



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Medicina
Especialidad en Ortodoncia

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LOS
ARCOS NITI TEFLÓN, NITI SUPER ELÁSTICO Y ACERO INOXIDABLE
RECTANGULARES DE .017X.025.
ESTUDIO *IN VITRO*”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Diploma de la
Especialidad en Ortodoncia

Presenta:

C.D. Camilo Ernesto Vásquez Ney

Dirigido por:

C.D.E.O. Gissela del Sagrario Serrano Hernández

Facultad de Medicina,
Querétaro, Qro. Agosto 2022
México

Resumen

Introducción: Los alambres que se utilizan para los tratamientos ortodóncicos han sufrido una mejora bastante considerable en la calidad del producto, la aparición de nuevas aleaciones y la mejora en las propiedades físicas de estos, hacen que el ortodoncista pueda contar con una amplia variedad de opciones durante el tratamiento. En la actualidad, la estética dental se ha convertido en una de las prioridades dentro los tratamientos dentales, aunado a la alta demanda de pacientes adultos que buscan tratamiento de ortodoncia, esto ha llevado a la fabricación de materiales del mismo color del diente o transparentes, por consiguiente, muchas investigaciones se han enfocado a la creación de alambres para ortodoncia que sean completamente estéticos. **Objetivo:** El objetivo de esta investigación es determinar la resistencia a la flexión en arcos .017" x .025" de níquel-titanio estéticos, níquel-titanio y acero inoxidable en brackets convencionales de autoligado activo. **Material y métodos:** Se establecieron cinco grupos de estudio, conformados por brackets de autoligado activo (Denstply Sirona In Ovation ® R) en ellos se analizaron 15 especímenes de arcos .017" x .025" de níquel-titanio estético (NiTi Teflón TD Orthodontics), níquel titanio superelástico (Ah Kim Pech) y (Ormco) y acero inoxidable (TD Orthodontics). Posteriormente se realizaron las pruebas en la máquina de pruebas universal. **Resultados:** Se realizó el análisis estadístico de ANOVA con la prueba Post hoc de Tukey, considerando valores estadísticamente significativos a un valor de $p < 0.05$. Se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa entre todos los grupos analizados. **Conclusiones:** El arco de acero inoxidable (TD Orthodontics) fue el que presentó mayor resistencia a la flexión, mientras que el arco níquel-titanio estético (NiTi Teflón TD Orthodontics), fue el que presentó menor resistencia a la flexión. Los arcos de níquel titanio superelástico (Ah Kim Pech) y (Ormco) presentaron valores muy similares.

(**Palabras clave:** níquel-titanio, estético, acero inoxidable, brackets, autoligado)

Summary

Introduction: The archwires used for orthodontic treatments have undergone a considerable improvement in the quality of the product, the appearance of new alloys, and the improvement in their physical properties, which mean that the orthodontist can count on a wide variety of options, during treatment. Currently, dental aesthetics has become one of the priorities within dental treatments, coupled with the high demand of adult patients seeking orthodontic treatment, this has led to the manufacture of materials of the same color as the tooth or transparent, therefore, much research has been focused on the creation of completely aesthetic orthodontic wires. **Objective:** This research aims to determine the resistance to bending of .017" x .025" aesthetic nickel-titanium, nickel-titanium, and stainless steel archwires in conventional active self-ligating brackets. **Material and methods:** five study groups were established, made up of active self-ligating brackets (Dentsply Sirona In-Ovation ® R), in which 15 specimens of .017" x .025" esthetic nickel-titanium archwires (NiTi Teflon TD Orthodontics) were analyzed, superelastic nickel-titanium (Ah Kim Pech) and (Ormco) and stainless steel (TD Orthodontics). Subsequently, the tests were carried out on the universal testing machine. **Results:** ANOVA statistical analysis was performed with Tukey's Post hoc test, considering statistically significant values at a value of $p < 0.05$. A statistically significant difference was obtained between all the groups analyzed. **Conclusions:** the stainless-steel arch (TD Orthodontics) was the one that presented the highest resistance to bending, while the aesthetic nickel-titanium arch (NiTi Teflon TD Orthodontics) was the one that presented the least resistance to bending. And the superelastic nickel-titanium archwires (Ah Kim Pech) and (Ormco) presented very similar values.

(**Keywords:** nickel-titanium, aesthetic, stainless steel, brackets, self-ligating)

Dedicatoria

A mis padres.

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Hoy gracias a ustedes puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Querétaro por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años. A mis docentes de la Especialidad en Ortodoncia, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional especialmente a mi director de tesis la Dra. Gissela del Sagrario Serrano Hernández por el tiempo dedicado y los conocimientos brindados. Al Dr. En C. Rubén Abraham Domínguez Pérez quien, con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó durante todo el proceso de investigación.

Índice

Contenido	Página
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de cuadros	vi
Abreviaturas y siglas	vii
I. Marco teórico	1
II. Hipótesis	8
III. Objetivos	9
III.1 General	9
III.2 Específicos	9
IV. Material y métodos	10
IV.1 Tipo de investigación	10
IV.2 Unidad de análisis	10
IV.3 Muestra y tipo de muestra	10
IV.3.1 Criterios de selección	10
IV.3.2 Variables estudiadas	10
IV.4 Procedimientos	11
IV.4.1 Análisis estadístico	16
V. Resultados	17
VI. Discusión	19
VII. Conclusiones	24
VIII. Propuestas	25
IX. Bibliografía	26
X. Anexos	30

Índice de cuadros

Cuadro		Página
V.1	Resistencia a la flexión en diferentes tipos de arcos de alambres.	16
V.2	Resistencia a la flexión <i>Post Hoc</i> entre grupos.	16
X.3	Resistencia a la flexión de arcos de alambre NiTi TD .017x.025.	30
X.4	Resistencia a la flexión de arcos de alambre NiTi Teflón .017x.025.	30
X.5	Resistencia a la flexión de arcos de alambre NiTiOrmco .017x.025.	31
X.6	Resistencia a la flexión de arcos de alambre NiTi Ah Kim Pech .017x.025.	31
X.7	Resistencia a la flexión de arcos de alambre de acero inoxidable TD .017x.025.	32

Abreviaturas y siglas

BADGE: Bisfenol a diglicidil éter
FRC: Fiber reinforced composites
mm: Milímetros
N: Newtons
NiTi: Níquel titanio
PCTG: Politereftalato de dimetil ciclohexileno glico
PETG: Politereftalato de etileno glicol
PMMA: Polimetilmetacrilato
SS: Acero inoxidable
TEGDMA: Trietilenglicol dimetacrilato

I. Marco teórico

Los arcos de alambre es un componente vital dentro del tratamiento de ortodoncia, se dice que un arco de alambre ideal debería ser capaz de mover los dientes con una fuerza ligera y continua. Cuando se aplica una fuerza, este deberá comportarse elásticamente durante un período de semanas a meses. Actualmente podemos encontrar cuatro aleaciones que son: acero inoxidable, cromo-cobalto, níquel titanio y beta-titanio (Gurgel et al., 2001).

La elección de un arco de alambre es una parte importante en el tratamiento de ortodoncia. Por cada paciente, esta elección debe basarse en estimaciones de fuerzas producidas por diferentes arcos y en una comparación de los valores obtenidos con las fuerzas óptima que produce un movimiento dental mas efectivo. El problema es que la fuerza del arco de alambre depende de la deformación del mismo, como por ejemplo, en casos de desviaciones de los dientes al llevarlos a las posiciones correctas, distancias interdentes y angulación de los dientes (Muraviev et al., 2001).

