



---

---

Universidad Autónoma del Estado de México  
Facultad de Ciencias de la Conducta

**Efecto del enclavamiento y deformación elástica en la Fricción de brackets de autoligado y brackets de ligado convencional, aplicado en un novedoso aparato de pruebas: estudio *in vitro***

**TESIS**

Para Obtener el Grado de:

Doctor en Ciencias de la Salud

Presenta:

M. en C.O. Pierre González Díaz

1430074

Comité Tutorial:

Tutor Académico: Dr. en C.S. Ulises Velázquez Enríquez

Tutor Interno: Dr. en O. Rogelio J. Scougall Vilchis

Tutor Externo: Dr. en Ing. Efraín Rubio Rosas



Toluca, Estado de México, Marzo de 2023

## Índice

<b>Resumen</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>2</b>
<b>1. Antecedentes</b> .....	<b>3</b>
1.1 Deformación elástica y resistencia al deslizamiento .....	3
1.2 Brackets de acero inoxidable .....	4
1.3 Brackets de autoligado .....	4
1.4 Arcos en ortodoncia .....	6
1.5 Fricción y superficies .....	7
1.6 Mecanismo arco-bracket .....	8
1.7 Fricción en ortodoncia .....	8
1.8 Operación de máquinas de pruebas universales y pruebas de fricción .....	9
<b>2. Planteamiento del problema</b> .....	<b>11</b>
<b>3. Justificación</b> .....	<b>12</b>
<b>4. Hipótesis</b> .....	<b>13</b>
<b>5. Objetivos</b> .....	<b>14</b>
<b>6. Diseño metodológico</b> .....	<b>15</b>
6.1. Diseño del estudio.....	15
6.2 Universo y muestra .....	15
6.3 Criterios.....	16
6.4 Variables de estudio.....	17
6.5 Instrumentos .....	20
6.6 Procedimiento .....	21
6.7 Recolección de datos .....	23
6.8 Análisis de datos .....	26
6.9 Aspectos éticos .....	26
<b>7.Resultados</b> .....	<b>27</b>
7.1Capitulo de libro aceptado.....	27
7.2 Efecto del enclavamiento y deformación elástica en la fricción de brackets de autoligado y brackets de ligado convencional: revisión sistemática de la literatura ...	27
7.3 Pagina frontal de manuscrito .....	27
7.4 Carta de aceptación .....	27
7.5 Resumen.....	28
7.6 Artículo y/o capítulo de libro enviado.....	29

7.7 Título: Binding and Notching effect on the friction of self-ligating brackets and conventional ligating brackets: An in vitro study .....	29
7.8 Carta de envío y/o recepción del artículo .....	29
7.9 Resumen.....	30
<b>8. Resultados adicionales</b> .....	<b>31</b>
<b>9. Discusión general</b> .....	<b>34</b>
<b>10. Conclusiones generales</b> .....	<b>36</b>
<b>11. Bibliohemerografía utilizada</b> .....	<b>37</b>

o objetivo evaluar el efecto de deformación elástica y enclavamiento sobre la fricción de los brackets de autoligado en comparación con los brackets de ligadura convencionales en un aparato de prueba in vitro. Resultados: Los resultados mostraron diferencias significativas entre los grupos, principalmente en el efecto del enclavamiento en brackets convencionales ( $p \leq 0.001$ ). Conclusiones: Los brackets de autoligado presentaron menor fricción, en comparación con los brackets convencionales, después de ser sometidos al efecto de la deformación elástica y enclavamiento.



## Introducción

Burstone y Koenig en 1988 fueron pioneros en estudiar el efecto del deslizamiento en dobleces en V propuestos por Mulligan en la década de los 70. (1) Han pasado 31 años y con la creación de nuevas técnicas y modelos de brackets continuamos midiendo los efectos de las fuerzas que se aplican en ortodoncia y así comprender el movimiento dental. En ciencia básica es necesario establecer conceptos que definen la interacción arco bracket y las fuerzas que se oponen al deslizamiento dental.

Fuerza: cualquier acción física capaz de modificar el estado de movimiento o de reposo de un cuerpo, es decir, una aceleración que modifica su velocidad, dado que la F (fuerza) tiene magnitud, dirección y está representado por un vector. (1) En ortodoncia se definen como cuplas o momentos que ejerce la aparatología fija (brackets) y removible (ortopedia) en estructuras dentales que los llevan a posiciones deseadas. (2)

Fricción en ortodoncia: es la fuerza que retarda el movimiento de dos objetos que se deslizan entre sí en una dirección opuesta y proporcional a la transmitida a través de un plano de contacto. En ortodoncia es la fuerza que se opone al movimiento dental cuando la superficie de la ranura interactúa con el alambre ortodóncico. (3,4)

Física en ortodoncia: es la ciencia que estudia las propiedades de los cuerpos y de los fenómenos o cambios accidentales producidos en ellos por los agentes naturales, sin que se presenten alteraciones en la naturaleza química y se expresa como la relación entre este y su causa. la física en ortodoncia es usada para crear fuerzas suaves o moderadas en equilibrio con el sistema dentomaxilar para crear movimientos dentales, así como el uso de velocidades bajas. (1)

Deslizamiento en ortodoncia: el arco pasa a través del bracket y tubos ortodóncicos y necesita de un contacto suave que facilite el movimiento de los dientes apiñados reduciendo así la necesidad de extracciones. (5,6)

## 1. Antecedentes

### 1.1 Deformación elástica y resistencia al deslizamiento

Notching: Es la deformación permanente del arco ortodóncico cuando entra en contacto con ambas esquinas de la ranura del bracket. (7–9)

Binding: Es una zona en la que el arco ortodóncico y la ranura están en un contacto extremadamente cercano. (8)

Al unir los conceptos ya antes mencionados tenemos que la aplicación de una fuerza en dientes o huesos se transmiten a través de la biomecánica y estas fuerzas se expresan en gramos, usando una magnitud y una dirección, (elásticos, arcos y ansas de cierre, entre otros instrumentos), moviendo estructuras óseas y dientes. (2)

En resumen, la resistencia al deslizamiento se caracteriza por tres fenómenos. deslizamiento que ocurre cuando las superficies de bracket y arco entran contacto y las fuerzas que actúan sobre ellos, mientras que el enclavamiento (notching) ocurre cuando la fuerza incrementa y el arco empieza a doblarse en las esquinas del bracket, por otro lado, el “notching” o deformación elástica ocurre cuando el movimiento cesa debido a deformaciones permanentes del arco, como se muestra en la figura 1. Todo lo antes mencionado afecta al ortodoncista al llevar al diente apiñado a una posición correcta afectando así el tiempo de tratamiento. (3)

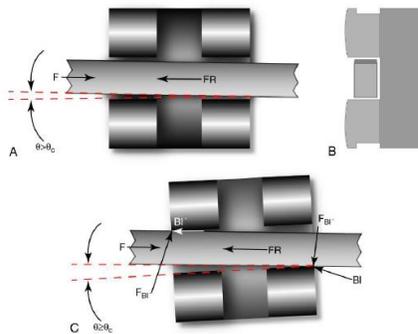


Figura 1. A y B. Fuerza necesaria para mover un bracket a lo largo de un arco donde se opone la fricción producida en el contacto del alambre con el fondo a los laterales de la ranura del bracket C. Proffit 2013.

## 1.2 Brackets de acero inoxidable

Bracket: instrumento fabricado en acero inoxidable, colado o fresado y pulidos que va cementado al diente, permitiendo aplicar fuerzas, torque, angulaciones y alturas a través de arcos ortodóncicos.

