



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---



## **FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO  
MECÁNICO DE 4 DISTINTAS MARCAS DE ARCOS DE  
NITI DE DIFERENTE GAMA DE PRECIOS EN  
CONDICIONES DE TEMPERATURA ORAL.

### **T E S I N A**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**C I R U J A N O   D E N T I S T A**

P R E S E N T A:

GUSTAVO CHÁVEZ MONTERO.

TUTOR: Dr. GABRIEL SÁEZ ESPÍNOLA.

ASESORA: Mtra. ARCELIA FELICITAS MELÉNDEZ OCAMPO.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este proceso fue bastante duro, pero sin mis padres hubiera sido imposible. Gracias mamá por regalarme años de tu vida para que yo pueda ser quien soy, agradezco infinitamente tu sacrificio y trabajare duro para pronto poder regresarte un poco de lo que tú me diste. Gracias padre por tu esfuerzo, tus palabras de aliento, tus consejos y por hacerme crecer como persona. Gracias hermano por estar ahí cuando más te necesitaba. Abuelito espero que en donde estes, te sientas orgulloso de quien soy, gracias. Abuelita, gracias por siempre procurarme, tus comidas, tus notas y tus palabras siempre llegaban cuando más las necesitaba. Gracias a todos, por su esfuerzo hoy soy quien soy. Gracias Ginger, fuiste quien me acompañó en duros procesos y mi acompañante incondicional en esas noches de desvelo. Los amo. Por último, pero igualmente importante gracias a todos esos maestros que me ayudaron a crecer intelectualmente y como persona.

## INDICE

<b>1. Resumen.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Fundamento teórico.....</b>	<b>7</b>
3.1 Historia y bases de la aleación de NiTi.....	10
3.2 Pruebas mecánicas en arcos de NiTi .....	15
<b>4. Planteamiento del problema.....</b>	<b>18</b>
<b>5. Justificación.....</b>	<b>19</b>
<b>6. Hipótesis.....</b>	<b>20</b>
6.1. Hipótesis nula	
6.2. Hipótesis	
<b>7. Objetivos.....</b>	<b>21</b>
7.1 General	
7.2 Específicos	
<b>8. Material y método.....</b>	<b>22</b>
8.1 Tipo de estudio.	
8.2 Universo de estudio, selección y tamaño de la muestra.	
8.3 Criterios de selección.	
8.3.1 Criterios de inclusión.	
8.3.2 Criterios de exclusión.	

<b>8.4 Operacionalización de las variables.....</b>	<b>24</b>
<b>8.4 Recursos.....</b>	<b>25</b>
8.4.1 Recursos humanos.	
8.4.2 Recursos materiales.	
8.4.3 Recursos financieros.	
<b>8.5 Método.....</b>	<b>26</b>
8.5.1 Desarrollo de las pruebas.	
8.5.1.2 Obtención de las muestras.	
8.5.2 Proceso experimental.	
8.5.2.1 Pruebas de Uniformidad.	
8.5.2.2 Pruebas de flexión a 3 puntos.	
<b>9. Resultados.....</b>	<b>41</b>
<b>10. Discusión.....</b>	<b>48</b>
<b>11. Conclusiones.....</b>	<b>49</b>
<b>12. Referencias.....</b>	<b>50</b>

## **1.RESUMEN**

La aleación de Níquel-Titanio (NiTi) se encuentra dentro de las aleaciones con memoria de forma (AMF); que dentro de sus características sobresale la superelasticidad y la recuperación de su forma después de sufrir alguna deformación.

En el siguiente estudio se decidió evaluar la uniformidad y desempeño ante pruebas de flexión a tres puntos de arcos Ormco NiTi, American Orthodontics NT3, Borgatta Memalloy y Ahkim- Pech Econoline como lo marcan las normas ISO 15841 y ADA No.32

Se evaluaron arcos del mismo lote y del calibre 0.016” de cada una de las marcas formándose 4 grupos de 10 arcos cada uno. Se realizaron pruebas de uniformidad utilizando un tornillo micrométrico de la marca japonesa Mitotuyo. Las pruebas se llevaron a cabo en un cuarto de temperatura y humedad controlada. Las pruebas de flexión se realizaron con la maquina INSTRON® modelo 5565 con los aditamentos para pruebas a 3 puntos por lo que la maquina se calibró a una velocidad de 1mm x minuto. Para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas de fuerza de flexión y la máxima deflexión de los arcos en NiTi entre los grupos no paramétrica de Mann-Whitney para comparar el comportamiento de cada marca durante la prueba y después una prueba Tukey para comparar el comportamiento de los arcos entre las marcas.

Dentro de las marcas de gama baja había más irregularidad en sus arcos, mientras que en la gama alta se presentaron de forma más constante y mejor desempeño el las pruebas de flexión a tres puntos.

Palabras clave: Arcos en NiTi, flexión, pruebas mecánicas, prueba a tres puntos, pruebas de uniformidad.

## **2. INTRODUCCION.**

La aleación de Níquel-Titanio (NiTi) surgieron en la época de los 60 dentro de los laboratorios navales de los Estados Unidos de América descubierta por el metalúrgico J. Buehler. Esta aleación se encuentra dentro de las aleaciones con memoria de forma (AMF); que dentro de sus características sobresale la superelasticidad y la recuperación de su forma después de sufrir alguna deformación. Estas características la volvieron popular rápidamente en el área odontológica. Esta aleación la podemos encontrar en limas de sistema rotatorio y en arcos de ortodoncia, que es en el área en donde se enfocara la presente investigación.

Esta aleación ha estado en constante observación por la comunidad científica y también se busca una mejor constante de la misma; ya sea añadiendo nuevos elementos a la aleación clásica o mejorando sus procesos de manufactura para así ofrecer un producto más atractivo y eficaz. En la actualidad son una de las alternativas de la ortodoncia ya que por sus propiedades como lo son la superelasticidad y su alta resistencia plástica se pueden utilizar en casos severos de apiñamiento dental sin que este pierda su forma, además de realizar movimientos suaves y controlados.

Las diferentes casas comerciales ofrecen muchas opciones que se ajustan a las necesidades de cada especialista con base en esto surge la inquietud acerca de que si el costo del material influye sobre las características de los arcos.

### **3. FUNDAMENTO TEÓRICO**

Realizando un repaso por la literatura podemos encontrar que los arcos en NiTi están dentro del ojo de la investigación odontológica; estos llevan siendo estudiados durante años para evaluar tanto su desempeño como su estructura y su comportamiento ante diferentes pruebas que desafían sus estándares.

Dentro de las evaluaciones en los últimos años podemos observar diversas formas de utilizar esta prueba para evaluar las propiedades mecánicas de los arcos en NiTi.

Álvarez, Sáez <sup>1</sup>, evaluaron la resistencia a la fatiga en arcos NiTi utilizando la maquina INSTRON<sup>®</sup> en donde lograron observar que los arcos ORMCO<sup>®</sup> tiene mayor resistencia a la fatiga que las marcas 3M<sup>®</sup> y GAC<sup>®</sup>.

En 2020 Pimentel <sup>2</sup> realizo pruebas de flexión en 3 marcas diferentes de Arcos (Ahkim-Pech<sup>®</sup>, GAC<sup>®</sup>, 3M<sup>®</sup>), en donde se pudieron observar variaciones en el comportamiento de memoria de forma, siendo Ahkim-Pech<sup>®</sup> la marca con un rendimiento más bajo frente a sus competidores.

F. Ahmad y colaboradores<sup>3</sup>, realizaron pruebas de deflexión a arcos de las marcas Ormco<sup>®</sup>, American Orthodontics<sup>®</sup>, Ortho Organizers<sup>®</sup>, Rocky Mountain Orthodontics<sup>®</sup>, 3M<sup>®</sup>, MO<sup>®</sup>, Natural<sup>®</sup>, Orthomatix<sup>®</sup>, en calibre 0.016” Se hicieron las pruebas en base a la norma ISO 15841. Los resultados marcaron que existen diferencias significativas entre los arcos de las diferentes marcas comerciales.

Jaramillo <sup>4</sup> en 2024 realizó un estudio para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las marcas BioStarter (Forestadent), Ni-Ti Wire Series<sup>®</sup> (MEM Dental), Ni-Ti Cuper (Ormco<sup>®</sup>), Ni-Ti Termo activado (3M<sup>®</sup>), y Ni-Ti Supe

relastic (Meite Dental<sup>®</sup>), en donde encontraron que había diferencias estadísticamente significativas entre todas las aleaciones exceptuando Forestadent – ORMCO<sup>®</sup>, Forestadent – MEM<sup>®</sup> y ORMCO<sup>®</sup> – MEM<sup>®</sup>. Estas pruebas se llevan realizando durante varios años, en 2011 en la Universidad tecnológica de Tailandia S. Dechkunakorn y asociados<sup>5</sup> realizaron pruebas de flexión a tres puntos en diferentes marcas de arcos en NiTi. Concluyeron que los arcos de diferentes marcas comerciales no se pueden comportar de la misma manera debido a cambios en los procesos de su manufacturación por lo cual se debe tener en cuenta la marca que se utiliza en cada caso.

Recientemente en el año 2022, Vásquez<sup>6</sup> realizó pruebas de flexión a 3 puntos en arcos en NiTi de la casa TD Orthodontics<sup>®</sup>, donde comparo el comportamiento de arcos en NiTi estéticos y arcos en NiTi superelásticos esto a una temperatura de 37° C. Su investigación arrojó que el arco en NiTi de teflón tiene mayor resistencia a flexión que el arco en NiTi superelástico.

Darquea y colaboradores<sup>7</sup> realizaron pruebas de flexión en 5 tipos diferentes de arcos en NiTi (0,014”, 0,016”, 0,018”, 0,016”x 0,016”, 0,016”x 0,022”) evaluándolos en un modelo con un sistema de brackets para realizar las pruebas, además del método convencional en el cual los resultados en las pruebas fueron significativamente diferentes. En las pruebas realizadas de manera convencional los arcos se comportaron como la literatura lo dicta, donde su fuerza de descarga es constante y se muestra una menor fricción. En las pruebas realizadas en el modelo con el sistema de Brackets presentó un comportamiento alterado debido a la resistencia friccional.

En la Universidad Autónoma de Querétaro Vite<sup>8</sup>, realizó pruebas de flexión en 3 diferentes marcas de arcos (Cooper NiTi a 35, Neo Sentalloy<sup>®</sup> y Bioforce<sup>®</sup>), sus pruebas arrojaron como resultado que los arcos Copper NiTi resultaron

con una mayor resistencia a la flexión seguidos de los arcos Neo Sentalloy® y por ultimo los arcos Bioforce®.

