

**COMPORTAMIENTO EN DESCARGA DE CUATRO ALAMBRES SUPERELÁSTICOS  
EN FUNCIÓN DE LA PRECARGA EN BRACKETS DE AUTOLIGADO DE DOS  
PRESCRIPCIONES.**

**ESTUDIO CUASIEXPERIMENTAL *in vitro***

**UNLOADING BEHAVIOR OF FOUR SUPERELASTIC WIRES AS A FUNCTION OF  
PRELOAD IN SELF-LIGATING BRACKETS WITH TWO PRESCRIPTIONS.**

***In vitro* QUASI-EXPERIMENTAL STUDY**

**Natalia Dangond<sup>1</sup>, Lina Vargas<sup>2</sup>, Marco Pardo<sup>3</sup>, Angela Suárez.<sup>4</sup>**

1. *Odontóloga, Residente Posgrado de Ortodoncia Pontificia Universidad Javeriana.*  
[ndangond@javeriana.edu.co](mailto:ndangond@javeriana.edu.co)
2. *Odontóloga, Residente Posgrado de Ortodoncia PUJ*  
[vargas\\_l@javeriana.edu.co](mailto:vargas_l@javeriana.edu.co)
3. *Odontólogo Universidad Nacional. Ortodoncista Universidad de Antioquia*  
[marcoapardos@gmail.com](mailto:marcoapardos@gmail.com)
4. *Odontóloga. Esp. Epidemiología - Mg. Salud pública. Docente pregrado posgrado PUJ*  
[angelasuarez01@javeriana.edu.co](mailto:angelasuarez01@javeriana.edu.co)

**RESUMEN**

**Antecedentes:** Las aleaciones de níquel-titanio producen en descarga, fuerzas que en magnitud son diferentes a las de carga, dentro del rango de deformación elástica. Estas aleaciones presentan cambios en los comportamientos relacionados con *la prescripción de los brackets, la magnitud de la precarga, la fricción y el sistema de ligado*. Estas variables afectan las características de las fuerzas aplicadas a los dientes dando como resultado el desconocimiento del estrés generado en el ligamento periodontal hacia el clínico. Se realizaron varios estudios para la evaluación del comportamiento de la carga deflexión, para analizar las propiedades superelásticas de los alambres de NiTi. Sin embargo, el desarrollo en modelos que empleen brackets resultan limitados y no comparables con la práctica clínica, en la cual la fricción es una variable relevante. **Objetivo:** Determinar el comportamiento en descarga de cuatro alambres superelásticos de diferentes calibres 0.016"x0.016", 0.016"x0.022", 0.017"x0.025", 0.019" x 0.025, en función de la precarga en brackets de autoligado de dos prescripciones. **Método:** Estudio de intervención de tipo cuasiexperimental *in vitro*. La unidad de observación estuvo representada por el sistema arco bracket. Se incluyeron brackets de Autoligado, pasivos metálicos, de prescripción Roth ranura 0.022". Brackets de Autoligado pasivos metálicos de prescripción MBT ranura 0.022" y Alambres de níquel-titanio convencionales de 4 calibres diferentes. se registraron valores de carga y descarga en movimientos ocluso-gingivales y gingivo-occlusales a diferentes alturas. El objeto de estudio se relacionó con el comportamiento en descarga en función de la precarga. **Resultados:** El 21% de las ecuaciones obtenidas mostró predictibilidad de la fuerza entregada a partir de la precarga con muy buena aproximación. Adicionalmente el 56% de ellas se encontraron en precargas de 1.5 y 2 mm. Existe un comportamiento típico, asociado a la elasticidad de estos alambres, en el cual los valores de

fuerza disminuyen en la medida en que progresa la descarga. Los alambres de mayor calibre entregaron más fuerza que los de menor calibre. **Conclusiones:** El número de diferencias estadísticamente significativas fue relativamente pequeño. En los calibres mayores como 0,017"x0,025" y 0,019"x0,025" fue donde se encontraron mayores significancias.

**Palabras clave:** Alambres superelásticos, bracket de autoligado, descarga, superelasticidad, precarga, prescripción de bracket.

## ABSTRACT

**Background:** Nickel-titanium alloys produce under discharge forces that are different in magnitude from those under load, within the range of elastic deformation. These alloys present changes in the behaviors related to the brackets prescription, the preload magnitude, friction, and the ligating system. These variables affect the characteristics of the forces applied to the teeth, resulting in the clinician's ignorance of the stress generated in the periodontal ligament. Several studies evaluated the behavior of the load deflection, to analyze the superelastic properties of NiTi wires. However, the development in models that use brackets are limited and not comparable with clinical practice, in which friction is a relevant variable. **Objective:** Determine the discharge behavior of four superelastic wires of different calibers 0.016"x0.016", 0.016"x0.022", 0.017"x0.025", 0.019"x 0.025", depending on the preload in self-ligating brackets of two prescriptions. **Method:** In vitro quasi-experimental intervention study. The observation unit was represented by the arch bracket system. Self-ligating brackets, metallic passives, Roth prescription slot 0.022" were included. Passive metal self-ligating brackets with MBT prescription slot 0.022" and conventional nickel-titanium wires of 4 different gauges. Load and unload values were recorded in occluso-gingival and gingivo-occlusal movements at different heights. The object of study was related to the unloading behavior as a function of preload. **Results:** 21% of the equations obtained showed predictability of the force delivered from the preload with a very good approximation. Additionally, 56% of them were found in preloads of 1.5 and 2 mm. There is a typical behavior, associated with the elasticity of these wires, in which the force values decrease as the discharge progresses. The larger gauge wires delivered more force than the smaller gauge ones. **Conclusions:** The number of statistically significant differences was relatively small. In the larger calibers such as 0.017"x0.025" and 0.019"x0.025" the greatest significance were found.

**Keywords:** Bracket prescription, preload, superelastic wires, self-ligating bracket, superelasticity, unloading.

## INTRODUCCIÓN

Debido a las irregularidades que presentan los dientes de los pacientes que inician tratamiento de ortodoncia, resulta necesario emplear alambres con bajos módulos de elasticidad. Como parte de las características que deben presentar los alambres se destacan: *baja rigidez, alta formabilidad, buena recuperación elástica, alta energía almacenada y baja fricción superficial.* (1)

Hasta la década de los 70', las primeras fases de un tratamiento de ortodoncia se realizaban por medio del uso de aleaciones de acero inoxidable. Con la introducción de aleaciones, a base de

titanio y con módulos de elasticidad más bajos, los clínicos iniciaron el uso de este tipo de alambres para nivelar los dientes en las primeras fases de tratamiento.(1,2)