Cada uno de estos tiene propiedades y características únicas, sin embargo, en la actualidad no existe un solo arco que posea todas las cualidades deseadas necesarias para todas las etapas del tratamiento ortodóncico. Un arco de alambre ideal deberá ser aquel que cuente con características y propiedades tales como estética, fricción, soldabilidad, moldeabilidad y resistencia (Gurgel et al., 2001).

Estas propiedades se determinan comúnmente por medio de varias pruebas de laboratorio. Por lo tanto, los arcos de alambre han sido previamente sometidos a pruebas de tensión, flexión y torsión. Aunque estas pruebas no reflejan las situaciones clínicas a las que se someten normalmente, si proporcionan una base para la comparación de estos mismos. Las pruebas de flexión proporcionan información sobre el comportamiento de los arcos de alambres cuando se someten a dobleces de primer y segundo orden, siendo la prueba de flexión en tres puntos la más utilizada (Kapila y Sachdeva, 1989).

El papel de la tasa de flexión de carga se ha discutido en estudios anteriores. La relación carga-flexión es altamente predecible cuando se realiza una prueba de tracción o una prueba de flexión adecuada. La tasa de flexión de carga define la dureza o rigidez del arco de alambre. La rigidez depende no solo de las propiedades del material sino también de la sección transversal. El módulo de elasticidad y el momento de inercia son los parámetros que determinan la tasa de flexión de carga del arco de alambre y, junto con otros parámetros de su configuración, determinan la tasa de flexión de carga general (Burstone y Goldberg, 1983).

Los aditamentos utilizados en los tratamientos de ortododncia como los brackets y arcos de alambres están fabricados de metales y aleaciones de estos mismos, principalmente de acero inoxidable. El acero inoxidable es uno de los materiales mas usados para la fabricación de aditamentos en ortodncia, sobre todo el acero inoxidable austenítico. Este material es de alta calidad y tiene propiedades como mayor resistencia, mayor módulo de elasticidad y resistencia a la corrosión en boca, lo cual lo hacen el mejor material para la fabricación de todo tipo de aditamentos (Wilkinson et al., 1962).

Cuando se manipulan arcos de alambres de acero, sus propiedades mecánicas pueden cambiar como resultado de la tensión interna en su intento de volver a sus formas originales. Por lo tanto, se debe aplicar un tratamiento térmico para aliviar la tensión del arco de alambre, esto mejora la elasticidad y la estabilidad del mismo en términos de la forma y deformación (Oh y Kim, 2005).

El Dr. Emery Fraser fue de los primeros en describir el tratamiento térmico en el acero inoxidable, este señaló que al recocer este tipo de material durante un período corto de tiempo y a bajas temperaturas aumentaba la efectividad del acero, desde entonces se ha determinado la importancia sobre como el tratamiento térmico mejora las propiedades mecánicas de este material (Backofen y Gales, 1952).

Otra de las aleaciones mas utilizadas en la ortodoncia es el arco de alambre de nitinol. El nitinol o NiTi es una aleación de níquel-titanio desarrollado por Buehler, Gilfrick y Wiley en 1960 y presentado a la comunidad de ortodoncia por Andreasen y sus asociados. El NiTi exhibe propiedades físicas únicas ejemplificadas por una mayor elasticidad y resistencia, mayor rango de trabajo y resistencia a la corrosión comparado con el acero inoxidable (Harris et al., 1988).

Harris et al. (1988) realizaron diferentes tipos de estudios en los que se pretendía ver como reaccionaba el arco de alambre de NiTi en condiciones parecidas a las que presentan los pacientes en la cavidad oral, las muestras se sumergieron en ácido cítrico, fosfato dibásico potásico, ácido bórico y ácido dietilbarbitúrico. En estas pruebas se determinaron propiedades de los arcos de alambres como el esfuerzo (estrés) final, la máxima deformación, el módulo de elasticidad y el límite elástico.

Estas propiedades permiten al ortodoncista aplicar una fuerza casi continua con mayores activaciones que resulta en una reducción del trauma tisular y malestar del paciente, facilitando así un mejor movimiento del diente (Harris et al., 1988).

Los arcos de alambre de NiTi poseen memoria de forma como propiedades superelásticas, y sus bajas fuerzas constantes durante un período de tiempo más largo se consideran deseables para el movimiento de los dientes. Aunque se ha realizado mucha investigación sobre los tipos básicos de arcos de alambres utilizados en ortodoncia, todos los días nos encontramos con nuevas modificaciones de esos materiales básicos que todavía no se investigan lo suficiente (Katić et al., 2014).

Este arco de alambre también tiene un módulo elástico muy bajo, así como un rango de trabajo extremadamente amplio y una excelente recuperación elástica lo que proporciona fuerzas mucho más ligeras y constantes durante un período de tratamiento prolongado, en comparación con el uso de alambres de acero inoxidable convencionales (Bradley et al., 1996).

Las propiedades ideales de los arcos de alambres de NiTi que se utilizan en la fase de nivelación incluyen alta resistencia para evitar la deformación permanente, baja rigidez para administrar bajas fuerzas por unidad de desactivación y un alto rango para maximizar las activaciones. Debido a que una disminución en la rigidez a menudo se acompaña de una disminución en la resistencia, un profesional generalmente selecciona un arco de nivelación con la rigidez más baja que contiene una resistencia aceptable (Rucker y Kusy, 2002).

Desde su desarrollo, se han introducido mejoras en su fabricación y composición diseñadas para mejorar sus propiedades. Se ha sugerido que debido a que los arcos de aleación superelásticos proporcionan una fuerza más continua a los dientes que otros arcos de aleación, se producirá un movimiento rápido de los dientes. Los arcos de alambres superelásticos tienen una ventaja considerable sobre los arcos de alambres convencionales de NiTi en que el movimiento dental es fácilmente alcanzable (Abdelrahman et al., 2015).

En la actualidad, la estética y cosmética dental se han convertido en una de las prioridades dentro los tratamientos dentales sobre todo en ortodoncia. Esto ha llevado a la fabricación de materiales del mismo color del diente o transparentes, debido a esto, ha habido esfuerzos para crear un arco de alambre para ortodoncia que sea completamente del color del diente. Una alternativa muy utilizada es el uso de recubrimientos en arcos de alambres convencionales para lograr ese efecto estético deseado (Ohtonen et al., 2013).

Se han desarrollado arcos de alambres recubiertos con polímeros como el BADGE (Bisfenol A diglicidil éter) y el TEGDMA (Trietilenglicol dimetacrilato). Se espera que el recubrimiento en arcos de ortodoncia tenga una influencia directa sobre las características de su superficie y por lo tanto en su grosor, rugosidad, adhesión bacterial, propiedades mecánicas, corrosividad, resistencia al desgaste y estabilidad del recubrimiento (Muguruma et al., 2017).

Este recubrimiento mejora la estética, pero crea una superficie modificada que puede afectar negativamente la fricción, el comportamiento a la corrosión, mecánica, durabilidad, biocompatibilidad y acumulación de placa. Estos factores juegan un papel importante y pueden modificar críticamente la eficiencia del tratamiento de ortodoncia. La evaluación de las propiedades de deslizamiento revela que el recubrimiento disminuyó la fricción entre los arcos de alambres y los brackets (Taha et al., 2016).