Todas estas investigaciones abren la puerta para seguir evaluando las características mecánicas de los arcos de las casas comerciales que se tienen al alcance y así poder tener un panorama más amplio al elegir una de ellas para utilizarla en los tratamientos.

### **3.1 HISTORIA Y BASES DE LA ALEACIÓN EN NITI.**

Las aleaciones con memoria de forma (AMF) presentan una fase austenita y otra fase martensita y esta depende de la carga y fuerza que se les aplique. Su característica más relevante resulta de la transformación entre las fases austenítica y martensítica, estas poseen dos características llamadas efecto de memoria y super elasticidad<sup>8,9,10</sup>.

Las aleaciones NiTi (Níquel Titanio) son componentes intermetálicos equiatómicos con diferentes y variadas propiedades que podemos manipular gracias a su método de fabricación. Estas sufren cambios en su estructura cristalina al ser sometidos a cambios de temperatura.

Estas aleaciones cambian de su fase de alta temperatura o fuerte conocida como la austenítica a la fase de baja temperatura o débil llamada martensítica. Estas características pueden cambiar también cuando en la fase martensítica se aplica fuerza puede ser fácilmente deformada, pero en cierto rango de temperatura puede ser devuelta a su fase austenítica.

En estas aleaciones al calentar o enfriar los cambios no ocurren en una sola temperatura, este cambio es gradual y tiene una temperatura inicial y otra final<sup>11,12,13</sup>.

Se explican las fases de la siguiente manera:



*Fig.1.Fases austeníticas y martensítica <sup>1</sup>.*

- Fase martensítica inicial (Ms): Es la temperatura en que la aleación pasa de fase austenítica a martensítica cuando es sometido a una baja temperatura.
- Fase martensítica final: Esta es la temperatura en la que el cambio de fases termina.
- Fase austenítica inicial: Es cuando el arco recibe un aumento de temperatura y cambia de martensítica a austenítica.
- Fase austenítica final: Es la temperatura en la que el cambio de fase de martensítica a austenítica termina <sup>10,11,12,13</sup>.

Dentro de estas AMF se encuentra el NITINOL (acrónimo utilizado para llamar a todas las aleaciones del Níquel-Titanio) es una de las aleaciones que ha revolucionado el mundo de la odontología. Esta fue descubierta por el metalúrgico William J. Buehler mientras trabajaba en un proyecto del Laboratorio Naval en el año de 1960. Posteriormente en la década de 1970, Andreasen fue el primero en explorar el uso de la aleación Níquel-Titanio (NiTi) en ortodoncia, se dio cuenta de que esta aleación, originalmente desarrollada en el Naval Ordnance Laboratory (Nitinol), tenía propiedades ideales para los tratamientos ortodónticos debido a su super elasticidad y su efecto de memoria de forma. Más tarde, la marca Unitek Corporation® registro la marca el nombre de Nitinol y comercializo el producto. El uso del NiTi en arcos ortodónticos en 1977, marcando un antes y un después en la ortodoncia moderna.



*Fig.2. Dr. Andersen y Dr. Buehler. Fotos extraídas de internet <sup>2</sup>.*

Miura durante este tiempo se encontraba realizando una investigación sobre la biología básica del movimiento dental con la idea de establecer el concepto de movimiento ideal dental, por lo cual estaba buscando un material que pudiera llevar a cabo un movimiento estable con una fuerza continua, en el año de 1985 de la mano de la mano de TOMY Incorporated® y Furukawa Electric Co®. Realizaron una investigación, dando como resultado una aleación, la cual se caracterizó por dar un movimiento ideal al diente y por tener un 8% de transformación martensítica inducida por el esfuerzo, lo cual daba características super elásticas, fue comercializada por la casa GAC bajo el nombre de Sentalloy®<sup>14,15</sup>.



Fig. 3. Dr. Miura y Arco Sentalloy®. Foto sacada de internet<sup>3</sup>.

Según Miura las dos principales características de los arcos en Niti son:

- La superelasticidad: Esta característica consiste en que el arco pueda generar fuerzas estables durante tiempos prolongados.
- Memoria de forma: Se refiere a la característica de la aleación para volver a su forma original después de aplicar fuerza<sup>15,16</sup>.

Estas se dan gracias a la transformación martensítica termoelastica entre la fase austenítica y la fase martensítica. En los arcos en NiTi tenemos una memoria de forma simple, que sucede cuando esta AMF se deforma a bajas

temperaturas, a esta fase se le llama martensítica, cuando se le aplica calor y vuelve a su forma inicial se le llama austenítica<sup>10,12,16,17</sup>.

La super elasticidad consiste en el que la aleación sea sometida a una temperatura constante cercana a los 37°C (la temperatura oral) se produce una transformación de la fase austenítica a la martensítica al aumenta las fuerzas aplicadas, esta transformación puede revertirse al disminuir la tensión y el arco regresa a su forma original sin tener una deformación plástica, esto gracias a su capacidad de regresar a su fase austenítica en el margen de los 7°C de temperatura<sup>10,11,17,18</sup>.

Al colocar estos arcos dentro de agua fría tienen una transformación de su fase austenítica a martensítica, esta última es reversible, en este momento el arco es flexible, pero carece de fuerza. Cuando sometemos el arco a un aumento de temperatura como puede ser la de la cavidad oral, este pasa de una fase martensítica a austenítica, en donde se vuelve más rígido y libera más fuerza.

Estas propiedades hacen que este pueda recuperar su forma después de ser deformado elásticamente de un 8% a un 10% <sup>1,2,18,19</sup>.

En las investigaciones del Torres y sus colaboradores<sup>17</sup> se menciona que las características más importantes de los arcos en NiTi se encuentra el bajo coeficiente de fricción, alta flexibilidad, alta resistencia, alta resistencia a la corrosión y bajo modulo elástico (este último siendo parecido al del hueso con un valor de  $E=10-20$  GPa)<sup>18,19</sup>.

Junto con estas características se puede sumar que son biocompatibles, no tienen un grado alto de citotoxicidad, son altamente resistentes a la corrosión. Estas características han hecho que el arco NiTi sea popular para las fases de nivelación y alineación. También es popular durante las fases tempranas del tratamiento debido a la super elasticidad<sup>1,19</sup>.

### **3.2 PRUEBAS MECÁNICAS EN ARCOS NITI.**

Existen diferentes pruebas mecánicas para evaluar las características de los arcos en Niti. Una de las más utilizadas es la prueba en tres puntos. Esta es una prueba de flexión, consiste en colocar nuestro arco en un apoyo que consta de 2 hombros paralelos y el inserto TUP golpea la muestra en un punto medio.



*Fig. 4. Imagen de los accesorios para la prueba de 3 puntos de la maquina INSTRON, obtenida de internet <sup>4</sup>.*

Durante el proceso de la prueba, la carga aplicada es registrada por el sensor (piezoeléctrico o extensómetro) que esta incrustado en el TUP, estos datos son analizados y arroja una curva de tiempo que se carga para obtener la cura de fuerza- deflexión. Esta curva es el resultado de la velocidad de deformación de la muestra mientras es impactada<sup>20,21</sup>.

Las pruebas en arcos ortodónticos están basadas en la norma ISO 15841 y en la norma 032 de la American Dental Association. Estas clasifican los arcos en 2 tipos:

- Arcos tipo 1: Este tipo de arcos tienen un comportamiento lineal durante la descarga a temperaturas de hasta 50° C.
- Arcos tipo 2: Estos arcos no presentan un comportamiento lineal durante la descarga a temperaturas de 50° C.

Las normas también especifican que para realizar pruebas de tres puntos debemos tener en cuenta:

- La máquina debe estar calibrada a una velocidad de 0,5 mm/minuto a 2.0mm/minuto
- La velocidad de la prueba debe estar entre los  $1,25 \pm 0.75$  mm/minuto.
- Las muestras deben ser cortadas en un mínimo de 30mm

El ensayo se debe practicar con 3 puntos simétricos, el penetrador colocado a la mitad y la longitud del alambre entre los soportes no debe pasar los 10 mm como se muestra en la figura 5.

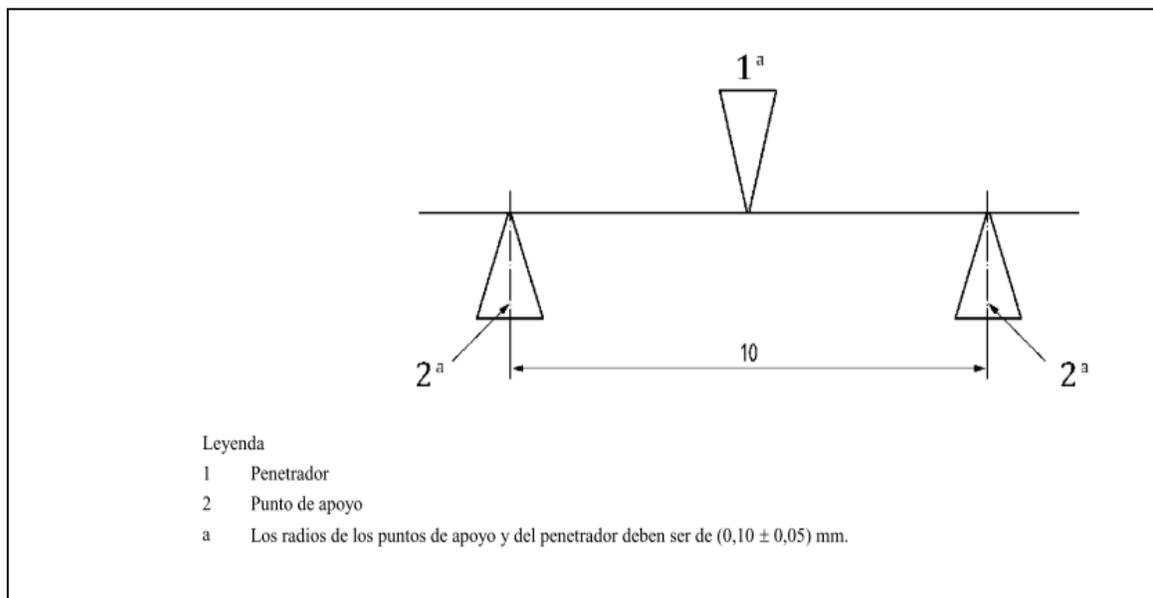


Figura 5. Muestra de la estructura de la prueba de 3 puntos. Imagen extraída de la Norma ADA No.32.<sup>5</sup>

- En caso de arcos rectangulares la prueba se realizará en dirección de la altura del alambre<sup>21,22</sup>.

En el caso de ser con arcos de tipo 1 las pruebas se realizarán de la siguiente forma:

- En estos arcos se puede realizar la prueba a una temperatura ambiente  $(23) \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- El arco debe desviarse hasta la desviación permanente de 0,1 mm.