Como parte de las aleaciones de titanio se encuentran las de Nitinol; una de sus características es el fenómeno de memoria de forma, el cual permite que los alambres sean alterados plásticamente a temperatura ambiente y retornen a su forma original, al ser expuestos al calor, y encontrarse por encima de determinada temperatura.(2) La segunda propiedad es la superelasticidad, caracterizada por mantener fuerzas aproximadamente constantes, durante gran parte del desplazamiento, tanto en carga como en descarga. Estas dos propiedades permiten a los ortodoncistas trabajar con fuerzas constantes y tener una mayor facilidad en etapas de alineación a expensas de estas dos propiedades importantes del níquel-titanio.(3) Estas propiedades del nitinol resultan relevantes debido a que permiten que el alambre proporcione fuerzas bajas en desplazamientos largos; entregue en un rango determinado una fuerza constante y presente una recuperación elástica favorable, flexibilidad considerable y mayor energía recuperable en comparación con los alambres de acero inoxidable, beta titanio y cromo cobalto molibdeno.(4)

Por otra parte, se ha mostrado que los alambres de aleaciones austeníticas activas presentan descargas que aumentan la distancia en que opera la fase de transformación y disminuyen la magnitud de fuerza cuando se aumenta la distancia a la que son cargados. (5) Teniendo en cuenta lo anterior, se sugiere que para reducir la fuerza se cargue previamente el alambre a una distancia mayor de la necesaria, lo cual ha sido llamado precarga. Sin embargo, este comportamiento ha sido medido solamente en estudios empleando vigas en extremo libre y en pruebas de tres puntos. (6)

Las aleaciones de níquel-titanio producen, en descarga, fuerzas cuya magnitud y características son diferentes a las de carga, dentro del rango de deformación elástica. (7) Autores como Burstone y cols. (1), Drescher y cols. (8) y Segner y cols. (9) han evidenciado que las aleaciones comerciales de NiTi presentan comportamientos cambiantes, generados por diversas variables relacionadas con *la prescripción de los brackets, la magnitud de la precarga, la fricción y el sistema de ligado*;(9) las cuales afectan las características de las fuerzas aplicadas a los dientes en un aparato convencional de ortodoncia, dando como resultado que el estrés en el ligamento periodontal sea desconocido en la práctica.(5,8,10) Bartzela y cols. (2007) (11) realizaron un estudio, a través de una prueba de flexión de tres puntos, para la evaluación del comportamiento de la carga deflexión, para así analizar las propiedades superelásticas de los alambres de NiTi. Por su parte, Lombardo y cols. (2012) (12) observaron la fuerza ejercida con deflexiones específicas, su comportamiento durante la precarga y su respectiva descarga. (12) Sin embargo, este tipo de pruebas no se han realizado en modelos que empleen brackets. Los estudios se realizaron con brackets en tres puntos, no en arco completo. La particularidad de este tipo de estudios es que se minimiza la fricción entre el alambre y el bracket. Por esta razón, los resultados resultan limitados y no son comparables con la práctica clínica, en la cual la fricción es una variable relevante.

El análisis de la descarga en aleaciones de níquel-titanio, de tipo austenítico activo, muestra que el comportamiento cambia dependiendo de la cantidad de deformación en carga (*precarga*). (5) Los cambios consisten en fases de transformación más extensas en la medida que aumenta la precarga, acompañados de una importante reducción de la fuerza entregada. (2) Anteriormente,

este conocimiento se adquirió en estudios experimentales *in vitro*, relacionados con pruebas con vigas en extremo libre o de tres puntos. Al hacer uso de brackets, en este tipo de experimento, se introduce el componente friccional lo que obstaculiza la interpretación de los resultados, ya que resulta complejo separar los efectos de comportamiento elástico y fricción. Sin embargo, es la forma de acercamiento a la realidad de los tratamientos convencionales. (10)

El conocimiento de la reducción de la fuerza y la extensión de la zona de superelasticidad *in vitro* permitirá al clínico conocer con mayor precisión las fuerzas aplicadas para controlar adecuadamente el tipo de movimiento dental deseado. (12)

El propósito del presente estudio es determinar el patrón de descarga en función de la precarga, con el objetivo de establecer el comportamiento en descarga de cuatro alambres superelásticos de diferentes calibres en función de la precarga en brackets de autoligado de dos prescripciones. Esto, con el fin de aproximarse al entendimiento de las fuerzas aplicadas a los dientes, y de esta manera, aportar conocimiento acerca del comportamiento de las fuerzas en un tratamiento ortodóncico.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación se desarrolló bajo un diseño de intervención de tipo cuasiexperimental *in vitro*, cuyo objeto de estudio fue el comportamiento en descarga de cuatro alambres superelásticos de diferentes calibres en función de la precarga en brackets de autoligado de dos prescripciones. La unidad de observación estuvo representada por el sistema arco bracket y sus diferentes combinaciones, calculando 10 muestras para cada prescripción. Como parte de los criterios de elegibilidad del sistema arco bracket, se incluyeron brackets de Autoligado pasivos metálicos, de: a) prescripción Roth ranura 0.022" y b) prescripción MBT ranura 0.022"; alambres de níquel-titanio convencionales de calibre 0.016"x0.016", 0.016"x0.022", 0.017"x0.025", 0.019" x 0.025". Se excluyeron brackets de fabricación defectuosa y arcos deformados.

El análisis de las variables dependientes se relacionó con *la fuerza en descarga y la superelasticidad*; entre tanto las variables independientes correspondieron al *calibre de los arcos* (0.016"x0.016", 0.016"x0.022", 0.017"x0.025", 0.019" x 0.025") y *la prescripción del bracket* (Roth, MBT). Como variables intervinientes se analizaron la *distancia interbracket y la marca de los brackets*. Por su parte, se analizaron como constantes el tipo de bracket (autoligado pasivo), y la aleación de los arcos de alambre (NiTi).

La información se digitó y depuró en el programa Microsoft Excel versión 365®, el análisis estadístico se realizó mediante el programa estadístico para ciencias sociales SPSS versión 22. Las variables cualitativas se analizaron mediante frecuencias absolutas y porcentuales y las variables cuantitativas mediante promedios, medianas, cuartil 1, cuartil 3, desviaciones estándar. Las comparaciones múltiples de las pendientes se analizaron mediante la prueba ANOVA. Al encontrar diferencias se utilizó la prueba post hoc de Scheffe. El nivel de significancia para todas las pruebas fue del 5%.

## Procedimiento

El presente estudio continuó la línea de investigación relacionada en su fase III: “*resistencia friccional entre cuatro brackets de autoligado metálicos con dos aleaciones de alambres de níquel titanio*” (Estudio cuasiexperimental *in vitro*- exploratorio).

En dicha investigación se evaluó el comportamiento en descarga de cuatro alambres superelásticos en función de la precarga en brackets de autoligado de dos prescripciones.

El modelo del experimento se basó de dos secciones, 1) una placa acrílica con forma de arco ideal, y 2) un brazo acrílico a nivel del diente 11 (Fig 1). La primera sección se diseñó a partir de arcos ideales tomados con un escáner CS 3600 CARESTREAM® con una extensión acrílica para ser fijada a la máquina universal de ensayos perteneciente al centro de investigaciones odontológicas de la PUJ MRC UTM-65A® (Fig 2).

