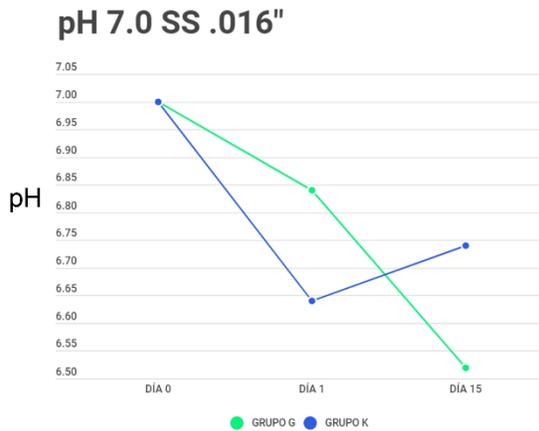
Gráfica 7. Medición de pH solución desmineralizante día 0, 1 y 15; grupos E y I arcos NiTi .016".



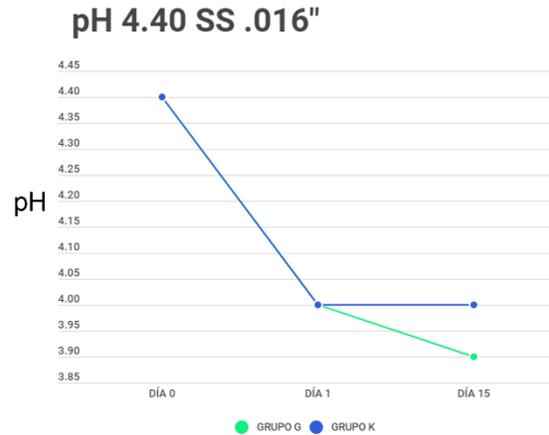
Gráfica 8. Medición de pH solución remineralizante día 0, 1 y 15; grupos F y J arcos NiTi .016"x.022".



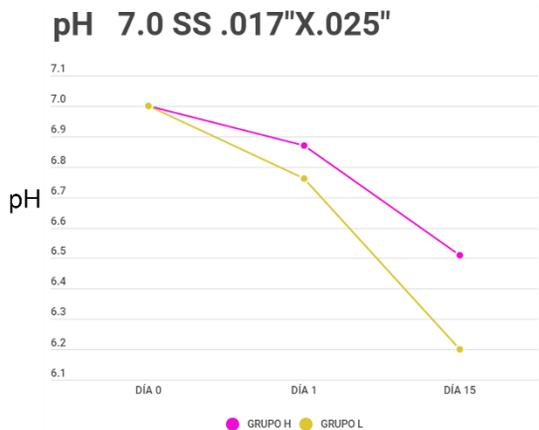
Gráfica 9. Medición de pH solución desmineralizante día 0, 1 y 15; grupos F y J arcos NiTi .016"x.022".



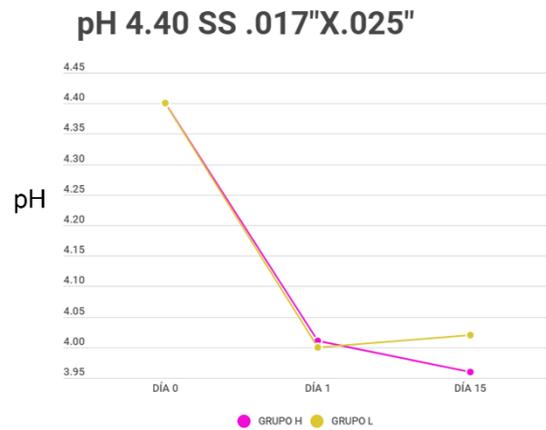
Gráfica 10. Medición de pH solución remineralizante día 0, 1 y 15; grupos G y K arcos SS .016".



Gráfica 11. Medición de pH solución desmineralizante día 0, 1 y 15; grupos G y K arcos SS .016".



Gráfica 12. Medición de pH solución remineralizante día 0, 1 y 15; grupos H y L arcos SS .017"X.025".



Gráfica 13. Medición de pH solución desmineralizante día 0, 1 y 15; grupos H y L arcos SS .017"X.025".

Se realizó una prueba T Student, esta prueba se usa para contrastar contra una medida establecida y la utilizamos porque tenemos un dato control en la solución remineralizante que fue pH = 7.0 y en la solución desmineralizante pH = 4.40.

Con respecto a las soluciones remineralizantes, en el día 1 se tuvo un promedio de pH de 6.79 ± 0.09 , para el día 3 fue de 6.31 ± 0.19 , para el día 7 de 6.03 ± 0.11 y para el día 15 de 6.18 ± 0.49 . (Ver tabla 6).