En caso de aplicarse la prueba en arcos de tipo 2 se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las pruebas se pueden realizar en temperaturas de  $(36) \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- El arco debe desviarse hasta 3.1mm

Dentro de las pruebas de uniformidad las Normas marcan que estas deben realizarse con calibradores, micrómetros o calibradores ópticos y estos deben tener una exactitud de 0.005 mm. <sup>21,22</sup>



*Figura 6. Calibrador óptico  
Imagen extraída de internet <sup>6</sup>.*

*Figura 7. Micrómetro.  
Imagen extraída de internet <sup>7</sup>.*

#### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Dentro del mundo de la odontología se necesita que los materiales que se ocupan estén estrictamente regulados. Esto para garantizar que las casas comerciales y sus productos sean de la más alta calidad y que cumplan con los requisitos. Aunque muchas veces se cumple con el mínimo requerido y esto podría verse reflejado en el resultado del tratamiento en los pacientes.

El siguiente estudio planea analizar el comportamiento de 4 marcas diferentes de arcos en NiTi en diferentes gamas de precios para así evaluar si realmente el costo del producto influye directamente en el desempeño del mismo.

## **5. JUSTIFICACION**

Realizar el presente estudio permitirá, por un lado, determinar si el costo y las propiedades físico-mecánicas de los arcos en NiTi están relacionadas y cumplen con lo que marcan las normas ISO 15481 y ADA No. 32. También evaluar si los arcos de las marcas señaladas en el estudio cuentan con las dimensiones establecidas por las normas. Por otro lado, presentar información confiable generada a partir de la investigación para así brindar a los especialistas mas herramientas a la hora de considerar los materiales a utilizar en su día a día dentro de la clínica.

## **6. HIPÓTESIS**

### **6.1 Hipótesis Nula**

$H_0$  No se encontrarán diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento mecánico ante las pruebas de flexión a tres puntos y de uniformidad de gama alta vs gama baja.

### **6.2 Hipótesis**

$H_1$  Se encontrarán diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento mecánico ante las pruebas de flexión a tres puntos y de uniformidad de gama alta vs gama baja.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 Objetivo general.**

Evaluar la uniformidad y desempeño ante pruebas de flexión a tres puntos de arcos Ormco® NiTi, American Orthodontics® NT3, Borgatta® Memalloy y Ahkim-Pech® Econoline como lo marcan las normas ISO 15841 y ADA No.32 y determinar si el costo realmente influye en el desempeño de los arcos en NiTi.

### **7.2 Objetivo específico.**

- Analizar el comportamiento de los arcos durante la máxima flexión y máxima deflexión.
- Realizar una comparativa entre las diferentes marcas y así identificar si el costo influye dentro del desempeño de los arcos.
- Evaluar y comparar el desempeño de cada muestra durante las pruebas mecánicas.
- Realizar pruebas estadísticas que ayuden a tener un mejor panorama del comportamiento durante las pruebas.

## **8. MATERIALES Y METODOS.**

### **8.1 Tipo de estudio.**

Estudio experimental.

### **8.2 Universo de estudio, selección y tamaño de la muestra.**

- Universo de estudio: Arcos en NiTi en calibre 0.016”
- Se utilizarán 40 muestras divididas en:
  - Grupo 1. Gama alta.
    - 10 arcos de la marca Ormco®.
    - 10 arcos de la marca American Orthodontics®.
  - Grupo 2 gama baja.
    - 10 arcos de la marca Borgatta®.
    - 10 arcos de marca Ahkim-Pech®.

Se utilizarán 10 muestras de cada marca de arco con un tamaño mínimo de 30 mm (según las regulaciones de las normas ADA No.32 e ISO 15481); se decidió utilizar el calibre .016”, así como arcos superiores para establecer una estandarización. Las muestras se tomaron de arcos del mismo lote. Se usarán las marcas:

- Ormco® NiTi.
- American Orthodontics® NT3.
- Borgatta® Memalloy.
- Ahkim-Pech® Econoline.

### **8.3 Criterios de selección.**

Los criterios de selección se basaron en:

- Arcos de las marcas Ormco® NiTi, American Orthodontics® NT3, Borgatta® Memalloy, Ahkim-Pech® Econoline.
- Arcos en NiTi superiores redondos de .016”.
- Arcos en NiTi que fueran del mismo lote.
- Estos deben estar en empaques sellados.
- Arcos en buenas condiciones.

#### **8.3.1 Criterios de inclusión.**

Arcos redondos NiTi de calibre .016” con mismo número de lote, de las marcas Akhim-Pech® Econoline, Borgatta® Memalloy, Ormco® NiTi, American Orthodontics® NT3. Deben estar en empaques cerrados.

#### **8.3.2. Criterios de exclusión.**

Arcos que no sean del mismo lote, que no estén dentro de las marcas antes mencionadas, que sean de calibre y forma diferente, que vengan dañados, arcos que se encuentren fuera de sus empaques. Arcos que durante las pruebas sufran una fractura o presenten algún daño significativo.

#### **8.4 Variables de estudio.**

<b>Variable</b>	<b>Conceptualización</b>	<b>Operacionalización</b>	<b>Escala de medición</b>
Flexión de los arcos en NiTi y la fuerza necesaria para flexionarlos a 3 mm.	<p>La Flexión es la deformación que sufre un material al aplicarse una fuerza en su eje longitudinal.</p> <p>La fuerza es una magnitud vectorial que representa toda causa capaz de modificar el estado de movimiento o reposo de un cuerpo.</p>	Se determinó que la fuerza se mediría en Newtons y se determinó que 3 mm de Flexión sería el punto máximo de flexión.	Razón.
Uniformidad de los arcos en NiTi.	Es la característica que mantiene un material de tener un valor constante en sus medidas.	Se determinó en mm y se tomaron medidas en 3 puntos a lo largo del arco y se tomarían 2 medias rotando el arco 90 grados.	Razón.

## **8.5. Recursos.**

### **8.5.1 Recursos humanos.**

Los participantes dentro del estudio fueron:

- Dr. Gabriel Sáez Espínola quien fungió como tutor del trabajo y supervisor en el laboratorio.
- Mtra. Arcelia Felicitas Meléndez Ocampo, que estuvo presente en la parte del desarrollo estadístico y en la redacción del trabajo.
- Gustavo Chávez Motero quien desarrollo los temas y el presente trabajo.

### **8.5.2 Recursos materiales.**

Los recursos materiales fueron:

- Máquina para pruebas mecánicas INSTRON® modelo 5567P7728 fabricada en Estados Unidos.
- Micrómetro marca Mituyo®, fabricado en Japón con número de serie S.193-111.
- Termómetro ambiental digital de la marca Esteren®.
- Hojas milimétricas.
- Arcos NiTi de .016" redondo superior de la marca Akhim-Pech Econoline®.
- Arcos NiTi de .016" redondo superior de la marca Borgatta Memalloy®.
- Arcos NiTi de .016" redondo superior de la marca Ormco NiTi®.
- Arcos NiTi de .016" redondo superior de la marca American Orthodontics NT3®.

### **8.5.3 Recursos financieros.**

Los recursos financieros estuvieron a cargo del estudiante Gustavo Chávez Montero.

## 8.6. Métodos.

### 8.6.1. Desarrollo de las Pruebas.

#### 8.6.1.2 Obtención de las muestras.

Se seleccionaron 4 marcas de arcos en NiTi tomando en cuenta su costo. Se utilizaron las marcas:

Ormco® Niti. Con número de lote 102449843.



Fig. 8. Arcos Ormco® NiTi.

*Imagen Propia.*

American Orthodontics® NT3 con número de lote P0424139.

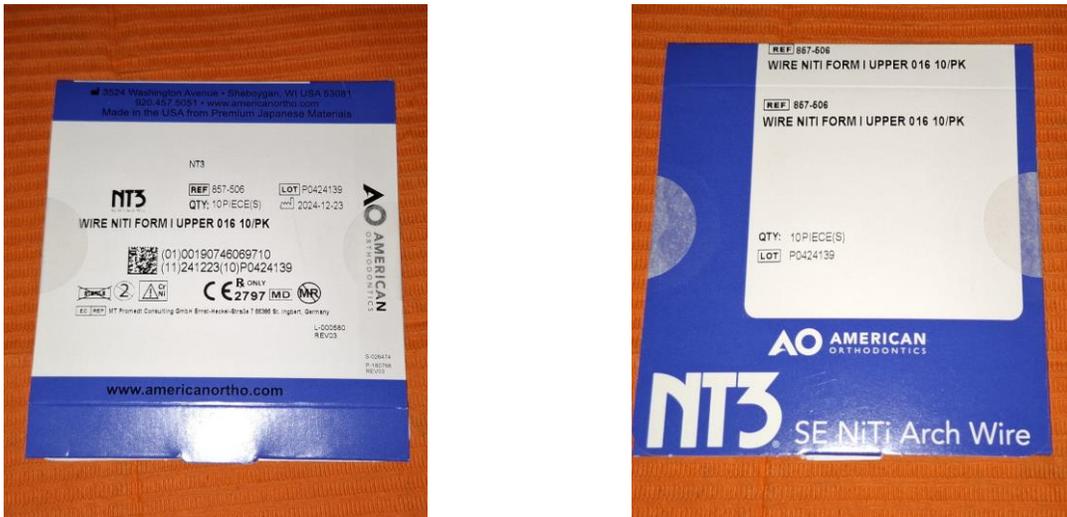


Fig. 9 Arcos American Orthodontics® NT3

Imagen propia.

Arcos Borgatta® Memalloy con número de lote 643445.



Fig.10. Arcos Borgatta Memalloy NiTi®

Imagen propia.

Arcos Ahkim-Pech® Econoline con número de lote I-122450.



Fig.11. Arcos Ahkim-Pech Econoline®

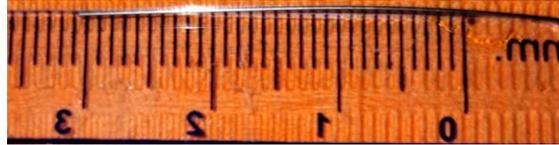
Imagen propia.

Se utilizaron los extremos terminales de los arcos para obtener una muestra según las normas ISO 15841 y ADA No. 32, donde se menciona que estos deben ser cortados a 30 mm.

Las muestras se midieron utilizando una regla de 30 cm y se marcaron con un plumón indeleble para su posterior corte con pinzas para corte de arcos de la marca TBS®.