La segunda sección se diseñó a partir del troquel del diente 11 con una extensión acrílica para ser igualmente fijada al MRC® UTM-65A. Se usaron cuatro modelos en los cuales se cementaron un juego de brackets en cada uno, dos de técnica Roth y dos de MBT y para cada técnica de dos marcas diferentes, como se presenta a continuación:

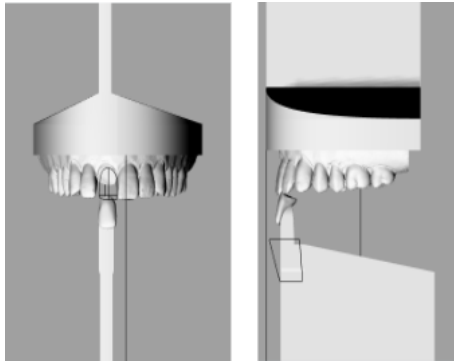
| BRACKETS 1 (MBT) 2 (ROTH) |    |    |
|---------------------------|----|----|
| A (Marca 1)               | A1 | A2 |
| B (Marca 2)               | B1 | B2 |

En la primera placa se adhirió un juego de brackets superiores de los dientes *16 a 26* con un producto a base de cianocrilato. Se posicionaron en el centro de la superficie mesodistal y para su alineación vertical se ligaron fuertemente con ligadura metálica a un alambre 0,022” presionando también fuertemente la superficie vestibular de cada base del bracket contra la cara bucal de cada diente.

El bracket que corresponde al incisivo central superior derecho se fijó a la extensión acrílica con forma de diente 11 separada del modelo y este fue desplazado verticalmente de -3mm hacia gingival y luego 3mm hacia oclusal, con el fin de simular movimientos de segundo orden.

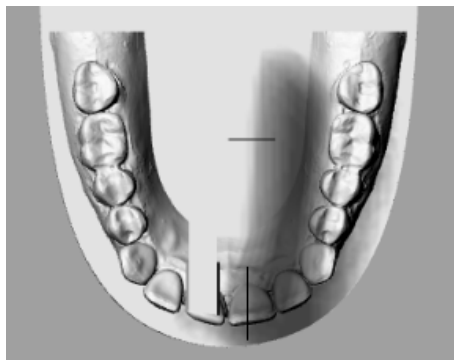
Se registraron los valores de fuerzas (medida en Newtons) en carga y en descarga. Dado que se buscó estudiar el efecto de la precarga, la máquina universal de ensayos desplazó el diente 11 hacia gingival 0,5 mm y luego lo descargó al punto de origen; a continuación, la máquina fue ajustada al valor inicial y el diente desplazado posteriormente a 1 mm, y luego descargado al punto de origen. Este procedimiento continuó con cargas cada 0,5 mm hasta 3,0 mm. Luego se realizaron los movimientos identificados con signo negativo que correspondieron a desplazamientos hacia oclusal siguiendo el mismo patrón anterior.

**Figura 1. Modelo de prueba vista frontal y sagital**



Fuente: Londoño et al. (13)

**Figura 2. Modelo de prueba vista coronal (primera sección)**



Fuente: Londoño et al. (13)

A partir de estos datos obtenidos se determinó la fuerza vs deflexión, en todo el rango para todas las precargas, con esto se establecieron patrones de descarga en función de la precarga. Así mismo se midió la rigidez total en descarga, las características de las zonas de transformación, explorar la posibilidad de encontrar modelos predictivos de niveles de fuerza y patrones de comportamiento a partir de la precarga.

Las variables cualitativas se analizaron mediante frecuencias absolutas y porcentuales y las variables cuantitativas mediante promedios, medianas, cuartil 1, cuartil 3, desviaciones estándar. Las comparaciones múltiples de las pendientes se analizaron mediante la prueba ANOVA, en caso de encontrar diferencias se utilizó la prueba post hoc de Scheffe. El nivel de significancia para todas las pruebas fue del 5%.

## **RESULTADOS**

### ***Valores de fuerza para las diferentes distancias en descarga:***

La presente investigación tuvo como propósito calcular los valores de fuerza en descarga, con el fin de observar el comportamiento en descarga de 4 alambres superelásticos en función de la

precarga. Adicionalmente analizar las características de la zona de superelasticidad de dichos alambres.

En las tablas 1 y 2 se encuentran los valores de fuerza para las diferentes distancias, alambres y prescripciones en descarga. Debido a que este es el sentido en el cual los alambres se cargan en los dientes para lograr su movimiento, los datos de carga, como en la mayoría de los estudios, no serán considerados en esta investigación. La tabla 1, hace referencia a los movimientos gingivo-oclusales y la tabla 2 a los movimientos ocluso-gingivales en brackets Tander®. Los datos de la media corresponden a esa tendencia central en cinco repeticiones. Para estas dos tablas las medias mostraron una repetibilidad baja, juzgada por el coeficiente de variación; éste presentó valores entre el 31% y el 54% en el 68% de los casos. Adicionalmente, en las tablas se observa el comportamiento típico, asociado a la elasticidad de estos alambres, en el cual los valores de fuerza disminuyen en la medida en que progresa la descarga (desde 3mm hasta 0.5 mm). Como era de esperarse los alambres de mayor calibre entregaron más fuerza que los de menor calibre. Los valores extremos de fuerza estuvieron entre ,336 N para alambres 0,016” x 0,016” a 0.5 mm en combinación con la prescripción MBT y el sentido GO y 12,70 N para alambres 0,019” x 0,025”, en combinación con la prescripción Roth a 3 mm respectivamente. En las dos tablas se evidencia la baja reproducibilidad de las repeticiones. Esta fue calculada con el coeficiente de variación, relacionando la desviación estándar de las repeticiones con la media obtenida. Para la tabla #2, los valores fluctuaron entre 22% y 91% y para la tabla 1 entre 29% y 68%.

**Tabla 1. Valores de tendencia central y variación para la fuerza en descarga en combinaciones Tander® GO ROTH y MBT en todos los alambres**

|         |    |      |       | Descarga  |       |                     |              |              |
|---------|----|------|-------|-----------|-------|---------------------|--------------|--------------|
|         |    |      |       | Distancia | Media | Desviación estándar | Percentil 25 | Percentil 75 |
| TANDER® | GO | ROTH | 16X16 | 0.5       | 0,38  | 0,258               | 0,216        | 0,491        |
|         |    |      |       | 1.0       | 1,145 | 0,602               | 0,697        | 1,57         |
|         |    |      |       | 1.5       | 2,034 | 0,873               | 1,374        | 2,707        |
|         |    |      |       | 2.0       | 2,785 | 1,01                | 2,05         | 3,61         |
|         |    |      |       | 2.5       | 3,103 | 1,039               | 2,393        | 3,913        |
|         |    |      |       | 3.0       | 3,145 | 0,969               | 2,648        | 3,756        |
|         |    |      | 16X22 | 0.5       | 0,758 | 0,455               | 0,423        | 1,04         |
|         |    |      |       | 1.0       | 2,073 | 0,944               | 1,344        | 2,805        |
|         |    |      |       | 1.5       | 3,565 | 1,501               | 2,453        | 4,854        |
|         |    |      |       | 2.0       | 4,503 | 1,777               | 3,178        | 5,963        |
|         |    |      |       | 2.5       | 4,942 | 1,779               | 3,834        | 6,199        |
|         |    |      |       | 3.0       | 5,248 | 1,875               | 4,109        | 6,816        |
|         |    |      | 17X25 | 0.5       | 0,707 | 0,398               | 0,412        | 1            |
|         |    |      |       | 1.0       | 2,173 | 0,977               | 1,433        | 2,893        |
|         |    |      |       | 1.5       | 4,218 | 1,822               | 2,855        | 5,777        |
|         |    |      |       | 2.0       | 5,558 | 2,376               | 3,865        | 7,61         |
|         |    |      |       | 2.5       | 6,767 | 2,404               | 5,423        | 8,65         |
|         |    |      |       | 3.0       | 6,305 | 2,958               | 4,403        | 7,915        |