Algunos autores han experimentado dificultades con estos recubrimientos de los arcos, alegando que el color tiende a cambiar con tiempo y que el recubrimiento se desgasta durante el uso en la boca, exponiendo el metal subyacente. Además de la estabilidad del recubrimiento, es necesario que este arco presente características al menos comparables a los arcos convencionales más utilizados, como aleaciones de acero inoxidable y NiTi, cuando se expongan a la cavidad oral (Silva et al., 2013).

Otro tipo de arcos de alambres estéticos son los FRC (Fiber Reinforced Composites) que han sido estudiados y desarrollados para uso clínico en Odontología y Medicina por más de 40 años. Están compuestos de una matriz de polímeros unidireccional y su rigidez está dentro del mismo rango que los arcos de alambres metálicos además esta rigidez puede ser cambiada fácilmente modificando la composición de polímeros de la matriz y el refuerzo de fibra que contiene, por lo tanto, pueden ser utilizados en fases iniciales e intermedias del tratamiento ortodóncico (Ohtonen et al., 2013).

Goldberg et al. (1992) llevaron a cabo un estudio con arcos de alambres FRC o con recubrimiento de resina (Fiber Reinforced Composites) que consistía en fibra de vidrio S-2 tratado con silano, y politereftalato de etileno glicol (PETG) o politereftalato de dimetil ciclohexileno glicol (PCTG). En este estudio encontraron una diferencia significativa entre las resinas con matriz polimérica de FRC. PETG-FRC y PCTG-FRC.

Watari et al. (1998) compararon dos tipos de polímeros diferentes, el polimetilmetacrilato (PMMA) y resina epóxica por moldeado y por estirado en caliente para fabricar FRC. Los arcos de FRC estirados en caliente tenían mejor mecánica propiedades que las realizadas por el proceso de moldeado.

Para ser considerado como una alternativa viable a los materiales dentales existentes, un FRC necesitaría mejoras clínicamente significativas en las propiedades sobre las resinas no reforzadas, y el sistema debe ser fácil de manipular y personalizar. Las propiedades mecánicas y las características físicas deben evaluarse antes de que los FRC puedan recomendarse para aplicaciones de ortodoncia específicas. Para considerar los FRC como una posible alternativa estética a los arcos de alambres de acero inoxidable de tamaño completo sería interesante comparar los valores de carga de los arcos de alambres de acero inoxidable convencionales y los FRC (Cacciafesta et al., 2008).

Muguruma et al. (2016) realizaron un estudio en el cual compararon el módulo elástico y la fuerza de fricción de arcos de alambres convencionales metálicos y estéticos con recubrimiento. En este estudio determinaron que ambos tenían un módulo elástico similar y que tampoco existían diferencias significativas entre sus fuerzas de fricción que fueron analizadas. Sin embargo, concluyeron que los valores obtenidos se podían deber a diversos factores como el tipo de recubrimiento del arco de alambre y sus dimensiones de sección transversal similares.

Desde la invención de los arcos de alambres, estos han sido sometidos a una infinidad de pruebas para poder determinar todas sus cualidades, sin embargo, la prueba de flexión de tres puntos ha sido la más utilizada, además, de ser de gran utilidad porque el alambre se puede someter a diferentes grados de esfuerzo (estrés) y así determinar cuánto resiste el material antes de deformarse irreversiblemente. En ortodoncia esto se puede comparar con la deformación que sufren los alambres cuando realizamos movimientos dentales (Burstone et al. 1983).

Burstone et al. (1983) determinaron que mediante la prueba de los tres puntos (three point bending test) se era capaz de identificar diferentes tipos de deformaciones que podían sufrir materiales como el NiTi, el acero inoxidable y el beta titanio. Por esta razón se decidió realizar esta prueba para poder medir la resistencia a la flexión que pueden soportar estos arcos de alambres, antes de sufrir una deformación irreversible.

II. Hipótesis

Hipótesis de trabajo

El arco de alambre NiTi Teflón tiene mayor resistencia a la flexión que el arco de alambre NiTi superelástico y que el arco de alambre de acero inoxidable.

Hipótesis nula

El arco de alambre NiTi Teflón no tiene mayor resistencia a la flexión que el arco de alambre NiTi superelástico y que el arco de alambre de acero inoxidable.

III. Objetivos

III.1 Objetivo general

Determinar cuál arco de alambre tiene mayor resistencia a la flexión: NiTi Teflón .017x.025 rectangular, NiTi superelástico .017x.025 rectangular o Acero inoxidable rectangular .017x.025 en brackets de autoligado activo.

III.2 Objetivos específicos

- Medir la resistencia a la flexión obtenida por aplicación de fuerzas constantes al arco de alambre ortodóncico NiTi Teflón .017x.025 rectangular (TD Orthodontics) en brackets de autoligado activo (Denstsply Sirona In Ovation).
- Medir la resistencia a la flexión obtenida por aplicación de fuerzas constantes al arco de alambre ortodóncico NiTi superelástico .017x.025 rectangular (TD Orthodontics) en brackets de autoligado activo (Denstsply Sirona In Ovation).
- Medir la resistencia a la flexión obtenida por aplicación de fuerzas constantes al arco de alambre ortodóncico de Acero Inoxidable .017x.025 rectangular (TD Orthodontics) en brackets de autoligado activo (Denstsply Sirona In Ovation).
- Medir la resistencia a la flexión obtenida por aplicación de fuerzas constantes al arco de alambre ortodóncico NiTi superelástico .017x.025 rectangular (Ormco) en brackets de autoligado activo (Denstsply Sirona In Ovation).
- Medir la resistencia a la flexión obtenida por aplicación de fuerzas constantes al arco de alambre ortodóncico NiTi termoactivo .017x.025 rectangular (Ah Kim Pech) en brackets de autoligado activo (Denstsply Sirona In Ovation).
- Comparar resistencia a la flexión entre arcos de alambres NiTi teflón .017x.025 rectangulares, alambres NiTi super elástico .017x.025 rectangulares y alambres de acero inoxidable .017x.025 rectangulares en brackets de autoligado activo (Denstsply Sirona In Ovation).

IV. Material y métodos

IV.1 Tipo de investigación

Estudio experimental *in vitro*.

IV.2 Unidad de análisis

Arcos de alambres NiTi Teflón .017x.025 rectangulares, arcos de alambres NiTi superelásticos .017x.025 rectangulares, arcos de alambres acero inoxidable .017x.025 rectangulares, todos de la marca TD Orthodontics.

IV.3 Muestra y tipo de muestra

Se utilizaron 75 muestras de arcos de alambres divididos en cinco grupos: 15 en grupo de control positivo de acero Inoxidable (SS), 15 en grupo de control positivo de NiTi marcaOrmco, 15 en un grupo de control negativo marca Ah Kim Pech, 15 de NiTi Teflón y 15 de NiTi superelástico, todos de calibres .017x.025 pulgadas.

IV.3.1 Criterios de selección

Arcos de alambres ortodóncicos que cumplieran las medidas determinadas de .017x.025 pulgadas, que se encontraran debidamente sellados y que no tuvieran irregularidades en su superficie.

IV.3.2 Variables estudiadas

Dependiente

Corresponde a la resistencia a la flexión. Esta consiste en la capacidad que tiene un alambre para soportar una carga antes de sufrir una deformación. Esta se mide mediante la prueba de flexión de tres puntos, la cual se realiza utilizando una máquina universal de pruebas, en la que se aplica una fuerza determinada a la muestra para determinar cuanta deformación puede sufrir.