*Fig. 12 Pinzas de corte marca TBS®. Imagen propia*



*Fig. 13 Toma de medida del arco con una regla.*

*Imagen propia.*

Posteriormente cada muestra se almaceno en un sobre individual numerado y estos se dividieron en 2 grupos:

Gama alta

Donde se encontraban las marcas:

- Ormco NiTi®
- American orthodontics NT3®

Gama baja

Donde se encontraban las marcas

- Borgatta Memalloy®
- Ahkim-Pech Econoline®

## 8.6.2. Proceso experimental.

### 8.6.2.1 Pruebas de uniformidad.

Se realizaron las pruebas de uniformidad como marca la norma ADA No. 32 y la Norma ISO 15481; estas fueron realizadas en un entorno de temperatura y humedad controlada (23 grados centígrados) dentro del laboratorio de biomateriales.



Fig.14. Temperatura al realizar las pruebas el primer y segundo día. Imagen propia.

Las pruebas se realizaron con un tornillo micrométrico análogo de la marca Mituyo®, elaborado en Japón con número de serie S. 193-111, numero de inventario 7.

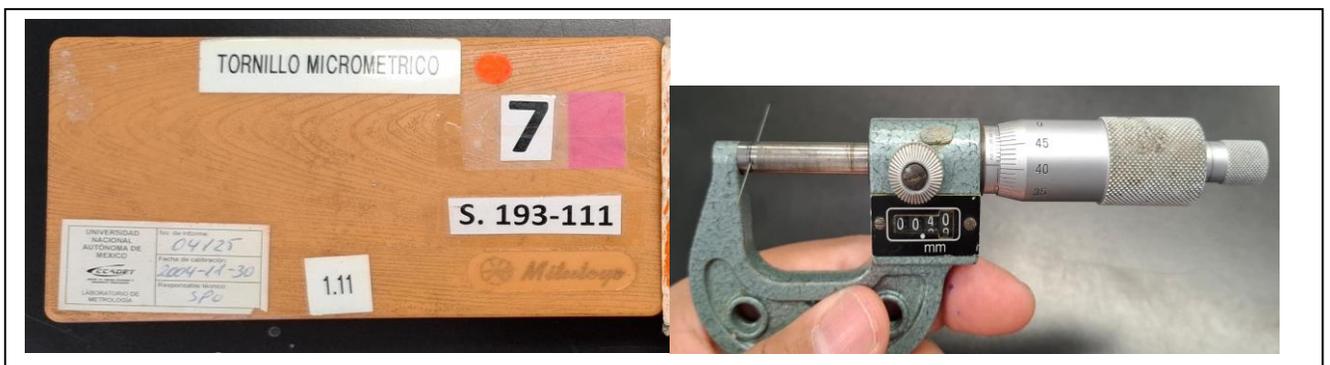


Fig.15. Caja del tornillo micrométrico y tornillo. Imagen Propia

Durante las pruebas realizamos tres mediciones a lo largo del arco sobre un eje y posteriormente se daba un giro de 90 grados al arco para tomar otras tres muestras a lo largo del arco; esta prueba se realizó con las 10 muestras de cada marca de arco, dando un total de 240 mediciones, estas se recabaron en una bitácora donde se promediaron las 2 medidas iniciales, las 2 medidas medias y las 2 medidas posteriores, después se promediaron estos tres últimos resultados para generar un valor promedio del grosor del arco.



*Fig.16. Prueba con tornillo micrométrico en arco NiTi de la marca Ormco®. Imagen propia.*



*Fig.17. Prueba micrométrica en arco NiTi de la marca American Orthodontics®*

Después de realizar la prueba en las 10 muestras de cada marca, realizamos una tabla para comparar cada promedio general de cada muestra y verificar si estas cumplían con la medida de 0.016". En este caso se realizó las medidas en milímetro por lo cual hicimos una conversión a pulgadas usando una formula:

Medida en mm. entre 25.4= Medida en pulgadas.

La medida estándar en milímetros de un arco en NiTi 0.016" es igual a 0.4064 mm.

En este caso para ejemplificar utilizamos las medidas del sistema inglés y así poder tener un panorama más claro de los resultados promedios resultantes en las pruebas de uniformidad.

### **8.6.2.2 Pruebas de flexión a 3 puntos.**

Estas pruebas se realizaron en la maquina de pruebas universales INSTRON® con número de serie 5567P7728, fabricada en Estados Unidos. Para tener la temperatura de 37°C, utilizamos una lampara de luz infrarroja de la marca Philips® de 250 watts fabricada en Estados Unidos. Se utilizaron 2 termómetros para tener un control de temperatura más riguroso, se utilizó un termómetro de columna de mercurio prestado por el laboratorio de Biomateriales y un termómetro digital ambiental de la marca Steren® modelo TER-120.

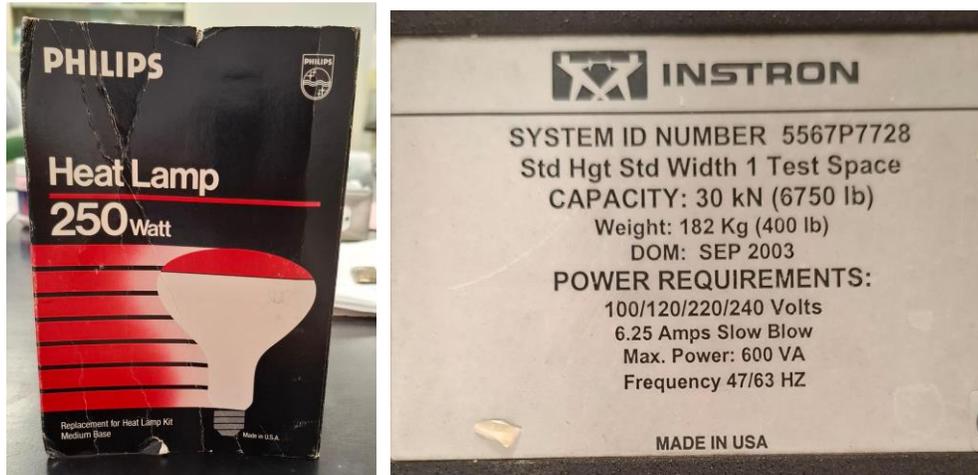


Fig.17. Prueba micrométrica en arco NiTi de la marca American Orthodontics®

Para sostener las muestras dentro de la maquina INSTRON® se utilizó el soporte de 2 puntos, este tiene una distancia de 10 mm entre punto y punto como lo especifican las normas ISO 15481 y la ADA No. 32. Además de utilizar un aditamento para realizar la compresión y obtener una flexión a 3 puntos.

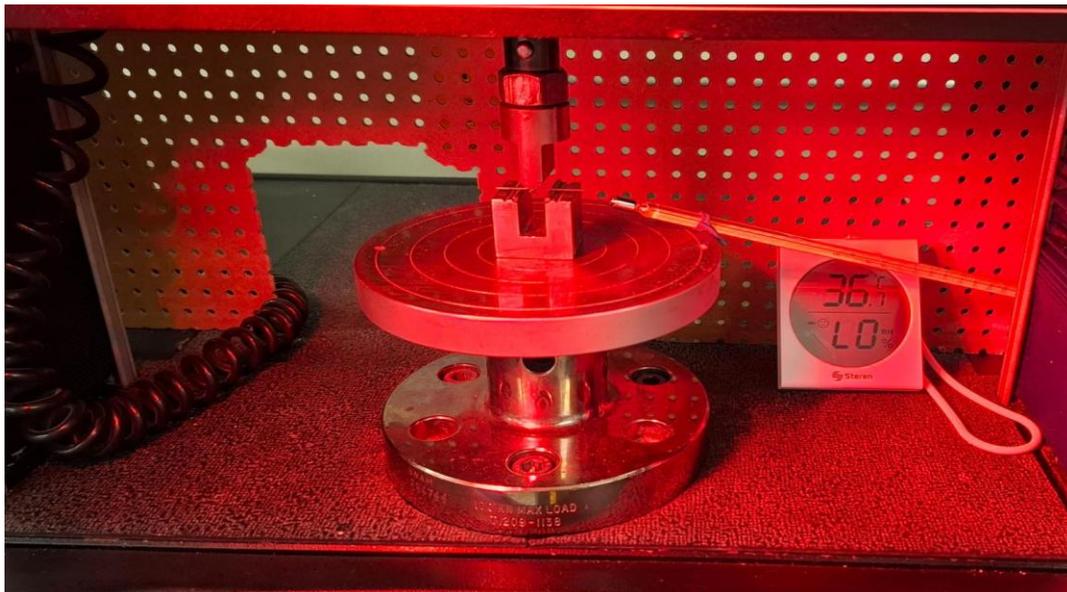
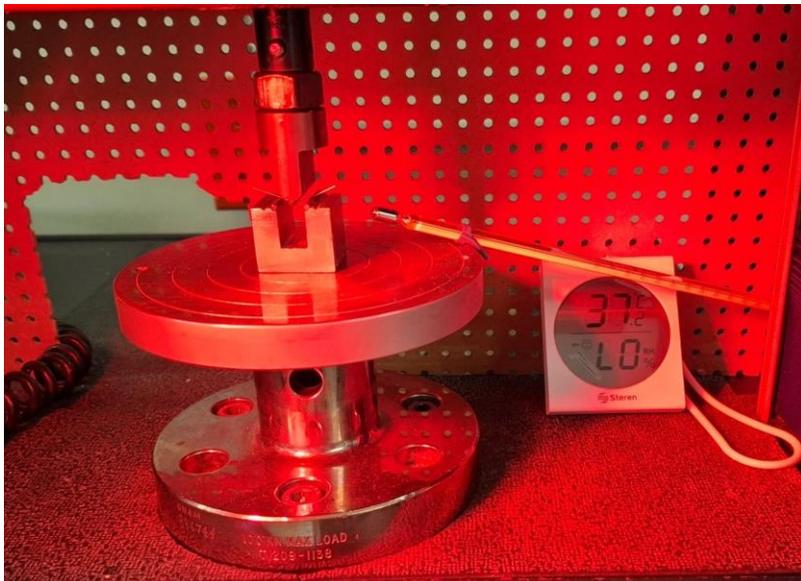


Fig.19. aditamentos de la maquina INSTRON® para la prueba de flexión a 3 puntos. Imagen propia

Cada muestra estaba debidamente identificada, estas se encontraban en un sobre con un distintivo de la marca y su número de muestra.

Se iniciaron las pruebas con las muestras de marca Ormco®. Se situó el arco en el aditamento de la maquina INSTRON® de manera que quedara centrado y al alcance del aditamento penetrador; posteriormente se verificó que la temperatura no estuviera por debajo de los 37° C y se comenzó la prueba de flexión. La máquina se calibro para flexionar 1 mm por minuto con un máximo de 3 mm y así medir la fuerza que se necesitó para llevar a la flexión del arco y posteriormente medir la fuerza que el arco devolvió.