|                |            |              |       |       |       |       |        |
|----------------|------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <b>TANDER®</b> | <b>MBT</b> | <b>19X25</b> | 0.5   | 1,201 | 0,686 | 0,648 | 1,697  |
|                |            |              | 1.0   | 3,206 | 1,549 | 1,952 | 4,393  |
|                |            |              | 1.5   | 6,037 | 2,656 | 3,914 | 8,346  |
|                |            |              | 2.0   | 7,762 | 3,549 | 5,159 | 10,999 |
|                |            |              | 2.5   | 8,393 | 3,46  | 6,326 | 11,053 |
|                |            |              | 3.0   | 9,289 | 3,829 | 7,228 | 11,023 |
|                |            | <b>16X16</b> | 0.5   | 0,474 | 0,317 | 0,177 | 0,735  |
|                |            |              | 1.0   | 1,142 | 0,656 | 0,614 | 1,643  |
|                |            |              | 1.5   | 1,82  | 0,898 | 1,118 | 2,599  |
|                |            |              | 2.0   | 2,466 | 0,971 | 1,697 | 3,246  |
|                |            |              | 2.5   | 2,622 | 0,914 | 1,972 | 3,227  |
|                |            |              | 3.0   | 2,723 | 0,802 | 2,236 | 3,198  |
|                |            | <b>16X22</b> | 0.5   | 0,75  | 0,474 | 0,442 | 1,069  |
|                |            |              | 1.0   | 1,65  | 0,904 | 0,932 | 2,256  |
|                |            |              | 1.5   | 2,805 | 1,268 | 1,805 | 3,943  |
|                |            |              | 2.0   | 3,798 | 1,603 | 2,54  | 5,154  |
|                |            |              | 2.5   | 4,041 | 1,657 | 2,844 | 5,237  |
|                |            |              | 3.0   | 4,164 | 1,511 | 3,207 | 5,031  |
|                |            | <b>17X25</b> | 0.5   | 0,789 | 0,376 | 0,53  | 1,128  |
|                |            |              | 1.0   | 1,968 | 1,005 | 1,157 | 2,923  |
|                |            |              | 1.5   | 3,273 | 1,506 | 2,07  | 4,448  |
|                |            |              | 2.0   | 4,685 | 1,843 | 3,286 | 6,355  |
|                |            |              | 2.5   | 5,246 | 1,917 | 3,894 | 6,806  |
|                |            |              | 3.0   | 5,561 | 1,786 | 4,58  | 6,758  |
|                |            | <b>19X25</b> | 0.5   | 1,419 | 0,634 | 0,982 | 1,893  |
| 1.0            | 3,25       |              | 1,621 | 1,888 | 4,718 |       |        |
| 1.5            | 5,235      |              | 2,426 | 3,355 | 7,503 |       |        |
| 2.0            | 6,73       |              | 2,782 | 4,746 | 9,042 |       |        |
| 2.5            | 7,15       |              | 2,629 | 5,65  | 8,895 |       |        |
| 3.0            | 7,791      |              | 2,427 | 6,669 | 9,032 |       |        |

**Tabla 2. Valores de tendencia central y variación para la fuerza en descarga en combinaciones Tander® OG ROTH y MBT en movimiento OG.**

|                |           |             |              | <b>Descarga</b>  |              |                            |                     |                     |
|----------------|-----------|-------------|--------------|------------------|--------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
|                |           |             |              | <b>Distancia</b> | <b>Media</b> | <b>Desviación estándar</b> | <b>Percentil 25</b> | <b>Percentil 75</b> |
| <b>TANDER®</b> | <b>OG</b> | <b>ROTH</b> | <b>16X16</b> | 0.5              | 0,531        | 0,347                      | 0,304               | 0,696               |
|                |           |             |              | 1.0              | 1,311        | 0,657                      | 0,79                | 1,751               |
|                |           |             |              | 1.5              | 2,313        | 0,91                       | 1,619               | 3,04                |
|                |           |             |              | 2.0              | 3.0          | 0,967                      | 2,334               | 3,756               |
|                |           |             |              | 2.5              | 3,337        | 0,876                      | 2,864               | 3,942               |



