

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

VICERRECTORIA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

Maestría en Ortodoncia

CORROSIÓN DE LOS ARCOS DE ACERO INOXIDABLE CON UN USO CLÍNICO
EN BOCA DE 1 A 6 MESES

Por:

Dra. Nancy Yuen

Tesis de Maestría

Ciudad de Panamá

2018

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

Maestría en Ortodoncia

CORROSIÓN DE LOS ARCOS DE ACERO INOXIDABLE CON UN USO CLÍNICO
EN BOCA DE 1 A 6 MESES

Por:

Nancy Yuen

Asesor Metodológico: Dra. Marcia Lorenzetti

Tesis de Maestría

Panamá, 2018

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

Maestría en Ortodoncia

CORROSIÓN DE LOS ARCOS DE ACERO INOXIDABLE CON UN USO CLÍNICO
EN BOCA DE 1 A 6 MESES

Por:

Nancy Yuen

Cédula: 2-718-1724

Tutor: Dr. José Núñez

Tesis para optar por título de Máster en Ortodoncia

Panamá, 2018

Esta Tesis fue evaluada adecuadamente para obtener el título de Máster en Ortodoncia, por el asesor y por el jurado evaluador.

Aprobada el _____

Asesor: Dra. Marcia Lorenzetti

Jurado Evaluador:

Profesor

Profesor

Profesor

Decanato de Facultad de Odontología Universidad de Panamá.

DEDICATORIA

A mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias por su paciencia y por compartir sus experiencias clínicas que me dieron las bases necesarias para ser una excelente profesional, y sobretodo sembrar en mí esa semilla de siempre dar lo mejor y buscar perennemente el bienestar de los pacientes.

Especialmente al Dr. José Núñez y al Ing. Jorge Ceballos por su asesoría, apoyo y orientación durante la realización de mi investigación.

A los pacientes de la Maestría de Ortodoncia, ya que sin ellos no hubiese sido posible realizarla.

A mi familia, por todo el apoyo brindado durante todos estos años de formación profesional.

A mis compañeros por todo el apoyo brindado durante estos años, fueron un pilar muy importante en mi formación como ortodoncista.

Y finalmente, a esta prestigiosa universidad que me abrió sus puertas, preparándome para un futuro competitivo y como profesional de bien.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA DE GRÁFICAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
RESUMÉ.....	xvi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Campo temático de la investigación.....	4
1.2. ANTECEDENTES.....	6
1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN.....	6
1.3.1. Pregunta.....	7
1.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	8
1.4.1. Acero Inoxidable.....	8
1.4.2. Corrosión.....	9
1.4.3. Alambres.....	9
1.4.4. La saliva.....	10
1.5. OBJETIVOS.....	11
1.5.1. GENERALES.....	11
1.5.2. ESPECÍFICOS.....	11
1.6. DEFINICIÓN DE HIPÓTESIS.....	12
1.7. ALCANCE Y LÍMITES DEL PROBLEMA.....	12
1.8. JUSTIFICACIÓN.....	12
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	14
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	15
2.1. Corrosión.....	15
2.2. Alambres.....	19
2.3. Acero inoxidable.....	24
2.4. Corrosión de metales.....	33

2.5. Estado del arte: Situación Nacional.....	36
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
3.1 TIPO Y TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN.....	38
3.2 OPERACIONALIZACIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	38
3.2.1. ETAPA 1: Selección de la muestra.....	38
3.2.2. ETAPA 2: Medición de las variables.....	39
3.3. Variables del estudio.....	39
3.3.1. Variable Dependiente.....	40
3.3.2. Variable Independiente.....	40
3.4. Hipótesis.....	40
3.5 Sujetos de la investigación.....	41
3.6. Recolección de los datos.....	41
3.7. Instrumento de la investigación.....	42
3.8 Método de error.....	43
3.9. Análisis de los datos.....	43
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	44
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	45
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1. CONCLUSIONES.....	65
5.2. RECOMENDACIONES.....	66
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
7. ANEXOS.....	76

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Clasificación de los tipos de corrosión para el área de salud.

FIGURA 2- Pilar de hierro de Delhi.

FIGURA 3- Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de 3M
(control).

FIGURA 4- Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de 3M
(1mes).

FIGURA 5- Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de 3M
(3meses).

FIGURA 6- Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de 3M
(6meses).

FIGURA 7- Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de AO
(control).

FIGURA 8- Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de AO
(1mes).

FIGURA 9- Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de AO
(3meses).

FIGURA 10- Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de
AO (6meses).

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Instrumento de recolección de datos (Alambres 3M).

Cuadro 2. Instrumento de recolección de datos (Alambre AO).

Cuadro 3. Instrumento de recolección de datos (Comparación de ambas marcas).

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Estadísticas descriptivas del número de manchas registradas en los arcos de acero inoxidable al mes.
- Tabla 2.** Prueba de comparación de medias para muestras independientes.
- Tabla 3.** Estadísticas descriptivas del número de manchas registradas en los arcos de acero inoxidable a los tres meses.
- Tabla 4.** Prueba de comparación de medias para muestras independientes.
- Tabla 5.** Estadísticas descriptivas del número de manchas registradas en los arcos de acero inoxidable a los seis meses.
- Tabla 6.** Prueba de comparación de medias para muestras independientes.
- Tabla 7.** Porcentaje de los elementos encontrados en los arcos de acero 3M.
- Tabla 8.** Porcentaje de los elementos encontrados en los arcos de acero AO.
- Tabla 9.** Análisis de varianza del porcentaje de wt% en los elementos, tipo de alambre y tiempo.

LISTA DE GRÁFICAS

- Gráfica 1.** Comparación del número promedio de manchas en las dos marcas de alambre al mes.
- Gráfica 2.** Comparación del número promedio de manchas en las dos marcas de alambre a los tres meses.
- Gráfica 3.** Comparación del número promedio de manchas en las dos marcas de alambre a los seis meses.
- Gráfica 4.** Comparación del número promedio de manchas en las dos marcas de alambre en el tiempo de estudio
- Gráfica 5.** Comparación de las medias de los elementos en el tipo de alambre 3M en los tiempos de comparación.
- Gráfica 6.** Comparación de las medias de los elementos en el tipo de alambre AO en los tiempos de comparación.
- Gráfica 7.** Comparación de la media de la proporción WT (%) de los elementos en los tipos de alambres.
- Gráfica 8.** Comparación de la media de la proporción norm.wt (%) de los elementos en los tipos de alambres.
- Gráfica 9.** Comparación de la media de la proporción norm.at (%) de los elementos en los tipos de alambres.
- Gráfica 10.** Comparación de la media de la proporción Error in (%) de los elementos en los tipos de alambres.
- Gráfica 11.** Comparación de la media de la proporción wtn (%) de los elementos en los tipos de alambres.

CORROSIÓN DE LOS ARCOS DE ACERO INOXIDABLE CON UN USO CLÍNICO EN BOCA DE 1 A 6 MESES

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue determinar el grado de corrosión que existen en los alambres de acero inoxidable 0.019”x 0.025” utilizados en los pacientes de la Maestría de Ortodoncia de la Universidad de Panamá del año 2016-2018. La misma se realizó en base a la información obtenida de los alambres que utilizaron los pacientes en periodos de 1 mes, 3 meses y 6 meses en boca. Se analizaron 90 alambres de los cuales, 45 eran de la marca comercial 3M y los otros, 45 de American Orthodontics. De cada marca comercial se asignaron 15 alambres para cada mes. Las muestras se observaron en un microscopio electrónico de barrido marca Zeiss, modelo Evo 40 vp y para evaluar el grado de corrosión utilizamos un Espectrómetro de Energía Dispersiva de Rayos X, marca Bruker, modelo Quantax200. Las muestras preparadas fueron observadas en alto vacío con un detector de captura de electrones retrodispersados y un voltaje de aceleración (potencia del haz de electrones) que varió entre los 20 y 23 Kv.

Utilizamos el programa SPSS versión 23, se realizó una estadística descriptiva de todas las variables. Aplicando la media aritmética, desviación estándar y porcentaje, según el tipo de variable. Se tiene como consideración un nivel mínimo de significancia de $p < 0.05$. El mayor porcentaje de corrosión se dio en los arcos de American Orthodontics en los alambres de 6 meses en boca; mientras que los de 1 mes y 3 meses no hubo una gran diferencia significativa.

PALABRAS CLAVES: alambre, acero inoxidable, corrosión, saliva.

CORROSION OF STAINLESS STEEL ARCHES WITH CLINICAL USE IN MOUTH OF 1 TO 6 MONTHS

Nancy Yuen

ABSTRACT

The purpose of this investigation was to determine the degree of corrosion that exists on the 0.019 "x 0.025" stainless steel wires, used in the patients in the Master of Orthodontics in The University of Panama from the year 2016-2018. It was carried out based on the information obtained from the wires used by patients in periods of 1 month, 3 months and 6 months in their mouths. 90 wires were analyzed, of which 45 were of the 3M trademark and the other 45 of American Orthodontics. Of each commercial brand, 15 wires were assigned for each month. The samples were observed in a scanning electron microscope brand Zeiss, model Evo 40 vp and to evaluate the degree of corrosion we use a Dispersive Energy Spectrometer X-ray, brand Bruker, model Quantax200. The prepared samples were observed in high vacuum with a back-scattered electron capture detector and an acceleration voltage (electron beam power) that varied between 20 and 23 Kv.

We used the SPSS program, version 23, to make a descriptive statistic of all the variables that were made. Using arithmetic mean, standard deviation and percentage, according to the type of variable. A minimum level of significance of $p < 0.05$ is taken into account. The highest percentage of corrosion occurred in the American Orthodontics arches in the wires that were placed for 6 months in the mouth; while on those of 1 month and 3 months, there was not a significant difference.

KEY WORDS: wire, stainless steel, corrosion, saliva.

CORROSION DES ARCHES EN ACIER INOXYDABLE A USAGE CLINIQUE DANS LA BOUCHE DE 1 A 6 MOIS

Nancy Yuen

RESUMÉ

Le but de cette enquête était de déterminer le degré de corrosion existant dans les fils en acier inoxydable de 0,019 "x 0,025" utilisés chez les patients du Master en orthodontie de l'Université de Panama à partir de 2016-2018. Elle a été réalisée sur la base des informations obtenues à partir des fils utilisés par les patients au cours de périodes de 1 mois, 3 mois et 6 mois dans la bouche. 90 fils ont été analysés, dont 45 de marque 3M et les 45 autres d'American Orthodontics. Sur chaque marque commerciale, 15 fils ont été attribués pour chaque mois. Les échantillons ont été observés dans un microscope électronique à balayage Zeiss, modèle Evo 40 vp, et pour évaluer le degré de corrosion, nous avons utilisé un spectromètre à énergie dispersive, de marque Bruker, modèle Quantax200. Les échantillons préparés ont été observés sous vide poussé avec un détecteur à capture d'électrons rétrodiffusé et une tension d'accélération (puissance du faisceau d'électrons) variant entre 20 et 23 Kv.

Nous avons utilisé la version 23 du programme SPSS, une statistique descriptive de toutes les variables a été réalisée. Utilisation de la moyenne arithmétique, de l'écart type et du pourcentage, en fonction du type de variable. Un niveau minimal de signification de $p < 0,05$ est pris en compte. Le pourcentage le plus élevé de corrosion s'est produit dans les arcs américains orthodontiques dans les fils de 6 mois dans la bouche; tandis que ceux de 1 mois et 3 mois il n'y avait pas une différence significative.

MOTS CLÉS: fil, acier inoxydable, corrosion, salive.

Capítulo I.
INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

En Odontología se utilizan una gran variedad de materiales dentales, entre los cuales se destacan los metales. Estos son utilizados en la fabricación de prótesis fijas o removibles, implantes de oseointegración, así como también en la aparatología ortodóncica y ortopédica. (Gómez *et al.*,2014).

Dentro de los materiales empleados para la construcción de aparatos de ortodoncia, se encuentran distintas aleaciones que se utilizan en forma de alambres, bandas, tornillos y los denominados brackets. (Vásquez *et al.*, 1997).

Gómez (2014) indica que los metales más utilizados se encuentran el oro, cobalto, cromo, aluminio, titanio, hierro, paladio, platino, plata, osmio, cobre, zinc, indio, berilio, estaño y níquel. El níquel (Ni) permite elaborar excelentes aleaciones con el cromo, el titanio e incluso con el acero inoxidable, siendo de gran utilidad en la fabricación de los alambres, bandas y soportes de la aparatología ortodóncica fija.

De acuerdo con Vásquez (1997) sustenta “la ortodoncia es el estudio del crecimiento y evolución del sistema de masticación y de la prevención y tratamiento de las anomalías en su desarrollo. Estos tratamientos se llevan a cabo, casi siempre, mediante la utilización de aparatos que, al ejercer determinada fuerza y producen movimientos dentarios”.

Según Mikulewicz (2014) menciona “actualmente, se ha aumentado el interés por la biocompatibilidad de los materiales dentales y la repercusión que pueda crear en el organismo”.

Algunos metales utilizados en el tratamiento ortodóncico como el Ni, Cr y el Co son alérgenos, citotóxicos y mutágenos. El material usado está expuesto a diferentes factores como la temperatura, el pH, stress mecánico (corrosión) y microflora (biocorrosión). Estos factores pueden inducir a la liberación de iones metálicos al organismo. (Mikulewicz *et al.*, 2014).

En las últimas décadas se introdujo una gran variedad de aleaciones de alambre en ortodoncia, el uso adecuado de estos alambres nos ayuda a reducir la duración del tratamiento, que sea mucho más cómodo para el paciente y así proporcionar una mejora en los tratamientos. Castro et al (2014).

El acero inoxidable está constituido de hierro, carbón y pequeñas porciones de níquel y cromo entre otras. Los primeros dos determinan el módulo elástico que dictará la relación de flexibilidad / rigidez del alambre. El níquel y el cromo evitan la corrosión. (Reisman, 2008).

Según Reisman en el 2008 planteó “el acero inoxidable se presenta en 2 fases: Martensita, que es rígida y resistente y se utiliza para la elaboración de instrumentos de ortodoncia y Austenita, que es más flexible y sirve para fabricar los arcos ortodónticos”.

El acero inoxidable tiene una alta resistencia a la corrosión, dado que el cromo u otros metales con aleaciones presentan gran afinidad por el oxígeno y reaccionan con él (Kalpakjian, Serope; Schmid, 2002) formando una capa pasiva, evitando así la corrosión de los metales.

Pero según Toms (1988) “el acero inoxidable no es totalmente resistente a la corrosión debido a que la superficie no es homogénea, existen áreas de tensión y compresión que son más susceptibles a ataque de la corrosión, manipulación inadecuada del alambre con pinzas de corte o fresas que marcan la superficie del alambre”.

La corrosión está definida como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico, siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación) por su entorno. Esta puede definirse como la velocidad en la que se desgastan los metales, lo cual dependerá de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión. (P. Kofstad, 1988).

La corrosión, puede darse mediante otros mecanismos, como por ejemplo: alteraciones químicas de los metales a causa del aire o líquidos, como la herrumbre del hierro y el acero. (D. Landolt, 1993) Sin embargo, la corrosión es un fenómeno más amplio que afecta a todos los materiales (metales, cerámicas, polímeros, etc.) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura, etc.). El proceso de corrosión es natural y espontáneo.

La corrosión es un proceso en el cual intervienen tres factores: la pieza manufacturada, el ambiente y el agua, o por medio de una reacción electroquímica. (Ibáñez, 2011).

La presente investigación lleva por título: “Corrosión de los arcos de acero inoxidable con uso clínico en boca de 1 a 6 meses”.

Para el desarrollo del análisis del grado de corrosión se ha dividido el trabajo en cinco capítulos.

El primer capítulo, contiene la introducción del tema, donde se muestran referencias de los antecedentes que fomentaron el proyecto de investigación; la justificación, que sustente el problema planteado en la investigación, así como el planteamiento del problema y la definición de los términos. Incluye las hipótesis, los objetivos generales y específicos de la investigación.

El segundo capítulo, abarca la revisión de la literatura y el estado del arte donde se exponen los diversos artículos que apoyan científicamente el proyecto de investigación.

El tercer capítulo, se refiere a la metodología de la investigación que se utilizó y que describe detalladamente la técnica, los instrumentos, el tipo de investigación, así como la población y la muestra.

El cuarto capítulo, corresponde al análisis y la discusión de los resultados obtenidos.

El quinto capítulo, desarrolla las conclusiones y recomendaciones obtenidas en la investigación.

Por último, se enumera la revisión de la bibliografía a través de la cual, se obtuvo la información científica para el desarrollo de esta tesis.

1.1 Campo temático de la investigación.

La mecanoterapia ortodóncica, abarca el uso de diversos arcos durante las etapas específicas del tratamiento. Los aparatos ortodóncicos metálicos consisten en bandas, alambres de arco, ligaduras, ganchos, tubos, soportes y resortes que se usan diariamente en las prácticas ortodóncicas para la corrección de las mal oclusiones en los pacientes (Sabine et al., 2004, Verstryngge et al. Et al., 2009).

Por otro lado, uno de los temas más importantes en el uso de biomateriales metálicos es el comportamiento de su corrosión. La corrosión de los aparatos ortodóncicos en el ambiente oral puede liberar productos o efectos de corrosión sobre las propiedades físicas y el rendimiento clínico de los aparatos ortodóncicos (Virtanen et al., 2008).

Las aleaciones de los metales de los aparatos de ortodoncia utilizados en la boca están en contacto con una variedad de sustancias que imponen efectos potentes sobre su estado reactivo y su integridad superficial, como la saliva que puede contener ácidos derivados de la degradación y descomposición de alimentos, factores ambientales y la flora oral y sus subproductos (Eliades y Athanasiou, 2002).

En la ortodoncia, la rugosidad superficial de los arcos ortodónticos puede afectar la estética del aparato y al rendimiento de la mecánica deslizante por su influencia sobre el coeficiente de fricción. Por lo tanto, las fuerzas de fricción pueden reducir la fuerza ortodóntica en un 50% o más (Drescher et al., 1989).

Los materiales dentales tienen que soportar tensiones mecánicas, térmicas y químicas en la boca del paciente y deben tener una biocompatibilidad suficiente en este ambiente agresivo. Por consiguiente, la calidad de la superficie, es decir, la rugosidad superficial de los materiales dentales es de suma importancia, ya que esto determina el área de la superficie de contacto e influye así en el comportamiento de la corrosión y la biocompatibilidad (Kappert et al., 1988).

Los arcos de acero inoxidable, no dejan de ser populares debido a su bajo costo y excelente plasticidad; junto con buenas propiedades mecánicas. (Kapila y Sachdeva, 1989; Brantley, 2001).

La corrosión de los aparatos ortodónticos, puede tener serias implicaciones clínicas que van desde la pérdida de la dimensión que da lugar a fuerzas inferiores que se aplican a los dientes, a la falla de tensión por corrosión del aparato. La obtención de productos de corrosión tóxicos por el aparato y su absorción por los tejidos circundantes es indeseable. (Toms, 1988).

1.2. ANTECEDENTES

N.Schiff, B.Grosgeat, M.Lissac y F.Dalard, realizaron un estudio donde demostraron que “el Meridol, que es un enjuague dental fluorado, puede tener una influencia negativa en la resistencia a la corrosión de algunos alambres de Ortodoncia, como el NiTi y el TMA”.

(Schiff., et al 2005).