Tabla 6. Estadísticos descriptivos de las soluciones remineralizantes

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Día 1	12	6.64	6.94	6.7975	0.09147
Día 3	12	6.10	6.56	6.3183	0.19539
Día 7	12	5.81	6.25	6.0392	0.11728
Día 15	12	5.07	6.74	6.1883	0.49256
N válido (por lista)	12				

Día 1

Como se puede observar en la tabla 7 se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.000$) al comparar el valor normal del pH de la solución remineralizante contra los valores del pH obtenidos en el día 1.

Tabla 7. Prueba T para muestra única día 1

	Valor de prueba = 7.0					
	T	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Día 1	-7.669	11	0.000	-0.20250	-0.2606	-0.1444

Día 3

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.000$) al comparar el valor normal del pH de la solución remineralizante contra los valores del pH obtenidos en el día 3. (Ver tabla 8)

Tabla 8. Prueba T para muestra única día 3

	Valor de prueba = 7.0					
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Día 3	-12.085	11	0.000	-0.68167	-0.8058	-0.5575

Día 7

En la tabla 9 se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.000$) al comparar el valor normal del pH de la solución remineralizante contra los valores del pH obtenidos en el día 7.

Tabla 9. Prueba T para muestra única día 7

	Valor de prueba = 7.0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Día 7	-28.381	11	0.000	-0.96083	-1.0353	-0.8863

Día 15

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.000$) al comparar el valor normal del pH de la solución remineralizante contra los valores del pH obtenidos en el día 15. (Ver tabla 10).

Tabla 10. Prueba T para muestra única día 15

	Valor de prueba = 7.0					
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Día 15	-5.708	11	0.000	-0.81167	-1.1246	-0.4987

Referente a las soluciones desmineralizantes se observa en la tabla 11 que, en las soluciones desmineralizantes en el día 1 se tuvo un promedio de pH de $4.07 \pm .08$, para el día 3 fue de $4.60 \pm .45$, para el día 7 de $5.13 \pm .05$, y el día 15 $3.98 \pm .04$, siendo el único significativo el día 3.

Tabla 11. Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Día 1	12	4.00	4.23	4.0725	0.08035
Día 3	12	3.99	5.02	4.6092	0.45482
Día 7	12	5.09	5.25	5.1367	0.05051
Día 15	12	3.88	4.04	3.9842	0.04926
N válido (por lista)	12				

Día 1

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.000$) al comparar el valor normal del pH de la solución desmineralizante contra los valores del pH obtenidos de estas soluciones en el día 1 (Ver tabla 12).

Tabla 12. Prueba T para muestra única día 1

	Valor de prueba = 4.40					
	T	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Día 1	-14.119	11	0.000	-0.32750	-0.3786	-0.2764

Día 3

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.139$) al comparar el valor normal del pH de la solución desmineralizante contra los valores del pH obtenidos en el día 3. (Ver tabla 13).

Tabla 13. Prueba T para muestra única día 3

	Valor de prueba = 4.40					
	T	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Día 3	1.593	11	0.139	0.20917	-0.0798	-0.4981

Día 7

En la tabla 14 se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.000$) al comparar el valor normal del pH de la solución desmineralizante contra los valores del pH obtenidos de estas soluciones en el día 7.

Tabla 14. Prueba T para muestra única día 7

	Valor de prueba = 4.40					
	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Día 7	50.520	11	0.000	0.73667	0.7046	0.7688

Día 15

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.000$) al comparar el valor normal del pH de la solución desmineralizante contra los valores del pH obtenidos de estas soluciones en el día 15. (Ver tabla 15).

Tabla 15. Prueba T para muestra única día 15

	Valor de prueba = 4.40					
	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Día 15	-29.243	11	0.000	-0.41583	-0.4471	-0.3845

Brackets

En el siguiente análisis de resultados se aplicó la prueba T Student para muestras relacionadas con la intención de observar cambios entre los grupos control y experimentales, y en soluciones remineralizante y desmineralizante, a continuación se describe lo obtenido referente a los grupos de brackets:

Como se observa en la tabla 16, todos los grupos se sumergieron en soluciones remineralizantes con un pH de 7.0, el que mostró una mayor acidificación fue el grupo

experimental de autoligado (A) con un pH de 5.81, a diferencia de su grupo control (C) (6.24), experimental Roth (B) (6.30) y control Roth (D) (2.29).

Tabla 16. Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Experimental autoligado D	5.8100	4	0.49913	0.24957
	Control Autoligado D	6.2425	4	0.47275	0.23637
Par 2	Experimental Roth D	6.3000	4	0.54080	0.27040
	Control Roth D	6.2975	4	0.40754	0.20377

Con respecto a las muestras presentadas en la tabla 17, de brackets en solución remineralizante se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo experimental y control de autoligado ($p=0.035$); por el contrario, entre los grupos experimental y control de Roth no se observaron diferencias ($p=0.992$).