|                |           |            |              |              |        |       |        |        |
|----------------|-----------|------------|--------------|--------------|--------|-------|--------|--------|
|                |           |            |              | 3.0          | 3,708  | 0,821 | 3,237  | 4,296  |
|                |           |            | <b>16X22</b> | 0.5          | 0,802  | 0,469 | 0,461  | 1,178  |
|                |           |            |              | 1.0          | 2,114  | 1,033 | 1,295  | 2,824  |
|                |           |            |              | 1.5          | 3,81   | 1,579 | 2,633  | 5,149  |
|                |           |            |              | 2.0          | 5,12   | 1,901 | 3,796  | 6,748  |
|                |           |            |              | 2.5          | 5,633  | 1,877 | 4,56   | 7,13   |
|                |           |            |              | 3.0          | 5,966  | 1,565 | 5,207  | 7,051  |
|                |           |            |              | <b>17X25</b> | 0.5    | 1,001 | 0,537  | 0,56   |
|                |           |            | 1.0          |              | 2,896  | 1,343 | 1,864  | 3,943  |
|                |           |            | 1.5          |              | 5,365  | 2,193 | 3,855  | 7,209  |
|                |           |            | 2.0          |              | 7,04   | 2,571 | 5,384  | 9,229  |
|                |           |            | 2.5          |              | 7,744  | 2,433 | 6,561  | 9,582  |
|                |           |            | 3.0          |              | 9,195  | 2,154 | 8,444  | 10,552 |
|                |           |            | <b>19X25</b> | 0.5          | 1,669  | 0,936 | 0,922  | 2,276  |
|                |           |            |              | 1.0          | 4,641  | 2,191 | 2,992  | 6,365  |
|                |           |            |              | 1.5          | 7,854  | 3,341 | 5,522  | 10,788 |
|                |           |            |              | 2.0          | 9,372  | 3,739 | 7,218  | 12,475 |
|                |           |            |              | 2.5          | 10,529 | 3,633 | 9,15   | 13,024 |
|                |           |            |              | 3.0          | 12,7   | 3,228 | 11,759 | 14,494 |
| <b>TANDER®</b> | <b>OG</b> | <b>MBT</b> | <b>16X16</b> | 0.5          | 0,336  | 0,306 | 0      | 0,579  |
|                |           |            |              | 1.0          | 1,155  | 0,608 | 0,697  | 1,55   |
|                |           |            |              | 1.5          | 2,099  | 0,888 | 1,452  | 2,737  |
|                |           |            |              | 2.0          | 2,714  | 0,989 | 2,021  | 3,58   |
|                |           |            |              | 2.5          | 3,093  | 0,925 | 2,58   | 3,825  |
|                |           |            |              | 3.0          | 3,305  | 0,836 | 2,971  | 3,786  |
|                |           |            | <b>16X22</b> | 0.5          | 0,587  | 0,384 | 0,344  | 0,942  |
|                |           |            |              | 1.0          | 1,651  | 0,819 | 1,011  | 2,227  |
|                |           |            |              | 1.5          | 3,259  | 1,333 | 2,247  | 4,237  |
|                |           |            |              | 2.0          | 4,388  | 1,702 | 3,168  | 5,963  |
|                |           |            |              | 2.5          | 4,967  | 1,711 | 3,914  | 6,424  |
|                |           |            |              | 3.0          | 5,246  | 1,658 | 4,413  | 6,414  |
|                |           | <b>MBT</b> | <b>17X25</b> | 0.5          | 0,977  | 0,473 | 0,599  | 1,413  |
|                |           |            |              | 1.0          | 2,464  | 1,17  | 1,501  | 3,54   |
|                |           |            |              | 1.5          | 4,511  | 1,916 | 3,041  | 6,228  |
|                |           |            |              | 2.0          | 5,868  | 2,188 | 4,58   | 7,698  |
|                |           |            |              | 2.5          | 6,625  | 2,104 | 5,669  | 8,17   |
|                |           |            |              | 3.0          | 7,243  | 1,976 | 6,59   | 8,366  |
|                |           |            | <b>19X25</b> | 0.5          | 1,841  | 0,994 | 1,05   | 2,57   |
|                |           |            |              | 1.0          | 4,179  | 2,043 | 2,56   | 5,708  |
|                |           |            |              | 1.5          | 6,635  | 2,735 | 4,771  | 8,891  |
|                |           |            |              | 2.0          | 8,133  | 2,983 | 6,512  | 10,16  |
|                |           |            |              | 2.5          | 9,414  | 2,889 | 8,258  | 11,053 |
|                |           |            |              | 3.0          | 10,778 | 2,804 | 10,023 | 11,984 |

Las tablas 3 y 4 presentan los valores de fuerza para las diferentes distancias, alambres y prescripciones en descarga. Por su parte, la tabla 4 hace referencia a los movimientos ocluso-gingivales y la tabla 6 a los movimientos gingivo-oclusales, ambas con combinaciones de brackets Empower®. Los valores extremos de las medias fueron de 0,240 N para la combinación Empower®, Roth, sentido gingivo-oclusal y alambre 0,016”x0,016” y de 10,126 N para la combinación Empower®, Roth, sentido gingivo-oclusal y alambre 0,019”x0,025”. La reproducibilidad de la información obtenida fue baja. Los coeficientes de variación basados en la desviación estándar de la media de las cinco repeticiones fluctuaron entre 28% y 87%.

**Tabla 3. Valores de tendencia central y variación para la fuerza en descarga en combinaciones EMPOWER® GO ROTH y MBT en todos los alambres**

|          |    |       |       | Descarga  |       |                     |              |              |
|----------|----|-------|-------|-----------|-------|---------------------|--------------|--------------|
|          |    |       |       | Distancia | Media | desviación estándar | percentil 25 | percentil 75 |
| EMPOWER® | GO | ROTH  | 16X16 | 0.5       | 0,24  | 0,208               | 0            | 0,402        |
|          |    |       |       | 1.0       | 0,752 | 0,512               | 0,383        | 1,04         |
|          |    |       |       | 1.5       | 1,477 | 0,962               | 0,638        | 2,364        |
|          |    |       |       | 2.0       | 2,233 | 1,287               | 0,991        | 3,453        |
|          |    |       |       | 2.5       | 2,895 | 1,365               | 1,893        | 4,11         |
|          |    |       |       | 3.0       | 2,83  | 1,253               | 2,011        | 3,776        |
|          |    |       | 16X22 | 0.5       | 0,477 | 0,311               | 0,256        | 0,687        |
|          |    |       |       | 1.0       | 1,382 | 0,796               | 0,746        | 1,869        |
|          |    |       |       | 1.5       | 2,455 | 1,193               | 1,53         | 3,502        |
|          |    |       |       | 2.0       | 3,467 | 1,567               | 2,265        | 4,855        |
|          |    |       |       | 2.5       | 3,926 | 1,655               | 2,707        | 5,237        |
|          |    |       |       | 3.0       | 4,121 | 1,529               | 3,217        | 5,11         |
|          |    |       | 17X25 | 0.5       | 0,563 | 0,317               | 0,368        | 0,805        |
|          |    |       |       | 1.0       | 1,777 | 0,762               | 1,276        | 2,384        |
|          |    |       |       | 1.5       | 3,779 | 1,505               | 2,844        | 5,031        |
|          |    |       |       | 2.0       | 5,968 | 2,249               | 4,62         | 7,699        |
|          |    |       |       | 2.5       | 6,58  | 2,186               | 5,296        | 8,444        |
|          |    |       |       | 3.0       | 7,151 | 2,003               | 6,345        | 8,636        |
|          |    | 19X25 | 0.5   | 0,946     | 0,527 | 0,589               | 1,334        |              |
|          |    |       | 1.0   | 2,95      | 1,399 | 1,898               | 4,071        |              |
|          |    |       | 1.5   | 5,449     | 2,696 | 3,364               | 7,904        |              |
|          |    |       | 2.0   | 7,972     | 3,302 | 5,958               | 10,71        |              |
|          |    |       | 2.5   | 8,722     | 3,153 | 7,404               | 11,141       |              |
|          |    |       | 3.0   | 10,126    | 3,012 | 9,317               | 11,877       |              |
|          |    | MBT   | 16X16 | 0.5       | 0,503 | 0,364               | 0,153        | 0,8          |
|          |    |       |       | 1.0       | 1,083 | 0,69                | 0,53         | 1,619        |
|          |    |       |       | 1.5       | 1,875 | 1,018               | 1,069        | 2,668        |
|          |    |       |       | 2.0       | 2,446 | 1,272               | 1,472        | 3,442        |