Daems, Celis y Willems en el (2005) destacaron la caracterización morfológica de arcos ortodóncicos de acero inoxidable in vivo: Evaluación de la degradación de la superficie del bracket y el arco después de su uso clínico de 6 meses, en el cual se observaron irregularidades en las superficies de los materiales lo que resultó en corrosión.

Masahiro Iijima y cols en el (2006) observaron la corrosión galvánica en aleaciones de arcos ortodóncicos acoplados en brackets: estudia el aspecto de la superficie de arcos y brackets y su comportamiento en la corrosión galvánica.

En una investigación realizada por Montañez, (2008) “los alambres de Nitinol y minitornillos de Ti6Al4V, mostraron buena biocompatibilidad para su uso en Ortodoncia; sin embargo, para pacientes alérgicos al níquel y a la exposición en cantidades pequeñas de vanadio, puede afectar la mucosa oral con alergias e inflamabilidad”.

T.P. Chaturvedi, (2009) observó un comportamiento corrosivo en aleaciones de ortodoncia: la corrosión causa una desintegración severa en el cuerpo del metal el cual puede ocasionar efectos adversos en la eficacia del arco en los movimientos de Ortodoncia.

Mitchell, (2012) realizó un estudio con alambres de 0.016 x 0.022 NTT, donde concluyó que después de 30 y 60 días de uso en boca, estos alambres presentan corrosión y la tenacidad se ve afectada.

Según Romero, (2012) anotó que “los alambres 0.019 x 0.025 de acero inoxidable, aunque presenten corrosión no afectan significativamente sus propiedades mecánicas a los 3 meses de uso en boca, pero sí a los 6 meses”.

1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según Matasa, (1996) el acero inoxidable como aleación para uso odontológico es introducido en el año 1919, cuando F. Hauptmeyer, odontólogo de la Policlínica Dental Krupp de Alemania, lo utiliza como un nuevo material para la confección de una prótesis, con el nombre de Wipla (del alemán Wei Platin, en castellano "como plata").

Posteriormente, E.H. Angle en 1930, lo utiliza como alambre de ligadura y a partir de 1937 se confirma su valor como material en Ortodoncia (Matasa, 1996).

Hoy por hoy es el material más utilizado para las mecánicas de retracción en los tratamientos de ortodoncia.

Harfin, (2005). Una de las características del acero inoxidable es la gran variedad en las propiedades finales que se pueden obtener. Por ejemplo, pueden obtenerse piezas de gran flexibilidad como cuerdas de instrumentos musicales o elementos de elevadísima dureza y rigidez.

Harfin-Kaplan, (2010) nos indican que la corrosión es el efecto de reacciones químicas indeseables sobre estructuras y propiedades de metales y aleaciones. Los materiales de uso ortodóntico sufren un proceso de envejecimiento en la cavidad oral.

Este proceso se manifiesta de varias formas, como alteraciones en la estructura, forma y eventualmente, sobre sus propiedades mecánicas.

En el programa de la Maestría de Ortodoncia de la Universidad de Panamá, los arcos de acero inoxidable para cierre de espacio de calibre 0.019x0.025 son los más utilizados; las cuales dos de las principales marcas comerciales que utilizamos no existen registro del grado de corrosión de estos alambres siendo los que más tiempo permanecen en boca.

Debido a esto se plantea la siguiente formulación del problema de investigación:

1.3.1. PREGUNTA

¿Cuál es el grado de corrosión en los alambres de acero inoxidable luego de estar en boca en un periodo de 1 a 6 meses?

La importancia de esta investigación radica que debemos considerar los componentes de los materiales y la corrosión de estos alambres para minimizar los factores que afectan el cierre de espacios, tiempo de tratamiento, costo de tratamiento y otros posibles aspectos no considerados en este estudio.

1.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.

1.4.1 Acero Inoxidable

Introducidos en la Ortodoncia durante los años 40 y 50 como materiales que resisten la acción de los agentes químicos y que se encuentra en todas las secciones y tamaños

imaginables, presentando multitud de durezas, en función de los tratamientos. El contenido en cromo del inoxidable, se oxida superficialmente como óxido de cromo formando una capa delgada y de alta adherencia, protegiendo al material del medio ambiente en donde se encuentre. Su uso tiene ventajas como bajo costo e inocuidad para los tejidos. (Rosales, 2013).

Según, Proffit, (2008). Idealmente, los arcos están diseñados para mover los dientes con fuerzas ligeras y continuas, tales fuerzas pueden disminuir el potencial de incomodidad de paciente, la hialinización de los tejidos y la reabsorción. Cuando la fuerza es aplicada, el arco debe mantener un comportamiento elástico durante un tiempo de semanas a meses.

Para lograr este objetivo se utilizan 4 tipos de arcos convencionales como el acero inoxidable, cromo-cobalto, níquel-titanio y beta titanio. Cada aleación posee unas características y propiedades únicas. Cuando los arcos son utilizados para tratar pacientes, su propiedad elástica indica que cada aleación se destaca en una coyuntura particular ya sea en el inicio, durante o al final de las fases de tratamiento. Por lo tanto, se deben considerar diversas características y propiedades en la búsqueda del arco ideal, dentro de las cuales están las características estéticas, bioestabilidad, fricción, formalidad, soldabilidad, resiliencia y recuperación elástica. (Proffit, 2008).

El acero inoxidable y las aleaciones de cromo-cobalto con propiedades similares, han sustituido a los metales preciosos en Ortodoncia debido a su mejor rigidez y elasticidad con una resistencia equivalente a la corrosión. El acero inoxidable debe su resistencia frente a la corrosión a su contenido relativamente alto de cromo. Daems *et al* (2009).

El arco de acero inoxidable 0.019” x 0.025” es uno de los alambres más utilizados por los ortodontistas al inicio de la fase de retracción, ya que además de permitir un mayor control en la mecánica de deslizamiento, preservan el control de la sobremordida. Este alambre suele permanecer en boca por un periodo de tiempo que va desde un mes hasta 6 meses, dependiendo de las necesidades específicas de cada paciente.

Durante el tratamiento de Ortodoncia, muchas veces no ocurren los movimientos deseados y usualmente pensamos que puede ser por la biomecánica utilizada, pero pocas veces pensamos que puede ser que el alambre utilizado haya perdido sus propiedades.

1.4.2. Corrosión

El término corrosión viene del griego “Corrodis” que significa arañado, desmenuzado, vuelto polvo o deshecho. (Nerey,2004).

En términos técnicos es la pérdida de cualidades o propiedades deseadas en un material, como producto de su deterioro, el cual puede ocurrir mediante una reacción química o electroquímica, por la acción del medio ambiente. (Anderez, 1994).

1.4.3. Alambres

Es un metal en forma de hilo que ha sufrido estiramientos por fuerzas traccionales.

El precursor de los alambres ortodónticos fue el “arco vestibular” utilizado en los tratamientos al final de los años 1800, realizado de una aleación de *plata-níquel o platino-oro* con un diámetro de 0.032 a 0.036 pulgadas (alambre redondo). Luego de esto, se realizó el aplanamiento (alambre rectangular o cuadrado) del arco redondo para crear una “cinta” con una sección aproximada de 0.020 por 0.050 pulgadas con el fin de lograr movimientos en masa y desplazamientos vestibulolinguales.

La introducción de la técnica de arco de canto por el Dr. Edgar Angle en los años veinte, conllevó a la fabricación de alambres con aleaciones de *metales preciosos*, los cuales eran más flexibles que el arco vestibular debido a su menor tamaño y a su sección redonda o rectangular. Con estos alambres más flexibles nació la nivelación y la fase de tratamiento activo. Desafortunadamente, los arcos menores de aleaciones de plata y oro eran demasiado flexibles para conseguir con eficacia ciertos procesos de estabilización deseados durante el tratamiento ortodóntico activo.

1.4.4. La Saliva

La saliva es considerada como un sistema con múltiples factores que actúan en conjunto e influyen en el estado de salud /enfermedad de la cavidad bucal, es un líquido claro y neutro, en ocasiones débilmente ácido, ligeramente viscoso, el mismo que es segregado por las glándulas salivales mayores 93% de su volumen (parótida, submaxilar y sublingual) en él y de las menores en el 7 % (palatinas, linguales, bucales). (Cova, 2004).

Es estéril cuando sale de las glándulas salivales, pero deja de serlo inmediatamente cuando se mezcla con el fluido crevicular, restos de alimentos, microorganismos, células descamadas de la mucosa oral, etc. (Ospino, 2014).

El 99% de la saliva es agua mientras que el 1% restante está constituido por moléculas orgánicas e inorgánicas. La saliva es un buen indicador de los niveles plasmáticos de diversas sustancias tales como hormonas y drogas, por lo que puede utilizarse como método no invasivo para monitorizar las concentraciones plasmáticas de medicamentos u otras sustancias. (Moral, 2013).

La saliva es un fluido líquido de pH alcalino, compleja, algo viscosa es producida por las glándulas salivales ubicadas en la cavidad bucal y está involucrada en la primera fase de la digestión. (Chávez, 2008) Muchas veces se utiliza saliva artificial para llevar a cabo estudios relacionados con Odontología.

1.5. OBJETIVOS

A continuación, se describen los objetivos del proyecto de investigación.

1.5.1. GENERALES

1.5.1.1. Evaluar la corrosión de los alambres de acero inoxidable utilizados en la MOUP.

1.5.1.2. Comparar la corrosión de los alambres utilizados en la MOUP durante el periodo de 1 a 6 meses.

1.5.2. ESPECÍFICOS.

1.5.2.1. Medir la corrosión de los arcos de acero inoxidable en un alambre nuevo.

1.5.2.2. Evaluar la corrosión de los arcos de acero inoxidable durante el uso en boca de 1 mes.

1.5.2.3. Valorar la corrosión de los arcos de acero inoxidable durante el uso en boca de 3 meses.

1.5.2.4. Determinar la corrosión de los arcos de acero inoxidable durante el uso en boca de 6 meses.

1.5.2.5. Establecer el grado de deterioro de los alambres en relación al tiempo de uso.

1.5.2.6. Medir el porcentaje de elementos químicos que se encuentran en cada alambre en relación al tiempo de uso.

1.5.2.7. Conocer la cantidad de oxígeno presente en cada alambre en relación al tiempo de uso.

1.6. DEFINICIÓN DE HIPÓTESIS.

H1: Existe una diferencia significativa en la corrosión de los arcos de acero inoxidable utilizados en los pacientes durante 1 a 6 meses.

1.7. ALCANCE Y LÍMITES DEL PROBLEMA

En la siguiente investigación se determinó el grado de corrosión en los arcos de acero inoxidable, utilizados en la maestría de Ortodoncia en la Universidad de Panamá.

Esta investigación no da lineamientos de tratamientos ni modificará el estado de los arcos utilizados durante el tratamiento de Ortodoncia, en cambio se recolectó, limpió y documentó información que nos servirá de guía principalmente para determinar la cantidad de arcos que presentó corrosión durante el tiempo estipulado en el estudio. Y se determinó en que mes se da mayor corrosión y a su vez este estudio puede servir de referencia a estudios posteriores.

Las limitantes de este estudio son las siguientes: la dieta del paciente, el pH de la saliva, no existe un medio controlado, el control de placa de cada uno de ellos, los hábitos, si acude mensualmente a sus citas.

1.8. JUSTIFICACIÓN

Entre la materia disuelta en la saliva humana, existen elementos que aumentan la susceptibilidad de los materiales a la corrosión. Destacamos los iones cloruros y fluoruros, que tiene implicación directa en la estabilidad de la película pasiva de los materiales. El ión cloruro se combina con el ión metálico para formar cloruro de metal, facilitando la disolución de este último. Si este ión metálico es el cromo o el titanio de una capa pasiva, la capa pasiva queda debilitada.

Una investigación realizada por Neelima en 2011, evaluó la influencia de la combinación de saliva artificial con especias y sal, que acompañan a las comidas, en la corrosión del acero inoxidable 304, utilizado en tratamientos ortodóncicos.

La corrosión en la aparatología ortodóntica puede tener serias implicaciones que pueden llegar a producir la pérdida de la dimensión resultando en la aplicación de menores fuerzas al diente, fallas en la aparatología producido por tensión producto de la corrosión. Andrews P. Toms, (1998).

Tanto el movimiento dentario como la técnica de deslizamiento en ortodoncia es afectada por diferentes tipos de variables que influyen en la composición de los arcos de acero, por lo tanto, cualquier factor que afecte la superficie del arco de acero inoxidable puede incidir sobre la fuerza en la fricción del sistema.

Una de las principales líneas de investigación de la Facultad de Odontología de la Universidad de Panamá y la MOUP¹ es la de los materiales dentales, siguiendo esta premisa el propósito de la presente investigación es el estudio de la corrosión de los arcos de acero inoxidable luego de su uso en boca de 1 a 6 meses, en la clínica de Postgrado de Ortodoncia de la Universidad de Panamá, en donde sus resultados aporten valores significativos para la maestría, permitiendo conocer las propiedades de estos alambres. Y saber que marca comercial mantiene sus propiedades y sufra menos corrosión.

¹ MOUP: Maestría de Ortodoncia de la Universidad de Panamá.

CAPÍTULO II
REVISIÓN DE LA LITERATURA

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A continuación se describen los conceptos relacionados con el tema de investigación:

2.1 Corrosión:

El término corrosión viene del griego “Corrodis” que significa arañado, desmenuzado, vuelto polvo o deshecho. (Nerey 2004).

Pagola, (2015) define como corrosión al efecto de reacciones químicas indeseables sobre estructuras y propiedades de metales y aleaciones. Si un metal o aleación se encuentra en condiciones secas la reacción más frecuente es la de oxidación. (Ramos 2010).

Según Molera, (1990) la corrosión es como la reacción de un metal con el medio ambiente, dando un producto con unas propiedades generalmente menos útiles que las del metal de partida. El resultado final del fenómeno corrosivo suele ser la destrucción del metal.

En general, la corrosión es un ataque gradual, provocado por una amplia variedad de compuestos, ya sean gases, ácidos, sales, agentes atmosféricos, sustancia de naturaleza orgánica, etc. (Anderez, 1996).

Anderez en (1996) y Nakagawa, (2001) nos dicen que en términos técnicos simplificados la corrosión es la pérdida de cualidades o propiedades deseadas en un material, como producto de su deterioro, el cual puede ocurrir mediante una reacción química o electroquímica, por la acción del medio ambiente.

La corrosión ocurre de varias maneras, pero su clasificación generalmente se basa en uno de los siguientes factores:

- Naturaleza de la sustantiva corrosiva: clasificada como seca (las reacciones se desarrollan con gases a alta temperatura) o húmeda (se requiere un líquido o humedad existente).
- Mecanismo de corrosión: comprende las reacciones electroquímicas o bien, las reacciones químicas.
- Apariencia del metal: el metal se corroe a la misma velocidad en toda su superficie, o bien, puede ser localizada, la cual puede ser afectadas en pequeñas áreas. (Anderez 1996).

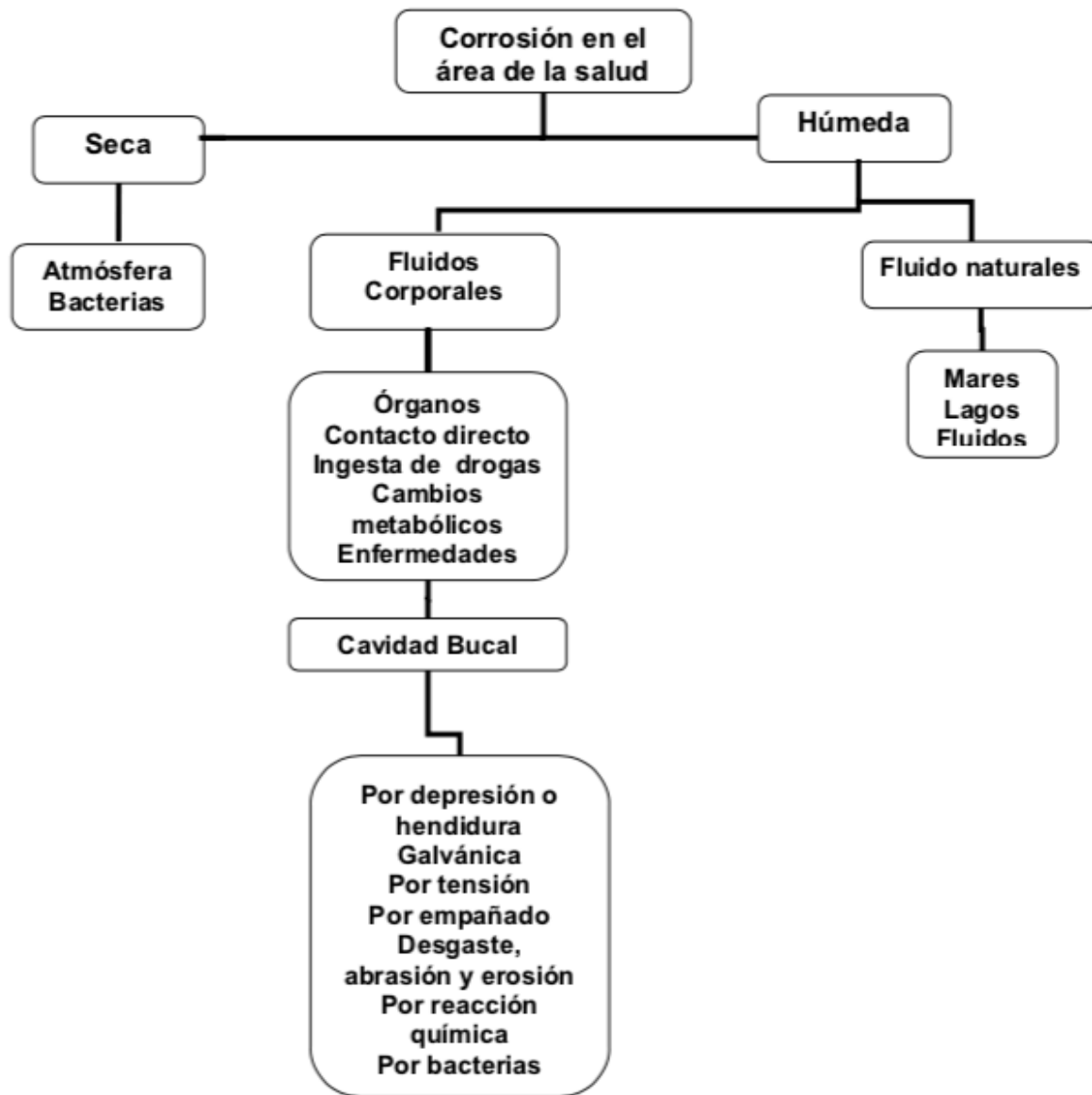


Figura1. Clasificación de los tipos de corrosión para el área de la salud.

También se puede definir como la velocidad en la que se desgastan los metales, lo cual dependerá de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión. (Kofstad, 1988).

Según Landolt, (1993) afirma, la corrosión es un fenómeno más amplio que afecta a todos los materiales (metales, cerámicas, polímeros, etc.) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura, etc.).

El proceso de corrosión es natural y espontáneo. La corrosión es un proceso en el cual intervienen tres factores: la pieza manufacturada, el ambiente y el agua, o por medio de una reacción electroquímica. (Ibáñez, 2011).

La corrosión es una reacción química (óxido-reducción) en la que intervienen tres factores: la pieza manufacturada, el ambiente y el agua, o por medio de una reacción electroquímica. (Bouravel 1998).

Los factores más conocidos son las alteraciones químicas de los metales a causa del aire, como la herrumbre del hierro y el acero o la formación de patina verde en el cobre y sus aleaciones. (Eliades, 2000).