Tabla 17. Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas	T	Gl	Sig. (bilateral)
		95% de intervalo de confianza de la diferencia			
		Superior			
Par 1	Experimental autoligado D - Control Autoligado D	-0.05721	-3.668	3	0.035
Par 2	Experimental Roth D - Control Roth D	0.76367	0.010	3	0.992

La tabla 18 muestra la comparativa obtenida entre grupos control y experimental de brackets con soluciones demineralizantes, todos los grupos se sumergieron en soluciones con un pH de 4.40, el que mostró una mayor acidificación fue el grupo control de autoligado (C) con un pH de 4.29, a diferencia de su grupo experimental (A) (4.32), experimental Roth (B) (4.34) y control Roth (D) (4.34).

Tabla 18. Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Experimental autoligado R	4.3200	4	0.51400	0.25700
	Control Autoligado R	4.2950	4	0.60468	0.30234
Par 2	Experimental Roth R	4.3450	4	0.50954	0.25477
	Control Roth R	4.3425	4	0.54963	0.27481

Como se puede observar en la tabla 19 en ninguna de las muestras de la solución desmineralizante en brackets se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores del pH, entre ambos grupos control y experimental ($p=0.683$ y $p=0.936$, respectivamente).

Tabla 19. Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas	T	Gl	Sig. (bilateral)
		95% de intervalo de confianza de la diferencia			
		Superior			
Par 1	Experimental autoligado R - Control Autoligado R	0.20195	0.450	3	0.683
Par 2	Experimental Roth R - Control Roth R	0.09379	0.087	3	0.936

Arcos de alambre

En el siguiente apartado se describen los resultados obtenidos de la Prueba T Student para muestras relacionadas en los grupos control y experimental de arcos de alambre.

Todos los grupos sumergidos en soluciones remineralizantes iniciaron con un pH de 7.0, se puede observar que en los grupos de NiTi .016" la acidificación del grupo control fue mayor ($p=6.35$) con respecto a su grupo experimental ($p=6.55$), en el grupo de NiTi .016" x .022" se observa que la acidificación del grupo control fue mayor ($p=6.27$) con respecto a su grupo con electropulido ($p=6.35$), en el grupo de SS .016" la acidificación fue mayor en el grupo experimental ($p=6.38$) con respecto a su control ($p=6.46$) y para el grupo de SS .017" X

.025" la mayor acidificación fue en el grupo control ($p=6.39$) con respecto al experimental ($p=6.46$). (Ver tabla 20)

Tabla 20. Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Experimental NiTi .016" D	6.5500	4	0.25338	0.12669
	Control NiTi .016" D	6.3525	4	0.43446	0.21723
Par 2	Experimental NiTi .016"x.022" D	6.3550	4	0.34269	0.17134
	Control NiTi .016"x.022" D	6.2725	4	0.37482	0.18741
Par 3	Experimental SS .016" D	6.3800	4	0.37059	0.18529
	Control SS .016" D	6.4600	4	0.32321	0.16161
Par 4	Experimental SS .017"x.025" D	6.4625	4	0.31298	0.15649
	Control SS .017"x.025" D	6.3975	4	0.30837	0.15418

Al realizar la prueba de muestras emparejadas se puede observar que no existen diferencias estadísticas significativas entre los valores de pH de las soluciones remineralizantes entre grupos controles y experimentales ($p \geq 0.05$). (Ver tabla 21).

Tabla 21. Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas	T	Gl	Sig. (bilateral)
		95% de intervalo de confianza de la diferencia			
		Superior			
Par 1	Experimental NiTi .016" D - Control NiTi .016" D	0.54548	1.806	3	0.169
Par 2	Experimental NiTi .016"x.022" D - Control NiTi .016"x.022" D	0.52335	0.596	3	0.593
Par 3	Experimental SS .016" D - Control SS .016" D	0.31812	-0.639	3	0.568
Par 4	Experimental SS .017"x.025" D - Control SS .017"x.025" D	0.39991	0.618	3	0.581

Referente al comportamiento de los grupos de arcos de alambre en soluciones desmineralizantes, todos iniciaron con un pH de 4.4, se puede observar en los grupos de NiTi .016" que no se encuentra una diferencia en el cambio del pH en la solución desmineralizante (E y I)($p=4.52$), en el grupo de NiTi .016" x .022" se observa que la acidificación del grupo control (J) fue mayor ($p=4.50$) con respecto al grupo electropulido (F) ($p=4.53$), en el grupo de SS .016" la acidificación igualmente fue mayor en el grupo control (K) ($p=4.43$) con respecto al experimental (G) ($p=4.52$) y para el grupo de SS .017" X .025" la acidificación se invierte siendo el grupo experimental (H) el que más bajó sus valores ($p=4.51$) con respecto a su control (L) ($p=4.53$). (Ver tabla 22)