*Fig.20. Imagen de la prueba a 3 puntos con la temperatura de 37°C.*

La máquina INSTRON® durante las pruebas arrojaba las siguientes gráficas en donde se observaban los 2 principales fenómenos que se estaban estudiando:

- El punto donde el arco alcanza la flexión de tres milímetros y la fuerza necesaria para llegar a este punto (medida en Newtons).
- El punto donde el arco descarga y la fuerza a partir de ese punto.

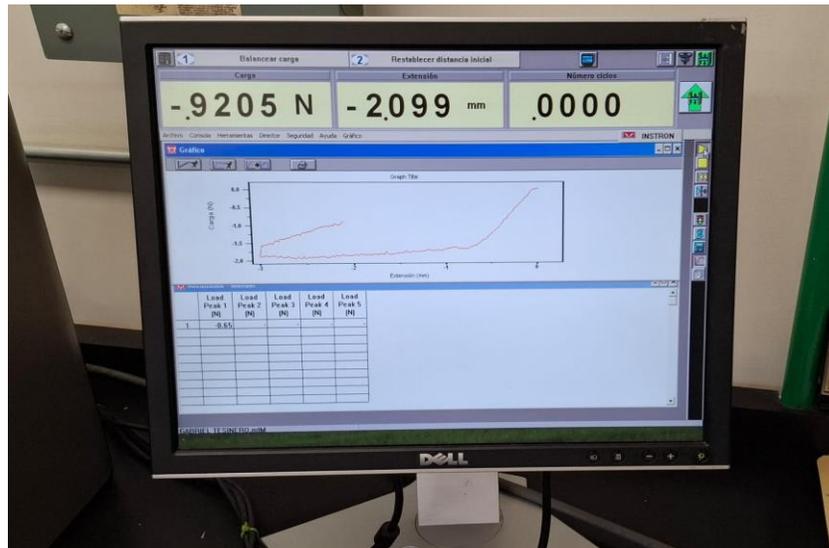


Fig.20. Imagen de la prueba a 3 puntos con la temperatura de 37°C.

Después de terminar la prueba se imprimió una gráfica en donde se analiza el comportamiento final del arco, en esta se pudo observar y evaluar de una mejor manera el comportamiento de los arcos durante las pruebas. En estas graficas impresas en hojas de papel milimétrico se realizó una escala para llegar a una medición exacta de cada fenómeno y así poder asignarle un valor.

Las siguientes graficas muestran el comportamiento antes descrito.

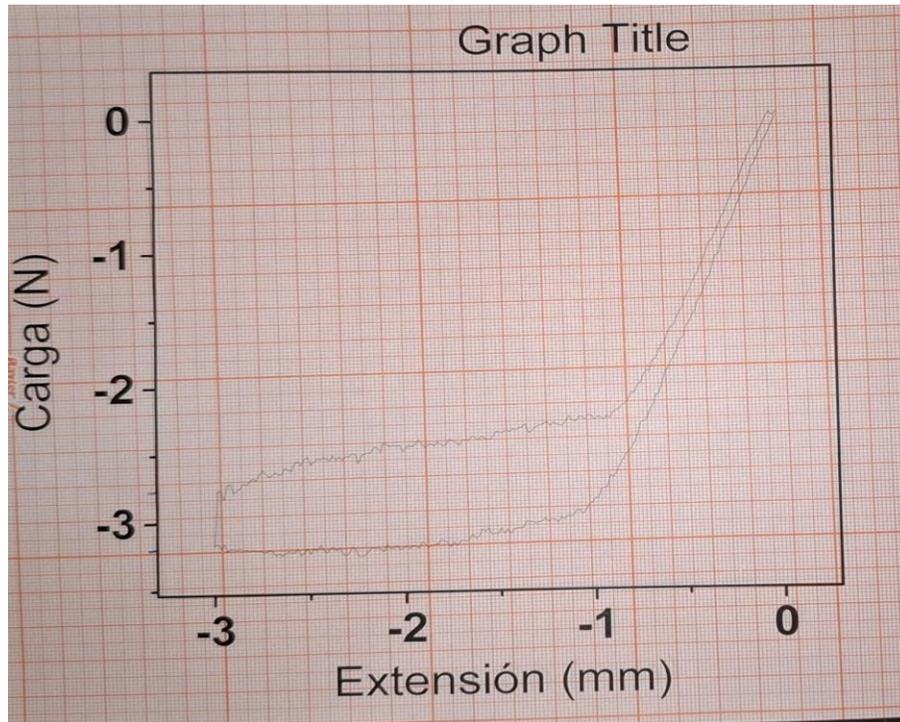


Fig.22. Gráfica del comportamiento de la muestra No. 9 de Ormco®. Imagen propia.

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de la muestra número 9 de Ormco®. Aquí se puede observar que el arco necesito 3.1939 N para poder llegar a los 3 mm. Después del momento de histéresis el arco devolvió 2.777 N de fuerza para continuar con su recuperación. En este caso el arco logro acercarse a su punto inicial.

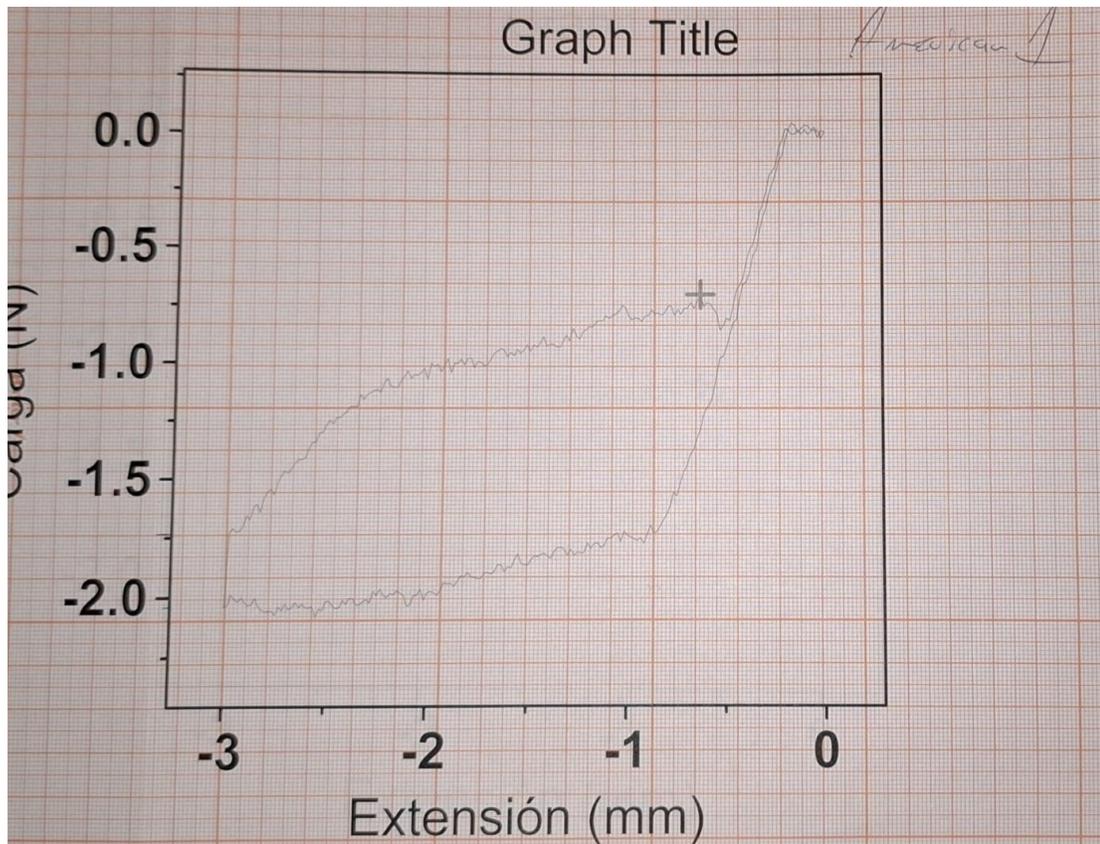


Fig.23. Gráfica del comportamiento de la muestra No. 1 de American Orthodontics Imagen Propia.

En la presente grafica podemos observar que la muestra número 1 de American Orthodontics® utilizo 2.03636 N. para llegar a los 3 mm de flexión y después del momento de histéresis devolvió 1.9818 N. de fuerza. Después logro llegar a su punto inicial.

En la gama alta se pudo observar un comportamiento uniforme; siendo la marca Ormnco® quien tuvo en sus muestras un comportamiento más regular al necesitar más de 3 N. para llegar a los 3 mm de flexión.

American Orthodontics® estuvo por debajo de los 3 N fuerza para llegar a los 3 mm de flexión.

Posteriormente en la gama baja se pudo observar comportamientos similares en ambas marcas; en donde Ahkim-Pech® necesitaba de 1.95 N a 2.86 N de fuerza para llegar a una flexión de 3mm. En el momento que el arco libero la fuerza este devolvió de 1.77 N en su muestra con margen más bajo a 2.67 N en su muestra con mejor rendimiento. En las gráficas también pudimos observar que hubo muestras que no regresaban a su forma inicial, es decir había una deformación de tipo plástica.

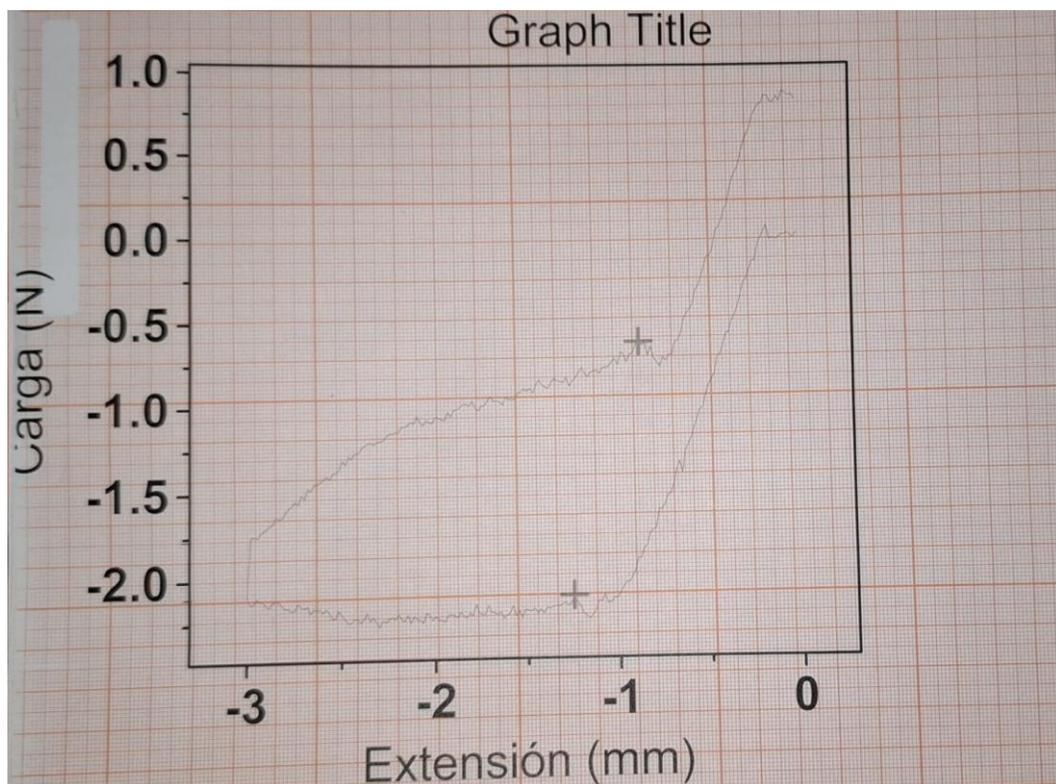


Fig.24. Grafica de la muestra No.10 de Ahkim-Pech®.