En 1933 Angle creo el primero prototipo de bracket en oro, años después el acero inoxidable sustituyo este material, sus características friccionales son tan deseables que hasta el día de hoy sigue siendo un estándar en la industria. (10) Los brackets de acero inoxidable exhiben menor resistencia a la fricción que brackets producidos en otros materiales. Diversos estudios han demostrado que la manera de fabricación interviene en la resistencia, la fricción, siendo el sinterizado mejor sobre el moldeado. (11) La microscopia electrónica de barrido (SEM) a demostrado que los brackets fabricados por el método de sinterizado exhiben superficies más lisas y suaves. La sinterización permite que cada bracket individual se pre moldee de manera suave y aerodinámica. Las partículas de acero inoxidable se comprimen en una forma contorneada, lisa y redondeada en comparación con otros procedimientos en los que el proceso de fresado o corte puede dejar soportes angulares afilados que son más voluminosos y ásperos. (4,12)

## 1.3 Brackets de autoligado

Los brackets de autoligado ocupan una tapa o clip que va fija a la estructura de este y así mantener los alambres en su posición, existen tres tipos de tapa; elástica, clips elásticos de retención en las paredes del bracket y rígidas de cierre. (13)



Figura 2. A y B. Demostración de un bracket abierto con ranura rígida (A, Damon-Q) y el broche cerrado en un bracket cerámico del mismo diseño (B, Damon Clear). Actualmente, se fabrican brackets estéticos de materiales no metálicos con la mayoría de los diseños de autoligado. C. Vista lateral del bracket Damon-Q en la que se puede ver la ranura horizontal accesoria y el broche rígido. D. Vista lateral del bracket Speed, que incluye un broche de resorte de NiTi. E. Bracket Innovation-R. F. Bracket SmatClip™ con resortes de retención. Proffit 2014.

## 1.4 Arcos en ortodoncia

### Acero inoxidable

Son rígidos y elásticos, debido a su alto contenido en cromo son resistentes a la corrosión (18% de cromo y un 8% de níquel). Se consiguen en tiras rectas y arcos preformados con diferentes formas y en diámetros o secciones transversales redondas, cuadradas y rectangulares, entre sus principales características están su módulo de elasticidad de  $179 \times 10^6$  Kpa, produce fuerzas altas que se disipan en periodos cortos, ideal para técnicas que utilizan deslizamiento y de uso regular en técnicas que ocupan fricción (ansas de cierre) y sus ventajas son: biocompatibles, incoloros y insabores, se pueden soldar y de bajo costo. Por lo general se usan para toques finos y dobleces compensatorios en la fase de finalización. (13,14)

### Elgiloy

Con una aleación cromo-cobalto es más blando y moldeable, se endurece a la aplicación de calor, con este tipo de aleación se fabricaron arcos ideales, arcos utilitarios y resortes en la técnica bioprogresiva de Ricketts, existen varias presentaciones de esta aleación, así como el elgiloy azul, amarillo, verde y rojo. Sus ventajas son que son más resistentes a la fatiga, almacenan energía y así funcionan por más tiempo, muy maleables, al templarse producen fuerzas muy altas. Pueden ser soldados, baja fricción y de costo intermedio. Clínicamente, se usan para confeccionar arcos multiansas, de utilidad y de intrusión. (13,14)

### Aleaciones níquel-titanio

Son útiles durante la alineación ortodóncica debido a que ejercen fuerzas ligeras en intervalos amplios, tienen memoria de forma (capacidad de recuperar su forma original tras su deformación) y superelasticidad, así como termo elasticidad (los cambios de

temperatura cambian su configuración molecular sin cambiar la composición atómica). En este grupo podemos encontrar tres tipos de aleaciones:

- Níquel/titanio (martensítico: permite ciertos dobleces permanentes en el alambre) se usa en fases posteriores del tratamiento activo de ortodoncia, cuando se necesitan alambres flexibles de mayor diámetro y más rígidos.
- Beta/titanio (titanio molibdeno).
- Níquel titanio superelástico (austenítico: superelástico no permite dobleces de ningún tipo) se usa en ortodoncia cuando se requieren intervalos prolongados de activación, con fuerzas bajas y constantes.
- Titanio/molium.

En general es ideal para las fases iniciales del tratamiento de ortodoncia, activo para alienar y nivelar los arcos dentales, apiñamiento severo y en discrepancias verticales y transversales severas, se comercializan en alambres preformados redondos, cuadrados y rectangulares. (13,14)

#### Aleaciones de cobre/níquel/titanio

Desarrolladas para su uso clínico con comportamientos a diferentes temperaturas.

- 1 Tipo II, activo a los 27°, semejante al níquel/titanio, con el uso del cobre se hace más flexible y entrega fuerzas más constantes y duraderas.
- 2 Tipo III, activo a los 35°, genera fuerzas más ligeras.
- 3 Tipo IV, activo a los 40° general movimiento dental activo intermitente y se vuelven rígidos cuando la temperatura oral excede los 40°. (14)

#### 1.5 Fricción y superficies

Cuando las aleaciones de níquel titanio son sometidas al medio bucal presenta un aumento en su fricción, otros estudios reportan aumento de la rugosidad de los

alambres níquel/titanio cuando son evaluados con saliva artificial y altas concentraciones de flúor, afectando la cantidad de movimiento y alineación. (15,16)

### 1.6 Mecanismo arco-bracket

La facilidad con que se deslizan los brackets a lo largo de un arco está influenciada por el material del alambre, la forma y tamaño de la ranura (diseño) y el método de ligado (Nanda y Ghosh, 1997).

Esto se complica cuando los brackets se deslizan a lo largo de un alambre ortodóntico en la boca, ya que los dientes se mueven hacia adentro una serie de saltos cortos (Read-Ward *et al.*, 1997). La secuencia de arcos seleccionados puede tener un efecto profundo en la cantidad de fricción porque la interacción que tiene con la ranura del bracket es mayor. (17)

### 1.7 Fricción en ortodoncia

La fricción estática es la fuerza más pequeña necesaria para iniciar el movimiento, mientras que la fricción cinética es la fuerza que resiste el movimiento deslizante de un objeto sólido sobre otro a una velocidad constante (Omana *et al.*, 1992). De acuerdo con las leyes de la física, la fricción estática siempre es mayor que la fricción cinética (Kapila *et al.*, 1990; Nanda y Ghosh, 1997): La proporción de la fuerza aplicada que se traduce en movimiento del diente disminuye a medida que aumenta la fricción, de modo que la fuerza requerida para superar la fricción puede ser de hasta el 60% (Drescher *et al.*, 1989) o la mitad de la fuerza total aplicada a un bracket (Kusy *et al.*, 1997; Proffit y Fields, 2000). Por lo tanto, es evidente que el manejo de la fricción es una consideración importante en la ortodoncia. (17)

## 1.8 Operación de máquinas de pruebas universales y pruebas de fricción

La medición de la fricción está estandarizada por la norma ASTM D1894. Este método de prueba mide la fricción inicial y en movimiento de un material que se desliza sobre otro, también conocido como coeficiente de fricción (COF) estática (inicial) y cinética (en movimiento). ASTM D1894 se usa para láminas de plástico, pero puede adaptarlo para casi cualquier producto o material. La prueba utiliza una máquina de prueba universal estándar, una celda de carga de baja fuerza y un aparato COF. La fuerza inicial para mover la celda de carga se usa para calcular el COF estático, y la fuerza promedio una vez que la celda de carga se mueve se usa para calcular el COF cinético.

Para realizar pruebas de fricción se necesita un dispositivo especial diseñado para realizar pruebas de coeficiente de fricción. Se compone de dos partes principales, un plano deslizante o placa y un trineo. La prueba se puede ejecutar deslizando material sobre sí mismo o sobre un material diferente. (18)

### Pasos para pruebas generales de fricción

- Corte el material que está probando al tamaño especificado por la norma.
- Pegue el material a la placa, asegurándose de que no haya deformaciones en el material.
- Corte y pegue el material o la superficie especial al trineo utilizando el método especificado.
- Pase la cuerda unida al trineo a través de la polea y conéctela a la celda de carga en el actuador de la máquina de prueba.
- Comience a tirar de la cuerda a la velocidad especificada.
- Registre la carga cuando la muestra comience a moverse.