Tabla 22. Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Experimental NiTi .016" R	4.5275	4	0.61695	0.30847
	Control NiTi .016" R	4.5275	4	0.55241	0.27621
Par 2	Experimental NiTi .016"x.022" R	4.5300	4	0.61417	0.30708
	Control NiTi .016"x.022" R	4.5050	4	0.53557	0.26778
Par 3	Experimental SS .016" R	4.5250	4	0.67020	0.33510
	Control SS .016" R	4.4375	4	0.59073	0.29536
Par 4	Experimental SS .017"x.025" R	4.5125	4	0.61141	0.30571
	Control SS .017"x.025" R	4.5350	4	0.60765	0.30382

En la tabla 23 se observa que al realizar la prueba de muestras emparejadas se deduce que no existen diferencias estadísticas significativas entre los valores de pH de las soluciones desmineralizantes de grupos controles y experimentales.

Tabla 23. Prueba de muestras emparejadas

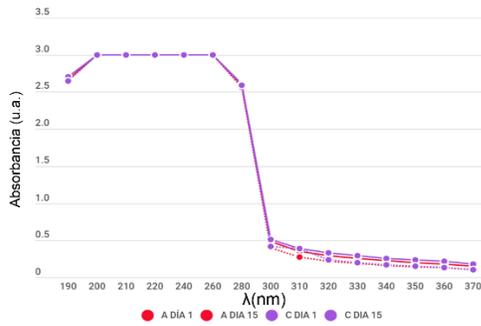
		Diferencias emparejadas			
		95% de intervalo de confianza de la diferencia			
		Superior	T	Gl	Sig. (bilateral)
Par 1	Experimental NiTi .016" R - Control NiTi .016" R	0.12462	0.000	3	1.000
Par 2	Experimental NiTi .016"x.022" R - Control NiTi .016"x.022" R	0.21793	0.412	3	0.708
Par 3	Experimental SS .016" R - Control SS .016" R	0.52988	0.629	3	0.574
Par 4	Experimental SS .017"x.025" R - Control SS .017"x.025" R	0.02502	-1.507	3	0.229

A manera de resumen general, las diferencias significativas observadas corresponden a grupos en los que los aditamentos tienen mayor cantidad de metales en sus composiciones (B,D,J,L); así también se pudo observar una mayor acidificación en los grupos que no fueron sometidos a electropulido (A,C,E,G) esto demuestra que el tratamiento de pulido electroquímico ayuda a controlar mejor el pH por que disminuye la interacción del metal con las soluciones lo que puede inferirse una menor liberación de iones en un estudio de pH cíclico.

B. Análisis de absorbancia en grupos control y experimental

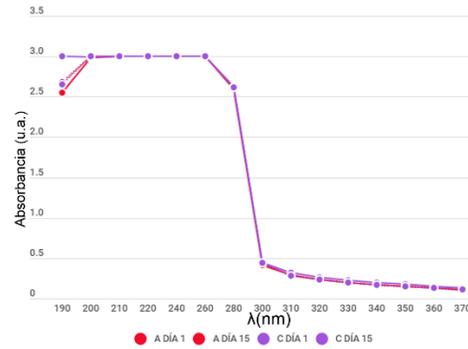
Al observar las gráficas 14-25 la absorbancia entre las soluciones remineralizante y desmineralizante de los brackets Roth y autoligado, así como los diferentes alambres no difieren de manera significativa entre ellas, dando como resultado que al exponer a un pH cíclico el grupo experimental y de control en el transcurso de los días 3, 5, 7 y 15 no hay una liberación significativa de iones metálicos en las soluciones, manteniendo por lo tanto, las condiciones normales iniciales, tanto para los grupos controles como aquéllos que fueron sometidos a electropulido.

pH 7.0 AUTOLIGADO



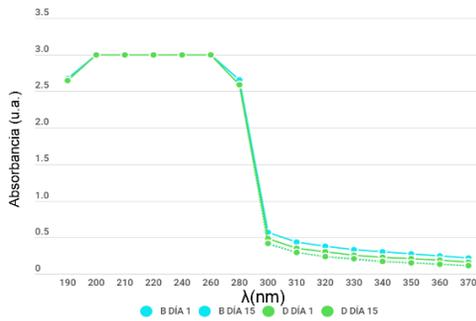
Gráfica 14. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia remineralizante grupo A y C brackets de autoligado.