En la gráfica anterior se observa que la muestra No. 10 de Ahkim-Pech® necesito 2.11 N para llegar a los 3 mm de flexión y devolvió 1.77 N.

En las muestras de Borgatta® se encontró que en su muestra con menor desempeño se necesitó 1.85 N fuerza para llegar a una flexión de 3mm. Mientras que devolvió 1.55 N fuerza.

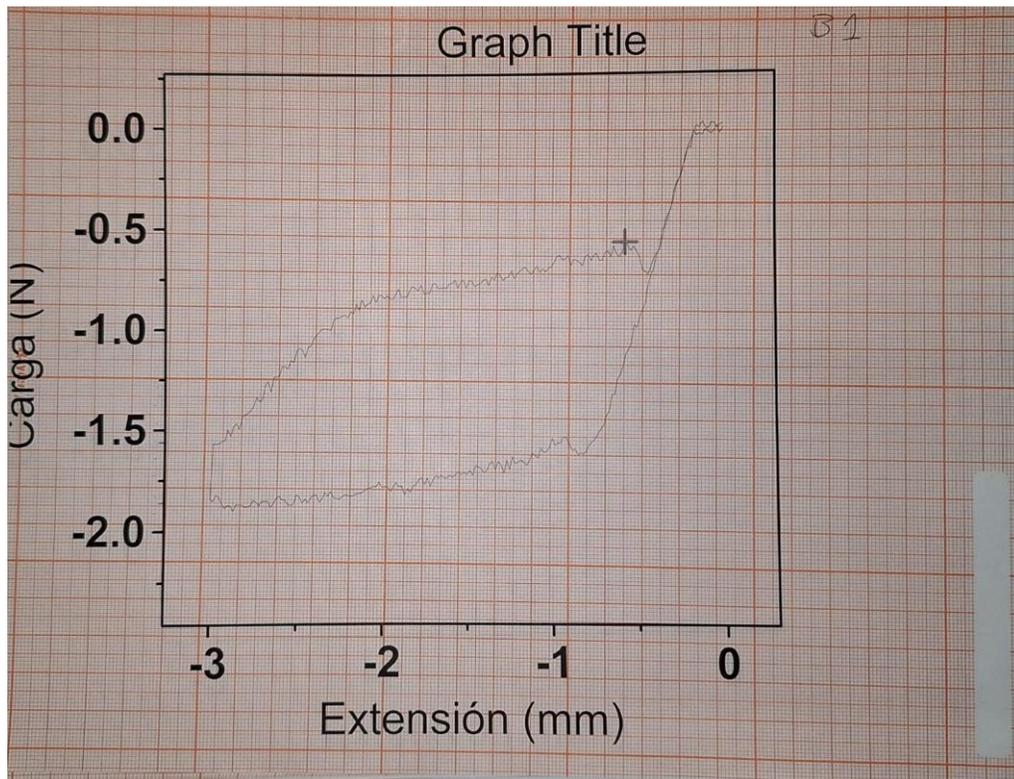


Fig.25. Grafica No.1 de Borgatta®. Imagen propia.

En la gráfica anterior se observa que la muestra No.1 de Borgatta® necesito 1.85 N de fuerza y devolvió 1.60 N de fuerza.

Se utilizaron las pruebas estadísticas de Tukey y la prueba no paramétrica de Mann Whitney en el programa SPSS.

## **9- Resultados.**

Los resultados se presentan de dos formas, la primera parte corresponde análisis descriptivo y la segunda, al análisis inferencial.

### **Análisis descriptivo.**

La tabla 1 presenta los promedios de la fuerza de flexión necesaria para llegar a los 3mm de flexión y la que el arco devolvió después de ser flexionado; las muestras correspondientes a los arcos Ormco® presentan los promedios mayores y son los arcos American Orthodontics® y Ahkim-Pech® se presentan ocupando el segundo lugar de la distribución de los promedios. En los arcos Ormco® la diferencia entre la fuerza necesaria para llegar a los 3 mm de flexión y la que el arco devuelve después de ser flexionado es de 0.4N, la de arcos Borgatta® es de 0.209, la de American Orthodontics® es de 0.331 y la diferencia en los arcos Ahkim-Pech® entre la fuerza necesaria para llegar a los 3 mm de flexión y la que el arco devuelve después de ser flexionado es de 0.309.

Tabla 1 Comportamiento promedio de fuerza de flexión de 4 marcas de arcos de NiTi de diferente gama y precio. FO. 2025.				
FUERZA	Marcas de alambre			
	ORMCO®	BORGATTA®	AMERICAN®	AHKIM-PECH®
Necesaria para llegar a los 3 mm de flexión	3.06 (DE ± .090)	1.91 (DE ± .12)	2.173 (DE ± .18)	2.324 (DE ± .25)
Que el arco devolvió después de ser flexionado	2.66 (DE ± .087)	1.701 (DE ± .090)	1.842 (DE ± .10)	2.015 (DE ± .27)

*Fuente directa*

Para evaluar a cada marca de arcos se decidió utilizar 2 pruebas:

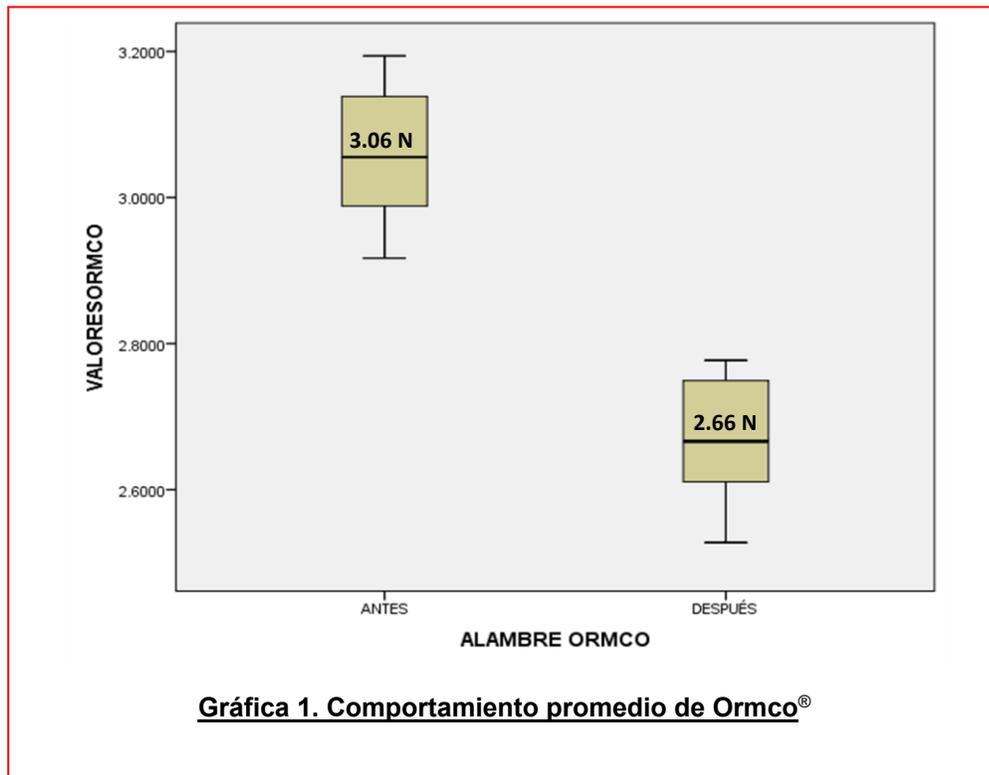
- **Prueba de uniformidad**
- **Prueba de flexión a 3 puntos.**

Los resultados de la prueba de uniformidad mostro que los arcos de las casas Ormco y American Orthodontics estuvieron dentro de las 0.016". Por otro lado, las marcas Ahkim-Pech® y Borgatta® tuvieron más fluctuaciones entre sus medidas obteniendo promedios de 0.0157 en la muestra número 3 de Ahkim-Pech® y de 0.0159 en la muestra 5,6,7 y 8 de Borgatta® estando por debajo de los estándares, cabe mencionar que las muestras de Borgatta® fueron tomadas del mismo arco.

En las pruebas de 3 puntos se observó que los arcos Ormco® necesitaron en la muestra 4, un rendimiento más bajo con 2.91 N, para ser flexionado, mientras que en su muestra con mejor rendimiento que fue la numero 9 tuvo un resultado de 3.19 N. Después de ser flexionados y pasando el momento de histéresis el arco la muestra 4 devolvió 2.52 N de fuerza; mientras que la muestra número 9 devolvió 2.77 N.