Se puede establecer dos mecanismos básicos con los que explican, la mayoría de los procesos corrosivos, estos son:

- El ataque químico directo: producido por sustancias gaseosas corrosivas, en las que no hay paso apreciable de corriente eléctrica a través del metal
- El ataque electroquímico, provocado por el contacto con un electrolito, es decir, una disolución iónica, en el que se establece una separación entre ánodo y cátodo, por el que circula una corriente eléctrica. (Anderez, 1996).

La velocidad de corrosión dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión. (Kaplan 2010).

Los tipos de corrosión se dan por el ataque de la superficie de un metal, estas se pueden producir de varias formas:

- Corrosión por picado: Consiste en un ataque irregular en puntos aleatorios del metal. Es una de las formas más peligrosas de corrosión, ya que se propaga hacia el interior desde cada uno de esos puntos y es bastante frecuente en los brackets. Se presenta por la formación de orificios en una superficie relativamente intacta. Una picadura puede ser considerada como una grieta o hendidura formada por si misma. La corrosión por picadura es un proceso lento que puede llevarse meses y años antes de ser visible, pero que naturalmente, causará fallas inesperadas. (Denny 1992).

- Corrosión Galvánica: se produce cuando en un medio se encuentran presentes dos o más metales con diferente potencial eléctrico en contacto con un medio salino. En esta situación el metal menos noble sufre un proceso de oxidación, convirtiéndose en anódico y liberando así cationes solubles en el medio. El metal más noble se transforma en la porción catódica y no sufre oxidación. Es el ataque uniforme sobre grandes áreas de una superficie, es la forma más común de la corrosión y puede ser húmeda o seca. Se presenta cuando dos metales diferentes entran en contacto a través de una solución conductora. (Anderez, 1996).
- Corrosión fisurante: Se produce cuando el metal está sometido a la acción de un medio corrosivo y tensión al mismo tiempo, especialmente cuando son de tracción. Este proceso genera fisuras que se propagan al interior del metal hasta que se relajan o se fractura. (Ramos, 2010). La corrosión por fatiga, es una forma especial del tipo de corrosión de fractura por tensión y se presenta en ausencia de medios corrosivos, debido a esfuerzo clínicos repetidos. Se incrementa naturalmente con la presencia de un medio agresivo, de tal forma que el esfuerzo necesario para producir la corrosión por fatiga, se reduce en algunas ocasiones hasta la mitad del necesario, para producir la falla en aire seco. (Cutler, 1986).
- Corrosión por desgaste, abrasión y erosión: cuando el movimiento del medio corrosivo sobre la superficie metálica incrementa la velocidad de ataque debido a desgaste mecánico, este recibe el nombre de corrosión por erosión. La corrosión por desgaste, ocurre cuando las piezas de metal se deslizan una sobre la otra (brackets y arcos de ortodoncia) causando daño mecánico a una o ambas piezas. La corrosión por deslizamiento e atenúa utilizando materiales más duros o empleando lubricación. (Denny, 1992).
- Corrosión por hendidura o depresión: La corrosión por agrietamiento no ocurre en todas las combinaciones metal-agente corrosivo, y algunos materiales son más susceptibles que otros, como por ejemplo, aquellos que dependen de las películas protectoras de óxido formadas por el aire para adquirir su resistencia a la corrosión, tal y como sucede con el acero inoxidable y el titanio. (Dunlap, 1989).
- Corrosión por bacterias: es el deterioro de un material metálico en presencia de hongos o bacterias, generalmente este fenómeno se presenta en condiciones anaeróbicas

(bacterias sulfato reductoras). (Holgers, 1992). La corrosión se produce por presencia de un metabolito ácido, es el caso de la cavidad bucal donde la mayoría de las bacterias son productoras de ácido. En ocasiones, también producen corrosión por la aparición de celdas de concentración y formación de depósitos (Biopelícula) placa bacteriana. (Oda, 1996).

Neumann et al (2000) evaluó en un estudio in vitro la corrosión de ocho alambres recubiertos (cinco Ni-Ti, dos TMA y un acero inoxidable). Las superficies fueron modificadas por tres métodos con teflón, polietileno e implantación iónica, encontrando que el teflón previene la corrosión.

2.2 Alambres:

Los alambres se clasifican:

1. Por su sección transversal en: esféricos, acintados y ovalados.
2. Por su diámetro en: redondos, rectangulares y cuadrados.
3. Por su conformación o número de hebras en: individuales, múltiples o trenzados.
4. Por su aleación: oro, acero, acero reforzado, Nitinol (Ni-Ti): Níquel titanio estándar, Nitinol térmico, Nitinol termoplástico, Nitinol cobre; beta titanio, Titanio molibdeno y alambres de composite o con cubiertas de teflón.

La búsqueda de un metal inmune a la corrosión es una batalla que se ha librado desde hace varios siglos. Si queremos encontrar la primera muestra histórica de aleación de metales capaz de evitar la corrosión a la intemperie, nos tenemos que trasladar a la India, donde en el año 400 d.C. se construyó el Pilar de hierro de Delhi. Éste no tiene unas dimensiones imponentes (tan sólo 7,21 metros de altura), ni un gran acabado que lo convierta en un elemento recalable del arte hindú, pero el Pilar de hierro de Delhi ha pasado a la historia de la siderurgia por haber sido capaz de estar en pie 1.600 años sin haber sufrido las consecuencias de la oxidación.

Está conformado con Hierro forjado. El hierro contiene un porcentaje relativamente alto de fósforo (P) en comparación con los aceros modernos. En presencia de P, la formación de una capa protectora amorfa compacta, esta capa de protección de muy baja porosidad de

y-FeOOH, junto a la superficie del metal, se cataliza y esto confiere la resistencia inicial a la corrosión; sin embargo, el factor crítico que ayuda a la resistencia superior a la corrosión del pilar de hierro de Delhi es la formación de hidrogenofosfato de hierro hidratado, como una capa delgada junto a la interfaz de óxido de metal. La tasa de corrosión se reduce aun más debido al bajo contenido de porosidad de la fase de fosfato cristalino. Ella está formada de una capa de protección de muy baja porosidad (*misawite* δ -FeOOH) y ha permitido que la estructura no haya sido afectada por el proceso de corrosión. The Hindu(2002).



Figura 2. Pilar de hierro de Delhi.

Hace más de 1.600 años, ya se había conseguido la primera aleación de hierro inoxidable, hasta la llegada de la revolución industrial, nunca se puso especial atención sobre este tema. Fue entonces cuando en 1821, Pierre Berthier se percató de cómo las aleaciones de hierro y cromo eran especialmente resistentes a algunos ácidos, razón por la cual sugirió su uso en cuberterías. Aun así, las grandes dificultades para conseguir este tipo de aleaciones en la época, hizo que estas se consideraran impracticables.

Durante las siguientes décadas se hicieron algunos avances en aleaciones resistentes a la corrosión, pero seguía sin encontrarse el tan deseado acero inoxidable. Todo ello

cambió con la llegada del siglo XX. Ante la creciente tensión internacional, Inglaterra comenzó a preocuparse por la mejora de su armamento, intentando estar preparada para la inminente guerra, razón por la cual muchas grandes mentes estaban buscando los mejores materiales para mejorar su peso y funcionamiento.

En el año 1913, el inglés Harry Brearley, estaba combinando distintos metales en busca de aleaciones de acero útiles para la construcción de cañones de pistola. Durante meses estuvo descartando a un lugar olvidado de su laboratorio todas las aleaciones probadas, viendo como el tiempo pasaba y sus investigaciones no hacían más que fracasar. Un día, paseando entre todas las muestras rechazadas se percató de cómo una de esas aleaciones, a diferencia de las demás, no se había aherrumbrado. Aquella aleación de acero, compuesta de un 0,24% de carbono y un 12,8% de cromo, había sido fabricada por primera vez el 13 de agosto de 1913, y a día de hoy está considerada como la primera aleación de acero inoxidable.

Con la llegada poco después de la Primera Guerra Mundial, el descubrimiento no pudo llegar rápidamente a los medios, siendo la primera vez que se publicó de forma formal en enero 1915 en el New York Times. Poco después Brearley intentó conseguir la patente en Estados Unidos, encontrándose con el hecho de que Elwood Haynes ya había patentado el acero inoxidable antes que él.

Este hecho hace dudar sobre quién ha de llevarse el mérito de este descubrimiento, pero analizando detenidamente la historia, el problema es aún mucho más complejo. A parte de Brearley, y del ya mencionado Haynes en Estados Unidos, hubo otros dos estadounidenses, Becket and Dantsizen, que trabajaron con aleaciones con similar cantidad de cromo entre 1911 y 1914, y unos alemanes, Eduard Maurer y Benno Strauss, que trabajaron entre 1912 y 1914 con cantidades mayores de cromo y algo de níquel. Todos ellos descubrieron de forma independiente diferentes formas de acero inoxidable, pero posiblemente el caso más sorprendente sea el de Brearley, que, sin buscarlo intencionadamente, dio con una aleación de acero inoxidable cuyas proporciones aún son al día de hoy una de las aleaciones de acero inoxidables más usada, la conocida como acero inoxidable extra suave. (Milhaud, 2010).

Los primeros trabajos realizados para la fabricación de los hierros y aceros inoxidable datan del siglo XIX, ya en aquellos días se sabía que el hierro aleado con ciertos metales, como el cobre y el níquel resistía mejor a la oxidación que el hierro ordinario. En 1865 ya se hacían, aunque en cantidades muy limitadas, aceros con 25 y 35% de níquel, que resistían muy bien la acción de la humedad del aire y, en general, del ambiente; pero se trataba de fabricaciones en muy pequeña escala que nunca se continuaron. En esa época no se llegó a estudiar ni a conocer bien esta clase de aceros. En 1872, Woods y Clark fabricaron aceros con 5% de cromo que tenían también mayor resistencia a la corrosión que los hierros ordinarios de esa época. (Rivera, 2013).

Posteriormente en 1892 Hadfield, en Sheffield, Inglaterra, estudió las propiedades de ciertos aceros aleados con cromo y dio a conocer en sus escritos que el cromo mejoraba sensiblemente la resistencia a la corrosión.

En 1904-1910, Guillet y Portevin, en Francia, realizaron numerosos estudios sobre aceros aleados con cromo y níquel, llegaron a fabricar aceros muy similares a los típicos aceros inoxidable que se usan en la actualidad, pero hasta entonces nunca le dieron especial atención a la característica de inoxidable. Las propiedades y composiciones de los aceros inoxidable se mantuvieron en secreto por los países bélicos mientras duró la primera guerra mundial. Posteriormente, a partir de las pocas aleaciones experimentadas en 1920, y de un limitado número de tipos comercialmente disponibles en 1930, la familia de los aceros inoxidable ha crecido en forma impresionante. En la actualidad se cuenta con un gran número de tipos de acero inoxidable en diversas presentaciones, y con una gran variedad de acabado, dimensiones, etc. (Rivera, 2013).

En los alambres, la corrosión se favorece por:

- Endurecimiento por deformación intensa, produce pares eléctricos ante la saliva.
- Superficies ásperas (necesario el pulido a espejo)
- El acero carbono produce pares eléctricos y corrosión (fresas y alicates)
- Uniones soldadas
- Cloro ataca la aleación

Cuando se va a seleccionar un alambre de Ortodoncia se deben tener en cuenta sus propiedades físicas básicas en especial la rigidez, la cual está determinada por el diámetro o sección cruzada y por el valor o número de rigidez del material. Uribe (2010).

Las propiedades ideales de los alambres son:

- Gran resistencia a fracturas
- Gran elasticidad
- Gran moldeabilidad
- Gran deflexión (distancia a la que se desplaza cualquier punto del alambre al aplicar cualquier fuerza).
- Fácil de soldar
- Resistir corrosión
- No permitir adhesión de placa bacteriana

Factores que se deben tener en cuenta en la selección de un alambre en Ortodoncia:

- a. Debe permitir el control en los 3 planos del espacio
- b. Debe ser moldeable
- c. La aleación debe adaptarse a la técnica o sistema mecánico
- d. Debe ser resistente a las fuerzas de trabajo
- e. Debe ser biocompatible, inocuo, estético, suave y resistente a la corrosión
- f. Debe tener amplio rango de trabajo
- g. Debe tener alto almacenamiento de energía
- h. Debe tener baja fricción
- i. Debe tener un costo razonable. Uribe (2010).

2.3 Acero inoxidable

El acero es una aleación de Hierro y Carbono (y pequeñas cantidades inevitables de manganeso, cobre, silicio, azufre y fósforo) que se caracteriza por sus propiedades de resistencia mecánica superiores a las del hierro puro. Los aceros inoxidable en cambio son aquellos que poseen la propiedad de resistir ciertos ambientes corrosivos, manteniendo su resistencia mecánica, lo que se logra por la adición principalmente de cromo. El cromo forma en la superficie una película de óxido de cromo, que protege al acero de los agentes corrosivos. Rivera (2013).

En el (2004) Kalpakjian, nos dice que el acero inoxidable tiene una elevada resistencia a la corrosión, dado que el cromo u otros metales con aleaciones poseen gran afinidad por el oxígeno y reaccionan con él, formando una capa pasiva, evitando así la corrosión de los metales, otros metales puramente inoxidables, que no reaccionan con oxígeno son oro y platino, y de menor pureza se llaman resistentes a la corrosión, como los que contienen fósforo. Sin embargo, esta capa puede ser afectada por algunos ácidos u otras sustancias, dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por algunos mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas.

Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes; los principales son el níquel y el molibdeno. (Barda, 1996).

El acero inoxidable es una forma aleante de metal es decir compuesto por aleación de varios tipos de metales, (con un mínimo del 10 % al 12 % de cromo contenido en masa) y también puede contener otro tipo de metales, como por ejemplo molibdeno y níquel. (Kalpakjian, 2002).

El acero inoxidable es un metal simple, cuyo componente principal es el hierro que es el elemento que forma la aleación, al que se añade una pequeña cantidad de carbono. Fue inventado a principios del siglo XX cuando se descubrió que uniendo una pequeña cantidad de cromo añadido al acero común, le da un aspecto brillante y lo hace altamente resistente a la oxidación y a la suciedad. (Anusavice, 1998). Esta resistencia a la oxidación, denominada «resistencia a la corrosión», es lo que hace al acero inoxidable diferente de otros tipos de acero. (Kalpakjian, 2002).

El acero inoxidable es un material sólido por lo que no puede ser un revestimiento especial el cual es aplicado al acero común para darle características "inoxidables". Los

aceros comunes, e incluso otros metales, son a menudo cubiertos o “bañados” con metales blancos como cromo, níquel o zinc para proteger sus superficies o darles otro tipo de características superficiales. (Walters, 2017).

De acuerdo a Viera (2010) “los alambres de acero inoxidable rectangulares son cruciales durante la mecánica de deslizamiento debido a su bajo coeficiente de fricción y baja rugosidad de superficie”. Los alambres de acero inoxidable durante la mecánica de retracción de los incisivos, deben permanecer en la cavidad oral por varios meses, la debris acumulada durante este periodo en el arco incrementa potencialmente la fricción, pero es únicamente uno de los factores involucrados en el sistema de resistencia de la fuerza.

El baño que se realizan a estos aceros tiene sus propias ventajas y son muy utilizados, el peligro radica en que la capa superficial puede ser dañada o deteriorarse de algún modo, dependiendo del medio en el que se encuentre, lo que anularía su efecto protector. La apariencia del acero inoxidable puede, sin embargo, variar y dependerá de la manera en que esté fabricado y de su acabado superficial. (Kalpakjian, 2002).

Entre los componentes de los aceros inoxidables están:

- Cromo: Mejora la resistencia, dureza, resistencia al desgaste y dureza en caliente. Es uno de los más efectivos elementos de aleación para incrementar la templabilidad. El cromo mejora significativamente las propiedades de resistencia a la corrosión.
- Manganeso: Mejora la resistencia y dureza del acero. Cuando el acero se trata térmicamente, el incremento de manganeso mejora la templabilidad. Debido a esto, el manganeso se usa ampliamente como elemento de aleación en el acero.
- Molibdeno: Aumenta la tenacidad, la dureza en caliente y la resistencia a la termoinfluencia. También mejora la templabilidad y forma carburos para resistencia al desgaste.
- Níquel: Mejora la resistencia y tenacidad. Incrementa la templabilidad, pero no tanto como los otros elementos de aleación en el acero. En cantidades significativas mejora la resistencia a la corrosión y es otro de los elementos mayoritarios (además del cromo) en ciertos tipos de acero inoxidable.
- Vanadio: Inhibe el crecimiento de los granos durante el procesamiento a temperaturas elevadas y durante el tratamiento térmico, lo cual mejora la resistencia y tenacidad del acero. También forma carburos que incrementan la resistencia al desgaste.

Tipos de aceros inoxidable

El acero inoxidable se clasifica en cinco familias diferentes, hay cuatro que corresponden a particulares estructuras cristalinas como: austenita, ferrita, martensita y dúplex. Y en cuanto a la quinta son las aleaciones endurecidas por precipitaciones alteradas por el medio donde se encuentre. (Phillips, 1993).

- Primera familia: Aceros inoxidable martensíticos, compuestos por cromo y carbono.
- Segunda familia: Aceros inoxidable ferríticos, son compuestos de cromo.
- Tercera familia: Aceros inoxidable austeníticos.
- Cuarta familia: Los austeníticos se deriva adicionando elementos formadores de austenita, tales como nitrógeno, níquel y manganeso.
- Quinta familia: Son aleaciones níquel-cromo-molibdeno. La adición de elementos de nitrógeno, molibdeno, cobre y silicio, cuentan con ciertas características de resistencia a la corrosión. (Kalpakjian, 2002).

Características Clínicas del acero inoxidable:

- Tiene un módulo de elasticidad grande aproximadamente de 179×10^6 KPa
- Es muy rígido
- Resistente a la deformación
- Tiene alta maleabilidad
- Produce fuerzas altas que disipan en periodos cortos
- Almacena poca energía, comparado con otras aleaciones
- Las ansas o resortes necesitan activaciones frecuentes
- Es ideal para las técnicas ortodóncicas que utilizan deslizamiento
- Es regular en las técnicas ortodóncicas sin fricción. Uribe (2010).

Ventajas de las aleaciones de acero inoxidable:

- Tienen una extraordinaria resistencia
- Son inocuas para los tejidos
- Son durables
- Se quiebran poco
- Muy estables físicamente
- Son inoloras e insaboras

- No necesitan auxiliares para la soldadura
- Tienen bajo costo

Los aceros inoxidable que contienen cromo y níquel equivalente inferior al 8 % se llaman ferríticos, ya que tienen una estructura metalográfica formada por ferrita, y contenidos superiores de níquel equivalente, este será de composición ferrítica en disminución, son magnéticos (se distinguen porque son atraídos por un imán). (Barda, 1996) Con porcentajes inferiores al 0,1 % de Carbono, estos aceros no son endurecibles por tratamiento térmico. En cambio, aceros entre 0,1 % y 1 % de Carbono, sí son templables (tienen martensita dura, pues con porcentajes inferiores hay muy poco Carbono como para lograr endurecimiento).

Se llaman aceros inoxidable "martensíticos", por tener martensita en su estructura metalográfica siendo magnéticos, para aceros altamente aleados inoxidable, el acero martensítico puro (sin mezcla con austenítico y ferrítico) con Níquel inferior al 18 % (Cromo de 0 %) "13 % de Cromo y 7 % de Níquel", y hasta 8 % de Cromo y 0 % de Níquel (esto puede ser fácilmente seguido en el diagrama de Schaeffler de Cromo-Níquel equivalentes).