pH 4.40 AUTOLIGADO



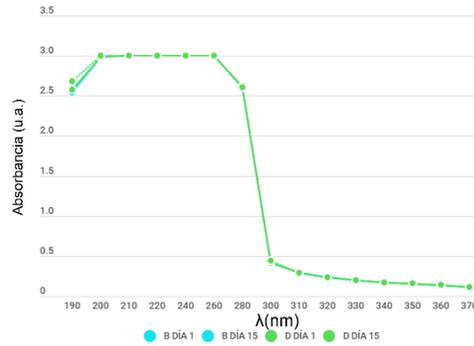
Gráfica 15. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia demineralizante grupo A y C brackets de autoligado.

pH 7.0 ROTH



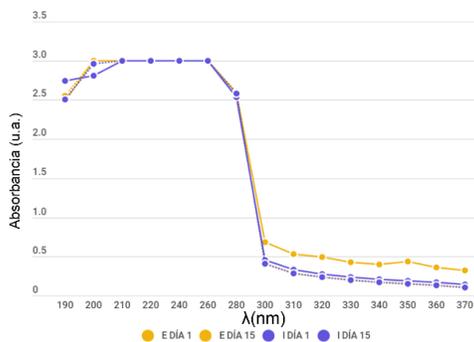
Gráfica 16. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia remineralizante grupo B y D brackets Roth.

pH 4.40 ROTH



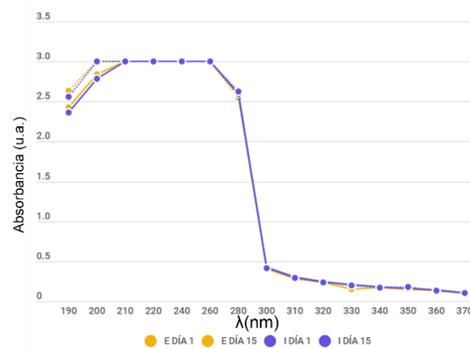
Gráfica 17. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia demineralizante grupo B y D brackets Roth.

pH 7.0 NiTi 0.16"

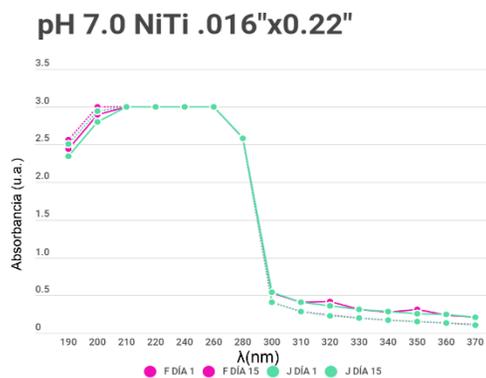


Gráfica 18. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia remineralizante grupo E y I arcos NiTi .016".

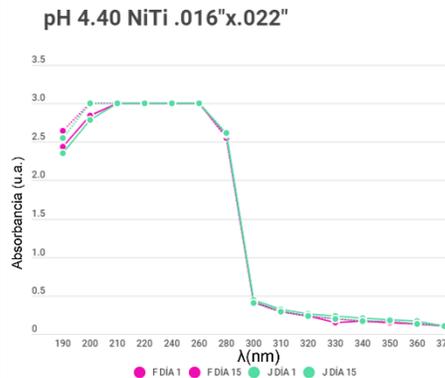
pH 4.40 NiTi .016"



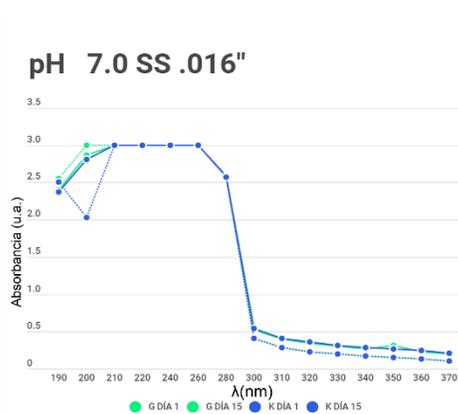
Gráfica 19. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia demineralizante grupo E y I arcos NiTi .016".



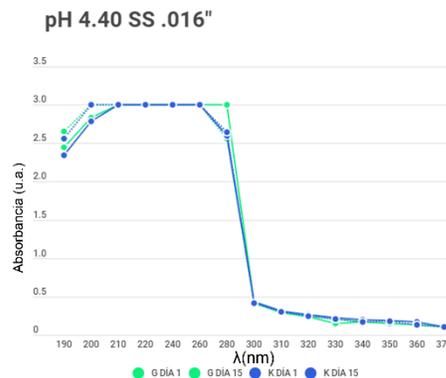
Gráfica 20. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia remineralizante grupo F y J arcos NiTi .016"x0.22".