|  |  |  |  |       |       |        |       |       |        |
|--|--|--|--|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
|  |  |  |  | 2.5   | 2,533 | 1,23   | 1,667 | 3,472 |        |
|  |  |  |  | 3.0   | 2,779 | 1,19   | 2,04  | 3,746 |        |
|  |  |  |  | 16X22 | 0.5   | 0,466  | 0,32  | 0,143 | 0,726  |
|  |  |  |  |       | 1.0   | 1,103  | 0,572 | 0,668 | 1,53   |
|  |  |  |  |       | 1.5   | 2,343  | 1,061 | 1,569 | 3,236  |
|  |  |  |  |       | 2.0   | 3,649  | 1,544 | 2,579 | 4,933  |
|  |  |  |  |       | 2.5   | 4,409  | 1,795 | 3,11  | 5,885  |
|  |  |  |  |       | 3.0   | 4,655  | 1,711 | 3,668 | 6,071  |
|  |  |  |  |       | 17X25 | 0.5    | 0,663 | 0,398 | 0,373  |
|  |  |  |  | 1.0   |       | 1,611  | 0,818 | 1,01  | 2,216  |
|  |  |  |  | 1.5   |       | 3,501  | 1,55  | 2,472 | 4,688  |
|  |  |  |  | 2.0   |       | 6,066  | 2,423 | 4,609 | 7,973  |
|  |  |  |  | 2.5   |       | 7,332  | 2,586 | 6,031 | 9,277  |
|  |  |  |  | 3.0   |       | 8,262  | 2,412 | 7,767 | 9,748  |
|  |  |  |  | 19X25 | 0.5   | 0,874  | 0,528 | 0,452 | 1,314  |
|  |  |  |  |       | 1.0   | 2,301  | 1,133 | 1,471 | 3,227  |
|  |  |  |  |       | 1.5   | 5,196  | 2,313 | 3,589 | 7,041  |
|  |  |  |  |       | 2.0   | 7,771  | 3,478 | 5,331 | 10,719 |
|  |  |  |  |       | 2.5   | 9,968  | 3,656 | 7,915 | 12,877 |
|  |  |  |  |       | 3.0   | 11,286 | 3,433 | 9,954 | 13,603 |

La tabla 4 presenta los valores encontrados para la tendencia central en combinaciones de brackets Empower®, sentido ocluso-gingival, ambas prescripciones y todos los alambres. El valor más bajo se presentó en la combinación del alambre 0,016”x 0,022” a 0,5 mm y correspondió a 3,78 N. En el otro extremo el valor más alto fue de 14,52 N para la combinación Empower® MBT en sentido ocluso-gingival a 3,0 mm.

**Tabla 4. Valores de tendencia central y variación para la fuerza en descarga en combinaciones EMPOWER® OG ROTH y MBT en todos los alambres**

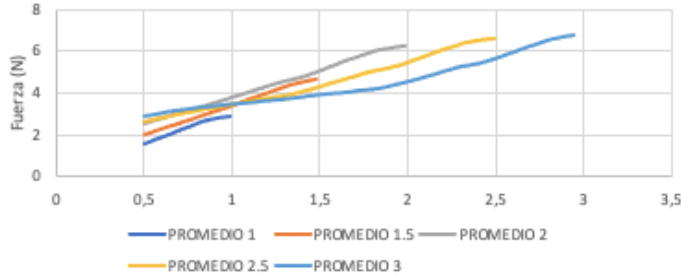
|          |    |      |       | Descarga  |       |                     |              |              |       |       |
|----------|----|------|-------|-----------|-------|---------------------|--------------|--------------|-------|-------|
|          |    |      |       | Distancia | Media | Desviación estándar | Percentil 25 | Percentil 75 |       |       |
| EMPOWER® | OG | ROTH | 16X16 | 0.5       | 0,385 | 0,272               | 0,118        | 0,55         |       |       |
|          |    |      |       | 1.0       | 1,254 | 0,621               | 0,785        | 1,706        |       |       |
|          |    |      |       | 1.5       | 2,437 | 0,999               | 1,658        | 3,295        |       |       |
|          |    |      |       | 2.0       | 3,196 | 1,171               | 2,295        | 4,257        |       |       |
|          |    |      |       | 2.5       | 3,445 | 1,123               | 2,638        | 4,423        |       |       |
|          |    |      |       | 3.0       | 3,49  | 0,982               | 2,844        | 4,198        |       |       |
|          |    |      | 16X22 | 0.5       | 0,701 | 0,432               | 0,412        | 1,099        |       |       |
|          |    |      |       | 1.0       | 1,928 | 0,958               | 1,197        | 2,501        |       |       |
|          |    |      |       | 1.5       | 3,312 | 1,349               | 2,286        | 4,521        |       |       |
|          |    |      |       | 2.0       | 4,281 | 1,56                | 3,198        | 5,6          |       |       |
|          |    |      |       |           |       | 2.5                 | 4,636        | 1,499        | 3,727 | 5,703 |

|                 |           |            |              |     |        |       |        |        |
|-----------------|-----------|------------|--------------|-----|--------|-------|--------|--------|
|                 |           |            |              | 3.0 | 4,895  | 1,355 | 4,158  | 5,551  |
|                 |           |            | <b>17X25</b> | 0.5 | 0,699  | 0,38  | 0,432  | 1      |
|                 |           |            |              | 1.0 | 2,684  | 1,118 | 1,899  | 3,609  |
|                 |           |            |              | 1.5 | 5,422  | 2,005 | 4,296  | 7,012  |
|                 |           |            |              | 2.0 | 7,252  | 2,37  | 6,032  | 9,16   |
|                 |           |            |              | 2.5 | 8,017  | 2,199 | 7,1    | 9,719  |
|                 |           |            |              | 3.0 | 8,827  | 1,913 | 8,385  | 10,003 |
|                 |           |            | <b>19X25</b> | 0.5 | 1,211  | 0,688 | 0,682  | 1,717  |
|                 |           |            |              | 1.0 | 4,203  | 1,973 | 2,628  | 5,855  |
|                 |           |            |              | 1.5 | 7,771  | 3,293 | 5,443  | 10,297 |
|                 |           |            |              | 2.0 | 9,392  | 3,381 | 7,743  | 11,93  |
|                 |           |            |              | 2.5 | 10,288 | 3,07  | 9,199  | 12,269 |
|                 |           |            |              | 3.0 | 11,613 | 2,952 | 11,072 | 13,004 |
| <b>EMPOWER®</b> | <b>OG</b> | <b>MBT</b> | <b>16X16</b> | 0.5 | 0,438  | 0,259 | 0,295  | 0,609  |
|                 |           |            |              | 1.0 | 1,577  | 0,819 | 0,947  | 2,109  |
|                 |           |            |              | 1.5 | 2,206  | 1,116 | 1,295  | 3,075  |
|                 |           |            |              | 2.0 | 2,714  | 1,464 | 1,628  | 3,815  |
|                 |           |            |              | 2.5 | 3,116  | 1,37  | 2,118  | 4,159  |
|                 |           |            |              | 3.0 | 3,275  | 1,321 | 2,324  | 4,315  |
|                 |           |            | <b>16X22</b> | 0.5 | 0,378  | 0,233 | 0,197  | 0,52   |
|                 |           |            |              | 1.0 | 1,38   | 0,592 | 0,967  | 1,864  |
|                 |           |            |              | 1.5 | 2,502  | 1,104 | 1,648  | 3,462  |
|                 |           |            |              | 2.0 | 4,228  | 1,522 | 3,144  | 5,561  |
|                 |           |            |              | 2.5 | 5,02   | 1,776 | 3,781  | 6,532  |
|                 |           |            |              | 3.0 | 5,725  | 1,711 | 4,57   | 7,16   |
|                 |           |            | <b>17X25</b> | 0.5 | 0,662  | 0,395 | 0,383  | 0,922  |
|                 |           |            |              | 1.0 | 2,213  | 1,152 | 1,403  | 2,864  |
|                 |           |            |              | 1.5 | 4,378  | 1,864 | 3,07   | 5,923  |
|                 |           |            |              | 2.0 | 7,228  | 2,571 | 5,668  | 9,229  |
|                 |           |            |              | 2.5 | 9,136  | 2,872 | 7,885  | 11,229 |
|                 |           |            |              | 3.0 | 10,484 | 2,734 | 10,087 | 12,2   |
|                 |           |            | <b>19X25</b> | 0.5 | 1,048  | 0,584 | 0,599  | 1,521  |
|                 |           |            |              | 1.0 | 4,034  | 1,822 | 2,57   | 5,551  |
|                 |           |            |              | 1.5 | 7,997  | 3,437 | 5,364  | 10,906 |
|                 |           |            |              | 2.0 | 10,553 | 4,107 | 7,924  | 14,043 |
|                 |           |            |              | 2.5 | 11,954 | 4,154 | 9,993  | 15,108 |
|                 |           |            |              | 3.0 | 14,52  | 4,142 | 13,181 | 16,838 |