Se llaman aceros austeníticos, ya que tienen una estructura formada básicamente, por austenita a temperatura ambiente (el níquel es un elemento "gammágeno" que estabiliza el campo de la austenita), no son magnéticos.

Los aceros inoxidable austeníticos se pueden endurecer por deformación, pasando su estructura metalográfica a contener martensita (el carbono estabilizado de manera metaestable en forma de hierro gamma, se transforma a la forma estable de hierro alfa y martensita, pues el carbono es menos soluble en la matriz de hierro alfa, y este expulsa el Carbono). Se convierten en parcialmente magnéticos (tanto como porcentaje de carbono haya sido convertido en martensita), lo que en algunos casos dificulta el trabajo en los artefactos eléctricos.

También, existen los aceros dúplex ($20\% < \text{Cromo} < 30\%$), ($5\% < \text{Níquel} < 8\%$), ($\text{Carbono} < 0,03\%$), no endurecibles por tratamiento térmico, muy resistentes a la corrosión por picaduras y con buen comportamiento bajo tensión, su estructura es de ferrita y austenita. A todos los aceros inoxidable se les puede añadir un pequeño porcentaje de molibdeno, para mejorar su resistencia a la corrosión por cloruros y otras propiedades.

(Phillips, 1993).

Familias de los aceros inoxidable: La forma original del acero inoxidable todavía es muy utilizada, los ingenieros tienen ahora muchas opciones en cuanto a los diferentes tipos. Están clasificados en diferentes “familias” metalúrgicas:

- Acero inoxidable ferrítico
- Acero inoxidable martensítico
- Acero inoxidable austenítico
- Acero inoxidable Dúplex (austenítico-ferrítico)

Esta distribución de las familias metalúrgicas puede ser fácilmente reconocida a través del Diagrama de Schaeffler (Diagrama para aceros muy aleados inoxidables de Cromo y Níquel equivalente, o diagrama de Cr-Ni equivalente) (Anusavice, 1998).

Cada tipo de acero inoxidable tiene sus características mecánicas y físicas y será fabricado de acuerdo con la normativa nacional o internacional establecida. (Barda, 1996).

Aceros inoxidables comerciales

Aleaciones de acero inoxidable comerciales más comunes:

- Acero inoxidable extra suave: contiene un 13 % de Cromo y un 0,15 % de Carbono. Tiene una resistencia mecánica de 80 kg/mm² y una dureza de 175-205 HB. Se utiliza en la fabricación de elementos de máquinas, álabes de turbinas, válvulas, etc.
- Acero inoxidable 16Cromo -2Níquel: tiene un 0,20 % de Carbono, un 16 % de Cromo y un 2 % de Níquel. Tiene una resistencia mecánica de 95 kg/mm² y una dureza de 275-300 HB. Se suelda con dificultad, y se utiliza para la construcción de álabes de turbinas, ejes de bombas, utensilios de cocina, cuchillería, etc.
- Acero inoxidable al cromo níquel 18-8: tiene un 0,18 % de Carbono, un 18 % de Cromo y un 8 % de Níquel. Tiene una resistencia mecánica de 60 kg/mm² y una dureza de 175- 200 HB. Es un acero inoxidable muy utilizado porque resiste bien el calor hasta 400 °C.
- Acero inoxidable al Cromo- Manganeso: tiene un 0,14 % de Carbono, un 11 % de Cromo y un 18 % de Manganeso. Alcanza una resistencia mecánica de 65 kg/mm² y una dureza de 175-200 HB. Es soldable y resiste bien altas temperaturas, es amagnético. Se utiliza en colectores de escape.

Usos del acero inoxidable

Los aceros inoxidables se utilizan principalmente en cinco tipos de mercados:

- Electrodomésticos: grandes electrodomésticos y pequeños aparatos para el hogar.
- Automoción: especialmente tubos de escape.
- Construcción: edificios y mobiliario urbano (fachadas y material).
- Industria: alimentación, productos químicos y petróleo.
- Vestimenta: fabricación de joyas (cadenas, aretes, etc.)

La característica de resistencia a la corrosión junto con sus propiedades higiénicas y sus propiedades estéticas hacen del acero inoxidable un material muy atractivo para satisfacer diversos tipos de demandas de la población, como por ejemplo en la industria médica y odontológica. (Corega Tabs, 2017)

En nuestro medio existe una diversidad de composiciones químicas para el acero inoxidable, las cuales le otorgan cualidades particulares y deseadas, que van desde el grado de implante médico, hasta la facilitación de manufactura de instrumentos quirúrgicos. (Landolt, 1993)

Varios de estos metales son sometidos a tratamientos térmicos con el fin de modificar sus cualidades físicas. Es importante controlar las condiciones en las cuales se tratan estos metales, desde la temperatura y tiempo de horneado, hasta la limpieza de la atmósfera del horno y del acero en sí. (Phillips, 1993)

El acero se consigue comercialmente en tiras rectas y arcos preformados con diferentes formas y en diámetros o secciones transversales redondas, cuadradas y rectangulares. Se puede utilizar en todas las fases activas de tratamiento de ortodoncia siendo óptimos para los torques finos y dobleces compensatorios en la fase de finalización. Uribe (2010)

Aleaciones Metálicas de Uso Odontológico

Existen una serie de especialidades en Odontología, las cuales buscan devolver al individuo anatomía, estética, funcionalidad y de esta manera lograr que el individuo se sienta seguro de sí mismo, así se puede dividir el uso de metales de acuerdo a cada especialidad entre las más utilizadas están: rehabilitación oral, ortodoncia, cirugía bucal. (Negroni, 2009)

Metales utilizados en Ortodoncia

Uno de los principales materiales utilizados en Ortodoncia son los alambres, los cuales

fueron fabricados con oro, ya que este tipo de aleaciones pueden contener entre 55 y 65 % de oro, 11 y 18 % de cobre, 10 y 25 % de plata, 5 y 10 % de paladio, 5 y 10 % e platino y entre 1 y 2 % de níquel.

Las aleaciones de oro carecen de gran dureza, además pueden ser potencialmente endurecidas con un tratamiento térmico que se aplica cuando el alambre es forjado. (Borosan, 2017).

Las aleaciones de acero deben en gran parte su dureza a la presencia de carbonos intersticiales en su microestructura y al proceso de fricado, ambos contribuyen a que posea un elevado campo de trabajo y módulo de elasticidad. (Phillips, 1993).

La microestructura de las aleaciones de acero demuestra que la "fibra típica" aparece asociada con extensos granos elongados, la cual puede ser alterada mediante pequeñas exposiciones a elevadas temperaturas, estos procesos en donde se utiliza calor como la soldadura deben ser realizados con mucho cuidado. Presentan dureza mediana, elasticidad, maleabilidad y son fuertes si no se las trabaja en demasía. (Kalpakjian, 2002).

Una reducción del diámetro del alambre resulta un pobre ajuste de él en el slot del bracket, lo que en el futuro puede causar pérdida del control durante la realización de movimientos dentarios; a pesar de esto, su elevada rigidez es ventajosa para resistir la deformación que es provocada por las fuerzas de tracción intraoral y extraoral. (Otaño, 2008).

Los alambres de acero presentan bajos niveles de fricción entre el bracket y el alambre, pueden ser soldados y presentan buena resistencia a la corrosión; muy usados en la aparatología removible, extraorales y arcos para técnicas fijas; se presentan en forma de rollos, varillas o preformados y pueden ser rectangulares, cuadrados o redondos. (Anusavice, 1998).

Son conocidos como materiales resistentes a la corrosión que pueden ejercer los agentes químicos, los mismos que en función de los tratamientos se pueden encontrar en todas las secciones y tamaños imaginables, presentando variedad de durezas. (Phillips, 1993).

El cromo que envuelve al acero inoxidable es el elemento que se oxida superficialmente

convirtiéndose en óxido de cromo formando una capa delgada y de alta adherencia, que a su vez protege al material de la corrosión que podría producir el medio ambiente en el cual se encuentre. El uso de este biomaterial tiene ciertas ventajas como bajo costo e inocuidad para los tejidos. (Ashby, 1992).

a. Alambres de Cromo- Cobalto

Están compuestos por 40 % de cobalto, 20 % de cromo, 15 % de níquel, 7 % de molibdeno y 16 % de acero. Estas aleaciones se conocen comercialmente con los nombres de Elgiloy, Azura y Multiphase, las mismas que presentan una gran resistencia a la fatiga y a la distorsión, al mismo tiempo poseen buena capacidad para ser doblados y baja fricción entre el alambre y el bracket; el resto de las propiedades son similares a las de los alambres de acero.

b. Alambres de Níquel- Titanio

Están compuestas por 52 % de níquel, 45 % de titanio y 3 % de cobalto, su comportamiento es muy elástico y desarrollan fuerzas uniformes; se presentan redondos, cuadrados y rectangulares y se los utiliza en forma de arcos preformados para las primeras fases del tratamiento ortodóntico. (Reacciones Redox, 2017).

Se requieren menos ajustes y cambios de arco, debido a que permanece activo durante todo el tratamiento sin deformarse, y a su vez mantiene una fuerza suave y constante, debido a la flexibilidad y recuperabilidad de estos alambres, tienen amplio uso en la clínica, ya que se pueden usar desde las etapas iniciales, con pocas activaciones y cambios de arco se logra gran control sobre los movimientos del diente. (Ashby, 1992).

La fricción que se produce entre el alambre y el bracket es mayor que la que se produce con los alambres de acero y menores que las producidas con los alambres de beta-titanio. Existen diversas opiniones en relación con su resistencia a la corrosión, algunos plantean que es tan resistente como los alambres de acero, mientras que otros han determinado que el nitinol es más susceptible a la corrosión. (Walter, 2017).

Atia (2016) plantea que clínicamente a menor rugosidad en la superficie más rápido será el deslizamiento de los dientes a lo largo del alambre con pequeñas fuerzas debido a que la fuerza consumida en la fricción se mantendrá al mínimo nivel. un buen alambre debe

mantener la lisura de la superficie durante todo el periodo de uso debido a que la composición química de la cavidad oral puede deteriorar los caracteres superficiales del alambre que lo hacen muy áspero durante su utilización consumiendo parte de la fuerza planeada para mover el diente y superar la fuerza de fricción lo cual es considerado de gran importancia en un tratamiento ortodóntico.

Existen ciertos inconvenientes en cuanto a las aleaciones de Ni-Ti debido a su alto contenido de Níquel, ya que al colocar este material en contacto con el cuerpo humano se liberan iones de Ni a los tejidos circundantes, se ha demostrado que aproximadamente el 4% de los hombres y el 15% de las mujeres presentan alergia al Ni, estos efectos adversos pueden ir desde una leve alergia hasta la formación de tumores. (Correa, 2017).

Efectos Tóxicos de los Metales de Uso Odontológico

Se habla de biocompatibilidad de aleaciones dentales cuando se cumple una serie de parámetros como: cantidad y calidad de ciertos elementos liberados en condiciones clínicas, debido a que pueden provocar efectos adversos en los pacientes. (Anusavice, 1998).

La liberación de iones es uno de los principales inconvenientes que se presentan con el uso de aleaciones dentales especialmente porque podrían ser fuente de alérgenos de reacciones de hipersensibilidad, estos iones son liberados como resultado del proceso de corrosión de los biomateriales metálicos y son capaces de penetrar tejidos blandos y tejidos duros: esmalte, dentina, pulpa, gingiva. (Pellegrini, 2007).

Estos productos de corrosión ingresan al organismo por vía gastrointestinal o por vía de absorción a través de los tejidos bucales, ingresan al sistema circulatorio y son capaces de alojarse en órganos específicos, produciendo un riesgo de reacciones sistémico-tóxicas. El esmalte y la dentina de un adulto tienen un mayor grado de mineralización por lo que permiten la penetración de iones metálicos hacia la pulpa en menor cantidad. (Matasa, 1996).

2.4 Corrosión de metales

La corrosión de los metales es un proceso químico o electroquímico en el que el metal se transforma en un óxido o cualquier otro compuesto. En general, es un ataque gradual, provocado por una amplia variedad de compuestos, ya sean gases, ácidos, sales, agentes

atmosféricos, sustancias de naturaleza orgánica, etc. Dada la gran variedad de materiales que lo sufren, la influencia de sus características y los entornos ambientales en el proceso, su estudio es muy complicado. No obstante, se han realizado grandes esfuerzos, por el interés que tiene para la conservación de los materiales, y por el enorme impacto económico que supone. (West, 1986)).

Otros materiales no metálicos también sufren corrosión mediante otros mecanismos, este proceso de corrosión es natural y espontáneo. (Kofstad, 1988).

La corrosión es una reacción química (oxido-reducción) en la que intervienen tres factores: la pieza manufacturada, el ambiente y el agua, o por medio de una reacción electroquímica. (Landolt, 1993).

Los factores más conocidos son las alteraciones químicas de los metales a causa del aire, como la herrumbre del hierro y el acero o la formación de pátina verde en el cobre y sus aleaciones (Kofstad, 1988).

Se puede establecer dos mecanismos básicos con los que se puede explicar la mayoría de los procesos corrosivos, estos son: el ataque químico directo, producido fundamentalmente por sustancias gaseosas corrosivas, en las que no hay paso apreciable de corriente eléctrica a través del metal y el ataque electroquímico, provocado por el contacto con un electrolito, es decir, una disolución iónica, en el que se establece una separación entre ánodo y cátodo, por el que circula una corriente eléctrica. (West, 1986)

La corrosión ocurre en muchas y muy variadas formas, pero su clasificación generalmente se basa en uno de los siguientes factores:

a.- Naturaleza de la sustancia corrosiva:

Puede ser clasificada como húmeda o seca, para la primera se requiere un líquido o humedad existente, mientras que para la segunda las reacciones se desarrollan con gases a alta temperaturas.

b.- Mecanismo de corrosión: Comprende las reacciones electroquímicas o bien, las reacciones químicas.

c.- Apariencia del metal: Puede ser uniforme, el metal se corroe a la misma velocidad en

toda su superficie, o bien, puede ser localizada, en cuyo caso solamente resultan afectadas pequeñas áreas. (Juscamaita, 2004).

Corrosión Electroquímica

Es el deterioro de un material, usualmente un metal, que resulta de la reacción con su ambiente, entendiendo por ambiente, los alrededores o condiciones (físicas, químicas o mecánicas) en el cual el metal vuelve a su estado de más baja energía, ya que el estado de existencia más estable para un metal es su forma combinada, como por ejemplo óxido, sulfuro, cloruro, sulfato o carbonato (Juscamaita, 2004).

Lo que el hombre hace para extraer los metales de la tierra es ir en contra de una reacción que se da espontáneamente en la naturaleza; la corrosión. Para obtener el metal libre se requiere de una gran cantidad de energía, y al recuperarlo posee una energía elevada con tendencia a bajarla, estabilizándose y reaccionando con el medio ambiente para volver a su estado mineral original. (Hakka, 1995).

La corrosión se manifiesta de distintas formas y debido a distintos fenómenos, ya sea por la naturaleza misma del material, por la interacción con electrolitos o microorganismos, entre otras. De igual manera puede ser uniforme, con lo cual el material se corroe a la misma velocidad en toda su superficie, o ser localizada, en cuyo caso el metal resulta afectado sólo en pequeñas áreas. (Juscamaita, 2004).

El fenómeno de corrosión electroquímica se produce por la interacción entre la superficie de un metal y un líquido (electrolito) dando origen a una celda galvánica, en donde se crean reacciones de oxidación y reducción, a causa de esta interacción, se forman en la superficie del metal zonas anódicas y catódicas en donde en la zonas anódicas el metal cede electrones y pasa a la solución en forma de iones metálicos los cuales viajan a través de la superficie hasta las zonas catódicas y son captados por otros compuestos en forma de compuestos insolubles, como productos de corrosión. (Montañola, 2004).

6.2.2 Corrosión por microorganismos

Videle, (2001) nos dice que se ha demostrado que las reacciones de corrosión pueden estar influenciadas por actividad de los microorganismos, especialmente cuando estos están en

contacto directo con la superficie de los metales, formando biofilms.

El resultado de este proceso es conocido como biocorrosión o corrosión influenciada por microorganismos, la actividad microbiana dentro de los biofilms formados sobre la superficie de los metales puede afectar considerablemente la química de las capas protectoras, causando la aceleración de corrosión. (Ornek, 2002).

Los principales tipos de bacterias asociadas con metales en ambientes terrestres y acuáticos son las bacterias sulfato reductoras, bacterias sulfuro oxidantes, bacterias hierro oxidantes/reductoras, bacterias manganeso oxidantes y bacterias secretoras de ácidos orgánicos, como es el caso de peptobacterias, *Archaeoglobus*, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, entre otras. (Hakka, 1995).

Estudios realizados en aceros inoxidable dan cuenta que cuando cultivos mixtos de estas bacterias son usados para provocar corrosión, el daño observado es mucho mayor en comparación con cultivos puros de cada uno. (Little, 2002).

Métodos para medir corrosión

1. Método Electroquímico

La resistencia a la polarización lineal es un método que se emplea para determinar la velocidad de corrosión, en el cual se aplica al metal sobre el potencial de equilibrio, de tal forma que no altere el sistema, pero se conozca su comportamiento en un medio corrosivo. (Uhlig, 1970).

Este método no es destructivo para el metal y pueden estimarse valores de resistencia a la corrosión de tal forma que se puede determinar la rapidez con la que se corroe el material, en este método se aplica una ecuación con la cual se puede relacionar la resistencia a la corrosión y la corriente de corrosión, para obtener una polarización lineal para poder transformar a velocidad de corrosión, alcanzando así valores exactos. (Little, 1992).

2. Método por pérdida de masa

Este método relaciona el daño causado por el fenómeno de corrosión con la pérdida de peso del metal, para lo cual se realizan pruebas de inmersión total que consisten en colocar

piezas pequeñas de metal dentro el agente corrosivo. Los resultados obtenidos mediante este método son confiables, siempre y cuando se cuiden las condiciones al realizar las pruebas, este tipo de pruebas se consideran el método más confiable y satisfactoria para materiales de estudio. (Roberge, 2000).

Existen varios aparatos con los cuales podemos determinar la pérdida de peso, los mismos que son populares y nos sirven como testigo del estudio a realizar. (Lai, 1990).

Al momento de realizar pruebas en el laboratorio existen varios factores que pueden influenciar en los resultados, ya sea la condición del medio ambiente, temperatura, agente corrosivo o incluso la preparación previa a las pruebas, por esto no se considera práctico evaluar cada uno de estos factores. (Materials and methods for cleaning dentures, 2017). Por esta razón se debe elegir una condición y repetirla en las diferentes mediciones del metal.

En cuanto a dimensiones estas pueden variar en forma y tamaño de acuerdo a la naturaleza del material que se utilice, sin embargo se recomienda que exista una semejanza en las dimensiones de los metales a utilizar. Es necesario realizar una limpieza previa de la superficie del metal para eliminar suciedad, aceite o grasa, lo que podría influenciar en el resultado esperado. (Roberge, 2000).

2.5 Estado del arte: situación nacional

Las primeras investigaciones desarrolladas en Panamá, iniciaron en la Maestría de Ortodoncia de la UIP, a partir del 2004, de acuerdo a un listado proporcionado por la coordinadora del CRAI de esta institución. Cuentan con más de ciento cincuenta tesis presentadas hasta el 2018. La maestría de Ortodoncia de la Universidad de Panamá desde sus inicios en el 2008 a la fecha cuenta con 11 tesis presentadas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y TÉCNICA DE LA INVESTIGACIÓN.