- Continúe tirando del trineo, asegurándose de que los datos se muestren gráficamente. Detenga la prueba una vez que se haya cubierto la distancia de deslizamiento especificada. (19,20)

## 2. Planteamiento del problema

La biomecánica del movimiento ortodóncico es compleja durante el tratamiento en paciente, específicamente la fricción representa uno de los factores esenciales que pueden acelerar o retrasar el avance de este, por lo que el estudio de nuevas estrategias que favorezcan la disminución de la fricción podría mejorar el deslizamiento de órganos dentarios en la fase de retracción canina o de algún otro órgano dentario en particular.

El uso de un arco rígido es necesario para lograr un mayor control, sobre todo en las etapas de retracción, por lo que se incrementa la fricción al haber un mayor contacto entre el arco y la ranura del bracket, así como el uso de alambres redondos de acero y de NiTi, que se colocan en etapas iniciales del tratamiento (alineación) debido a que en esta etapa los dientes se encuentran apiñados y diferentes alturas, estos alambres sufren mayores distorsiones (notching y binding) este fenómeno ha sido resuelto con brackets de auto ligado y aditamentos, pero reduciendo el control, otros estudios reducen la fricción con tratamientos de implantación de iones y recubrimientos con diferentes tipos de materiales.

La fricción es un factor que interviene de manera trascendente en la biomecánica, ya que produce dos fenómenos como lo son el Notching y el binding, que han sido poco estudiados en nuevas técnicas ortodóncicas, lo que aumenta el nivel de complejidad de cualquier tratamiento, por lo que surgen las siguientes preguntas de investigación:

**¿Cuál es el efecto del enclavamiento y la deformación elástica en la fricción de los brackets de autoligado en comparación con los brackets de ligado convencional?**

**¿Cuál tipo de bracket presentará menor fricción en comparación con su tipo de ligado?**

### 3. Justificación

Durante la última década el uso de brackets de autoligado ha ido en aumento como alternativa a brackets de ligado convencional. De acuerdo con la literatura, los brackets de autoligado proveen una alternativa adecuada al manejo de la fricción en ortodoncia, sin embargo, los brackets de ligado convencional siguen siendo el “Gold Estándar” por su fácil uso, ya que no requieren aditamentos especiales y su bajo costo. Diversos autores han presentado datos del papel de la fricción en la mecánica de deslizamiento, por lo tanto, es necesario analizar los efectos de la deformación elástica y el enclavamiento de los arcos ortodóncicos sobre la ranura del bracket lo que permitirá conocer si afecta el deslizamiento. La relevancia de esta información aportaría datos importantes que debe considerar el clínico en ortodoncia en su práctica diaria en función de las variables que intervienen en cada uno de los casos y tratamientos a realizar. Aportando así, alternativas que mejoren el desempeño de los brackets en las mecánicas de deslizamiento, impactando en la mecánica del deslizamiento y tiempos de tratamiento.

## **4. Hipótesis**

### **Hipótesis de trabajo**

El efecto de la deformación elástica y enclavamiento aumenta la fricción de brackets de ligado convencional

El efecto de la deformación elástica y enclavamiento aumenta la fricción de brackets de autoligado

### **Hipótesis nula**

El efecto de la deformación elástica y enclavamiento no afecta la fricción de brackets de ligado convencional

El efecto de la deformación elástica y enclavamiento no afecta la fricción de brackets de autoligado

## **5. Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar el efecto del enclavamiento y la deformación elástica en la fricción de los brackets de autoligado en comparación con los brackets de ligado convencional sobre un novedoso aparato de pruebas in vitro

### **Objetivos específicos**

- Medir la fricción generada por los brackets de auto ligado
- Medir la fricción generada por los brackets de ligado convencional
- Comparar estadísticamente la fricción generada por los brackets de autoligado y ligado convencional

## 6. Diseño metodológico

### 6.1. Diseño del estudio

Experimental: Los estudios de intervención, conocidos como ensayos, son investigaciones experimentales. Son estudios de seguimiento en los que el investigador asigna a los sujetos del estudio de exposición. Se diferencian de los estudios no experimentales en que se controla la condición bajo la cual se realiza el estudio. (21)

### 6.2 Universo y muestra

El universo está formado por todos los tipos de brackets existentes de los cuales se seleccionarán los indicados para este estudio.

Bracket: Elemento metálico o cerámico (satisface necesidades estéticas), que sirve como soporte y agarre, fijando el arco de alambre de los aparatos ortodóncicos.

Muestra no probabilística por cuota y conveniencia

- G1: 2 brackets metálicos de autoligado, Nu-edge SL (activo) y G2: 2 brackets de ligado convencional, Nu-edge, TP Orthodontics, Inc, La Porte, Indiana EUA.
- G3: 2 brackets metálicos de autoligado, Empower SL(interactivo,pasivo) y G4: 2 brackets de ligado convencional, Mini Master American Orthodontics, Sheboygan, Wisconsin, EUA
- G5: 2 brackets metálicos de autoligado, Discovery SL(pasivo) y G6: 2 brackets Discovery Smart de ligado convencional, Dentaurum, Ispringen, Alemania.
- G7: 2 brackets Damon Q (pasivo), Ormco, Orange, California EUA. Y G8: 2 brackets synthesis, Ormco, Orange, California EUA.

### 6.3 Criterios

#### Inclusión

- Brackets metálicos ranura 0.22", canino y segundo premolar de autoligado y ligado convencional.
- Brackets metálicos sin defecto físico aparente.
- Brackets metálicos prescripción MBT, DAMON, Roth.

#### Exclusión

- Brackets estéticos.
- Brackets reciclados.

#### Eliminación

- Brackets que se desprendan del dispositivo de medición al momento del ensayo.
- Brackets con fractura al momento de aplicación de deslizamiento.
- Barra de acero inoxidable 0.018" que presenten deformaciones indeseadas.

#### 6.4 Variables de estudio

Operacionalización de las variables Tabla 1. Definición conceptual y operacional de variables dependientes e independientes.

<b>Variable</b>	<b>Descripción conceptual.</b>	<b>Definición operacional.</b>	<b>Escala de medición.</b>	<b>Unidad de medición.</b>	<b>Etiqueta.</b>
<b>Fricción</b>	Movimiento que existe cuando un sólido se mueve tangencialmente en contacto con la superficie de otro sólido.	Cantidad de movimiento expresado en milímetros que se medirá con propósitos estadísticos.	Cuantitativa continúa.	newtons	FR.
<b>Bracket</b>	Elemento metálico o cerámico (para satisfacer necesidades estéticas), que sirve para soporte y agarre, fijando el arco de alambre de los aparatos ortodóncicos.	Aditamento ortodóncico que se fijará al dispositivo de medición.	Nominal politómica	-----	1. G1, G2 2. G3, G4 3. G5, G6 4. G7, G8

<b>Deformación elástica (notching)</b>	Es la deformación permanente del arco ortodóncico cuando entra en contacto con ambas esquinas de la ranura del bracket	Brackets a diferentes alturas.	Cuantitativa continúa.	newtons	-----
<b>Enclavamiento (binding)</b>	Es una zona en la que el arco ortodóncico y la ranura están en un contacto extremadamente cercano	Se dejan los brackets a diferentes alturas hasta que el arco presente deformaciones definitivas.	Cuantitativa continúa.	newtons	-----
<b>Arco ortodóncico</b>	Aditamento que guía al bracket		Cualitativa Politómica		Arcos NiTi 0.018

Variables:

Variable independiente

- Bracket

Variable dependiente

- Deformación elástica
- Enclavamiento
- Fricción

## 6.5 Instrumentos

- La prueba mecánica de fricción se realizará utilizando una máquina de prueba universal (Shimadzu AGS-X/Software trapezium X) con una celda de carga de 100 g.
- Para llevar a cabo esta investigación, se desarrolló un dispositivo para este tipo de pruebas mecánicas.
- La cementación de los brackets se llevará a cabo mediante una lámpara de fotocurado Ortholux. 3M Unitek