Se considera una variable cuantitativa de medición continua y expresada en milímetros como unidad de medida.

Independientes

Se encuentran los alambres de Niti teflón, los alambres NiTi superelásticos y los alambres de acero inoxidable, todos estos con medidas de .017x.025 pulgadas. Estos alambres son aleaciones metálicas utilizadas como aditamentos esenciales dentro de los tratamientos de ortodoncia, estos se encargan de realizar los movimientos a los órganos dentarios. Se consideran variables cualitativas de medición nominal.

IV.4 Procedimientos

Fase 1: Obtención de muestras

1. Se procedió a marcar los arcos de alambre con un plumón indeleble y una regla milimétrica, midiendo 30 mm en los extremos de cada uno de los arcos (Fig. 1), tanto del lado derecho como del izquierdo. Posteriormente con una pinza de corte distal se cortó donde se había colocado la marca.

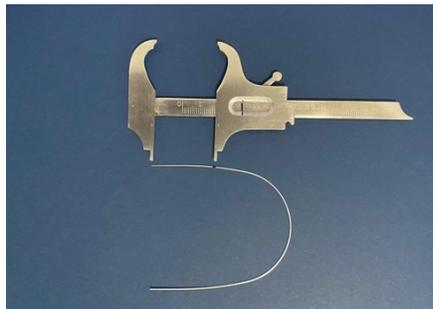


Fig. 1.

2. Se guardaron estas muestras en recipientes herméticos, los cuales se marcaron con un plumón indeleble para identificar los diferentes tipos de muestras que fueron analizados (Fig. 2). Posteriormente se guardaron en lugar seco a temperatura ambiente para que estos no sufrieran deformaciones o alguna modificación de su superficie externa.

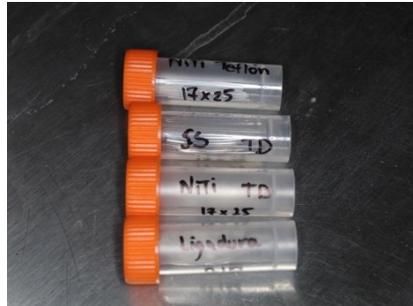


Fig. 2.

3. Se confeccionó una base metálica donde se realizaron las pruebas (Fig. 3), dejando un espacio en medio para que la punta de la máquina universal de pruebas pudiera ejercer fuerzas sobre las muestras. Luego se colocaron los brackets de autoligado activo (Denstsply Sirona In Ovation[®] R) con una resina epóxica en la base metálica a una distancia de 14 mm entre cada uno.

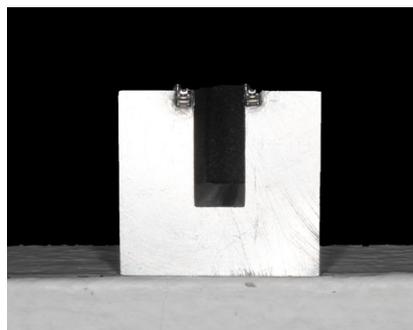


Fig. 3

Fase 2: Pruebas de laboratorio

1. Se procedió a preparar la máquina de pruebas universal, creando un ambiente en el cual habría una temperatura constante de 37°C aproximadamente, para ello se colocaron 2 focos de luz cálida como generador de calor, cerca del lugar donde se realizarían las pruebas y se midió con un termómetro de ambiente hasta alcanzar la temperatura deseada (Fig. 5).



Fig. 4

2. Se fabricó una caja hecha con papel de aluminio que funcionaría como aislante para no dejar escapar el calor generado por los focos (Fig. 4).

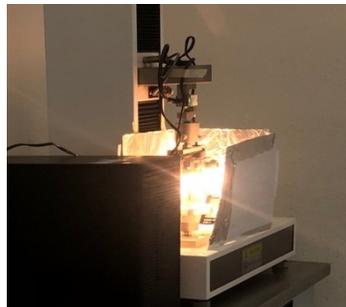


Fig. 5

2. Cada muestra obtenida se almacenó en un recipiente de vidrio con agua destilada a una temperatura de 36°C (Fig. 6) y esta se mantuvo constante al introducir el recipiente de vidrio con las muestras en una incubadora a 36°C (Fig. 7).



Fig 6.



Fig 7.

3. Se colocó la punta en la máquina, que ejercería la presión sobre los alambres y se marcó con plumón sobre cinta adhesiva el lugar exacto donde se iba a ubicar la base, de esta manera cada uno de los alambres recibió una fuerza constante justamente en el centro del mismo, para obtener un resultado correcto (Fig. 8).

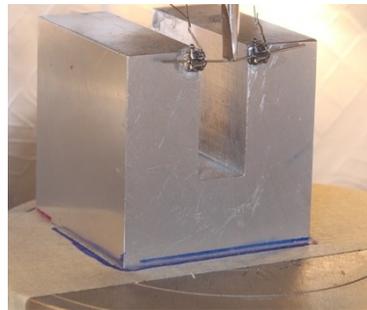


Fig. 8

4. Se procedió a tomar cada muestra de alambre y colocarla dentro de los brackets de autoligado activo (Denstsply Sirona In Ovation[®] R) y posteriormente se colocó ligadura metálica para fijar cada extremo de la muestra a los brackets.

5. Una vez que la máquina ya se encontraba calibrada, con la base colocada en el lugar exacto y con una temperatura constante de aproximadamente de 37° C se procedió a realizar las pruebas a cada muestra obtenida (Fig. 9). Se aplicó una carga constante de 1mm por minuto. Cada prueba duró 3 minutos en total.

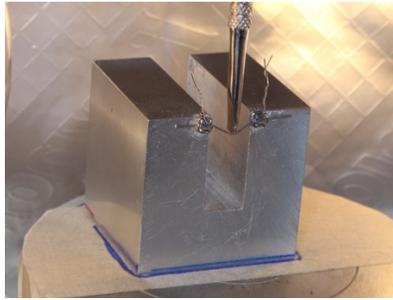


Fig. 9

6. Este proceso se realizó de la misma manera con cada una de las 75 muestras obtenidas, procurando mantener la misma temperatura tanto en las muestras como en el ambiente, todo esto para no obtener variaciones en los resultados.

Fase 3: Recolección de datos

1. Una vez que se realizaron todas las pruebas, se obtuvieron registros de la resistencia a la flexión expresados en Newton (N) por milímetro (mm) en el software de la máquina de pruebas universal (Fig. 10)

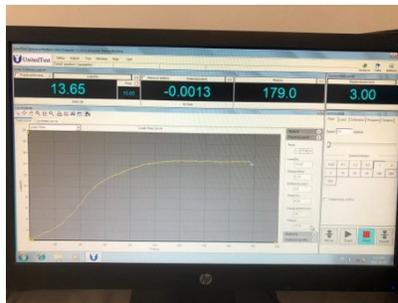


Fig. 10

2. Posteriormente estos datos obtenidos se procesaron en una tabla de Excel para crear una base de datos (Fig. 11) la cual se utilizaría para crear gráficos y poder realizar su respectivo análisis estadístico.