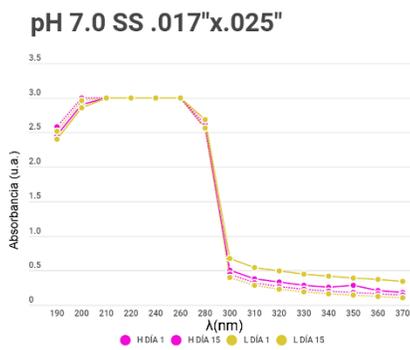
Gráfica 21. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia demineralizante grupo F y J arcos NiTi .016"x0.22".



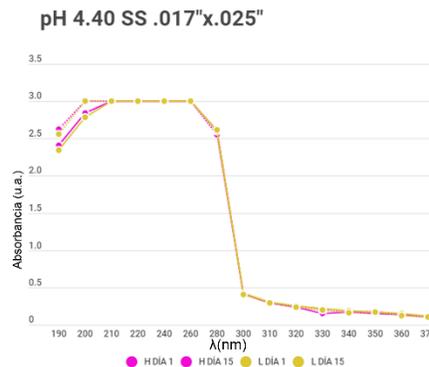
Gráfica 22. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia remineralizante grupo G y K arcos SS .016".



Gráfica 23. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia desmineralizante grupo G y K arcos SS .016".



Gráfica 24. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia remineralizante grupo H y L arcos SS .017"X.025".



Gráfica 25. Medición de la absorbancia Nm de 190 a 370, día 1 y 15, sustancia desmineralizante grupo H y L arcos SS .017"X.025".

9. Discusión

El tratamiento de electropulido sobre las superficies metálicas a nivel industrial ha demostrado ser de gran utilidad para la mejora de sus características, su uso en el área médica también ha crecido en el acabado de instrumentos como los implantes. Aunque los estudios dentro del área odontológica son escasos se ha demostrado que mejora las características de los metales para uso en boca.

Con respecto al procedimiento de electropulido, P. J. Núñez y cols.⁽²⁸⁾ demostraron mediante un estudio en el que se evaluaron diferentes sustancias electrolíticas a diferentes temperaturas, que aquella que tenía mejores resultados fue el ácido sulfúrico al 35%, el ácido ortofosfórico al 45% y que la temperatura ideal fue a los 35°C.

Según Anderson y cols.⁽²⁴⁾ el uso del electropulido en instrumentos de endodoncia elaborados de NiTi pueden tener beneficios en la prolongación de la vida de fatiga, así como la reducción de las irregularidades superficiales en las que se producen puntos de concentración de tensiones e iniciación de grietas. Bui y cols.⁽²⁴⁾ también realizaron estudios sobre la resistencia a la torsión, fatiga y la eficiencia de corte en los instrumentos de endodoncia, mejorando estas características en aquellos que se sometieron a tratamiento de electropulido.

Krzysztof Rokosz y cols.⁽²²⁾ realizaron un estudio en el compararon diferentes trozos de metales con pulido mecánico y electropulido, este último mostró mejores propiedades contra la corrosión. Se demostró que las capas superficiales de los metales austeníticos tratadas con electropulido resultaron ser menos nobles a la corrosión por picadura, que aquellas que fueron pulidas de manera mecánica.

Sudhir Munjal⁽²¹⁾ demostró mediante microscopía electrónica de barrido sobre alambres de uso ortodóncico que la superficie de éstos, al ser sometidos a electropulido dan como resultado una superficie pulida y brillante, recomendando el uso del procedimiento a nivel de consultorio. Este procedimiento se realizó de manera rudimentaria con una pieza de banda de 0.005" x 0.0180" utilizada como cátodo en un recipiente de vidrio, la pieza a pulir se sumergió dentro del baño electrolítico con pinzas, las cuales actuaron como ánodo, esto se conectó a una fuente de alimentación eléctrica a 12V, de esta manera formaron un circuito eléctrico completo; a diferencia de nuestro estudio en el que se utilizó una tina especial para electropulido, en la cual se puede regular la temperatura y el voltaje,

obteniendo como resultado en ambas técnicas superficies metálicas brillantes, lisas y libres de irregularidades.

Según un estudio realizado en la UAEMex por González y cols.⁽³⁾ en donde se utilizó la misma tina ultrasónica y técnica de electropulido, se demostró que el deslizamiento entre el bracket y los arcos mejoró en calidad y cantidad posterior al tratamiento de electropulido; el deslizamiento está limitado por la fricción entre dos superficies e influye directamente en el movimiento dental que se desea, ambas superficies metálicas presentan características diferentes que interfieren en dicho movimiento, el tratamiento de electropulido mejoró las superficies haciéndolas más lisas dando como resultado menor fricción.