A continuación, el resumen de las tablas representa gráficamente el comportamiento global de los valores de fuerza a diferentes distancias en descarga de los diferentes promedios de alambres.

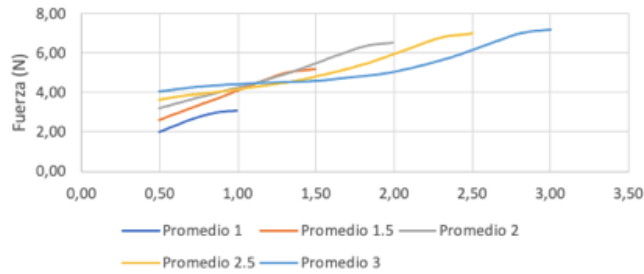
### Gráfica 1

Valores de fuerza para las diferentes distancias en descargas en TANDER MBT 16x22 en movimiento gingivo oclusal



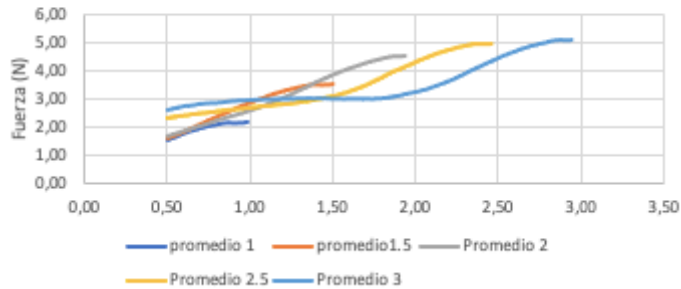
### Gráfica 2

Valores de fuerza para las diferentes distancias en descargas en EMPOWER ROTH 16x22 en movimiento ocluso gingival



### Gráfica 3

Valores de fuerza para las diferentes distancias en descargas en EMPOWER MBT 16x16 en movimiento ocluso gingival



Las gráficas 1, 2 y 3 muestran los valores de fuerza para las diferentes distancias en descarga. Se puede evidenciar que los valores de fuerza para los distintos alambres disminuyeron a medida que aumentó la precarga. En general el comportamiento que se observa es que a 2mm de distancia un alambre con precarga de 3 entregó en promedio 20% menos fuerza en descarga que cuando el alambre es descargado a 2mm. Esta tendencia se percibe hasta 1mm en los diferentes promedios y a partir de este valor los demás se invierten.

En este sentido, en las gráficas 1 y 2 se aprecia una sutil meseta en 3mm. En la gráfica 3 se observa una meseta de mayor tamaño para los promedios de 2.5mm y 3mm; para los promedios hay un patrón evidente y es una tendencia que antes de 3mm la fuerza es mayor en la medida que aumenta la precarga y a partir de 1mm existe una tendencia a entregar menor fuerza cuando aumenta la precarga.

### ***Valores de pendientes en descarga en función de la precarga:***

Las tablas 5 y 6 describen los valores de pendiente para las diferentes distancias, alambres y prescripciones en descarga. Específicamente la tabla 5 hace referencia a los movimientos ocluso-gingivales y la tabla 6 a los movimientos gingivo oclusales en Tander®.

La tabla 5 muestra las combinaciones de brackets con prescripción Roth, sentido ocluso-gingival y los diferentes alambres. Las tablas incluyen distancias solo a partir de 1,5 mm, dado que no hay información entre 0 y 0,5 mm pues, si solo se incluyen 0,5 y 1 mm) se genera una línea recta. En la tabla 6 se evidenció que para el alambre 0,016"x0,016" las predicciones para diferentes precargas podrían eliminar entre 66,1% y 93,8% de la varianza. En el resto de las ecuaciones, exceptuando la combinación 0,017"x0,025" en prescripción Roth a 1,5 mm con 0,017"x0,025" en prescripción MBT a 1,5 mm y 0,019"x0,025" en prescripción MBT a 3 mm, no se evidenciaron alternativas que generan predicciones certeras.

La tabla 6 corresponde a las combinaciones Tander®, Roth y MBT en sentido gingivo-oclusal. Se evidenció la posibilidad de hacer predicciones certeras solamente en combinaciones con alambres 0,017"x0,025" y 0,019"x0,025" a 1,5 mm.

La información correspondiente a los brackets Empower® con ambas prescripciones en sentido gingivo oclusal se encuentra en la tabla 7. Los datos demuestran que es posible eliminar más del 80% de la varianza, en prescripciones Roth con calibres 0,016"x0,016" y 0,017"x0,025", en la predicción a 1,5 y 2 mm. Lo mismo fue cierto para la combinación con 0,016"x0,022" a 1,5 mm y 0,019"x0,025" a 1,5 y 2 mm.

En la tabla 8 se encuentran los valores para las predicciones en las combinaciones con brackets Empower® para ambas prescripciones, sentido ocluso gingival y todos los calibres de alambres. La información mostró que las predicciones pueden ser adecuadas a 1,5 mm en combinaciones con alambres 0,016"x0,016", en combinaciones con 0,016"x0,022" y 0,017"x0,025" a 1,5 y 2 mm y a 1,5 mm en combinaciones con 0,019"x0,025". Las Tablas 5 a 8 muestran además que la tendencia de las pendientes en la mayoría de los casos es a disminuir con el aumento de la precarga.