Este estudio es de tipo **descriptiva cuasi-experimental**, con utilización de variables dependientes e independientes con un grupo control y dos experimentales, en el cual se

estudian variables en una muestra de alambres utilizados por pacientes de la Maestría de Ortodoncia de la Universidad de Panamá.

Se recolectó información de los registros de la muestra estudiada y se analizó qué relación tenía con las variables.

3.2. OPERACIONALIZACIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para la operacionalización del método de investigación, se describieron las etapas que dieron lugar a la investigación:

3.2.1. ETAPA 1: Selección de la muestra

Todo alambre estando en un medio húmedo como es la cavidad bucal presenta cambios en su composición y llegar a perder ciertas propiedades que pueden afectar a la mecánica del tratamiento.

Se hará una investigación **descriptiva**, recolectando todos los arcos de acero inoxidable posteados para cierre de espacios utilizados por los pacientes de la maestría de Ortodoncia de la Universidad de Panamá en la etapa de retracción durante el periodo 2016-2018.

La muestra estudiada fue de 90 alambres de acero inoxidable 0.019 x 0.025 ss de retracción con uso en boca de 1 mes, 3 meses y 6 meses y su respectivo control (alambre sin uso en boca) de las dos marcas comerciales (American Orthodontics y 3M) utilizadas en pacientes del Postgrado de Ortodoncia de la Universidad de Panamá.

La parte experimental se realizó en el Instituto Smithsonian de Panamá, en el corregimiento de Ancón, distrito de Panamá, provincia de Panamá, República de Panamá; en donde se realizaron las muestras para la desinfección y se observó el grado de corrosión en el microscopio electrónico de barrido.

Se verificó que cumplieren con los criterios de inclusión y se obtuvo la muestra para la investigación.

3.2.2. ETAPA 2: Medición de variables

Se definieron los puntos en el arco donde se midió el grado de corrosión en el primer, tercer y sexto mes que fueron posteriormente analizados.

Se cortaron aproximadamente 10 mm de alambre por distal del poste de los arcos de retracción de 0.019 x 0.025 ss.

Se utilizó el microscopio electrónico de barrido para determinar el grado de corrosión de los alambres.

Para la búsqueda de información en el desarrollo de la investigación se revisó literatura proveniente de libros clásicos de la ortodoncia, principalmente para la parte histórica y artículos en donde realizaron estudios similares. Además, se utilizaron buscadores de internet como Google académico, Scielo, PubMed, y la plataforma ABC en la biblioteca virtual del sistema de biblioteca de la Universidad de Panamá.

En cuanto a los artículos científicos, fueron extraídos de las siguientes revistas: Angle org. Orthodontics, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, European Journal of Orthodontics, Dental Press Journal of Orthodontics, entre otras.

3.2.3. Etapa 3: Análisis y correlación de variables

Se correlacionaron ambas variables y se evaluó el grado de corrosión según la marca comercial y el tiempo en boca.

Se realizó una comparación entre los arcos controles, 1 mes, 3 meses, 6 meses de ambas marcas comerciales.

Se realizaron análisis estadísticos para el estudio descriptivo.

3.3 Variables del estudio

Las variables se definen como cualquier característica o cualidad de la realidad que es susceptible de asumir diferentes valores, es decir que puede variar, aunque para un objeto determinado que es considerado puede tener un valor fijo. Es importante tomar en cuenta que las variables son aplicables a objetos o grupos de personas, los cuales adquieren diversos valores o manifestaciones respecto a las variables. Las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras, como es el caso de este estudio.

3.3.1. Variable Dependiente

3.3.1.1. Corrosión: Kofstad en 1988, define la corrosión como el deterioro de un material a

consecuencia de un ataque electroquímico, siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación) por su entorno. Puede definirse como la velocidad en la que se desgastan los metales, lo cual dependerá de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión.

3.3.1.2. Porcentaje en peso (wt. %): Según el diccionario de Cambridge wt % es una abreviatura escrita para el peso. La cantidad que pesa algo o alguien.

3.3.2. Variable Independiente

Tipos de alambres: alambres nuevos sin uso (alambre control), alambres con uso clínico de 1 mes a 6 meses, elementos químicos de la tabla periódica.

3.3.2.1. Alambres: Los alambres en ortodoncia son elementos activos que tienen propiedades físicas elásticas con capacidad de almacenar y liberar energía que se traduce en fuerzas activas. Ellos nos permiten controlar los niveles de fuerzas y la magnitud de los momentos necesarios para mover los dientes en forma eficiente. (Uribe, 2010).

3.3.2.2. Elementos: Se denomina elemento químico a una sustancia que está formada por átomos del mismo tipo cuyos núcleos presentan la misma cantidad de protones más allá del número de neutrones. (Pérez, 2017).

3.4 Hipótesis

H1: Existe diferencia en la corrosión de los arcos de acero inoxidable utilizadas en pacientes durante 1 a 6 meses.

H0: No existe diferencia en la corrosión de los arcos de acero inoxidable utilizadas en pacientes durante 1 a 6 meses.

3.5 Sujetos de la investigación

El universo de estudio corresponde a 90 arcos de acero inoxidable 19 x 25ss de retracción retirados de los pacientes en un periodo entre 1 y 6 meses en la Maestría de Ortodoncia de la Universidad de Panamá. De los cuales, 15 arcos son de 1 mes, 15 de 3

meses, y 15 de 6 meses de cada marca comercial (American Orthodontics, 3M) que suman un total de 90 arcos.

3.5.1. Criterios de inclusión para ser parte de la muestra:

Los arcos seleccionados deberán cumplir con los siguientes criterios de inclusión:

- Debe ser marcado con la fecha de colocación del arco en boca y el día que se le realiza el retiro.
- Pacientes que asistieron a sus controles retirando el arco de acero inoxidable a partir del primer mes, 3 meses y 6 meses.
- Compararlos con alambres nuevos que no se hayan utilizado en boca.

3.5.2. Criterios de exclusión para ser parte de la muestra.

- Alambres demasiado deteriorados.
- Pacientes que no acudieron a sus citas de controles de 1, 3 y 6 meses.

3.6. Recolección de datos

Se recolectaron todos los arcos de acero inoxidable con el uso en boca de 1 mes, 3 meses y 6 meses, los cuales se guardaron en bolsas estériles sin ser lavados ni desinfectados. Recortamos pequeñas muestras de alambres aproximadamente de 10 mm justo en el área donde se da la retracción de los caninos (distal a los postes de retracción). Realizamos la desinfección con Hidróxido de potasio durante 10 minutos en el ultrasónico; después, se lava 3 veces con agua destilada; luego, se colocan en el ultrasónico con agua por 1 minuto para eliminar restos de hidróxido de potasio y pasar por acetona para que termine de secar. Los colocamos durante 3 minutos en acetona en el ultrasónico y dejamos secar al aire. Con los alambres ya limpios se pasaron al microscopio electrónico de barrido y se tomaron las fotos correspondientes de cada grupo de alambres para observar el grado de corrosión, según los meses y marcas estudiadas.

En este estudio se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca Zeiss, modelo Evo 40 vp con un Spectrómetro de Energía Dispersiva de Rayos X, marca Bruker, modelo Quantax200. Las muestras preparadas fueron observadas en alto vacío con un detector de captura de electrones retrodispersados y un voltaje de aceleración (potencia del haz de electrones) que varió entre los 20 y 23 Kv.

En esta investigación se estudiaron las medidas de mediana, promedio de los que se elaborarán cuadros, tablas y gráficos que permitirán analizar la información y obtener los resultados.

Igualmente, se determinará el análisis de varianza, promedios, con el objetivo de otorgar un valor estadístico confiable a la investigación.

3.7 Instrumento de investigación

Se revisaron los alambres de acero inoxidable retirados de la boca de los pacientes y se procedió a excluir todo aquel que no cumplía con los criterios de inclusión.

Para llevar a cabo esta investigación se tabularon todos los datos obtenidos mediante cuadros en el programa SPSS, versión 23 y Microsoft Excel, 2016. Se elaboraron tablas y gráficos que permitiern analizar la información y obtener los resultados.

Se determinó el promedio, media, mediana, el análisis de varianza, con el objetivo de otorgar un valor estadístico confiable a la investigación.

Para la determinación de cada uno de estos puntos, se llevó a cabo una inspección y análisis visual de cada una de las manchas (puntos de corrosión), las cuales fueron enumeradas en cada imagen para así colocar los valores de cada uno.

Para llevar a cabo esta investigación se realizó la recolección de los datos mediante el diseño del siguiente cuadro:

Cuadro 1. Instrumento de recolección de datos (alambres 3M)

ALAMBRE 3M	1ER MES	3ER MES	6TO MES

Cuadro 2. Instrumento de recolección de datos (alambres, AO)

ALAMBRE AO	1ER MES	3ER MES	6TO MES

Cuadro3. Instrumento de recolección de datos (comparación de ambas marcas)

Alambre	N	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
3M						
AO						
Total						

3.8 Método de Error

Para validar el error metodológico, se realizó una vez más por parte del mismo examinador, la identificación de los alambres que presentan corrosión, y se fueron excluyendo aquellos que estaban muy rayados y los que tenían manchas de placa dental o materia orgánica que se podía confundir como puntos de corrosión. Para así evitar confusiones al momento de la identificación.

3.9 Análisis de los datos

En esta investigación se realizó una estadística experimental de todas las variables, utilizando la media aritmética, desviación estándar y porcentajes, según las variables.

Para el análisis de los datos recolectados se utilizó el programa SPSS, versión 23 y el programa Microsoft Excel, 2016.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Resultados estadísticos

En el estudio para valorar la corrosión de los arcos de acero inoxidable durante el uso en boca de 1 mes, se presentan los siguientes resultados:

Tabla 1. Estadísticas descriptivas del número de manchas registradas en los arcos de acero inoxidables al mes.

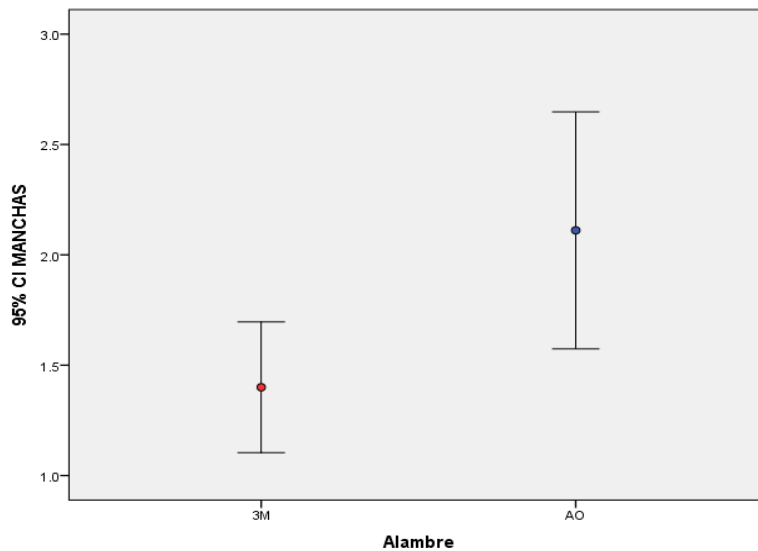
Alambre	N	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
3M	45	0	5	1.00	1.40	.986
AO	45	0	7	2.00	2.11	1.787
Total	90	0	7	2.00	1.76	1.479

Fuente: Datos de la investigadora (Dra. Nancy Yuen).

Como se puede observar, el número promedio de manchas registradas en los arcos 3M fue de 1.40 con una desviación estándar de 0.986 manchas; por otro lado, la mediana del número de manchas es de 1 mancha, el valor mínimo 0 y el máximo de 5; en otro orden, los tipos AO, presentan un mínimo de 0 con un máximo de 7 manchas, el promedio 2.11 manchas con una desviación estándar de 1.787.

En esta tabla, se observa que los alambres de 1 mes de uso, la mediana es de 2 manchas promedio en los alambres de American Orthodontics y de 1 mancha en los alambres de 3M.

Gráfica 1. Comparación del número promedio de manchas en las dos marcas de alambres, al mes.



El gráfico anterior muestra que el tipo de alambre presenta un promedio mayor al mes de prueba y que esta diferencia es significativa como lo muestra la prueba de comparación de medias para muestras independientes a un nivel de significancia del 5%.

En esta gráfica se observa un mayor número de manchas en los alambres de American Orthodontics en comparación con los de 3M.

De acuerdo a (Viera, 2010). Después de 8 semanas de exposición en la cavidad bucal, los arcos de acero inoxidable rectangulares mostraron un aumento significativo de debris y el grado de rugosidad de superficie.

Tabla 2. Prueba de comparación de medias para muestras independientes.

	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
Manchas									
Se asumen varianzas iguales	10.247	.002	2.338	88	.022	.711	.304	.107	1.316
No se asumen varianzas iguales			2.338	68.539	.022	.711	.304	.104	1.318

A un nivel de significancia del 5% se rechaza la hipótesis de igualdad de las medias del tipo de arco de acero ($p < 0.05$) y la corrosión es menor en el arco 3M.

En la prueba de comparación de medias, para las muestras independientes, la significancia lateral es de 0.022, en menor que 0.05, eso quiere decir que el promedio no es significativo.

A continuación, se presentan los resultados a los tres meses de estudio y se mide el nivel de corrosión en los arcos experimentales.

Tabla 3. Estadísticas descriptivas del número de manchas registradas en los arcos de acero inoxidable a los tres meses.

Alambre	N	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
3M	45	0	10	1.00	2.04	2.828
AO	45	0	8	2.00	2.58	2.291
Total	90	0	10	2.00	2.31	2.573

Fuente: Datos de la investigadora (Dra. Nancy Yuen)

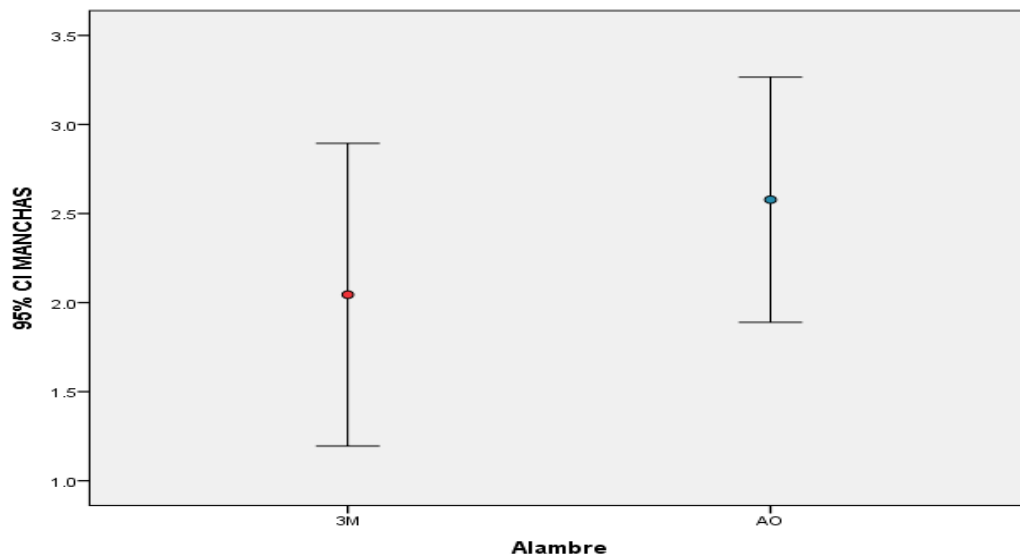
A los tres meses de experimentación vemos, el número mínimo de manchas oscila desde 0 manchas hasta 10, con un promedio de 2.04 y una desviación estándar de 2.828, para la marca 3M, por otro lado, la marca AO, tiene una media de 2.58 manchas y una desviación

estándar de 2.291 manchas. La comparación del número medio de manchas, se presenta a continuación en la gráfica 2.

En la tabla 3, se observa que la mayor corrosión se da en los arcos de AO en comparación a los de 3M. No existe gran diferencia significativa, comparándolos con los arcos utilizados en boca, por 1 mes.

En un estudio realizado en Panamá con 30 arcos de acero inoxidable 0.019”x0.025”, utilizados durante 3 meses en boca (Romero, 2012) el 93.30% de esos alambres presentaban corrosión y el 6.70%, no lo presentaban. De los 30 arcos, 28 de ellos tenían corrosión, pérdida de sustancia e integridad en el alambre.

Gráfica 2. Comparación del número promedio de manchas en las dos marcas de alambre a los tres meses.



A los tres meses también se observó la comparación en la corrosión de los arcos de acero, como lo muestra la prueba de comparación de medias para muestras independientes.

Tabla 4. Prueba de comparación de medias para muestras independientes.

Prueba de muestras independientes									
Manchas	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
Se asumen varianzas iguales	.107	.744	.983	88	.328	.533	.543	-.545	1.612
No se asumen varianzas iguales			.983	84.368	.328	.533	.543	-.546	1.612

A un nivel de significancia del 5%, se aceptó la hipótesis de que no existe diferencia entre las medias de manchas o niveles de corrosión en las dos marcas de arcos de acero. ($p > 0.05$).

En la prueba de comparación de medias para las muestras independientes el promedio es bastante similar a los arcos de 1 mes donde la significancia bilateral de los arcos de 3 meses es de 0.328, lo cual es menor a 0.05, lo cual indica que los valores no son significativos.

A los seis meses de experimentación la comparación del nivel de corrosión se presenta en las tablas siguientes.

Tabla 5. Estadísticas descriptivas del número de manchas registradas en los arcos de acero inoxidable a los seis meses.

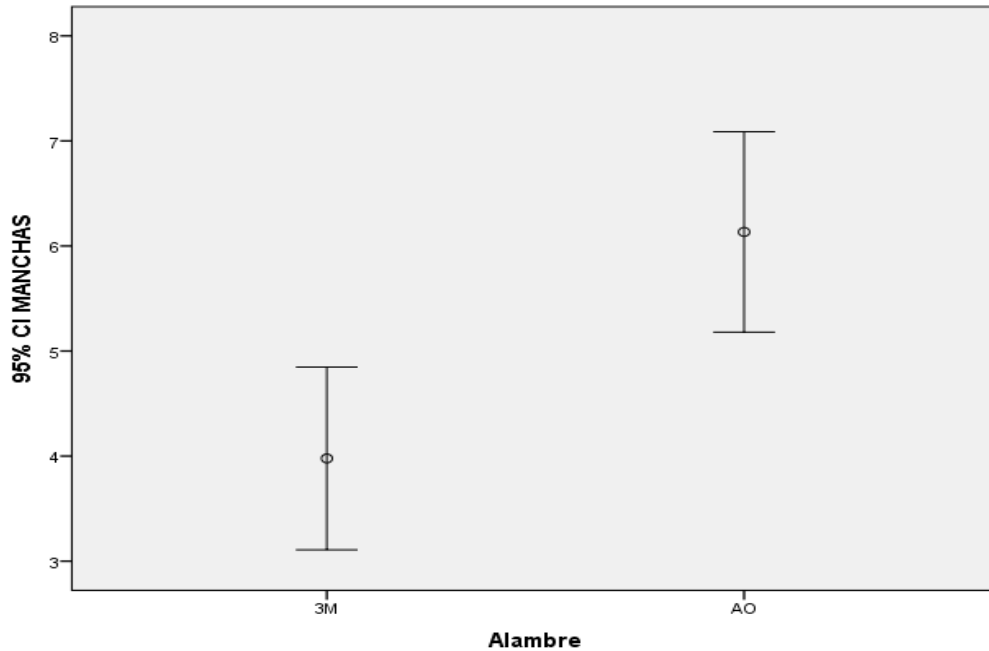
Alambre	N	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
3M	45	0	11	3.00	3.98	2.896
AO	45	2	14	5.00	6.13	3.174
Total	90	0	14	4.50	5.06	3.209

Fuente: Datos de la investigadora (Dra. Nancy Yuen)

A los seis meses, la corrosión si es estadísticamente diferente en los arcos 3M, tiene un valor menor de cero y el valor máximo 11 manchas con un promedio de 3.98 con una desviación estándar de 2.896, en otro ángulo, en la marca de AO, el valor mínimo de 2 manchas y máximo de 14 manchas con un promedio de manchas de 6.13 con una desviación estándar de 3.174.