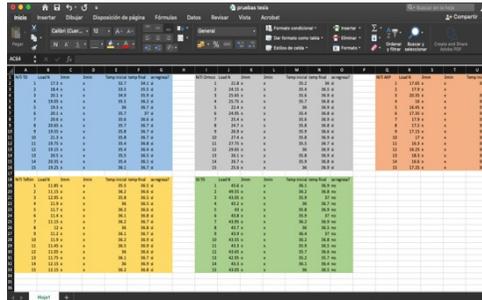


Fig. 11

IV.4.1 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico utilizando la base de datos creada al obtener los resultados del software Graph Path Prism. Se examinó la normalidad de la distribución de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Debido a que cada conjunto de datos si cumplió con los criterios requeridos para el análisis paramétrico, se aplicó la prueba ANOVA para determinar si existía una diferencia significativa entre los grupos. Posteriormente al determinar que si existía diferencia significativa entre los valores obtenidos se procedió a realizar la prueba *Post hoc* de Tukey, considerando un valor estadísticamente significativo ($P < 0.05$).

V. Resultados

En el cuadro 1 se presentan los valores de la resistencia a la flexión de los arcos de alambres de níquel titanio, acero inoxidable y níquel titanio estético. Se puede observar que existe un cambio significativo en el grupo del acero inoxidable el cual resultó con mayor resistencia a la flexión en comparación con los otros grupos analizados.

Cuadro 1. Comparación de la resistencia a la flexión en diferentes tipos de arcos de alambres.

Grupo	NiTi AKP Control - (n=15)	NiTi TEF (n=15)	NiTi SE (n=15)	NiTi ORM Control + (n=15)	SS TD Control + (n=15)	Valor de p
$X \pm DE$ (Rango)						
Resistencia a la flexión (Newton)	17.31 \pm 1.08 (16.00-20.35)	11.72 \pm 0.51 (11.05-12.95)	19.69 \pm 1.00 (17.30-21.30)	25.66 \pm 1.99 (21.80-29.65)	43.84 \pm 1.62 (42.95-49.50)	< 0.0001

NiTi AKP: Arco Níquel Titanio Ah Kim Pech; NiTi TEF: Arco Níquel Titanio Teflón; NiTi TD: Arco Níquel Titanio Superelástico; NiTi ORM: Arco Níquel Titanio Ormco; SS TD: Arco Acero Inoxidable TD Orthodontics; X: Promedio; DE: Desviación estándar. Prueba ANOVA.

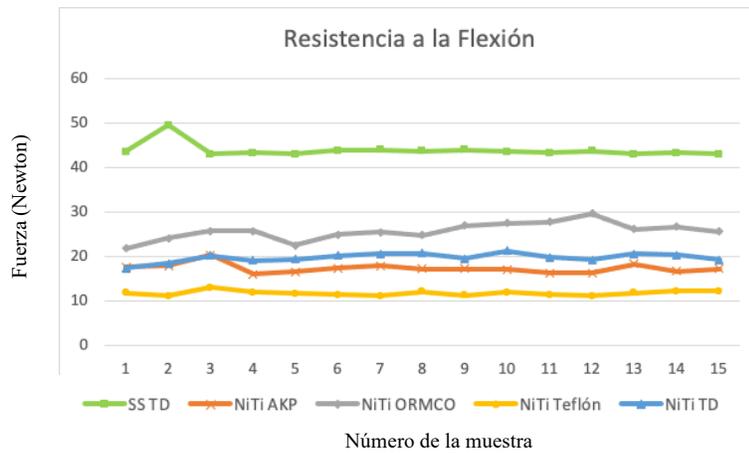
En el cuadro 2 se presentan los valores de la prueba *Post Hoc* de Tukey en la cual se puede observar que existe diferencias estadísticamente significativas entre todos los grupos al haber sido comparados entre cada uno de ellos.

Cuadro 2. Comparación de la resistencia a la flexión *Post Hoc* entre grupos.

Grupo 1	Grupo 2	Valor de p
SS TD	NiTi AKP	< 0.0001
SS TD	NiTi ORM	< 0.0001
SS TD	NiTi TEF	< 0.0001
SS TD	NiTi TD	< 0.0001
NiTi AKP	NiTi ORM	< 0.0001
NiTi AKP	NiTi TEF	< 0.0001
NiTi AKP	NiTi TD	< 0.0001
NiTi ORM	NiTi TEF	< 0.0001
NiTi ORM	NiTi TD	< 0.0001
NiTi TEF	NiTi TD	< 0.0001

Prueba de Tukey.

Los resultados completos de todas las pruebas de resistencia a la flexión en arcos de alambres utilizados en este estudio se pueden observar en la siguiente gráfica.



Gráfica 1. Resultados individuales a la prueba de resistencia a la flexión.

Como se observa en la gráfica 1, el arco de acero inoxidable (SS TD) fue el que presentó mayor resistencia a la flexión, mientras que el arco NiTi Teflón fue el que presentó menor resistencia a la flexión. Y los arcos de NiTi TD y NiTi AKP presentaron valores muy similares.

VI. Discusión

Los arcos de alambres son una parte fundamental del tratamiento ortodóncico, estos son los responsables de almacenar y liberar las fuerzas que provocan el movimiento dental. Estos liberan sus fuerzas mediante la aplicación de flexión, torsión y una combinación de ambas. Como ortodoncistas debemos conocer sus propiedades para entender el correcto funcionamiento de estos. En la actualidad no existe un solo arco de alambre que cumpla con todas las propiedades del alambre ideal, a pesar de las muchas investigaciones que se han llevado a cabo durante décadas para mejorar la calidad de la fabricación de los alambres usados en los tratamientos de ortodoncia.

La odontología contemporánea se dirige hacia la creación de protocolos de atención más modernos y nuevos planes de tratamiento que cada vez se enfocan más en la estética dental. La ortodoncia no es la excepción y por eso muchos investigadores han desarrollado materiales y aditamentos estéticos, sin embargo, existe poca información sobre la calidad de estos materiales, además ningún fabricante menciona cuales son los materiales que utilizan para la elaboración de los arcos estéticos, por lo tanto, aún sigue generando desconfianza en muchos ortodoncistas y por este motivo no ofrecen esta opción de tratamiento a sus pacientes.

El objetivo de investigación fue analizar el comportamiento de arcos de alambres estéticos en comparación con los arcos de alambres convencionales metálicos como el NiTi y el acero inoxidable, sometidos a pruebas de flexión para determinar la calidad en la fabricación de los mismos. Además, se pretendía determinar si los arcos estéticos se pueden utilizar durante todas las etapas del tratamiento de ortodoncia. De esta manera podríamos usar estos alambres como una alternativa de tratamiento ortodóncico.

Muraviev et al. (2001) realizaron pruebas de flexión en alambres de NiTi superelásticos, para determinar valores absolutos de las fuerzas que se producen en los alambres utilizados en ortodoncia. Lo cual, ha marcado un antes y después en las investigaciones ya que los resultados obtenidos en este estudio han servido como referencia para las investigaciones posteriores. En el estudio se analizaron arcos de alambre redondos del .014 al .022 pulgadas y con distancias interbrackets desde los 12 hasta los 20 mm. Con los valores obtenidos en la investigación, nosotros como clínicos podemos tener certeza de cuanta fuerza vamos a aplicar a un diente o a varios dientes con diferentes tipos de alambres, lo que hace que los tratamientos sean más predecibles y con menos errores.