## 6.6 Procedimiento

Se probaron ocho grupos diferentes de brackets de autoligado y ligado convencional: G1: dos brackets metálicos de autoligado, Nu-edge SL (activo) y G2: dos brackets de ligado convencional, Nu-edge, TP Orthodontics, Inc, La Porte, Indiana, EUA., G3: dos brackets metálicos de autoligado, Empower SL(interactivo, pasivo) y G4: dos brackets de ligado convencional, Mini Master American Orthodontics, Sheboygan, Wisconsin, EUA., G5: dos brackets metálicos de autoligado, Discovery SL(pasivo) y G6: dos brackets Discovery Smart de ligado convencional, Dentaurem, Ispringen, Alemania y por último, G7: dos brackets Damon Q (pasivo), Ormco, Orange, California, EUA. Y G8: dos brackets synthesis, Ormco, Orange, California EUA., de premolares y caninos con ranuras de 0.022x0.028 pulgadas y prescripción MBT, DAMON y Roth. Los brackets se probaron en arcos NiTi 0.018 (3M Unitek, Monrovia, California, EE. UU.). Los brackets de ligado convencional se ligaron usando ligadura elastomérica (TP Orthodontics, La Porte, IN, EE. UU.) El enclavamiento y la reformación elástica, de los arcos resultó de la fuerza de fricción producida por el contacto entre la superficie de la ranura del bracket y los segmentos de arcos de ortodoncia. Cada arco / bracket se sometió a una prueba de tracción mecánica con angulaciones de 0, 5 y 10 grados, para simular el efecto de la deformación elástica y enclavamiento los arcos quedarán fijos a cada grupo de un brackets por un mes antes de las pruebas. Cada grupo fue sometido a 30 pruebas por un solo operador. La prueba mecánica de fricción se realizó utilizando una máquina de prueba universal (Shimadzu AGS-X/Software trapezium X) con una celda de carga de 100 g. Para llevar a cabo esta investigación, se desarrolló un dispositivo especialmente diseñado para este tipo de pruebas mecánicas (Figuras 3, 4). Cada segmento de arco se unió a este dispositivo que contiene cuatro soportes circulares que se regulan verticalmente, así como a diferentes grados, todo esto mediante una plantilla angulada, así como una distancia inter-bracket de 5 mm. Los brackets se colocaron en el centro de los soportes circulares y luego se fijaron mediante resina fotopolimerizable Enlight, Ormco, Orange, Calif, USA, mediante el uso de una lámpara Ortholux, 3M Unitek. Antes de la prueba mecánica, los arcos y los brackets se limpiaron con alcohol. Para los brackets de ligado convencional, se utilizaron ligaduras elastoméricas. Después de la

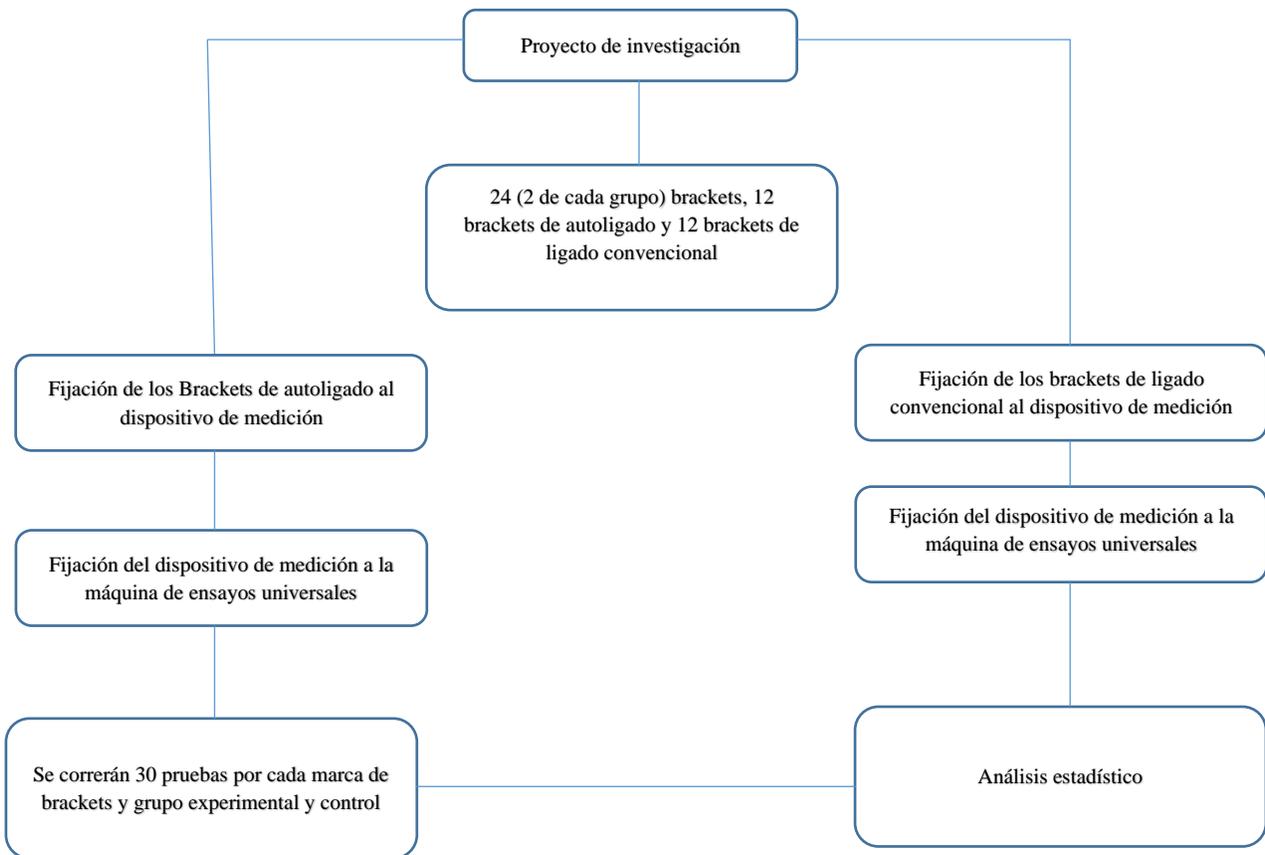
colocación de cada ligadura, se esperó un período de 5 minutos para permitirles relajarse. Las ligaduras se colocaron por un solo operador y se reemplazaron antes de cada prueba. Para los brackets de autoligado, no se utilizó ningún tipo de accesorio. (5,22,23)

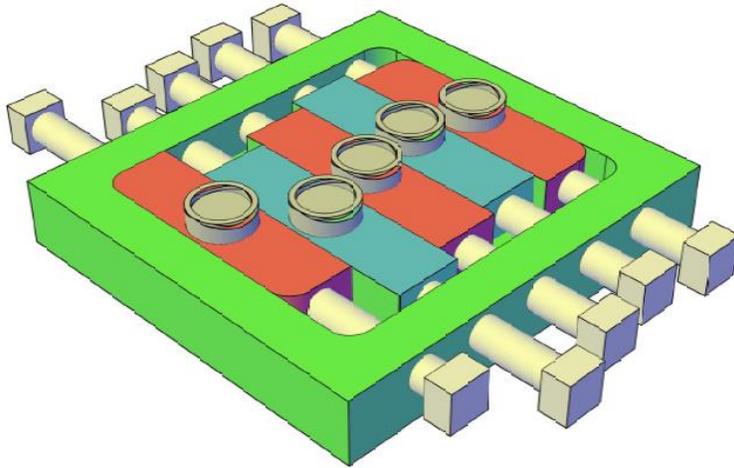
Para la prueba mecánica de tracción se eliminó el torque de los brackets, ya que los segmentos de arco se colocaron perpendicular a los soportes circulares, manteniendo así un contacto pasivo con las ranuras de bracket a una angulación (Tip) de 5 y 10 grados, así como un ajuste vertical de 5 mm así simulando apiñamiento, los soportes circulares se giraron en relación con el eje largo de los alambres de ortodoncia mediante el uso de una plantilla angulada. Los arcos se traccionaron a través de las ranuras del bracket a una velocidad de 1 mm / min. La fricción se midió en condiciones secas y a temperatura ambiente, ya que estas variables no interfieren con la fricción. (24,25)

## 6.7 Recolección de datos

El enclavamiento y la reformación elástica (angulación) de los arcos resultará de la fuerza de fricción producida por el contacto entre la superficie de la ranura del bracket y los segmentos de alambres de ortodoncia de 30 cm, será recolectada mediante el software de la máquina de pruebas universales en newtons.