Un estudio en Bélgica en el 2009, por Daems J., Celis J.P., Willems G., indica que mientras más tiempo se tiene el alambre en boca, presenta superficies no homogéneas, con irregularidades provocadas al momento de su fabricación, tratamiento de ortodoncia, superficies de alambres cubiertas de placa y restos de alimentos, existe mayor riesgo de corrosión.

Gráfica 3. Comparación del número promedio de manchas en las dos marcas de alambre a los seis meses.



Existe una diferencia significativa entre las marcas de arcos de acero a los seis meses de experimentación; además, se observa una corrosión mayor en los arcos AO, en comparación con la marca 3M, como lo muestra la tabla de comparación de medias para muestras independientes a un nivel de significancia del 5%.

En la gráfica se observa la comparación del número promedio de manchas en los alambres de 6 meses de uso en boca. Hay un mayor número de puntos de corrosión en los alambres de AO que en los de 3M; y así mismo, con los de 1 mes y 3 meses.

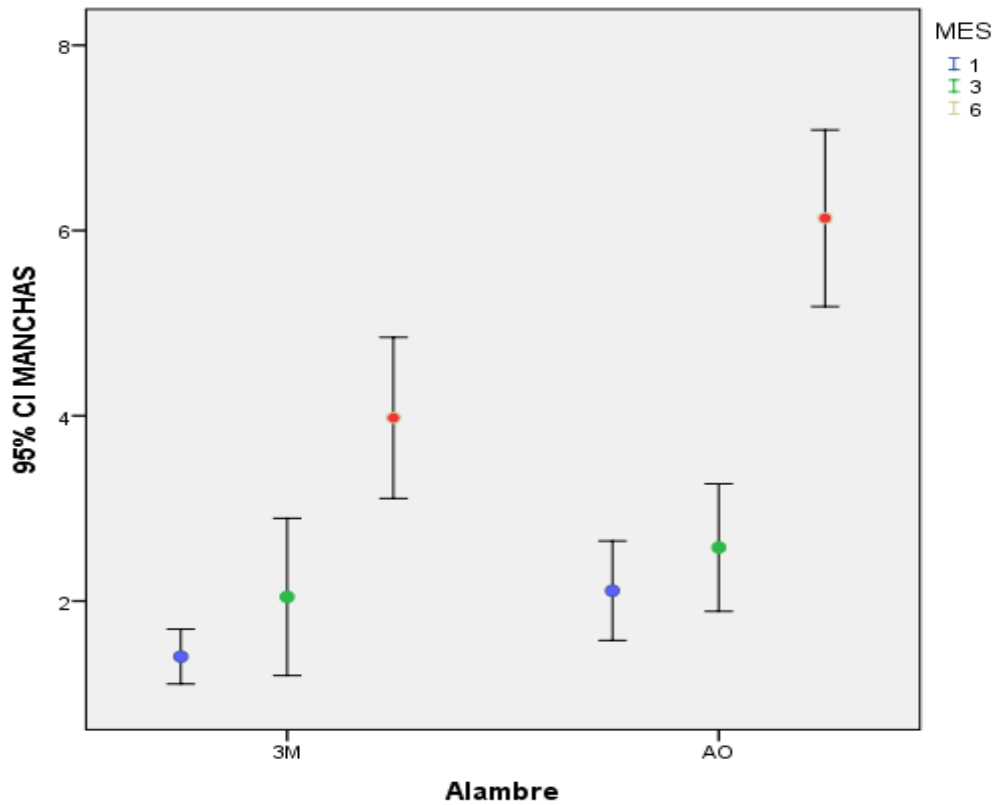
Tabla 6. Prueba de comparación de medias para muestras independientes.

	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
MAN Se asumen CHAS varianzas iguales	.535	.467	3.36	88	.001	2.156	.640	.883	3.428
No se asumen varianzas iguales			3.36	87.2	.001	2.156	.640	.883	3.428

A un nivel de significancia del 5%, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existe diferencia entre la media del número de manchas promedio en particular la marca AO es mayor la corrosión que en la marca 3M.

En la prueba de comparación de media para las muestras independientes en los alambres de 6 meses, la significancia bilateral es de 0.001. Eso quiere decir que la muestra es altamente significativa.

Gráfica 4. Comparación del número promedio de manchas en las dos marcas de alambre en el tiempo de estudio



Es evidente que al comparar los tipos de arcos de acero que la marca AO es estadísticamente diferente a un nivel de significancia del 5%.

En la gráfica se muestra el resumen de la secuencia de ambas marcas comerciales y nos da como resultado que los alambres de AO, tienen mayor corrosión que 3M. Pero en el periodo de 1 mes a 3 meses, no se observan valores significativos en comparación a los alambres de 6 meses en boca.

Tabla 7. Porcentaje de los elementos encontrados en los arcos de acero, 3M.

Mes	Elemento	Promedio de [wt.%]	Promedio de [norm. at.%]	Promedio de Error in wt.% (1 Sigma)
1 mes	C	4.3	16.9	1.0
	Cr	17.6	16.1	0.5
	Fe	69.7	59.2	1.8
	Ni	8.6	7.0	0.3
	Si	0.5	0.9	0.1
3 mes	C	13.2	38.4	2.3
	Cr	15.5	10.4	0.4
	Fe	62.9	39.4	1.7
	Na	0.5	0.8	0.1
	Ni	7.7	4.6	0.3
	O	2.9	6.3	0.6
6 mes	C	2.8	11.4	0.8
	Cr	17.7	16.8	0.5
	Fe	70.3	62.0	1.9
	Ni	8.3	7.0	0.3
	O	0.6	1.8	0.2
	Si	0.6	1.1	0.1
Control	C	4.3	16.6	1.0
	Cr	17.6	15.6	0.5
	Fe	70.5	58.1	1.9
	Ni	8.5	6.7	0.3
	O	0.8	2.2	0.2
	Si	0.5	0.9	0.1

Fuente: Aparato de rayo X

En esta tabla, se observa que en el alambre control existe presencia de oxígeno, lo que nos quiere decir que se está dando inicio al proceso de corrosión en arcos nuevos. Y a medida que va pasando el tiempo se puede observar que la cantidad de oxígeno aumenta.

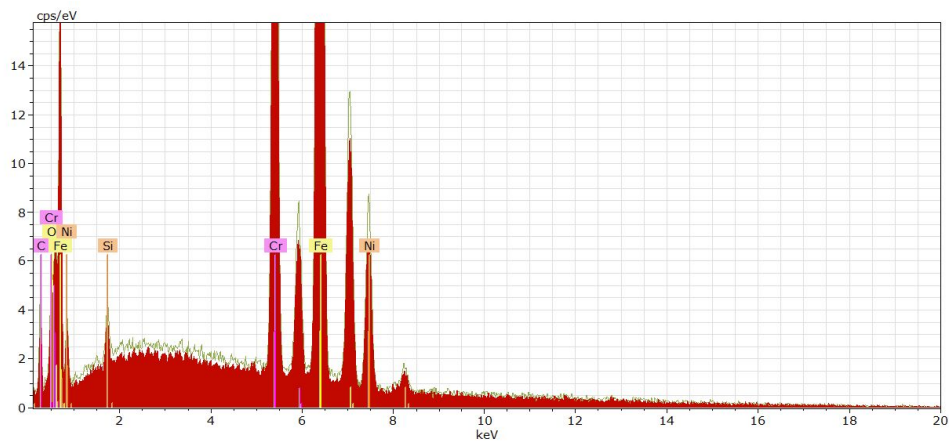


Figura 3. Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de 3M, (control).

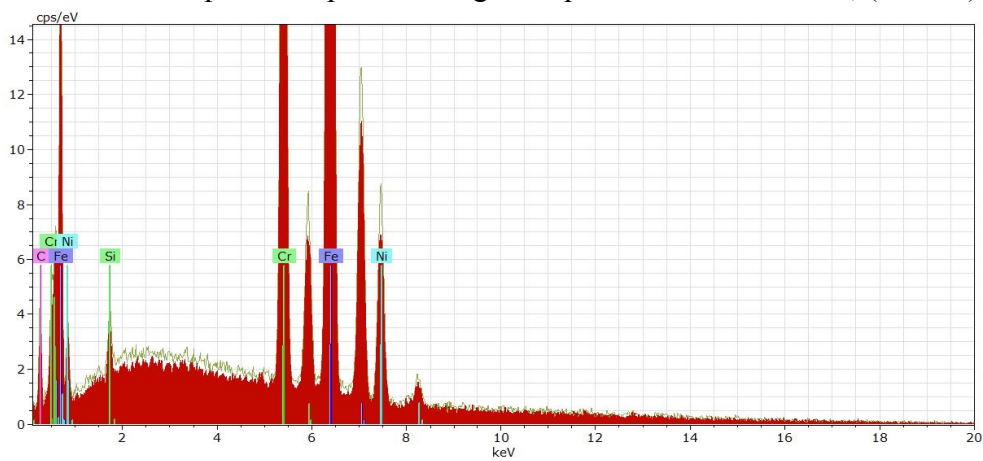


Figura 4. Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de 3M, (1mes).

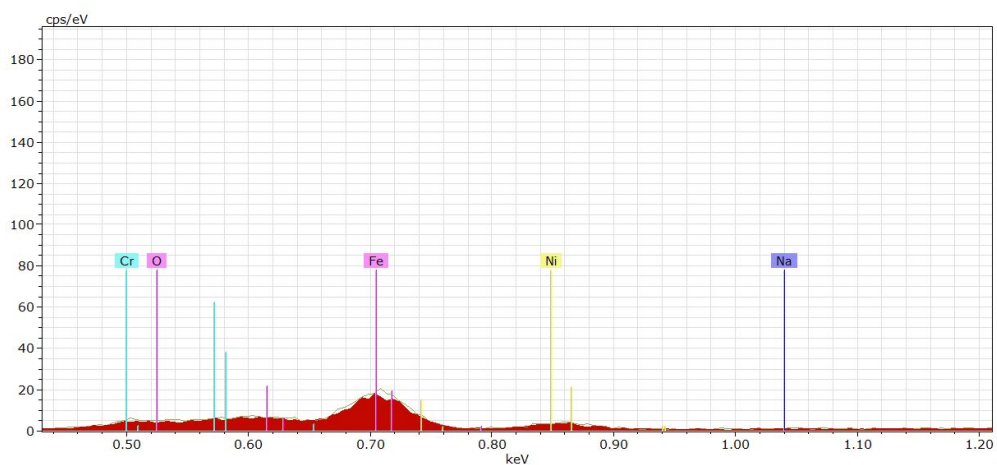


Figura 5. Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de 3M, (3meses).

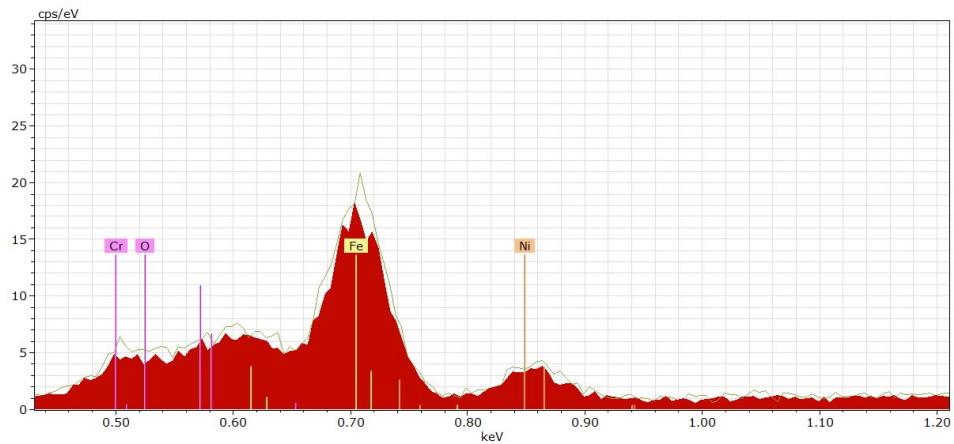


Figura 6. Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de 3M, (6meses).

Gráfica 5. Comparación de las medias de los elementos en el tipo de alambre 3M, en los tiempos de comparación.

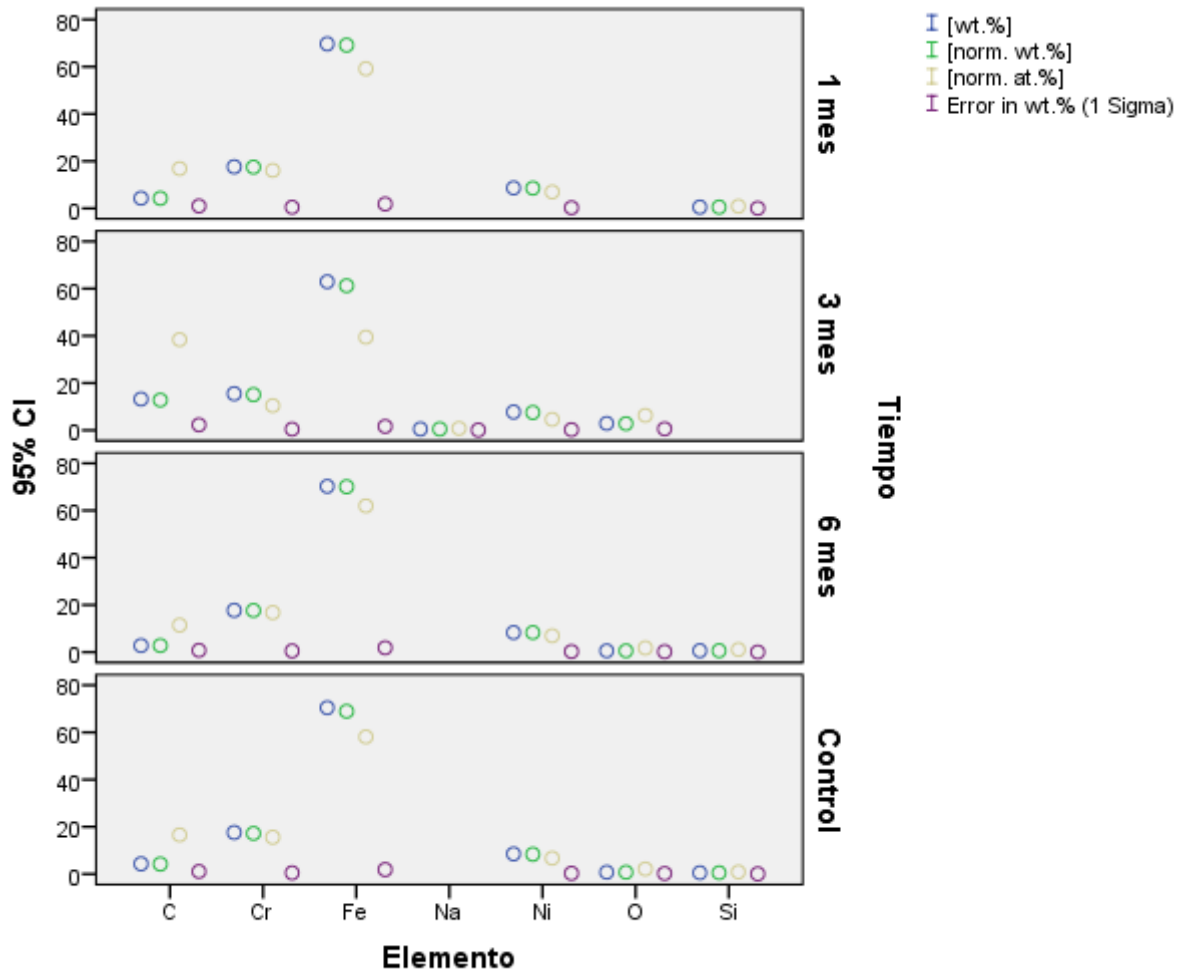


Tabla 8. Porcentaje de los elementos encontrados en los arcos de acero, AO.

Mes	Element	Promedio de [wt.%]	Promedio de [norm. at.%]	Promedio de Error in wt.% (1 Sigma)
1 mes	C	3.6	13.9	0.9
	Cr	18.6	16.6	0.5
	Fe	73.7	61.4	2.0
	Ni	8.9	7.0	0.3
	Si	0.6	1.1	0.1
3 mes	C	3.2	12.9	0.9
	Cr	18.0	16.8	0.5
	Fe	71.8	62.3	1.9
	Ni	8.6	7.1	0.3
	Si	0.5	0.9	0.1
6 mes	C	37.9	68.7	5.2
	Cr	13.1	5.5	0.4
	Fe	52.0	20.3	1.4
	Ni	6.0	2.2	0.2
	O	2.4	3.3	0.6
Control	C	6.8	24.5	1.4
	Cr	17.1	14.2	0.5
	Fe	68.0	52.7	1.8
	Ni	8.4	6.2	0.3
	O	0.6	1.6	0.2
	Si	0.6	0.9	0.1

Fuente: Aparato de rayo X.

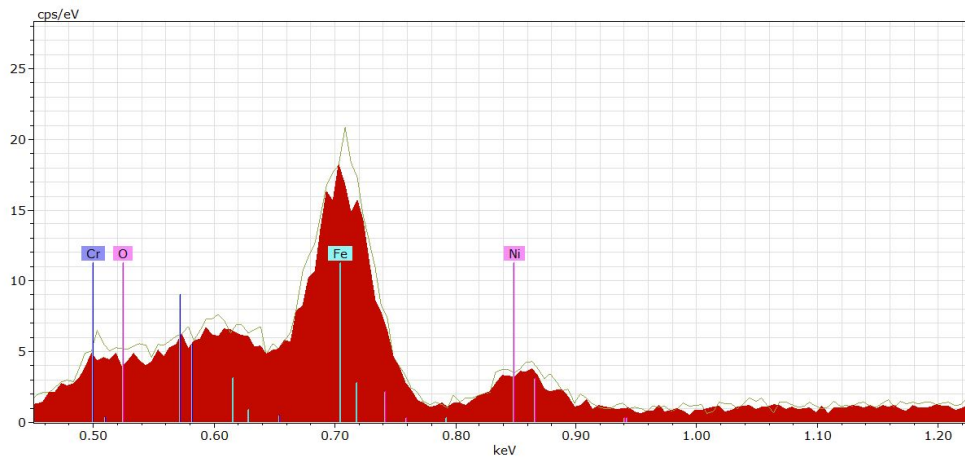


Figura 7. Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de AO (control).