La investigación realizada por Gurgel et al. (2001), detallaba una comparación de fuerzas aplicadas en diferentes alambres NiTi superelásticos, en una prueba de flexión que intentaba aproximarse a las condiciones clínicas. Durante el estudio se utilizaron ocho diferentes tipos de arcos de NiTi superelásticos con medidas de .017x.025 pulgadas, con una temperatura constante de 35° C y con una activación de 2 mm por segundo, obteniendo valores que oscilaban entre los 930 gramos (9.12 N) y los 1340 gramos (13.14 N). En comparación con nuestro estudio, se utilizó la misma medida de arcos de alambres y se obtuvieron valores similares, sin embargo, en el estudio del Dr. Gurgel solamente analizaron arcos de alambres NiTi superelásticos, además utilizaron una temperatura menor y un tiempo de flexión menor al de nuestro estudio. Esto podría reflejar la diferencia de los valores obtenidos, ya que nosotros obtuvimos valores mayores al de este estudio.

Cacciafesta et al. (2001) evaluaron los niveles de fuerza en alambres reforzados con fibra o FRC (Fiber reinforced composites) en diámetros de 0.6 y 1.2 mm contra arcos de alambre de acero inoxidable de .016, .018, .017x.025 y .019x.026 pulgadas y se probaron con una flexión de 1mm y 2mm por minuto. Los resultados arrojaron que los grupos de flexión de 2mm tenían valores de carga significativamente más altos que los grupos de flexión de 1mm. Se concluyó que los FRC de 1.2 mm mostraron valores de carga más altos que los otros alambres de

acero inoxidable y no se encontraron diferencias significativas entre los FRC de 0.6 mm y los alambres de acero inoxidable de .017 × .025 pulgadas. No coincidimos con los resultados obtenidos en este estudio, ya que los valores que obtuvimos al analizar la resistencia de los arcos de alambres de acero inoxidable fueron muy altos en comparación con las demás muestras analizadas. Probablemente el recubrimiento de los arcos de alambre que utilizaron, presentaba una mayor rigidez en su estructura que los arcos que se analizaron en nuestro estudio.

Iijima et al. (2012) determinaron el efecto del recubrimiento sobre las propiedades de alambres de NiTi de ortodoncia estéticos. En el estudio se utilizó dos tipos de arcos de alambres estéticos: arcos con recubrimiento de polímeros y arcos con recubrimiento metálico en medidas de .016x.22 pulgadas y se compararon con arcos de NiTi convencionales del mismo diámetro. Se realizó una prueba de flexión en tres puntos con una temperatura constante de 25° C y con una fuerza de descarga de 3mm por minuto. Posteriormente se determinó que el arco estético con recubrimiento de polímero mostró una fuerza de flexión más alta que el arco de NiTi convencional sin embargo el otro arco con recubrimiento mostró una fuerza de flexión más baja que el arco de NiTi convencional. Como conclusiones mencionaron que la superficie de la capa de recubrimiento de resina en alambres estéticos tenía una morfología más rígida y una dureza mucho menor que los alambres convencionales, que los alambres convencionales tenían propiedades mecánicas similares a los alambres estéticos con recubrimiento y que este recubrimiento en los alambres influye en el comportamiento de flexión y la morfología de la superficie. Coincidimos con las conclusiones que arroja esta investigación porque la flexión de los alambres estéticos estará influenciada directamente por el tipo de material con que se fabrique este tipo de arco. Cada casa comercial fabrica sus arcos estéticos con distintos tipos de materiales, por lo tanto, estos tendrán valores diferentes al ser sometidos a pruebas de esfuerzo y deformación.

Nuestro estudio comprueba que el arco de alambre NiTi Teflón no tiene mayor resistencia a la flexión que el alambre NiTi superelástico y que el alambre de acero inoxidable. El arco de acero inoxidable fue el que presentó mayor resistencia a la flexión por presentar una estructura interna más rígida que los demás. Adicionalmente se pudo identificar que los arcos de alambres NiTi, a excepción del arco de alambre NiTi teflón, tenían valores muy similares. Esto se debe a que los arcos NiTi no tenían ningún tipo de recubrimiento en su estructura que pudieran afectar sus valores al someterlos a una fuerza continua.

La fuerza que liberan los arcos de alambres puede verse afectada por diversos factores, como: el material de recubrimiento, la temperatura en la cavidad oral y la distancia interbrackets. El arco NiTi teflón fue el que presentó menor resistencia a la flexión, ya que este tiene un recubrimiento de polímeros el cual puede variar según la casa comercial. Este recubrimiento además de ser el responsable de la estética del arco de alambre, también afecta directamente a la flexibilidad y rigidez del mismo. Por lo tanto, el nivel de fuerza que este pueda soportar va a depender mucho del tipo de polímero que se utilice al fabricar este tipo de arco.

La distancia interbracket y el tiempo de activación de la fuerza son factores que también pueden afectar la obtención de los resultados de este estudio. La mayoría de los estudios se enfocaban en aplicar fuerzas de descargas de 1 a 2mm por minuto y la distancia interbracket era muy variable, pero según el estudio realizado por Muraviev et al. (2001), determinaron que al existir una mayor distancia interbracket sería inversamente proporcional a la carga aplicada sobre el alambre. En la presente investigación se decidió dejar una distancia interbracket de 14mm, porque es la distancia aproximada que existe entre dos brackets colocados entre 1ero y 2do premolar.

En la actualidad existen pocos estudios que determinen la resistencia a la flexión de arcos de alambres estéticos que utilizamos en el tratamiento ortodóncico. Tener conocimiento de estas características físicas del material nos ayudará a elegir el arco de alambre adecuado según el caso, por lo tanto, podremos lograr tratamientos con mayor efectividad, calidad y estética.

Aún existe muy poca información que respalde la calidad de este producto, por lo que se debe de ser muy cuidadoso al momento de elegir este tipo de material para ser utilizado durante los tratamientos de ortodoncia. Las investigaciones futuras deberían estar enfocadas a los estudios de estos nuevos materiales para que, de esta manera, nosotros como clínicos podamos tener mayor confianza de la calidad de estos productos y que realmente estos si sean una alternativa de elección a los arcos de alambres convencionales.

VII. Conclusiones

El objetivo principal de la investigación fue determinar que alambres de las muestras seleccionadas, tenía mayor resistencia a la flexión, posteriormente se pudo concluir que el arco NiTi teflón tiene menor resistencia a la flexión en comparación con el arco NiTi superelástico y acero inoxidable de .017x.025 pulgadas. Sin embargo, se puede considerar que estos valores podrían verse alterados por factores como la distancia interbracket, la temperatura del ambiente en el que se realicen las pruebas, la fuerza por minuto aplicada y la composición del material de recubrimiento de los alambres estéticos.

Esto se pudo demostrar mediante una prueba de flexión de 3 puntos, la cual arrojó resultados semejantes entre las muestras analizadas, sin embargo, al someter estos valores a un análisis estadístico, se determinó que, a pesar de existir una similitud entre estos resultados, estos si presentan diferencias estadísticamente significativas al comparar cada grupo analizado. Mediante esta investigación también se puede concluir que los alambres estéticos son una alternativa de tratamiento, sobre todo en etapas iniciales e intermedias ya que los valores de fuerza que estos ejercen si pueden lograr un movimiento deseado y controlado en el tratamiento de ortodoncia.

El presente estudio sienta las bases para futuras investigaciones sobre la calidad de los arcos estéticos que se utilizan en ortodoncia y abre el debate que, si estos pueden llegar a reemplazar a los arcos convencionales que usamos en la actualidad, por tener características parecidas y por ejercer fuerzas continuas y ligeras que provocan un movimiento ideal al no causar daños los órganos dentales y así de esta manera poder garantizar un tratamiento de calidad a nuestros pacientes.