En el presente estudio siguiendo los parámetros establecidos por González y cols.⁽³⁾ se midió la cantidad de iones metálicos liberados en una solución, comparando aditamentos con y sin tratamiento de electropulido, en el que se obtuvo como resultado una curva similar en todas las muestras del grupo experimental y de control, donde se puede observar que, con el paso de los días no hay un cambio significativo en la absorbancia de las soluciones, tampoco existió diferencia entre grupos por el material de brackets y alambres utilizados. Se realizó la medición de las sustancias previa a la inmersión de los materiales metálicos, la curva trazada por la espectrofotometría de estas sustancias y las utilizadas para el estudio no presentaron cambios significativos que requieran ser estudiados individualmente. Las curvas demuestran que no hay una liberación de iones metálicos durante el periodo de 15 días sometiendo los aditamentos a un pH cíclico.

De acuerdo a la literatura y lo observado en el presente estudio se puede determinar que el tratamiento de electropulido en aditamentos metálicos de ortodoncia, no afecta la estructura superficial de los mismos, por lo que es una buena herramienta para mejorar las propiedades de brillo, anti adherencia y deslizamiento en el área de ortodoncia.

En este estudio se utilizó el pH cíclico con la fórmula establecida según Prado Rosas ^(29,30) tanto para las sustancias remineralizante y desmineralizante, que ya se ha comprobado que simulan el comportamiento dentro de la cavidad bucal en un ambiente controlado.

Sin embargo, en el presente trabajo en el comportamiento del pH se puede observar una variación según van pasando los días.

Los resultados obtenidos dan pie a la necesidad de ampliar la presente investigación, se recomienda realizar estudios bajo microscopio electrónico de barrido para observar

cambios estructurales de los aditamentos ortodónticos, así como la medición de la liberación de iones en vivo en pacientes con tratamientos activos.

Con base en los resultados del presente estudio se comprueba la hipótesis nula, dados los resultados de la cantidad de iones presentes en las soluciones analizadas posterior al tratamiento de electropulido y en aquellas muestras que no se trataron.

10. Conclusiones

1. El tratamiento de electropulido no influye en la cantidad de iones metálicos liberados durante un periodo de 15 días sometiendo arcos y brackets a un pH cíclico.
2. Se presentó una acidificación de las soluciones en todos los grupos, siendo menor en los tratados con electropulido.
3. Se presentó mayor acidificación en la solución remineralizante a diferencia de la desmineralizante.
4. La aplicación de electropulido en alambres y brackets utilizados en ortodoncia mejora la superficie de ellos macroscópicamente.

11. Referencias

1. Sifakakis I, Eliades T. Adverse Reactions To Orthodontic Materials. *Aust Dent J*. 2017;62:20–8.
2. Kameda T, Oda H, Ohkuma K, Sano N, Batbayar N, Terashima Y, Et Al. Microbiologically Influenced Corrosion Of Orthodontic Metallic Appliances. *Dent Mater J*. 2014;33(2):187–95.
3. Gonzalez Pierre, Toral Victor, Velázquez Ulises. Efectos del Electropulido de brackets ortodóncicos en el deslizamiento. Tesis de Maestría en Ciencias Odontológicas, Facultad de Odontología. Universidad Autónoma del Estado de México; 2019. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.11799799777>.
4. Jhon Andrés Hp. Estudio bibliográfico de los alambres usados en la primera etapa de Ortodoncia [Internet]. Universidad De Guayaquil; 2018. Available From: <Http://Repositorio.Ug.Edu.Ec/Bitstream/Redug/17133/1/Holguinjhon.Pdf>
5. Bautista Martínez D. Corrosión de aparatología fija en cultivo celular humano: citotoxicidad, evaluación química y microestructural. Tesis de Maestría en Ciencias Odontológicas, Facultad de Odontología. Universidad Autónoma del Estado de México; 2020. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109467>.
6. Michelle Estefania Pd. Alteraciones en la superficie de brackets cerámicos y brackets de acero inoxidable sometidos a enjuagues bucales fluorados. [Internet]. Universidad Central Del Ecuador Facultad De Odontología; 2020. Available From: <Http://Www.Dspace.Uce.Edu.Ec/Bitstream/25000/24108/1/Uce-Fod-Pinto Michelle.Pdf>
7. Jaramillo Ka. Brackets. In: *Ortodoncia Contemporánea*. P. 121–3.
8. Tristán López Jd, Sánchez Meraz W, Mariel Cárdenas J, González Amaro Am, Gutiérrez Cantú Fj, Mariel Murga H. Evaluación de carga bacteriana en brackets metálicos versus brackets cerámicos. *Rev Mex Ortod*. 2015;3(4):228–32.
9. Uribe Restrepo, Gonzalo Alonso. Aristizábal Jf. Metales y alambres en Ortodoncia. *Ortod Teor Y Clínica*. 2004;(January 2010):16.
10. Yuen N. Corrosión de los arcos de acero inoxidable con uso clínico en boca de 1 a 6 meses. Universidad De Panamá; 2018.