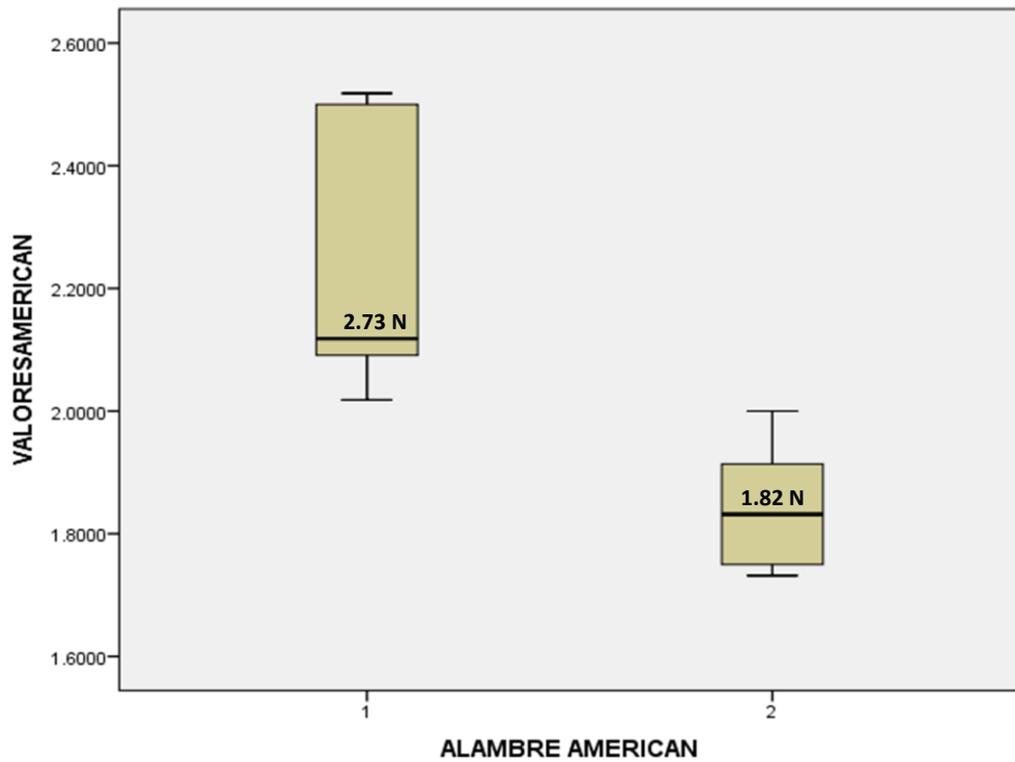
En la gráfica 1 se observa el comportamiento de las muestras: editar antes y después en las grafica.

Para los arcos de la marca American Orthodontics® se pudo observar que en



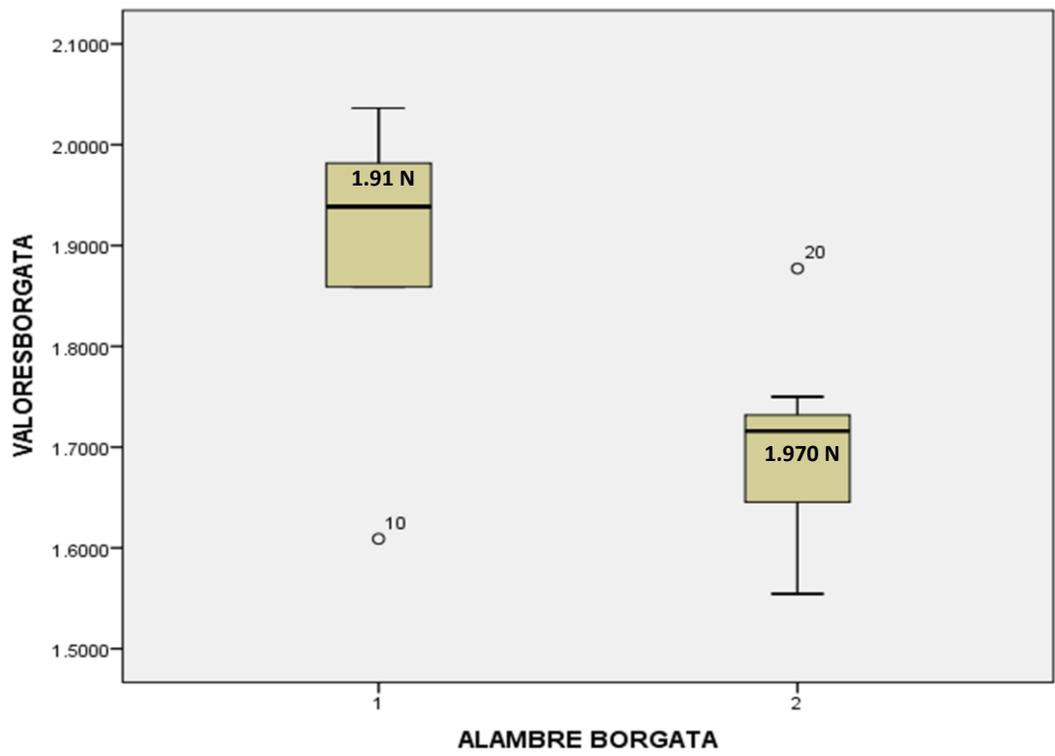
su muestra número 8 que fue la que tuvo un menor desempeño se utilizó 2.018 N para ser flexionada a 3 mm, después el arco devolvió 1.75 N. Su muestra con mejor desempeño fue la numero 3 la cual necesito 2.51 N para ser flexionada, después esta nos devolvió 1.91 N. En la gráfica 2 se observa el comportamiento de las muestras.

Es evidente que hay diferencias sensibles entre los dos comportamientos del arco.



**Grafica 2. Comportamiento promedio de arcos American Orthodontics®.**

Respecto a los arcos de la marca Borgatta® encontramos que la muestra numero 10 fue la que tuvo menor desempeño requiriendo 1.60 N para flexionarlo a 3 mm y esta devolvió 1.87 N. La muestra numero 4 fue la que tuvo mejor desempeño con 2.036 N necesarios para lograr su flexión a 3 mm y devolviendo 1.73 N. La siguiente grafica ejemplifica el comportamiento de las muestras.

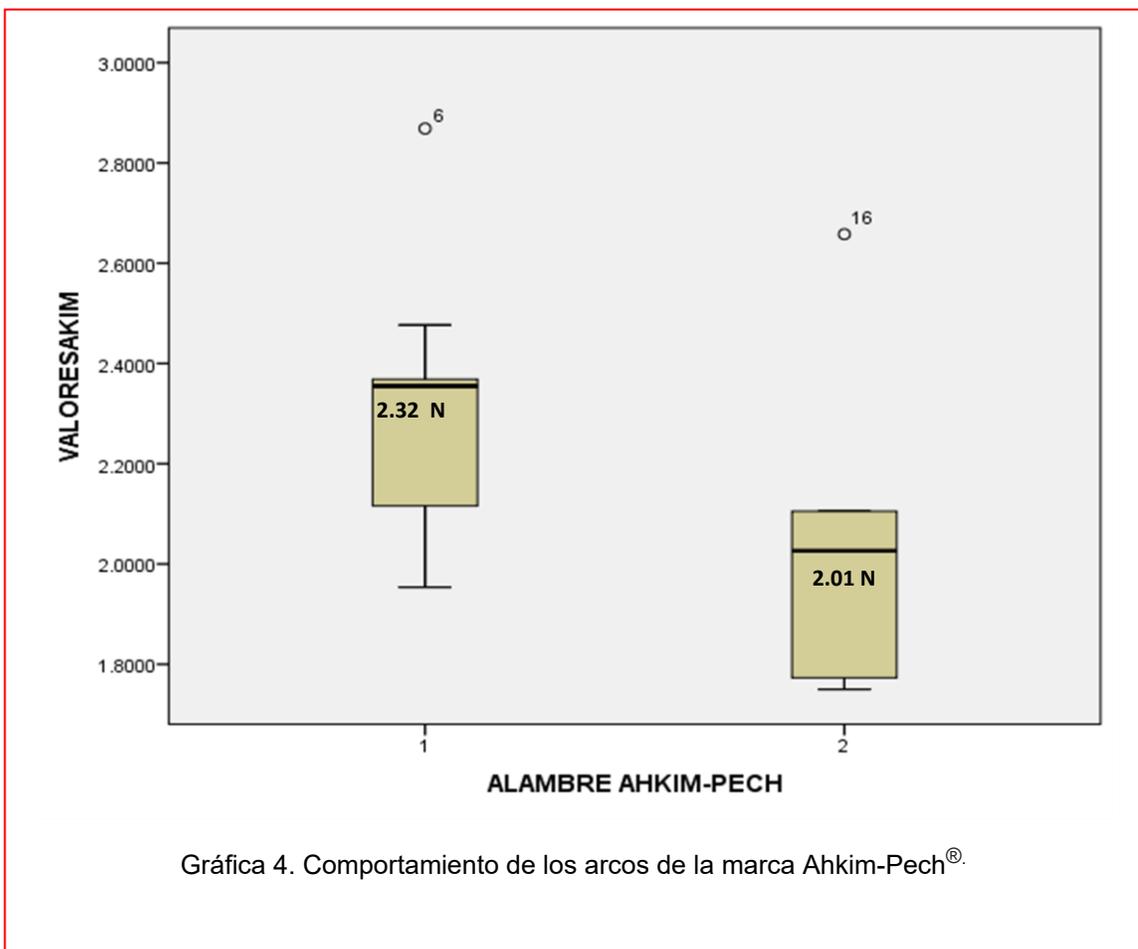


**Gráfica 3. Comportamiento promedio de los arcos de Borgatta®**

En la gráfica 3 se observa que hubo valores dentro de las pruebas que se salían del rango y había diferencias estadísticamente significativas.

Las pruebas en los arcos de la marca Ahkim-Pech® nos arrojaron como resultados que su muestra con menor desempeño fue la numero 7 con 1.95 N de fuerza necesarios para llegar a la flexión de 3 mm y devolviendo 1.75 N. La muestra número 6 requirió de 2.85 N para ser flexionada a 3 mm y nos devolvió 2.6578 N. En la gráfica 4 se puede observar el comportamiento de los arcos de marca Ahkim-Pech®.

Para validar nuestros resultados obtenidos durante la prueba utilizamos dos pruebas estadísticas, la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para evaluar los resultados de los arcos de la misma marca y la prueba Tukey para evaluar los resultados entre las diferentes marcas.



## Análisis inferencial.

Para determinar si las diferencias de promedios entre la fuerza de flexión necesaria para llegar a los 3mm de flexión y la que el arco devolvió después de ser flexionado son estadísticamente significativas se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney teniendo en cuenta el número de muestras por grupo (n=10). (Tabla 2) fuerza de flexión necesaria para llegar a los 3mm de flexión y la que el arco devolvió después de ser flexionado.