VIII. Propuestas

Se propone la realización de una investigación en la cual exista un análisis y comparación de todas las marcas de alambres estéticos que encontremos en el territorio Mexicano, tanto rectangulares como redondos de las medidas más utilizadas. Analizando la flexibilidad, la resistencia y la durabilidad del material, esto ayudará a generar un conocimiento más amplio sobre las características que estos poseen y además nos brindará información sobre cual alambre estético tiene la mejor calidad, dentro de las marcas comercializadas en el país. De esta manera se podría identificar las mejores opciones para llevar a cabo un tratamiento 100% estético de inicio a fin.

IX. Bibliografía

Abdelrahman, Reem Sh, Kazem S. Al-Nimri, and Emad F. Al Maaitah. 2015. "A clinical comparison of three aligning archwires in terms of alignment efficiency: A prospective clinical trial." *Angle Orthodontist* 85(3): 434–39.

Backofen, W.A, Gales, G.F 1952. "Heat treating stainless steel for Orthodontics" *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*: 38(10): 755-765.

Bolender, Yves, Anne Vernière, Christophe Rapin, and Marie Pierryle Filleul. 2010. "Torsional superelasticity of NiTi archwires: Myth or reality?" *Angle Orthodontist* 80(6): 1100–1109.

Bradley, T. G., W. A. Brantley, and B. M. Culbertson. 1996. "Differential scanning calorimetry (DSC) Analyses of superelastic and nonsuperelastic nickel- titanium orthodontic wires." *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*: 109(6): 589–97.

Burstone, Charles J, A Jon Goldberg, and D Ph. 1983. "Maximum forces and deflections form." 84(2).

Cacciafesta, Vittorio et al. 2008. "Force levels of fiber-reinforced composites and orthodontic stainless steel wires: A 3-point bending test." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 133(3): 410–13.

Chen, Stephanie Shih Hsuan et al. 2010. "Systematic review of self-ligating brackets." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 137(6): 726.e1-726.e18.

Gong, Min et al. 2009. "Corrosion behavior of 2205 duplex stainless steel in bittern." *corrosion and protection* 30(7): 473–76.

Gurgel, Jólío de A., Stephen Kerr, John M. Powers, and Vance LeCrone. 2001. "Force-deflection properties of superelastic nickel-titanium archwires." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 120(4): 378– 82.

Hain, Max, Ashish Dhopatkar, and Peter Rock. 2006. "A comparison of different ligation methods on friction." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 130(5): 666–70.

Harris, Edward F., Sheldon M. Newman, and James A. Nicholson. 1988. "Nitinol arch wire in a simulated oral environment. Changes in mechanical properties." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 93(6): 508–13.

Iijima, M. et al. 2017. Orthodontic applications of biomaterials *orthodontic brackets*. Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich. Woodhead: Elsevier, 75-96.

Iijima, Masahiro et al. 2012. "Effect of coating on properties of esthetic orthodontic nickel-titanium wires." *Angle Orthodontist* 82(2): 319–25.

Imai, T. et al. 1999. "Effects of water immersion on mechanical properties of new esthetic orthodontic wire." *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*: 116(5): 533–38.

Ingram, Stephen B., David P. Gipe, and Richard J. Smith. 1986. "Comparative range of orthodontic wires." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 90(4): 296–307.

Kapila, Sunil et al. 1991. "Effects of clinical recycling on mechanical properties of nickel-titanium alloy wires" *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 100: 428–35.

Kapila, Sunil, John W. Haugen, and Larry G. Watanabe. 1992. "Load-deflection characteristics of nickel-titanium alloy wires after clinical recycling and dry heat sterilization." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 102(2): 120–26.

Kapila, Sunil, and Rohit Sachdeva. 1989. "Mechanical properties and clinical applications of orthodontic Wires." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 96(2): 100–109.

Katić, Višnja et al. 2014. "Influence of surface layer on mechanical and corrosion properties of nickel-titanium orthodontic wires." *Angle Orthodontist* 84(6): 1041–48.

Kusy, Robert P. 1997. "A review of contemporary archwires: Their properties and characteristics." *Angle Orthodontist* 67(3): 197–208.

Liu, Jia Kuang, Tzer Min Lee, and I. Hua Liu. 2011. "Effect of loading force on the dissolution behavior and surface properties of nickel-titanium orthodontic archwires in artificial saliva." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 140(2): 166–76.

Magesh, Varadaraju, Pandurangan Harikrishnan, and Devadhas Kingsly Jeba Singh. 2018. "Finite element analysis of slot wall deformation in stainless steel and titanium orthodontic brackets during simulated palatal root torque." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 153(4): 481– 88.

Muguruma, Takeshi et al. 2017. "Characterization of the coatings covering esthetic orthodontic archwires and their influence on the bending and frictional properties." *Angle Orthodontist* 87(4): 610–17.

Muraviev, S. E., G. B. Ospanova, and M. Yu Shlyakhova. 2001. "Estimation of force produced by nickel-titanium superelastic archwires at large deflections." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 119(6): 604–9.

Nordstrom, Barrett et al. 2018. "Comparison of changes in irregularity and transverse width with nickel-titanium and niobium-titanium-tantalum-zirconium archwires during initial orthodontic alignment in adolescents: A double-blind randomized clinical trial." *Angle Orthodontist* 88(3): 348–54.

Ogata, R. H. et al. 1996. "Frictional resistances in stainless steel bracket-wire combinations with effects of vertical deflections." *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 109(5): 535–42.

Oh, Keun Taek, Sung Uk Choo, Kwang Mahn Kim, and Kyoung Nam Kim. 2005. "A stainless steel bracket for orthodontic application." *European Journal of Orthodontics* 27(3): 237–44.

Oh, Keun Taek, and Kyoung Nam Kim. 2005. "Ion release and cytotoxicity of stainless steel wires." *European Journal of Orthodontics* 27(6): 533–40.

Ohtonen, J., P. K. Vallittu, and L. V.J. Lassila. 2013. "Effect of monomer composition of polymer matrix on flexural properties of glass fiber-reinforced orthodontic archwire." *European Journal of Orthodontics* 35(1): 110–14.

Rongo, Roberto et al. 2016. "*In vitro* biocompatibility of nickel-titanium esthetic orthodontic archwires." *Angle Orthodontist* 86(5): 789–95.

Rucker, Brian K., and Robert P. Kusy. 2002. "Elastic properties of alternative versus single-stranded leveling archwires." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 122(5): 528–41.

Sandhu, Satpal S. et al. 2012. "Efficiency, behavior, and clinical properties of superelastic NiTi versus multistranded stainless steel wires: A prospective clinical trial." *Angle Orthodontist* 82(5): 915–21.

Santoro, Margherita, Olivier F. Nicolay, and Thomas J. Cangialosi. 2001. "Pseudoelasticity and thermoelasticity of nickel-titanium alloys: A clinically oriented review. Part I: temperature transitional ranges." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 119(6): 587–93.

Shirakawa, Nobukazu et al. 2018. "Mechanical properties of orthodontic wires covered with a polyether ether ketone tube." *Angle Orthodontist* 88(4): 442–49.

Silva, Dayanne Lopes Da, Claudia Trindade Mattos, Renata Autoun Simão, and Antônio Carlos De Oliveira Ruellas. 2013. "Coating stability and surface characteristics of esthetic orthodontic coated archwires." *Angle Orthodontist* 83(6): 994–1001.