## Diagrama de flujo representativo de los pasos de la metodología del estudio





**Figura 3.** Imagen representativa del dispositivo de medición donde serán fijados los brackets. Fuente: propia.



**Figura 4.** Dispositivo de medición. Fuente: propia

## 6.8 Análisis de datos

Los resultados se analizaron con el paquete estadístico IBM SPSS, versión 23, donde se realizó el análisis descriptivo seguido de Anova de un factor y Tukey post hoc de  $p \leq 0.05$  y T de Student, para hallar diferencias estadísticamente significativas.

## 6.9 Aspectos éticos

De acuerdo con el reglamento general de salud en su artículo 17 apartado I, la siguiente investigación se considerará como investigación sin riesgo, ya que no se realizará ninguna intervención o modificación en variables fisiológicas, psicológicas y sociales en individuos por su carácter in vitro y de ciencia básica.

El presente proyecto tiene su valor teórico en su base bibliográfica de acuerdo con la normativa científica. En cuanto la ética de la publicación se contribuirá al aumento de los conocimientos de los profesionales, se comunicará con sinceridad los resultados obtenidos y verdaderos de la investigación, se evitará la invención, ocultación y manipulación científica.

Se reconocerá legítimamente a los autores involucrados en la publicación o de cualquier producto que resulte del mismo. Se reconocerá la participación explícita sin aplicar la autoría ficticia o intercambio mercantil de autorías, incluyendo no plagiar y reconocer a los autores citados, todo esto de acuerdo con el comité internacional de editores de revistas biomédicas.

## 7.Resultados

7.1Capitulo de libro aceptado

7.2 Efecto del enclavamiento y deformación elástica en la fricción de brackets de autoligado y brackets de ligado convencional: revisión sistemática de la literatura

7.3 Pagina frontal de manuscrito

7.4 Carta de aceptación



Universidad Autónoma del Estado de México  
Facultad de Ciencias de la Conducta

# Carta de aceptación

**Autores del Capítulo de Libro:**

**Pierre González Díaz, Ulises Velázquez Enríquez, Rogelio J. Scougall Vilchis y Efraín Rubio Rosas**

**Presentes**

A través de este medio reciban un cordial saludo, al mismo tiempo se les informa que ha sido aceptado el capítulo de libro *“Efecto del enclavamiento y deformación elástica en la fricción de brackets de autoligado y brackets de ligado convencional: revisión sistemática cualitativa de la literatura”*, del cual ustedes son autores, mismo que fue dictaminado por pares académicos que revisaron la pertinencia, congruencia metodológica y aportaciones a la disciplina correspondiente.

En este sentido, el capítulo descrito se integrará al libro titulado “Enfoque Multidisciplinario de la Investigación en Salud. Serie: Doctorado en Ciencias de la Salud”.

DCS/023/2022

Toluca de Lerdo, 08 de febrero de 2022

**Patria, Ciencia y Trabajo**

*“2022, Celebración de los 195 años de la apertura de clases en el Instituto Literario”*



**Dr. Johannes Oudhof Van Barneveld**

Coordinador del Doctorado en Ciencias de la Salud

**Dra. en C.S. María Dolores Martínez  
Garduño**

**Dra. en C.S. Jessica Belén Rojas  
Espinoza**

Compiladoras

Filiberto Gómez s/n Barrio de Tlacopa, Col. Guadalupe,  
C.P. 50010, Toluca, Estado de México. Tel. (722) 2720076



## 7.5 Resumen

**Objetivo:** Comparar el efecto del enclavamiento y la deformación elástica en la fricción de brackets de autoligado en comparación con los brackets de ligado convencional sobre aparatos de pruebas *in vitro* de acuerdo a lo reportado en la literatura. **Materiales y Métodos:** Se realizaron búsquedas sin límites en varias bases de datos electrónicas (Medline, PubMed, Embase, Cochrane Library y Web of Science). Se seleccionaron y revisaron estudios *in vitro* que abordaron la fricción, así como el efecto del enclavamiento y deformación elástica en brackets autoligado en comparación con los brackets ligados convencionalmente y las pruebas sobre aparatos especialmente diseñados para ese propósito de simular el entorno bucal. **Resultados:** Según los criterios de inclusión iniciales, se seleccionaron 51 resultados en función de sus resúmenes. Un total de 51 artículos (de la búsqueda electrónica) cumplieron con los criterios de selección inicial, sin embargo, en una segunda etapa (final) de selección, se eliminaron 41 artículos debido a que no cumplían con el puntaje metodológico adecuado. **Conclusiones:** El efecto de la deformación elástica y enclavamiento en la fricción es menor en brackets de autoligado pasivo en comparación con los brackets de ligado convencional.

### **Palabras clave**

Dental Stress Analysis, Orthodontic Friction, Materials Testing, Orthodontic Appliance Design, *In vitro* Techniques (fricción, enclavamiento, deformación elástica, brackets de autoligado, *in vitro*, aparato de pruebas)

## 7.6 Artículo y/o capítulo de libro enviado

## 7.7 Título: Binding and Notching effect on the friction of self-ligating brackets and conventional ligating brackets: An in vitro study

## 7.8 Carta de envío y/o recepción del artículo

Notification to co-authors of submission to Progress in Orthodontics PIOR-D-22-00607 [EMID:5944bf65fcd29022] Recibidos x



**Progress in Orthodontics Editorial Office** <em@editorialmanager.com>

para mí

PIOR-D-22-00607

Binding and Notching effect on the friction of self-ligating brackets and conventional ligating brackets: An in vitro study

Pierre Gonzalez-Diaz; Ulises Velazquez-Enriquez; Rogelio Jose Scougall-Vilchis; Efrarin Rubio-Rosas; Rosalia Contreras-Bulnes; Laura

Dear author:

You are receiving this email because you have been listed as an author on a manuscript recently submitted to Progress in Orthodontics.

Title: Binding and Notching effect on the friction of self-ligating brackets and conventional ligating brackets: An in vitro study

Authors: Pierre Gonzalez-Diaz; Ulises Velazquez-Enriquez; Rogelio Jose Scougall-Vilchis; Efrarin Rubio-Rosas; Rosalia Contreras-Bulnes

Corresponding author: Dr Ulises Velazquez-Enriquez

If you are not aware of the submission, or if you should not be listed as contributing author, please notify the Editorial Office. Contact details are available under "Contact Us" on the journal website.

Kind regards,

Editorial Office

Progress in Orthodontics

%CUSTOM\_BMC\_JOURNAL\_HOMEPAGE%

This letter contains confidential information, is for your own use, and should not be forwarded to third parties.

Recipients of this email are registered users within the Editorial Manager database for this journal. We will keep your information on file to facilitate evaluating and publishing a manuscript. For more information on how we use your personal details please see our privacy policy at <https://www.tandfonline.com/privacy-policy>. If you no longer wish to receive messages from this journal or you have questions regarding database management, please contact us at [em@editorialmanager.com](mailto:em@editorialmanager.com).