<b>Tabla 2</b>			
<b>Significancia estadística entre dos valoraciones de fuerza de flexión en 4 marcas de arcos. FO. UNAM. 2025.</b>			
<b>Marca de arco</b>	<b>Comparación</b>		<b>Interpretación</b>
<b>ORMCO</b> ®	Diferencia del promedio de la fuerza de flexión necesaria para llegar a los 3mm de flexión <b>VS</b> fuerza que el arco devolvió después de ser flexionado	p=.000	Las diferencias <b>si</b> son estadísticamente significativas
<b>BORGATTA</b> ®		p=.003	Las diferencias <b>si</b> son estadísticamente significativas
<b>AMERICAN</b> ®		p= .000	Las diferencias <b>si</b> son estadísticamente significativas
<b>AHKIM-PECH</b> ®		p=.012	Las diferencias <b>si</b> son estadísticamente significativas

*Fuente directa*

Posteriormente se realizó la prueba de TUKEY de comparaciones múltiples para determinar si las diferencias de promedios fuerza que el arco devolvió después de ser flexionado son estadísticamente significativas al compararlas por pares de marcas. (Tabla 3)

Tabla 3 Comparaciones múltiples de promedios de flexión de 4 marcas de arcos de NiTi de diferente gama y precio. FO. UNAM. 2025.				
TUKEY TECNICAS	Comparación	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
	BORGATA®	.000	.7815477	1.1435603
ORMNCO	AMERICAN®	.000	.6531490	1.0068383
	AHKIM-PECH®	.000	.4329193	.8048518
	ORMCO®	.000	-1.1435603	-.7815477
BORGATTA	<b>AMERICAN®</b>	<b>.200</b>	<b>-.3094050</b>	<b>.0442843</b>
	AHKIM-PECH®	.000	-.5296347	-.1577022
	ORMCO®	.000	-1.0068383	-.6531490
AMERICAN	<b>BORGATA®</b>	<b>.200</b>	<b>-.0442843</b>	<b>.3094050</b>
	AHKIM-PECH	.018	-.3930263	-.0291899
	ORMCO®	.000	-.8048518	-.4329193
AHKIM-PECH	BORGATA®	.000	.1577022	.5296347
	AMERICAN®	.018	.0291899	.3930263

Fuente directa

El análisis demostró que las diferencias de promedios de esta variable entre las marcas Borgatta®, Ormco® y Akhim-Pech® estadísticamente significativas ( $p = .000$ ,  $p = .018$ ) a excepción de la marca Borgatta® vs la marca AMERICAN donde se demostró que la diferencia de sus promedios no es estadísticamente significativa ( $p = .200$ ).

## **10- Discusión.**

Después de realizar las pruebas se pudo observar que la Marca Ormco® fue la que tuvo mejor desempeño en ambas pruebas. Por otro lado, en las pruebas de uniformidad American Orthodontics tuvo buenos resultados, en las pruebas de flexión se desempeño menor a la marca Ormco®. Dentro de las marcas de gama baja se pudo observar comportamientos similares en la prueba de uniformidad ya que en estas tuvieron muestras por debajo de las 0.016” en varias de sus muestras, esto se podría se reflejó de controles de calidad menos estrictos. Dentro de las pruebas de flexión se comportaron por debajo del nivel de la marca Ormco® y American Orthodontics®.

Nuestros resultados son comparables con los que obtuvo Pimentel donde al evaluar las propiedades mecánicas mediante pruebas de flexión obtuvo que los arcos de la marca Ahkim-Pech fueron los que obtuvieron un menor desempeño frente a sus competidores. Así mismo Álvarez obtuvo como resultado que los arcos de la marca Ormco tenían un mejor desempeño en las pruebas mecánicas realizadas. El estudio descrito en este trabajo terminal abre las puertas a seguir evaluando los arcos que nos ofrecen las casas comerciales.

## **11- Conclusiones.**

Después de analizar los resultados se puede concluir:

- La gama alta tuvo un mejor desempeño en general que las marcas de gama baja, por lo tanto, se confirma que el costo de los arcos influye en el desempeño de los mismos.
- Las diferencias entre la máxima flexión y la máxima deflexión es un problema aun sin resolver en los arcos en NiTi ya que representa una pérdida de fuerza.
- Los arcos de la gama baja sufrieron de una deformación plástica durante las pruebas de flexión a 3 puntos.
- Las marcas de gama baja tuvieron mayor fluctuación en los promedios de la prueba de uniformidad.
- La gama alta tendía a regresar a su estado normal después de la prueba de flexión.

## **12- BIBLIOGRAFIA.**

- 1** Álvarez S, Sáez G, Gayosso CÁ, Furuki HK. Estudio comparativo de resistencia a la fatiga de arcos de níquel-titanio de tres marcas. *Rev Mex Ortodoncia*. 2014 oct;2(4):253–6.
- 2** Pimentel A. Evaluación de la propiedad de memoria de forma en tres marcas distintas de arcos de níquel-titanio para ortodoncia [tesis de posgrado]. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2020. p. 5–14.
- 3** Bhat FA, Shetty N, Khan FA, Bhat M, Husain A. Evaluación comparativa de la propiedad de carga-deflexión de diferentes marcas de arcos de níquel-titanio. *APOS Trends Orthod*. 2018;8(1)
- 4** Jaramillo D, Medina L, Pacheco D, Velandia A, Ardila G. Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de cinco tipos de aleaciones diferentes de Nitinol. *J Odontol Col* [Internet]. 2024 Jun;17(33).
- 5** Dechkunakorn S, Isarapatanapong R, Anuwongnukroh N, Chiranavanit N, Kajorchaiyakul J, Khantachawana A. Mechanical properties of several NiTi alloy wires in three-point bending tests. *Appl Mech Mater* [Internet]. 2011 Aug 1; 87:14–9. Available from: <https://www.scientific.net/AMM.87.14>
- 6** Vásquez CE. Estudio comparativo de la resistencia a la flexión de los arcos NiTi teflón, NiTi super elástico y acero inoxidable rectangulares de .017 x .025: estudio in vitro [tesis de licenciatura]. Querétaro (México): Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro; 2022 ago. p. 30–2.
- 7** Darquea ML, Delgado JS, Pardo MA, Martínez E, Suárez Á. Comportamiento en descarga de alambres superelásticos, comparando la resistencia friccional en un modelo experimental de tres puntos con un modelo de brackets: estudio cuasiexperimental in vitro [tesis de especialidad]. Bogotá (Colombia): Pontificia Universidad Javeriana; 2023 Sep. 28.
- 8** Vita N, Resistencia a la flexión de arcos 0.019” x 0.025” Níquel Titanio en Brackets autoligado CCO. Tesis para obtener el título de Especialista en ortodoncia, Facultad de medicina, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, 2021

- 9 - Cladera B, Ribas A. Fundamentos y aplicaciones piloto de las aleaciones con memoria de forma para su utilización en ingeniería estructural. *Hormigón y Acero* [Internet]. 2016;67(280):309–23 [citado 2025 feb 10]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-hormigon-acero-394-pdf-S0439568916000231>
- 10- Gómez A, Díaz del Castillo F. Nitinol, un biomaterial con memoria de forma [Internet]. Cuautitlán Izcalli: UNAM; 2011 [citado 2025 feb 9]. Disponible en: [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m6/Nitinol\\_un%20biomaterial.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/Nitinol_un%20biomaterial.pdf)
- 11 – Castillo E, Zárate L, Nava L, Cruz MA, García Solano M, Hernández Vidal V. Análisis ángulo-deformación-torque en arcos NiTi superelásticos (ensayo a prueba de torsión). *Rev Oral* [Internet]. 2009 [citado 2025 feb 8];(548). Disponible en: <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aqcd%3A6%3A17347750/detailv2?sid=ebsco%3Aocu%3Arecord&id=ebsco%3Aqcd%3A44562033>
- 12- Sapata VM, Sapata DM, Neto. DSC analysis and evaluation of forces released on deactivation of 0.40-mm (0.016") orthodontic thermo-activated NiTi wires: An in vitro study. *J Orthod Res* [Internet]. 2020 feb 19 [consultado 2025 ene].
- 13 Gómez MA, Díaz F. Nitinol, un material con memoria de forma. *Lecturas de Ingeniería* [Internet]. Cuautitlán Izcalli: UNAM; 2011 [consultado 2025 ene].
- 14 Montenegro CDS. Estudio de procesos de conformado en aleaciones NiTi utilizadas en odontología [tesis de licenciatura]. Ciudad de México: UNAM; 2016. p. 82.
- 15 Teramoto A. *SENTALLOY. La historia interior de la superelasticidad*. GAC Libros; 2005. p. 2–6. [consultado 2025 ene].
- 16 Teramoto A. Importancia clínica del punto austenítico final en la selección de las aleaciones de níquel-titanio para su aplicación en arcos utilizados en ortodoncia. *Rev Odont Mex* [Internet]. 2016 Sep;20(3):166–73. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-199X2016000300166](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-199X2016000300166)
17. Torres V. Propiedades mecánicas de tres marcas de arcos ortodóncicos de níquel-titanio termoactivados: estudio in vitro. *Odontol Sanmarquina* [Internet]. 2014 [citado 2025 feb]; Disponible en: <https://www.academia.edu/113404519>

18. Vikati VN. Evaluation of mechanical and physical properties of clinically used and recycled superelastic NiTi wires. *J Clin Diagn Res* [Internet]. 2016 [citado 2025 feb]; Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5020169/>
19. Gonzaga AS, Gonzaga DS, Simplício H, Martins RP, Galvão MR, Caldas SGFR. Can we expect similar behavior among CuNiTi 35°C wires? *Dental Press J Orthod*. 2021;26(2): e211945.
20. Instron. Pruebas de impacto: ensayo de flexión en tres puntos [Internet]. Consultado en febrero de 2025. Disponible en: <https://www.instron.com/es-ar/products/testing-systems/impact-systems/drop-weight-impact-testing-machine/3-point-bending-test>
21. AENOR. Norma UNE-EN ISO 15841: odontología, alambres para su uso en ortodoncia [Internet]. Consultada el 20 de febrero de 2025. Disponible en: <https://plataforma-aenormas-aenor-com.pbidi.unam.mx:2443/pdf/UNE/N0054831>
22. American Dental Association (ADA). Proposed Revised American National Standard / ADA Standard No. 32 for Orthodontic Wires [Internet]. Consultada el 5 de marzo de 2025. Disponible en: <https://engage.ada.org/p/eg/ansiada-standard-no-32-for-orthodontic-wires-e-book-1247>

## **Citas de figuras**

- 1- Imagen de las fases martensítica y austenítica.

<https://isqch.wordpress.com/2016/12/05/>

Imágenes del Dr. Andersen y Dr. Buehler.

- 2- <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-norbert-wiener/ortodoncia/historia-del-sentalloy-traducido-nereida/34426165>

Imagen del Dr. Fujio Miura y arco Sentalloy

- 3- <https://www.ajodo.org/article/S0889-5406%2818%2930468-2/fulltext>

Imagen de los aditamentos de la Maquina INSTRON para prueba de 3 puntos.

- 4- <https://www.instron.com/es-ar/products/testing-accessories/flexure-fixtures/three-point-bend-test-fixtures>

Imagen del diagrama de la estructura de la prueba de 3 puntos.

- 5- <https://plataforma-aenormas-aenor-com.pbidi.unam.mx:2443/pdf/UNE/N0054831>

Imagen de comparador óptico

- 6- <https://micromex.com.mx/collections/comparadores-opticos>

Imagen de tornillo micrométrico.

- 7- <https://es.uline.mx/Product/Detail/H-2780/Measuring-Tools/Mitutoyo-Digital-Micrometer>