Taha, Mahasen, Abeer El-Fallal, and Heba Degla. 2016. "*In vitro* and *in vivo* biofilm adhesion to esthetic coated arch wires and its correlation with surface roughness." *Angle Orthodontist* 86(2): 285–91.

Taneja, Parul, Manville G. Duncanson, Sharukh S. Khajotia, and Ram S. Nanda. 2003. "Deactivation force-deflection behavior of multistranded stainless steel wires." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 124(1): 61–68.

Verstrynge, Astrid, Jan Van Humbeeck, and Guy Willems. 2006. "*In-vitro* evaluation of the material characteristics of stainless steel and beta-titanium orthodontic wires." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 130(4): 460–70.

Vidoni, Gabriele et al. 2010. "Combined aging effects of strain and thermocycling on unload deflection modes of nickel-titanium closed-coil springs: An *in-vitro* comparative study." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 138(4): 451–57.

Walker, Mary P. et al. 2007. "Mechanical properties and surface characterization of beta titanium and stainless steel orthodontic wire following topical fluoride treatment." *Angle Orthodontist* 77(2): 342–48.

Washington, Bradford et al. 2015. "Contemporary esthetic nickel-titanium wires: Do they deliver the same forces?" *Angle Orthodontist* 85(1): 95–101.

Wilkinson, John. 1962. "Some metallurgical orthodontic stainless steel." *American Journal of Orthodontics* 48(3): 192–206.

Wilkinson, Peter D., Peter S. Dysart, James A.A. Hood, and G. Peter Herbison. 2002. "Load-deflection characteristics of superelastic nickel-titanium orthodontic wires." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 121(5): 483–95.

Zinelis, Spiros et al. 2007. "Why do nickel-titanium archwires fracture intraorally? Fractographic analysis and failure mechanism of *in-vivo* fractured wires." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 132(1): 84–89.

Zinelis, Spiros, Olga Annousaki, Theodore Eliades, and Margarita Makou. 2004. "Elemental composition of brazing alloys in metallic orthodontic brackets." *Angle Orthodontist* 74(3): 394–99.

X. Anexos

X1.1 Hoja de recolección de datos

Cuadro 3. Resistencia a la flexión de arcos de alambre NiTi TD .017x.025.

Número de muestras	Fuerza (Newton)	Desplazamiento (milímetros)	Tiempo (minutos)	Temperatura inicial (C°)	Temperatura final (C°)
1	17.30	3.00	3.00	32.70	34.10
2	18.40	3.00	3.00	33.50	35.50
3	20.10	3.00	3.00	34.90	35.90
4	19.05	3.00	3.00	35.50	36.20
5	19.30	3.00	3.00	36.00	36.70
6	20.10	3.00	3.00	35.70	37.00
7	20.60	3.00	3.00	35.60	36.60
8	20.65	3.00	3.00	35.70	36.70
9	19.55	3.00	3.00	35.80	36.70
10	21.30	3.00	3.00	35.80	36.70
11	19.75	3.00	3.00	35.40	36.80
12	19.15	3.00	3.00	35.40	36.40
13	20.50	3.00	3.00	35.50	36.50
14	20.35	3.00	3.00	35.40	36.10
15	19.25	3.00	3.00	36.10	36.70

Cuadro 4. Resistencia a la flexión de arcos de alambre NiTi Teflón .017x.025.

Número de muestras	Fuerza (Newton)	Desplazamiento (milímetros)	Tiempo (minutos)	Temperatura inicial (C°)	Temperatura final (C°)
1	11.85	3.00	3.00	35.50	36.50
2	11.15	3.00	3.00	36.20	36.60
3	12.95	3.00	3.00	35.80	36.50
4	11.90	3.00	3.00	36.00	36.50
5	11.70	3.00	3.00	36.20	36.60
6	11.40	3.00	3.00	36.10	36.80
7	11.15	3.00	3.00	36.20	36.70
8	12.00	3.00	3.00	36.00	36.80
9	11.20	3.00	3.00	36.10	36.70
10	11.90	3.00	3.00	36.20	36.90
11	11.45	3.00	3.00	36.50	36.90
12	11.05	3.00	3.00	36.00	36.60
13	11.75	3.00	3.00	36.10	36.70
14	12.15	3.00	3.00	36.00	36.90
15	12.15	3.00	3.00	36.20	36.80

Cuadro 5. Resistencia a la flexión de arcos de alambre NiTi Ormco .017x.025.

Número de muestras	Fuerza (Newton)	Desplazamiento (milímetros)	Tiempo (minutos)	Temperatura inicial (C°)	Temperatura final (C°)
1	21.80	3.00	3.00	35.20	36.00
2	24.15	3.00	3.00	35.40	36.50
3	25.65	3.00	3.00	35.60	36.90
4	25.75	3.00	3.00	35.70	36.80
5	22.40	3.00	3.00	36.00	36.90
6	24.95	3.00	3.00	35.40	36.80
7	25.40	3.00	3.00	35.60	36.90
8	24.70	3.00	3.00	35.80	36.80
9	26.90	3.00	3.00	35.90	36.60
10	27.40	3.00	3.00	35.80	36.90
11	27.75	3.00	3.00	35.50	36.70
12	29.65	3.00	3.00	36.00	36.90
13	26.10	3.00	3.00	35.80	36.90
14	26.70	3.00	3.00	35.90	36.80
15	25.60	3.00	3.00	36.00	36.90

Cuadro 6. Resistencia a la flexión de arcos de alambre NiTi Ah Kim Pech .017x.025.

Número de muestras	Fuerza (Newton)	Desplazamiento (milímetros)	Tiempo (minutos)	Temperatura inicial (C°)	Temperatura final (C°)
1	17.65	3.00	3.00	36.20	36.50
2	17.90	3.00	3.00	36.00	36.40
3	20.35	3.00	3.00	36.20	36.50
4	16.00	3.00	3.00	36.40	36.70
5	16.45	3.00	3.00	35.90	36.50
6	17.35	3.00	3.00	36.50	36.40
7	17.9	3.00	3.00	35.80	36.40
8	17.2	3.00	3.00	36.20	36.50
9	17.15	3.00	3.00	36.30	36.60
10	17.00	3.00	3.00	36.40	36.50
11	16.30	3.00	3.00	36.40	36.60
12	16.25	3.00	3.00	36.20	36.50
13	18.30	3.00	3.00	36.30	36.80
14	16.60	3.00	3.00	36.10	36.70
15	17.25	3.00	3.00	36.20	36.50

Cuadro 7. Resistencia a la flexión de arcos de alambre de acero inoxidable TD .017x.025.

Número de muestras	Fuerza (Newton)	Desplazamiento (milímetros)	Tiempo (minutos)	Temperatura inicial (C°)	Temperatura final (C°)
1	43.60	3.00	3.00	36.10	36.90
2	49.55	3.00	3.00	36.20	36.80
3	43.05	3.00	3.00	35.90	37.00
4	43.20	3.00	3.00	36.00	36.70
5	43.00	3.00	3.00	35.80	36.90
6	43.80	3.00	3.00	35.90	37.00
7	43.95	3.00	3.00	36.20	36.90
8	43.70	3.00	3.00	36.00	36.50
9	43.90	3.00	3.00	36.40	37.00
10	43.55	3.00	3.00	36.20	36.80
11	43.30	3.00	3.00	35.90	36.50
12	43.65	3.00	3.00	35.70	36.60
13	42.95	3.00	3.00	35.20	35.70
14	43.30	3.00	3.00	36.10	36.40
15	43.05	3.00	3.00	36.00	36.50