## 7.9 Resúmen

**Background:** The study aims to assess the effect of notching and binding on the friction of self-ligating brackets compared to conventional ligating brackets in an *in vitro* testing apparatus. **Results:** The results showed significant differences among the groups, mainly in the effect of binding of conventional brackets ( $p \leq 0.001$ ). **Conclusions:** Self-ligating brackets presented less friction, compared to conventional brackets after being subjected to the effect of binding and notching.

### Keywords

Dental Stress Analysis, Orthodontic Friction, Materials Testing, Orthodontic Appliance Design, *In vitro* Techniques

## 8. Resultados adicionales

Un total de 21 brackets fueron empleados y divididos en 8 grupos(n=), de los cuales, cuatro marcas de brackets de son con sistema de autoligado y cuatro de ligado convencional ranura de 022”, lo que llevó a un total de 240 pruebas usando un modelo de pruebas especialmente diseñado para tal fin. Para simular el efecto de deformación elástica y enclavamiento (ángulo de contacto crítico). **La tabla 2** muestra la media de fuerza de fricción y la desviación estándar para cada marca de bracket de autoligado y ligado convencional, se observa la fuerza de fricción media para los brackets osciló entre un límite inferior de 0.0024126 N y un límite superior de 1.1375903. En contraste, la fricción más baja se encontró en los brackets de autoligado, mientras que la mayor fricción se produjo en brackets de ligado convencional, **Fig. 5**. **La Fig. 6**. Muestra la distribución de la fricción de las pruebas realizadas. Las pruebas de Anova de un factor y t de student demostraron que existe una diferencia estadísticamente significativa principalmente en el efecto de deformación elástica y enclavamiento de la fricción de brackets de ligado convencional en comparación con brackets de autoligado ( $p \leq 0.001$ ) **Tabla 3 y Fig. 7**.

**Tabla 2. Comparaciones Múltiples  
Mini Master**

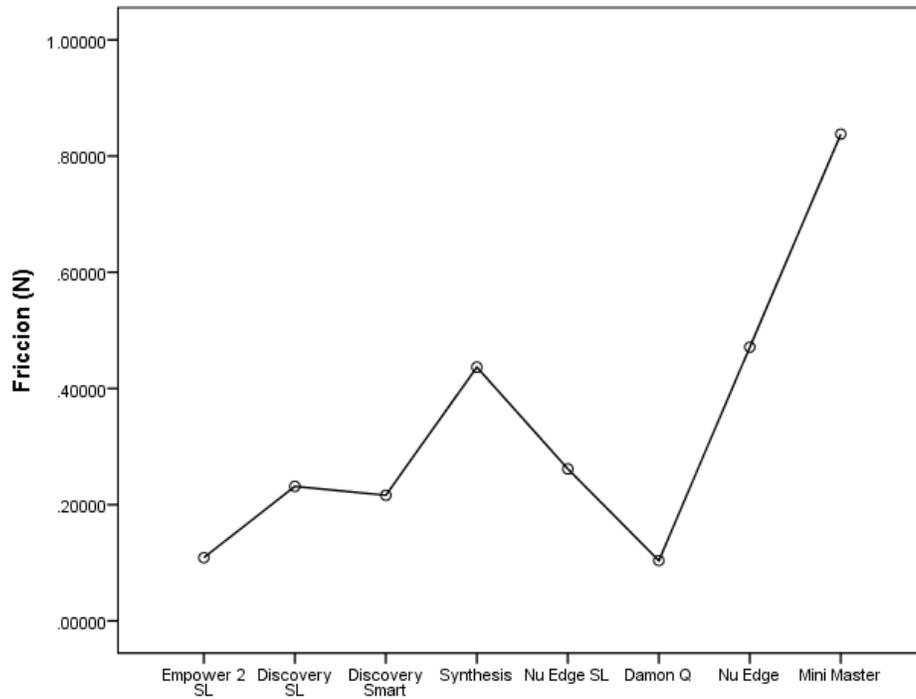
		Diferencia de medias	Error estándar	Sig.	Límite inferior	Límite superior
<b>Empower SL</b>	<b>2</b>	.72898933*	.13192402	.001	.3254584	1.1325203
<b>Discovery SL</b>		.60623933*	.13192402	.001	.2027084	1.0097703
<b>Discovery Smart</b>		.62164367*	.13192402	.001	.2181127	1.0251746
<b>Synthesis</b>		.40111833	.13192402	.053	.0024126	.8046493
<b>Nu Edge SL</b>		.57628000*	.13192402	.001	.1727490	.9798110
<b>Damon Q</b>		.73405933*	.13192402	.001	.3305284	1.1375903
<b>Nu Edge</b>		.36659700	.13192402	.105	-.0369340	.7701280

*\*Datos expresados en newtons (N) $p \leq 0.001$*

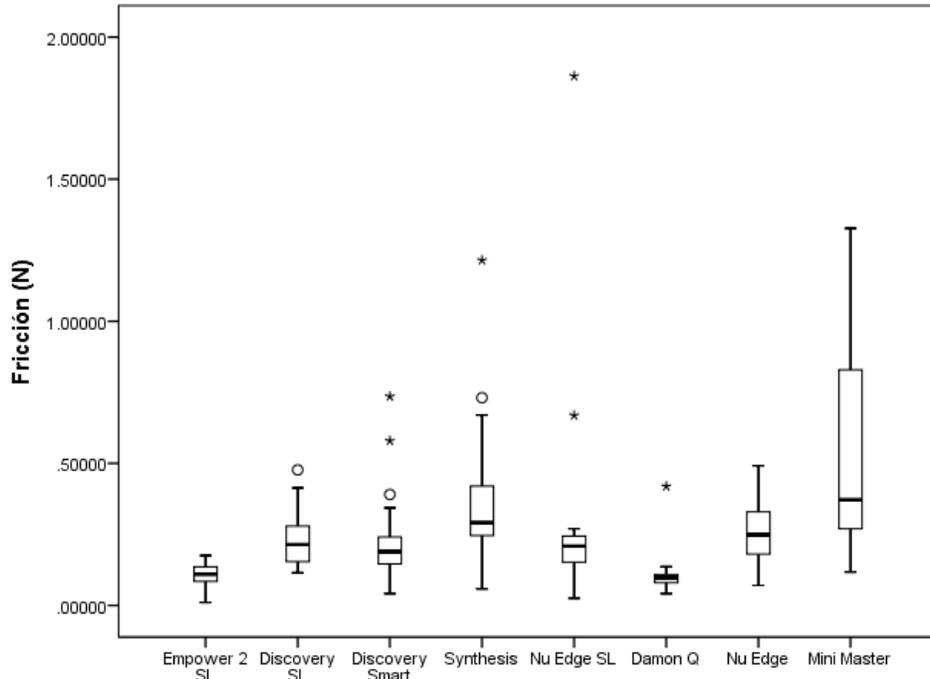
**Tabla 3. Max Fuerza. Autoligado y ligado convencional**