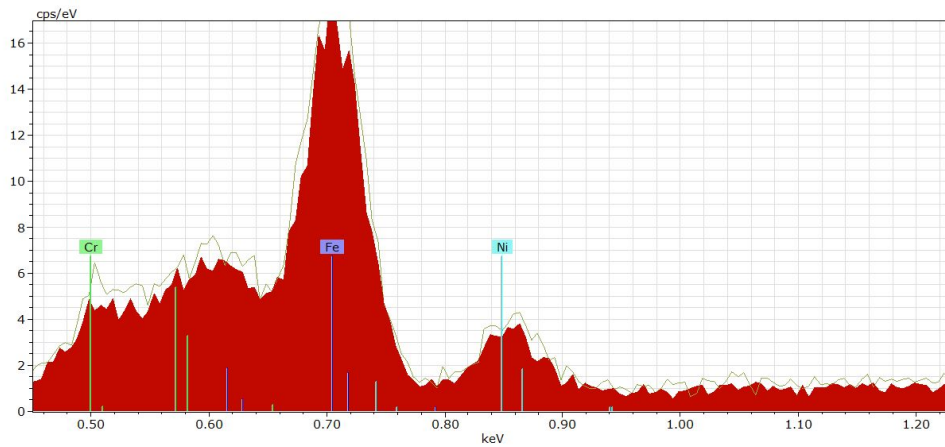


Figura 8. Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de AO, (1mes).

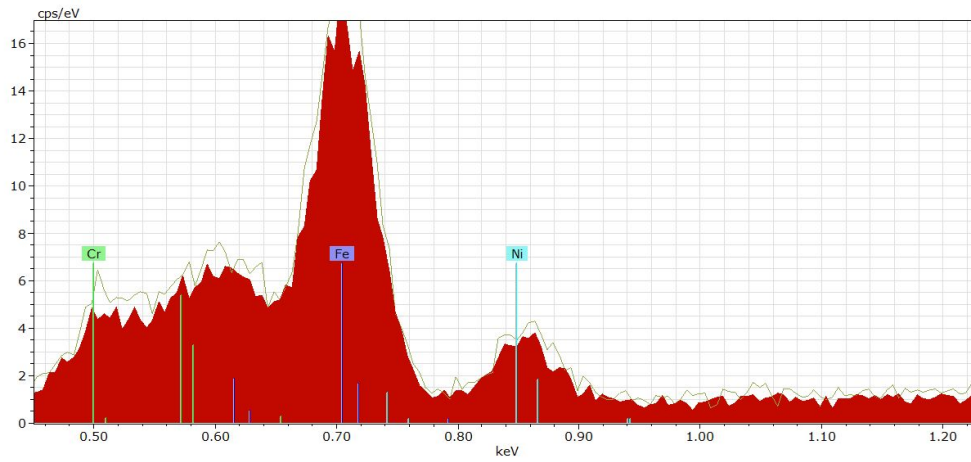


Figura 9. Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de AO, (3meses).

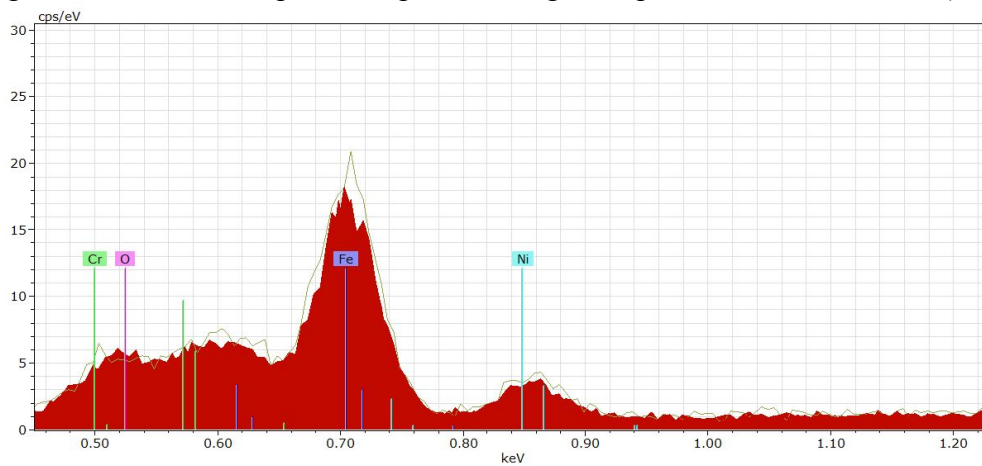
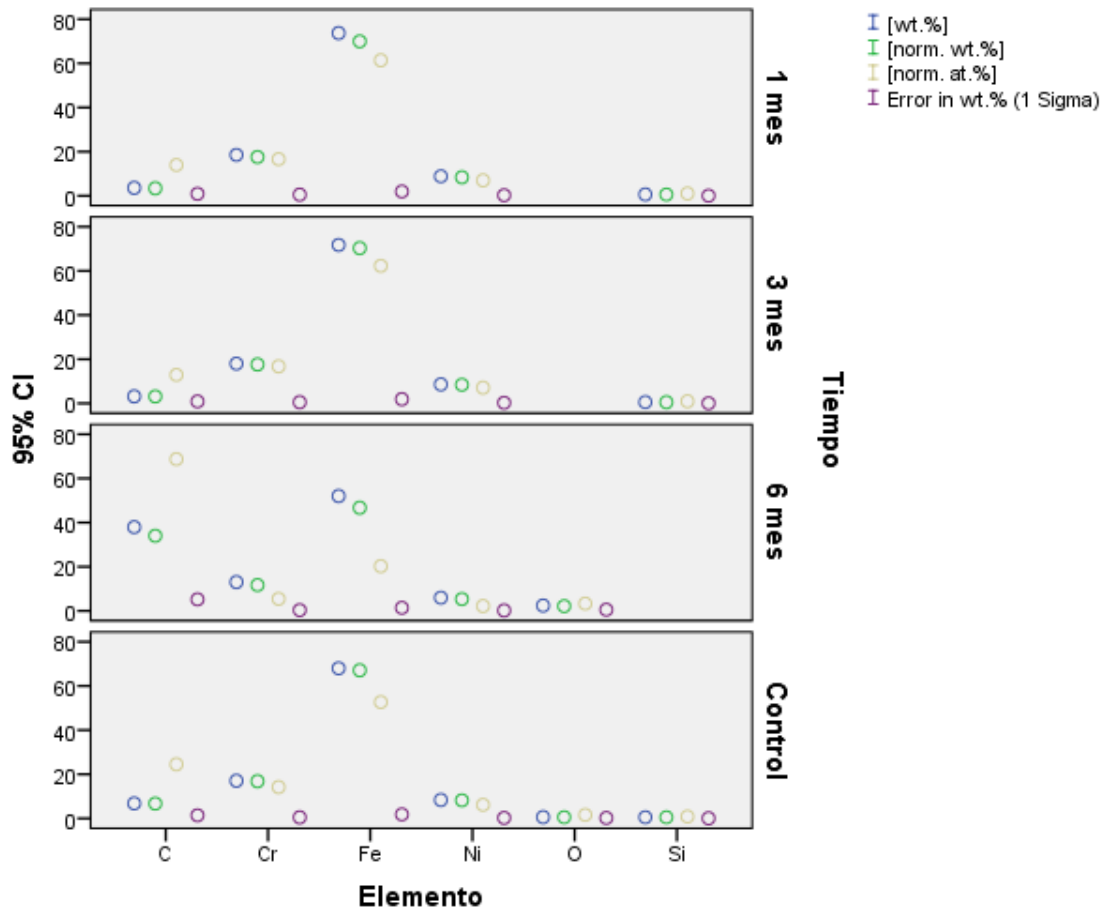


Figura 10. Gráfica de Espectroscopía de Energía Dispersa. Alambre de AO, (6 meses).

Gráfica 6. Comparación de las medias de los elementos en el tipo de alambre, AO en los tiempos de comparación.



La corrosión se produce no solo en los defectos que se encuentran en la superficie del alambre, sino también en las superficies en contacto con el arco que estén cubiertas de placas o restos de alimentos.

Tabla 9. Análisis de varianza del porcentaje de wt%, en los elementos, tipo de alambre y tiempo.

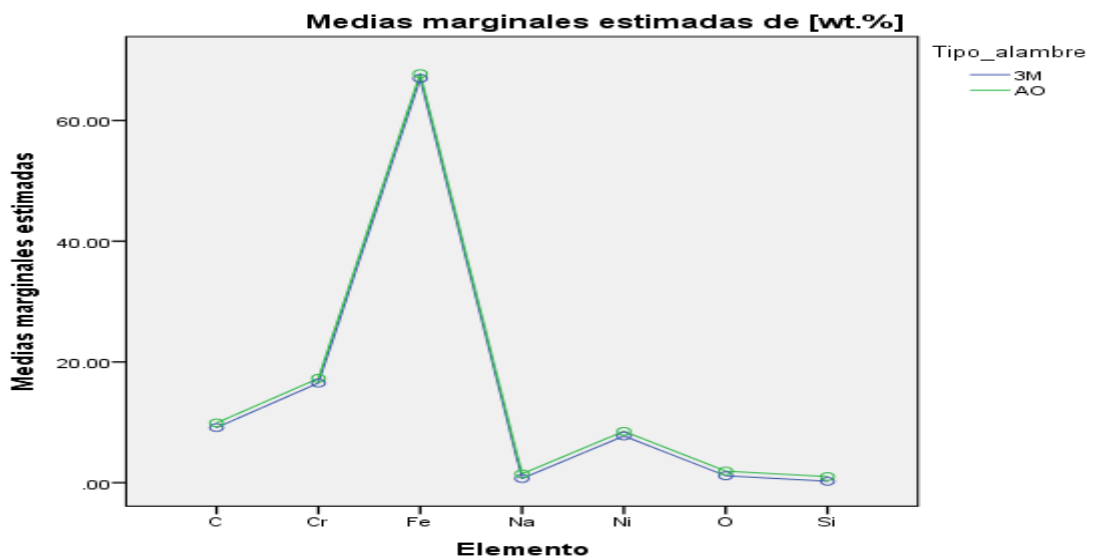
Variable dependiente: [wt.%]

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	24332.077 ^a	10	2433.208	58.869	.000
Intersección	5634.728	1	5634.728	136.326	.000
Elemento	24194.756	6	4032.459	97.561	.000
Tipo alambre	6.406	1	6.406	.155	.696
Tiempo	3.934	3	1.311	.032	.992
Error	1363.981	33	41.333		
Total	41209.844	44			
Total corregido	25696.058	43			

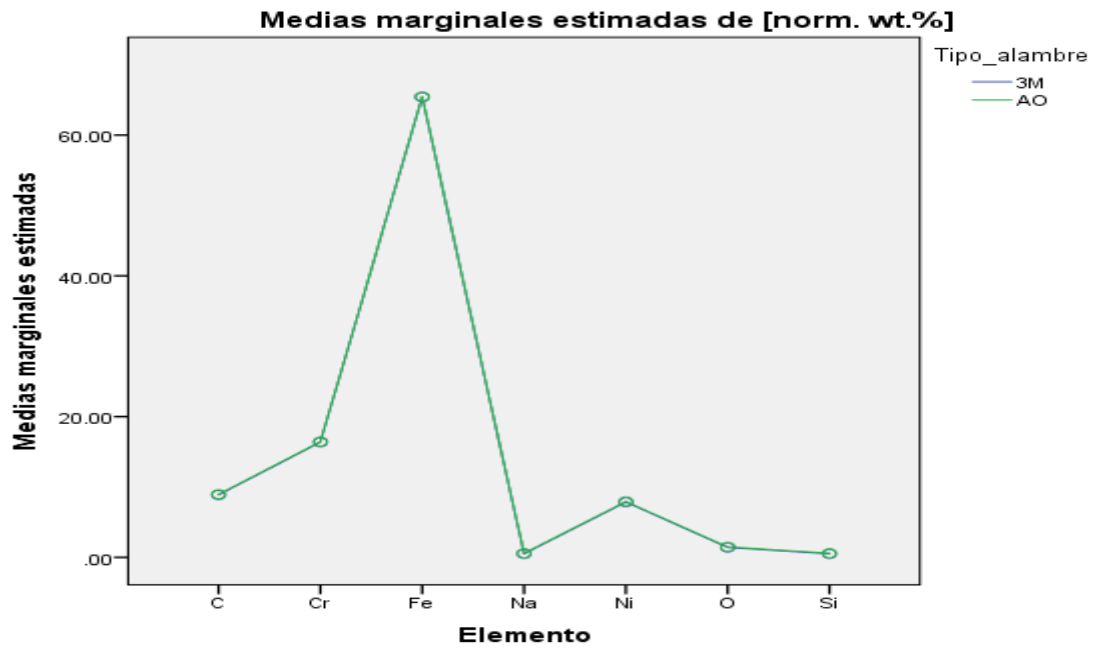
a. R al cuadrado = .947 (R al cuadrado ajustada = .931)

A un nivel de significancia del 5%, se rechaza la hipótesis nula que los tipos de elementos son estadísticamente diferentes, pero no así entre los tipos de alambres y tampoco en el tiempo.

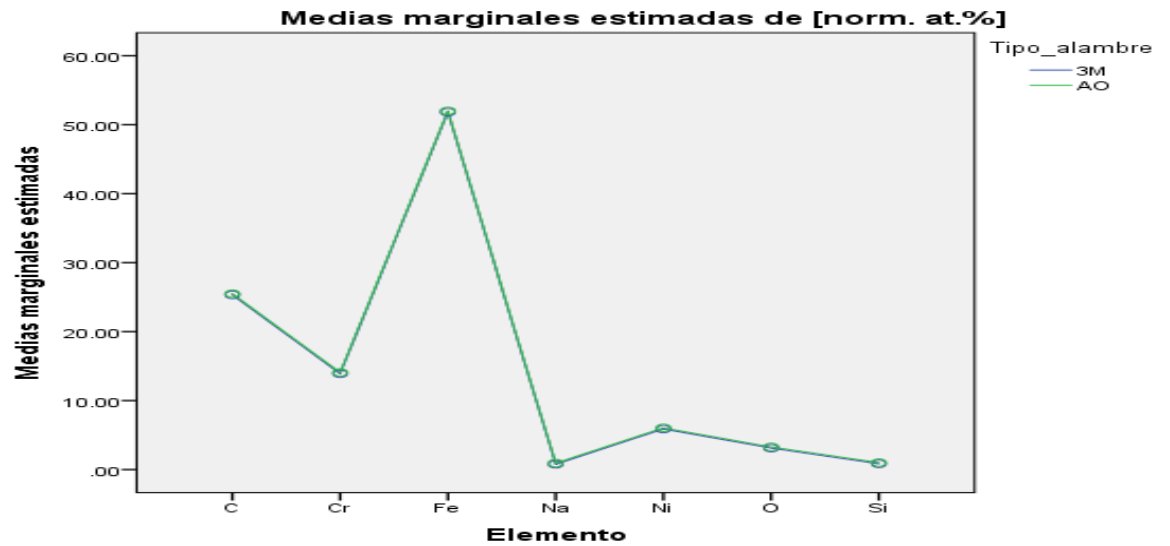
Gráfica 7. Comparación de la media de la proporción WT (%) de los elementos en los tipos de alambres.



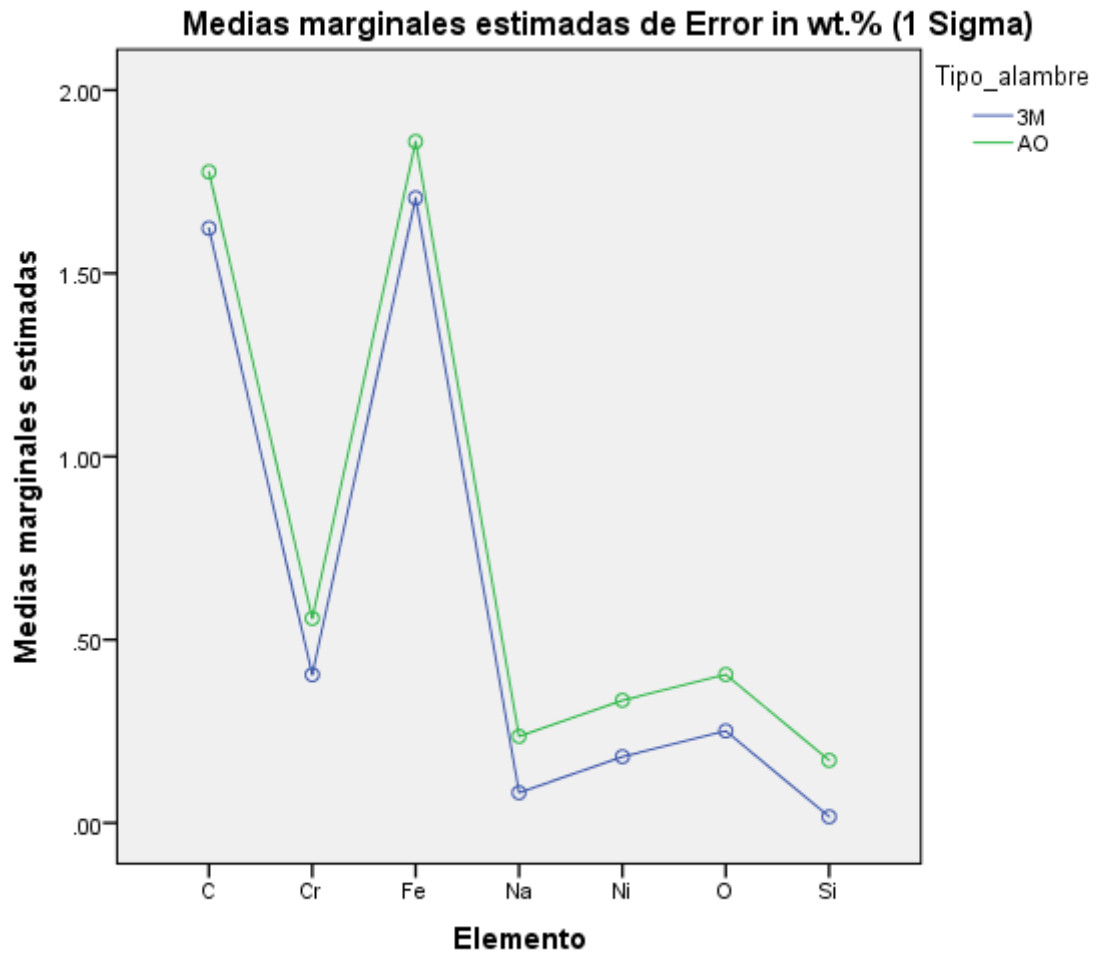
Gráfica 8. Comparación de la media de la proporción norm. wt. (%) de los elementos en los tipos de alambres.