11. Nordberg G, Langard S, Sunderman Fw, Mager Stellman J, Osinsky D, Markkanen P, Et Al. Metales: Propiedades Químicas Y Toxicidad. Enciclopedia Salud y Seguridad en el Trabajo. 2001;1–76.
12. Rafael Mc, Fabián Gj. Revisión Bibliográfica corrosión de los metales en Ortodoncia. Revista Tamé. 2020;9(25):1037–9.
13. Bernal Celis Jm. Determinación de la velocidad de corrosión bajo tensión de los metales que conforman la estructura de brackets. Universidad Nacional Mayor De San Marcos; 2021.
14. Maia Lheg, Lopes Filho H, Ruellas Ac De O, Araújo Mt De S, Vaitsman Ds. Corrosion Behavior Of Self-Ligating And Conventional Metal Brackets. Dental Press J Orthod. 2014;19(2):108–14.
15. Udabe Pagola I. Cambios en la composición salival en el tratamiento de Ortodoncia. Repos Uo [Internet]. 2015;1–98. Available From: [Http://Digibuo.Uniovi.Es/Dspace/Bitstream/10651/30921/6/Udabe.Pdf](http://Digibuo.Uniovi.Es/Dspace/Bitstream/10651/30921/6/Udabe.Pdf)
16. He L, Cui Y, Zhang C. Effect Of Protein And Mechanical Strain On The Corrosion Resistance And Cytotoxicity Of The Orthodontic Composite Arch Wire. Acs Omega. 2020;5(15):8992–8.
17. Montañez N, Peña D, Estupiñán H. Corrosión de alambres de Nitinol en saliva artificial, por técnicas electroquímicas. Rev Ion. 2008;21(1):87–96.
18. Pellegrini Vi. Biodegradación de los materiales utilizados en Ortodoncia. J Orofac Orthop. 2015;69(6):411–23.
19. Wepner L, Färber Ha, Jaensch A, Weber A, Heuser F, Keilig L, Et Al. In Vitro Ion Release Of Wires In Removable Orthodontic Appliances. Materials (Basel). 2021;14(12).
20. Alenka Kosmač B. Electropulido de aceros inoxidable. Ser Mater Y Apl [Internet]. 2010;11:1–20. Available From: [Www.Turkpasder.Com](http://www.turkpasder.com)
21. Sudhir, Munjal; Rohit, Duggal; Amanpreet, Singh Natt; Amandeep K. Electropolishing — Orthodontic Office : A Simplified Approach. Clin Innov. 2014;48(December):509–10.
22. Rokosz K, Solecki G, Mori G, Fluch R, Kapp M, Lahtinen J. Effect Of Polishing On Electrochemical Behavior And Passive Layer Composition Of Different Stainless

- Steels. *Materials* (Basel). 2020;13(15):1–12.
23. Quick An, Harris Amp, Joseph Vp. Office Reconditioning Of Stainless Steel Orthodontic Attachments. *Eur J Orthod*. 2005;27(3):231–6.
 24. Mohammadi Z, Soltani Mk, Shalavi S, Asgary S. A Review Of The Various Surface Treatments Of Niti Instruments. *Iran Endod J*. 2014;9(4):235–40.
 25. Nieves A. Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. *Sae Technical Papers*. 1984.
 26. Práctica 4. Espectrofotometría. *Fundam Química*. :1–6.
 27. García Fabila M. Apuntes para Espectrometría de radiación ultravioleta visible (Uv/Vis). Universidad Autónoma Del Estado México [Internet]. 2016;1–38. Available From: [Http://Ri.Uaemex.Mx/Handle/20.500.11799/68318](http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/68318)
 28. Núñez Pj, García-Plaza E, Hernando M, Trujillo R. Characterization Of Surface Finish Of Electropolished Stainless Steel Aisi 316L With Varying Electrolyte Concentrations. *Procedia Eng* [Internet]. 2013;63:771–8. Available From: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Proeng.2013.08.255](http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.255)
 29. Lopez-De-Alba P, Lopez-Martinez L, Amador-Hernandez J. Determinación Espectrofotométrica de cobre en formulaciones médicas, salvado de trigo y aguas potables. *Boletín La Soc Chil Química* [Internet]. 1999 Dec [Cited 2022 May 5];44(4):469–77. Available From: [http://Www.Scielo.Cl/Scielo.Php?Script=Sci_Arttext&Pid=S0366-16441999000400011&Lng=En&Nrm=Iso&Tlng=En](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-16441999000400011&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
 30. Prado Rosas S, Araiza Téllez M, Valenzuela Espinoza E. Eficiencia In Vitro de compuestos fluorados en la remineralización de lesiones cariosas del esmalte bajo condiciones cíclicas de pH. *Rev Odontológica Mex*. 2014;18(2):96–104.