	Media	N	Desviación estándar	Sig.
<b>Max. Fuerza</b>	.3334638	240	.55290051	.001

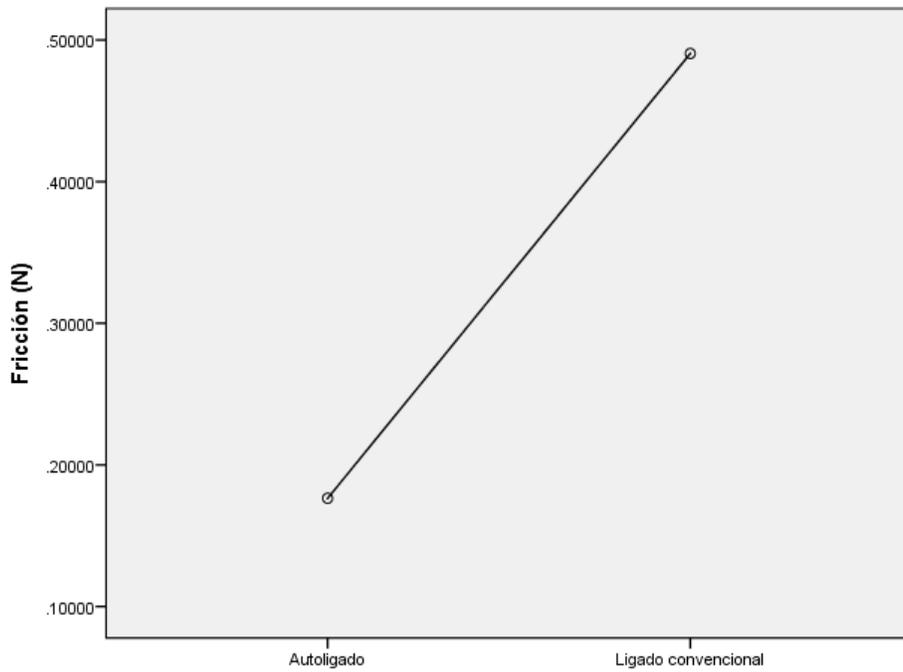
\*Datos expresados en newtons (N) T de Student  $P \leq 0.001$



**Figura 5. Marca Bracket**



**Figura 6. Efecto del enclavamiento y deformación elástica en la Fricción de brackets de autoligado y brackets de ligado convencional**



**Figura 7. Gráfico que muestra la variación de la fricción media de brackets de autoligado y ligado convencional**

## 9. Discusión general

Esta investigación analizó el efecto de la deformación elástica y el enclavamiento en la fricción de brackets de autoligado y de ligado convencional, variables que no pueden ser estudiadas por separado (26), clínicamente estas circunstancias ocurren después de colocar el primer arco de ortodoncia para alinear y nivelar los dientes, (27) donde el arco de ortodoncia hace contacto con las esquinas de la ranura del bracket provocando muescas y deformaciones permanentes en el arco lo que puede aumentar la fricción y así aumentar la resistencia al deslizamiento, (28) por lo que, para lograr un movimiento dental satisfactorio, es importante comprender estos fenómenos que se presentan en la interacción arco-bracket, en este sentido, un dispositivo de pruebas *in vitro* fue especialmente diseñado para recrear apiñamiento vertical y horizontal donde puede ocurrir el fenómeno del ángulo crítico de contacto ( $3^\circ$  a  $5^\circ$ ), donde el enclavamiento y la deformación elástica se hacen presentes.(7,29,30) En este estudio se usaron diferentes metodologías, sin embargo, en esas investigaciones los autores no estudiaron el efecto de la deformación elástica y enclavamiento, solo el efecto de la fricción en línea recta y, por lo tanto, no reflejan del todo las condiciones reales de fundamentos biomecánicos del tratamiento clínico, con el objetivo de simular una situación clínica donde puede presentarse el efecto del enclavamiento y deformación elástica, por esta razón esta investigación utilizó 3 brackets y 2 tubos, (incisivo lateral, canino y segundo premolar, así como tubos, primer y segundo molar superiores derechos), todas las pruebas fueron sobre los mismos brackets y arcos, los cuales se dejaron reposar por un mes para que el efecto de la deformación elástica y enclavamiento se hiciera presente con la simulación de un canino alto (ángulo de contacto crítico), en contraste con otros estudios donde no se utilizaron tubos bucales, solo brackets. (5,31,32).

En este estudio se utilizaron brackets de autoligado en su mayoría pasivos como grupo experimental y brackets de ligado convencional con ligadura elastomérica como grupo control. Kusy y cols. Reportaron que cuando se excede el ángulo crítico de contacto también aumenta el enclavamiento, por lo que el efecto de la ligadura no es significativo, por lo tanto, es importante reportar qué efectos repercuten en los brackets de autoligado en situaciones de apiñamiento dental. (33)

Al utilizar un aparato especialmente diseñado para simular apiñamiento, se emplearon secciones de alambre de ortodoncia de calibre 0.018", de lo contrario el torque y arcos rectangulares podrían convertirse en factores de confusión que impedirían la manifestación del efecto de enclavamiento y deformación elástica, adicionalmente esto facilita la comparación entre ambos grupos. (26,34–37) En este estudio, la mayoría de los brackets de autoligado pasivo presentaron menor resistencia a la fricción que sus contrapartes de ligado convencional, lo que corrobora los hallazgos de diferentes autores.(38,39) Por otro lado, el bracket de ligado convencional Discovery® Smart, presentó resultados similares a los brackets de ligado pasivo, este puede deberse a que es el único bracket en todo el ensayo fabricado en aleación de titanio, lo que concuerda con Khalid y cols. reportaron que los brackets de aleación de titanio presentan menor fricción en comparación de lo brackets fabricados en acero inoxidable.(40) En esta investigación el bracket Damon®Q™ presento menor fricción, estos datos son similares con otros estudios donde se han acoplado con arcos ortodóncicos redondos. (41) Una desventaja de estudio fue que no se comprobó a través de microscopia electrónica de barrido la aparición de muscas en el arco (enclavamiento) por lo que se opto dejar interactuar los arcos con la ranura de bracket por un mes, por lo que se sugiere realizar esta prueba en estudio subsecuente.

## 10. Conclusiones generales

La fricción clásica, la deformación y el enclavamiento, contribuyen a la fricción por deslizamiento, pero las magnitudes de las dos primeras son cruciales para determinar la eficacia y la eficiencia de la mecánica de deslizamiento. Los resultados de este estudio indican que los brackets de autoligado presentaron menos efecto de enclavamiento y deformación elástica en la fricción, en comparación con los brackets convencionales, excepto el grupo Discovery Smart de brackets de ligadura convencional que presentó resultados similares a los brackets de autoligado. Por otro lado, los brackets Mini Master y Synthesis presentaron la mayor fricción después de ser sometidos al efecto del enclavamiento y deformación elástica.

En conclusión, el presente estudio tuvo como objetivo investigar el efecto de la unión y la muesca en la fricción de los brackets autoligados y ligados convencionalmente, y comparar la fricción entre diferentes tipos de brackets. Los hallazgos de este estudio sugieren que los brackets de autoligado tienen menor fricción en comparación con los brackets convencionales, con la fricción más baja encontrada en los brackets de autoligado y la más alta en los brackets ligados convencionalmente. El enclavamiento y la deformación elástica tuvieron un efecto significativo en la fricción de los brackets. Por lo tanto, los brackets de autoligado pueden ser una opción más efectiva para el tratamiento de ortodoncia ya que tienen menor fricción y menos efecto de enclavamiento. Sin embargo, es importante tener en cuenta la posibilidad de enclavamiento y deformación elástica en los brackets de autoligado, especialmente cuando se trata de desalineaciones verticales. El estudio tiene algunas limitaciones, como el diseño in vitro y el pequeño tamaño de la muestra, por lo que se necesitan futuras investigaciones para comprender completamente los efectos de enclavamiento y deformación elástica en los brackets de autoligado en escenarios clínicos.