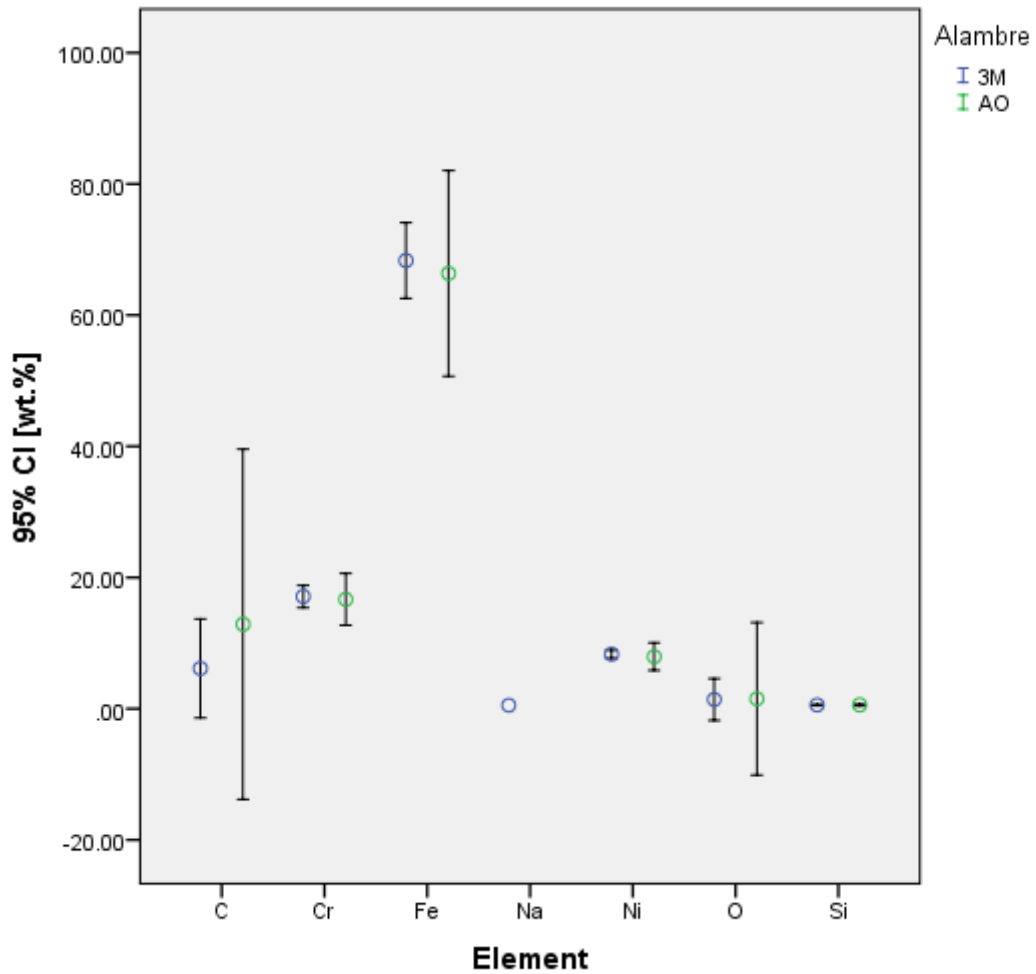
Gráfica 9. Comparación de la media de la proporción norm.at (%) de los elementos en los tipos de alambres.



Gráfica 10. Comparación de la media de la proporción Error in (%) de los elementos en los tipos de alambres.



Gráfica 11. Comparación de la media de la proporción wtn (%) de los elementos en los tipos de alambres.



Es de gran importancia tomar en cuenta de ahora en adelante el tiempo de uso de cada alambre en nuestros pacientes, ya que comprobamos que existe daño en el material después de un tiempo de uso y eso conlleva a perder las propiedades de esos arcos y no poder realizar un correcto tratamiento.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Con los resultados de esta investigación, se puede concluir lo siguiente:

1. Se comprueba mediante el microscopio electrónico de barrido que existe corrosión en los alambres de Acero Inoxidable 0.019”x0.025” S.S., después de 1, 3, 6 meses utilizados en boca.
2. Los arcos de acero inoxidable 0.019”x0.025”, nuevos (alambre control) estudiados tanto de American Orthodontics como los de 3M, presentaron pequeñas alteraciones de fábrica en su superficie (superficies no homogéneas).
3. En los alambres de 1 mes la mediana fue de 2 manchas (puntos de corrosión) promedio en los arcos de AO y de 1 mancha en 3 M.
4. Existe un promedio mayor de corrosión en arcos de AO en comparación a los de 3M.
5. A los 3 meses de uso se observó que los alambres presentaron un mayor número de puntos de corrosión entre los arcos de AO en comparación a los arcos de 3M.
6. Se encontró mayor corrosión en los arcos de American a los 6 meses. En los alambres de 6 meses se encontró mayor corrosión en los arcos de American Orthodontics.
7. A mayor tiempo de los alambres en boca, presentan mayor corrosión. Existe mayor deterioro del alambre en los arcos que permanecen por más tiempo en boca.
8. En zonas donde hubo desgastes de material y fricción también se dio inicio al proceso de corrosión.
9. Se acepta la hipótesis de la investigación, la cual dice que existe una diferencia significativa en la corrosión de los arcos de acero inoxidable 0.019”x0.025” S.S., utilizados en los pacientes durante 1 a 6 meses.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Se debe tomar en cuenta que el arco tiene un tiempo de uso.
2. No exceder el tiempo de uso de un arco en boca por más de 6 meses, ya que la corrosión puede afectar la mecánica tratamiento.
3. Se recomienda limpiar el arco con un material que limpie la capa de placa dental y que no raye la superficie del alambre, para disminuir al máximo la corrosión.
4. No utilizar materiales o sustancias abrasivas para la limpieza de los arcos, ya que pueden rayar el alambre y así hay mayor probabilidad que inicie el proceso de corrosión.
5. Determinar cuánto es el tiempo máximo de uso en boca estipulado antes que el alambre pierda sus propiedades.
6. Utilizar arcos de buena calidad cuya manufactura tenga respaldo científico.
7. No reutilizar arcos de acero inoxidable con el mismo paciente por más de 6 meses y menos entre pacientes.
8. Comprar un ultrasónico o material que elimine la capa de impurezas que se genera en los alambres.
9. Sacar los arcos de cita a cita para eliminar material orgánico y así disminuir el proceso de corrosión de las mismas.
10. La universidad haga pruebas de todos los materiales que se utiliza en caso especial alambres de acero, y adquirir materiales con estudio de respaldo que puedan garantizar mayor eficiencia en el desempeño clínico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashby, Michael F.; & David R. H. Jones. (1992). *Engineering Materials 2* (with corrections ed.). Oxford: Pergamon Press.
- Anderez J.M. (1996). “*Corrosión*”, Publicaciones Universidad de Los Andes.
- Atia A Yousif, Usama M Abd El-Karim (2016). *Microscopic study of surface roughness of four orthodontic arch wires*. Tanta Dent J 2016; 13:199-207.
- Anusavice R.J. (1998). *Ciencia de los materiales dentales de Phillips*. 10ma Edición. México D.F. Editorial Me Graw-Hill Interamericana.
- Barda E. (1996). *Engineering materials and processes, Corrosion and Protection Inoxidable.com* (Internet). (citado el 20 de julio de 2017). Vol. 13 Recuperado de: <http://www.wwiprocat.com>
- Borosan. Citado el 16 de octubre del 17. Recuperado de: http://www.medicamentosplm.com.ec/home/productos/borosan_sobres.
- Bourauel C., Fries T., Drescher D., Plietsch R. (1998). *Surface roughness of orthodontic wires via atomic force microscopy, laser specular reflectance, and profilometry*. European Journal of Orthodontics. Germany. University of Bonn. 20:79-92
- Budtz, J. *Materials and methods for cleaning dentures*. Citado el 01 de septiembre del 2017. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/229217>
J Prosthet Dent. 1979 Dec;42(6):619-23
- Chaturvedi, TP. (2009). *An overview of the corrosión aspect of dental implants (titanium an its alloys)*. Indian Journal of Dental Research. Volume 20. Issue 1. p.91-98.
- Camargo L, García S. (2007). *Fricción durante la retracción de caninos en ortodoncia*. Revista CES Odontología. 20(2): 57-63.
- Cervera A. (2003). *Fricción en arco recto*. Biomecánica básica. Rev Esp Ortod; 33: 65-72.

- Clocheret K, Willems G. (2004). *Dynamic frictional behaviour of orthodontic archwires and brackets*. Eur J Orthod; 26: 163-70.
- Chimenti C, Franchi L. (2005). *Friction of orthodontic elastomeric ligatures whit different dimensions*. Angle Orthod. 75; 421-25.
- Corega Tabs. Citado el 23 de agosto de 2017. Recuperado de:
http://www.corega.com.ar/es_ar/productos/limpiador-protesis-dental/limpiador-Coregatabs.htm.
- Claros M. (2013). *Estudio Comparativo in vitro de la fricción de alambres según el tipo de aleación, calibre y tipo de ligadura con y sin orthospeed en un plano inclinado*. Madrid, 230p. Tesis (Doctorado) Universidad Complutense de Madrid.
- Correa, Julio. *Metalografía de Aceros, fundiciones, inoxidables*. Citado el 30 de julio del 2017. Recuperado de: juliocorrea.wordpress.com.
- Cambridge dictionary. Recuperado de:
<https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles/wt>
- Cova N., J.L. (2004). *Biomateriales Dentales*. Actualidades médico Odontológicas Latinoamericana C.A. Primera Edición.
- Daems J., Celis J.P., Willems C. (2009). *Morphological characterization of as-received and in vivo orthodontic stainless Steel archwires*. The European Journal of Orthodontics Advance Access. Doi:10.1093/ejo/cjn104.
- Eliades, T.; Trapalis C.; Eliades, G., Katsavrias, E. (2003). *Salivary metal levels of orthodontic patients: a novel methodological and analytical approach*. European Journal of Orthodontics. (25) 103-106.
- Eliades T., Eliades G., Athanasiou A.E., Bradley T.G. (2000). *Surface characterization of*

retrieved NiTi orthodontic archwires. European Journal of Orthodontics 22:
p.317-326.

Frank CA, Nikolai RJ. (1980) *A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and archwire. Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 78: 593-09.

Gómez V.; Mercado J.; Herrera A.; Fang L.; Díaz A. (2014). *Níquel en cavidad oral de individuos con agrandamiento gingival inducido por tratamiento ortodóncico. Rev Clin Periodoncia Implantol Rehabil Oral.* 2014;7(3):136-141.

Hamdan A. (2008) *The effect of different combinations of tip and torque on archwire/bracket friction. Eur J Orthod*; 30: 508-14.

Hakka, L.E.; Bosen, Sidney; Liu, H.J. (1995). *The Role of Anion Contaminants on Corrosion in Refinery Amine Units. Dow Chemical, Gas Treating Products & Services, Houston.*

International Iron and Steel Institute. Citado el 14 de julio del 2017. Recuperado de:
www.worldsteel.org.

Ibañez Mancera Norma Guadalupe. (2011). *Hiposalivación/xerostomía. Med Oral. Vol. XIII. Pág. 58-64.*

Juscamaita, H. (2004). *Prevención de la corrosión en una planta de gas. Curso Tecnología y diagnóstico de fallas y reparaciones de elementos de máquinas.*

Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

<https://es.scribd.com/document/252923836/Prevencion-de-La-Corrosion-en-Una-Planta-de-Gas>.

Krim J. (2002) *Surface science and the atomic-scale origins of friction: what once was old is new again. Surf Sci.* 500(1): 741-58.

Kofstad P. (1988). *High Temperature Corrosion in metallic surfaces, Elsevier Applied*

- Science (Eds), New York, EE.UU.,1988.
- Keith O, Jones S. (1993). *The influence of bracket material, ligation force and wear on frictional resistance of orthodontics brackets*. Br J Orthod; 20: 109-15.
- Kalpakjian, Serope; Schmid, Steven R. (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología* (4 edición). México: Pearson Educación.
- Kim H., Johnson J. (1999). *Corrosion of stainless Steel, nickel-titanium, coated nickel-titanium, and titanium orthodontic wires*. The Angle Orthodontist. Vol.69 No 1, p.39-44.
- Kaplan A., De Harfin. (2010). *Biodesintegración de aparatología de aparatología ortodóntica metálica*. Universidad de Buenos Aires.Revista de la Facultad de Odontología Vol.25. No 58.
- Kapila S., Sachdeva R. (1989). *Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires*. American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics. Volume 96. Issue 2. p. 100-109
- Lambe W., Whitman R. (1997) *Mecánica de Suelos*. 1^{ra} Ed. Instituto Tecnológico de Massachusetts. México: Noriega Editores.
- Little, B., Ray, R. (2002). *A perspective on corrosion inhibition by biofilms*. Corrosion. 58: 424-428.
- Little, B., Wayner, P. (1992). *An overview of microbiologically influenced corrosion*. *Electrochim*. Volume 37, Issue 12, September 1992, Pages 2185-2194.
[https://doi.org/10.1016/0013-4686\(92\)85110-7](https://doi.org/10.1016/0013-4686(92)85110-7)
- Lai, G. Y. (1990). *High-Temperature Corrosion of Engineering Alloys*. Estados Unidos: ASM international, Metals Park, OH,USA.. Publisher: 0871704110.

- Landolt D. (1993). *Corrosion et chimie de surfaces des métaux, de Traité des matériaux, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*. vol. 12.
- Moore M. (2004). *Factors affecting friction in the pre-adjusted appliance*. Eur J Orthod; 26: 579-83.
- Michelberger D, Reg L. (2000). *The friction and wear patterns of orthodontic brackets and archwires in the dry state*. Am J Orthod Dentofacial Orthop; 118: 662-74.
- Matasa C. (1996). *Materiales Usados por los Ortodoncistas*. Journal of orthopedics, orthodontics and pediatric. 27.
- Montañez N. (2008). *Evaluación de la corrosión de alambres de nitinol y minitornillos de aleación de titanio empleados como aparatos de ortodoncia, en suero fisiológico simulado, saliva artificial y enjuague bucal mediante técnicas electroquímicas*. Bucaramanga. 74 p. Tesis(licenciatura)Programa de ingeniería química. Universidad Industrial de Santander.
- Negroni, M. (2009). *Microbiología Estomatológica. Fundamentos y guía práctica*. Buenos Aires: Médica Panamericana. Segunda edición.
- Nakagawa M., Matsuya S., Udoh K. (2001). “*Corrosion behavior of pure titanium and titanium alloys in fluoride containing solutions*”. Dental Materials Journal, 20(4): 305- 314.
- O’Reilly D, Dowling P. (1999). *An ex-vivo investigation into the effect of bracket displacement on the resistance to sliding*. Br J Orthod. Sep; 26(3): 219-27.
- Otaño L. (2008). *Manual de Ortodoncia*. Ciencias Médicas. La Habana: Editorial Ciencias Médicas. ISBN 978-959-212-354-0. p. 333.

- Ospino E. (2014). *Corrosión de alambres de NiTi en Saliva artificial y enjuagues bucales*. Universidad Nacional de Medellín. Vol I, N° 1.
- Ornek, D., Wood, TK. (2002). *Pitting corrosion control of aluminum 2024 using protective biofilms that secrete corrosion inhibitors*. Volume 58, Issue 9.
<https://doi.org/10.5006/1.3277659>
- Phillips R. W. (1993). *La ciencia de los materiales dentales de Skinner*. México D.F. McGraw-Hill Interamericana. 11va Edición.
- Pareja A., García C., Abad P., Márquez M. (2007). *Estudio in vitro de la citotoxicidad y genotoxicidad de los productos liberados del acero inoxidable 316L con recubrimientos cerámicos bioactivos*. Vol. 20 No.1. Recuperado de:
<http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/iatreia/article/view/4377/0>.
- Pakshir M., Baheri T., Kazemi M.R. (2013). *In vitro evaluation of the electrochemical behaviour of stainless Steel and Ni-Ti orthodontic archwires at different temperatures*. European Journal of Orthodontics. 35: p.407-413.
- Pellegrini V, Ruscitti S. (2007). *Biodegradación de los Materiales Utilizados en Ortodoncia*. Orthodontic Dentofacial Orthop.131:253-64.
- Pérez J., Gardey A. (2017). *Definición de elemento químico*. Recuperado de:
<https://definicion.de/elemento-quimico/>
- Rossouw E. (2003). *Friction: An Overview*. Semin Orthod; 9(4): 218-22.
- Roberge, P. R. (2000). *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Reacciones redox. Citado el 2 de agosto del 2017. Recuperado de:
<https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/2016/10/13/la-corrosion-de-los-metales/>.
- Reitan A, Kvan E. (1971). *Comparative behavior of human and animal tissue during experimental tooth movement*. Angle Orthod; 41(1):1-14.

- Rossouw E. (2003) *A fundamental review of variables associated with low velocity frictional dynamics*. Semin Orthod. 9(4): p.223-35.
- Rosales, A. (2013). Tesis sobre: *Estudio de la Corrosión Galvánica en Materiales de Ortodoncia. Par Arco Bracket*. Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.
- <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5238/fichero/PFC+Aaron+Rosales+Perez.pdf>
- Romero (2012). *Cierre de espacios con fricción*. Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatría. ISSN: 1317-5823.
- Suárez D. (1995) *Problemas tribológicos en el diseño de brackets*. Rev Esp Ortod. capítulo 25: p.29-45
- Schwartz M. (2007). *Fact of friction: The clinical relevance of in Vitro steady-state friction studies*. J Clin Orthod; 41(8): 427-31
- Suárez D. en Canut Brusola. (2000) *Ortodoncia Clínica y terapéutica: Nuevos brackets y aleaciones en ortodoncia*. 2a ed. Madrid: Masson.
- Smith R, Storey E. (1952). *The importance of force in orthodontics: The design of cuspid retraction springs*. Aust J Dent; 56: 291-304.
- Smith R, Storey E. (1952). *Force in orthodontics and its relation to tooth movement*. Aust J Dent; 56: 11-18.
- Suárez D. (2005). *Arco recto de baja fricción*. Ortodoncia Española; 45(2): 83-12.
- Schwartz ML. (2007). *Fact or friction: The clinical relevance of in Vitro steady-state friction studies*. J Clin Orthod; 41(8): 427-31
- Tidy DC. (1989). *Frictional forces in fixed appliances*. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 96: 249-54.

- Tselepis M. (1994). *The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and archwires*. Am J Orthod Dentofacial Orthop; 106: 131-38.
- Toms A. (1988). *The corrosion of orthodontic wire*. European Journal of Orthodontics. London. (10) 87-97.
- The Hindu online edition of India's National Newspaper (2002). *Corrosion resistance of Delhi iron pillar*. Recuperado de:
<https://www.thehindu.com/thehindu/seta/2002/09/12/stories/2002091200090200.htm>
- Uhlig. (1975). *Corrosión y Control de la corrosión*. Publicado por Urmo, Bilbao. No consta de edición. 393pp.
- Uribe, G.; Aristizabal, J.F. (2010). *Metales y alambres de Ortodoncia. Ortodoncia Teoría y clínica*. Edición 2. Publicado: CIB.
- Van Leeuwen E, Maltha J. (1999). *Tooth movement with light continuous and discontinuous forces in a beagle dogs*. Eur J Orthod; 107: 468-74.
- Videla, H.A. (2001). *Microbially induced corrosion: an updated overview*. Int Biodeterior Biodegradation. 48(1):176-201. DOI: [10.1016/S0964-8305\(01\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(01)00081-6)
- Vásquez S.M.; Riesgo O.; Duffó G.S. (1997). *Corrosión en soldaduras de aparatos de ortodoncia*. <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es>
- West JM. (1986). *Corrosión y Oxidación*. México. Ed. Limusa.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=1713834&pid=S2007-3011201500010000500030&lng=es
- Walters N. (2017). *International Iron and Steel Institute*. Belgium. Recuperado de:
<https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/world-steel-in-figures-2017.html>.

Weinhold E. *Liberación de iones metálicos en el medio bucal por fenómenos de corrosión de aleaciones*. Universidad de Los Andes. Recuperado de:

http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16516/liberaciones_iones.pdf;jsessionid=B823D40812E79F92185724744BC65445?sequence=1

Zappa, S.; Burgueño, A. ; Svoboda, H. G. ; Ramini de Rissone, M. ; Surian, E. S. (2017).

Propiedades, microestructura resistencia a la corrosión del metal de aporte puro de acero inoxidable supermartensítico. CONAMET. Buenos Aires, Argentina. Vol. 26 p.514-514. ISSN:1059-9495