## 11. Bibliohemerografía utilizada

1. Uribe Restrepo G. Fundamentos de Odontología: ortodoncia, teoría y clínica. Prim Edicion Editor Corp para Investig Biológicas Cap. 2004;33.
2. Bishara Samir E. Ortodoncia, editorial Mc. Graw Hill Interam Impr en México. 2003;
3. AlSubaie M, Talic N, Khawatmi S, Alobeid A, Bourauel C, El-Bialy T. Study of force loss due to friction comparing two ceramic brackets during sliding tooth movement. J Orofac Orthop = Fortschritte der Kieferorthopädie Organ/official J Dtsch Gesellschaft für Kieferorthopädie [Internet]. 2016;77(5):334–40. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27384715>
4. Doshi UH, Bhad-Patil WA. Static frictional force and surface roughness of various bracket and wire combinations. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2011;139(1):74–9.
5. Nucera R, Lo Giudice A, Matarese G, Artemisia A, Bramanti E, Crupi P, et al. Analysis of the characteristics of slot design affecting resistance to sliding during active archwire configurations. Prog Orthod. 2013;14(1):35.
6. Graber LW, Vanarsdall Jr RL, Vig KWL. Orthodontics: current principles and techniques. Elsevier Health Sciences; 2011.
7. Kusy RP, Whitley JQ. Influence of archwire and bracket dimensions on sliding mechanics: Derivations and determinations of the critical contact angles for binding. Eur J Orthod. 1999;21(2):199–208.
8. Burrow SJ. Friction and resistance to sliding in orthodontics: A critical review. Am J Orthod Dentofac Orthop [Internet]. 2009;135(4):442–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.09.023>
9. Iluru R, Nellore C, Karnati PKR, Thalapaneni AK, Myla VB, Ramyasree K, et al. The effects of in-office reconditioning on the slot dimensions and static frictional resistance of stainless steel brackets. J Clin Diagnostic Res. 2016;10(1):ZC74–8.
10. Kusy RP, Whitley JQ. Frictional Resistances of Metal-lined Ceramic Brackets Versus Conventional Stainless Steel Brackets and Development of 3-D Friction Maps. Angle Orthod. 2001;71(5):364–74.
11. Vinay K, Venkatesh MJ, Nayak RS, Pasha A, Rajesh M, Kumar P. A comparative study to evaluate the effects of ligation methods on friction in sliding mechanics

- using 0.022" slot brackets in dry state: An In-vitro study. *J Int oral Heal JIOH*. 2014;6(2):76–83.
12. y Convencionales B de AE. Evaluation In Vitro of Frictional Resistance of Self-Ligating Esthetic and Conventional Brackets. *Int J Odontostomat*. 2014;8(2):261–6.
  13. Proffit WR, Fields Jr HW, Sarver DM. *Contemporary orthodontics*. Elsevier Health Sciences; 2014.
  14. Alonso UG. *Ortodoncia teoría y clínica*. Editorial; 2010.
  15. Thorstenson G, Kusy R. Influence of stainless steel inserts on the resistance to sliding of esthetic brackets with second-order angulation in the dry and wet states. *Angle Orthod*. 2003;73(2):167–75.
  16. Anand M, Turpin DL, Jumani KS, Spiekerman CF, Huang GJ. Retrospective investigation of the effects and efficiency of self-ligating and conventional brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2015;148(1):67–75. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.12.029>
  17. Hamdan A, Rock P. The effect of different combinations of tip and torque on archwire/bracket friction. *Eur J Orthod*. 2008;30(5):508–14.
  18. Szczupakowski A, Reimann S, Dirk C. Friction behavior of self-ligating and conventional brackets with different ligature systems Reibungsverhalten von selbstligierenden und konventionellen Brackets mit verschiedenen Ligatursystemen. 2016;287–95.
  19. Sussex W. FT1 Series Friction Tester Machines User Manual. 2013;(01):1–53.
  20. Hao S, Klamecki BE, Ramalingam S. Friction measurement apparatus for sheet metal forming. *Wear*. 1999;224(1):1–7.
  21. Eliades T. *Research methods in orthodontics: a guide to understanding orthodontic research*. Springer Science & Business Media; 2012.
  22. Monteiro MRG, da Silva LE, Elias CN, Vilella ODV. Frictional resistance of self-ligating versus conventional brackets in different bracket-archwire-angle combinations. *J Appl Oral Sci*. 2014;22(3):228–34.
  23. Al-Thomali Y, Mohamed R-N, Basha S. Torque expression in self-ligating orthodontic brackets and conventionally ligated brackets: A systematic review. *J Clin Exp Dent*. 2017;9(1):e123.

24. Galvão MB, Camporesi M, Tortamano A, Dominguez GC, Defraia E. Frictional resistance in monocrystalline ceramic brackets with conventional and nonconventional elastomeric ligatures. *Prog Orthod*. 2013;14(1):9.
25. Mendonça S de L, Praxedes Neto OJ, Oliveira PT de, Santos PBD dos, Pinheiro FH de SL. Comparison of friction produced by two types of orthodontic bracket protectors. *Dental Press J Orthod*. 2014;19(1):86–91.
26. Smith D V., Rossouw PE, Watson P. Quantified simulation of canine retraction: Evaluation of frictional resistance. *Semin Orthod*. 2003;9(4):262–80.
27. Yeh CL, Kusnoto B, Viana G, Evans CA, Drummond JL. In-vitro evaluation of frictional resistance between brackets with passive-ligation designs. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2007;131(6):704.e11-704.e22.
28. Huang TH, Luk HS, Hsu YC, Kao CT. An in vitro comparison of the frictional forces between archwires and self-ligating brackets of passive and active types. *Eur J Orthod*. 2012;34(5):625–32.
29. Kusy RP. Ongoing Innovations in Biomechanics and Materials for the New Millennium. *Angle Orthod*. 2000;70(5):366–76.
30. Thorstenson GA, Kusy RP. Comparison of resistance to sliding between different self-ligating brackets with second-order angulation in the dry and saliva states. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2002;121(5):472–82.
31. Kima DY, Limb BS, Baek SH. Frictional property comparisons of conventional and self-ligating lingual brackets according to tooth displacement during initial leveling and alignment: An in vitro mechanical study. *Korean J Orthod*. 2016;46(2):87–95.
32. Baccetti T, Franchi L, Camporesi M, Defraia E, Barbato E. Forces produced by different nonconventional bracket or ligature systems during alignment of apically displaced teeth. *Angle Orthod*. 2009;79(3):533–9.
33. Thorstenson GA, Kusy RP. Resistance to sliding of self-ligating brackets versus conventional stainless steel twin brackets with second-order angulation in the dry and wet (saliva) states. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2001;120(4):361–70.
34. Burrow SJ. Canine retraction rate with self-ligating brackets vs conventional edgewise brackets. *Angle Orthod*. 2010;80(4):626–33.
35. Chen H, Han B, Xu T. Effect of different combinations of bracket, archwire and

- ligature on resistance to sliding and axial rotational control during the first stage of orthodontic treatment: An in-vitro study. *Korean J Orthod.* 2019;49(1):21–31.
36. Lee SM, Hwang C-J. A comparative study of frictional force in self-ligating brackets according to the bracket-archwire angulation, bracket material, and wire type. *korean J Orthod.* 2015;45(1):13–9.
  37. Savoldi F, Visconti L, Dalessandri D, Bonetti S, Tsoi JKH, Matinlinna JP, et al. In vitro evaluation of the influence of velocity on sliding resistance of stainless steel arch wires in a self-ligating orthodontic bracket. *Orthod Craniofacial Res.* 2017;20(2):119–25.
  38. Voudouris JC, Schismenos C, Lackovic K, Kufinec MM. Self-ligation esthetic brackets with low frictional resistance. *Angle Orthod.* 2010;80(1):188–94.
  39. Jakob SR, Matheus D, Jimenez-Pellegrin MC, Turssi CP, Amaral FLB. Comparative study of friction between metallic and conventional interactive self-ligating brackets in different alignment conditions. *Dental Press J Orthod.* 2014;19(3):82–9.
  40. Khalid. The comparison of frictional resistance in titanium, self-ligating stainless steel, and stainless steel brackets using stainless steel and TMA archwires: An in vitro study. *J Pharm Bioallied Sci.* 2012;4(6):203.
  41. Vale F, Maló L, Caramelo F, Ramos J, Cavaleiro J. Dynamic behavior and surface characteristics of conventional and self-ligating brackets. *Rev Port Estomatol Med Dentária e Cir Maxilofac* [Internet]. 2016;57(1):1–8. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1646289016000042>