**Tabla 5. Valores de tendencia central y variación para la fuerza en descarga en combinaciones Tander® OG ROTH y MBT en todos los alambres**

|                |           |              |              | Descarga  |                  |                   |                |                              |
|----------------|-----------|--------------|--------------|-----------|------------------|-------------------|----------------|------------------------------|
|                |           |              |              | Distancia | a<br>(pendiente) | b<br>(intercepto) | R <sup>2</sup> | Varianza<br>eliminada<br>(%) |
| <b>TANDER®</b> | <b>OG</b> | <b>ROTH</b>  | <b>16X16</b> |           |                  |                   |                |                              |
|                |           |              |              | 1,5       | -0,169           | 2,3063            | 0,9683         | 93,8                         |
|                |           |              |              | 2         | -0,4068          | 2,5045            | 0,813          | 66,1                         |
|                |           |              |              | 2,5       | -0,5694          | 2,6671            | 0,877          | 76,9                         |
|                |           |              | 3            | -0,6111   | 2,7157           | 0,9295            | 86,4           |                              |
|                |           |              |              |           |                  |                   |                |                              |
|                |           |              |              |           |                  |                   |                |                              |
|                |           |              | <b>16X22</b> | 1,5       | 0,182            | 3,339             | 0,8622         | 74,3                         |
|                |           |              | 2            | -0,121    | 3,5915           | 0,1878            | 3,5            |                              |
|                |           |              | 2,5          | -0,467    | 3,9375           | 0,5903            | 34,8           |                              |
|                |           |              | 3            | -0,8897   | 4,4307           | 0,7091            | 50,3           |                              |
|                |           |              |              |           |                  |                   |                |                              |
|                |           |              |              |           |                  |                   |                |                              |
|                |           |              | <b>17X25</b> | 1,5       | 0,1924           | 3,4657            | 0,954          | 91                           |
|                |           |              | 2            | 0,2898    | 4,055            | 0,1924            | 3,7            |                              |
|                |           |              | 2,5          | -0,1664   | 4,5112           | 0,0672            | 0,5            |                              |
|                |           | 3            | -0,7187      | 5,1555    | 0,4519           | 20,4              |                |                              |
|                |           |              |              |           |                  |                   |                |                              |
|                |           |              |              |           |                  |                   |                |                              |
|                |           | <b>19X25</b> | 1,5          | 1,24      | 5,9137           | 0,7754            | 60,1           |                              |
|                |           | 2            | -0,1572      | 7,078     | 0,0164           | 0                 |                |                              |
|                |           | 2,5          | -0,9988      | 7,9196    | 0,4079           | 16,6              |                |                              |
|                |           | 3            | -1,4989      | 8,503     | 0,6593           | 43,5              |                |                              |
|                |           |              |              |           |                  |                   |                |                              |
|                |           |              |              |           |                  |                   |                |                              |
|                |           | <b>MBT</b>   | <b>16X16</b> | 1,5       | 0,483            | 1,4687            | 0,8604         | 74                           |
|                |           |              |              | 2         | 0,0446           | 1,834             | 0,0137         | 0                            |
|                |           |              |              | 2,5       | -0,252           | 2,1306            | 0,2846         | 8,1                          |
|                |           |              |              | 3         | -0,3939          | 2,2961            | 0,5679         | 32,3                         |
|                |           |              |              |           |                  |                   |                |                              |
|                |           |              | <b>16X22</b> | 1,5       | 1,095            | 1,462             | 0,327          | 10,7                         |
|                |           |              | 2            | 0,3876    | 2,0515           | 0,1021            | 1              |                              |
| 2,5            | -0,0582   |              | 2,4973       | 0,0039    | 0                |                   |                |                              |
| 3              | -0,4827   |              | 2,9925       | 0,2416    | 5,8              |                   |                |                              |
|                |           |              |              |           |                  |                   |                |                              |
| <b>17X25</b>   |           |              |              |           |                  |                   |                |                              |

|  |  |              |     |         |        |        |      |  |
|--|--|--------------|-----|---------|--------|--------|------|--|
|  |  |              |     |         |        |        |      |  |
|  |  |              | 1,5 | 1,249   | 2,5983 | 0,9275 | 86   |  |
|  |  |              | 2   | 0,3746  | 3,327  | 0,2008 | 4    |  |
|  |  |              | 2,5 | -0,242  | 3,9436 | 0,0816 | 0,7  |  |
|  |  |              | 3   | -0,5945 | 4,3548 | 0,3945 | 15,6 |  |
|  |  | <b>19X25</b> |     |         |        |        |      |  |
|  |  |              |     |         |        |        |      |  |
|  |  |              | 1,5 | -0,421  | 7,1043 | 0,3184 | 10,1 |  |
|  |  |              | 2   | -1,2558 | 7,8    | 0,719  | 51,7 |  |
|  |  |              | 2,5 | -1,6884 | 8,2326 | 0,852  | 72,6 |  |
|  |  |              | 3   | -1,8288 | 8,3964 | 0,9153 | 83,8 |  |

**Tabla 6. Valores de tendencia central y variación para la fuerza en descarga en combinaciones Tander® GO ROTH y MBT en todos los alambres**

|                |           |             |              | Descarga  |                  |                   |        |                              |
|----------------|-----------|-------------|--------------|-----------|------------------|-------------------|--------|------------------------------|
|                |           |             |              | Distancia | a<br>(pendiente) | b<br>(intercepto) | r2     | Varianza<br>eliminada<br>(%) |
| <b>TANDER®</b> | <b>GO</b> | <b>ROTH</b> | <b>16X16</b> |           |                  |                   |        |                              |
|                |           |             |              |           |                  |                   |        |                              |
|                |           |             |              | 1,5       | 0,565            | 1,1817            | 0,8401 | 70,6                         |
|                |           |             |              | 2         | 0,2178           | 1,471             | 0,3119 | 9,7                          |
|                |           |             |              | 2,5       | -0,0536          | 1,7424            | 0,0223 | 0                            |
|                |           |             | 3            | -0,2221   | 1,9389           | 0,3098            | 9,6    |                              |
|                |           |             |              |           |                  |                   |        |                              |
|                |           |             |              |           |                  |                   |        |                              |
|                |           |             | <b>16X22</b> | 1,5       | -1,063           | 3,815             | 0,5774 | 33,3                         |
|                |           |             |              | 2         | -0,3058          | 3,184             | 0,116  | 1,3                          |
|                |           |             |              | 2,5       | -0,3836          | 3,2618            | 0,9771 | 95,5                         |
|                |           |             |              | 3         | -0,415           | 2,2646            | 0,2887 | 8,3                          |
|                |           |             |              |           |                  |                   |        |                              |
|                |           |             |              |           |                  |                   |        |                              |
|                |           |             | <b>17X25</b> | 1,5       | 1,21             | 2,2743            | 0,9897 | 98                           |
|                |           |             |              | 2         | 0,716            | 2,686             | 0,7523 | 56,6                         |
|                |           |             |              | 2,5       | 0,1492           | 3,2528            | 0,052  | 0,3                          |
|                |           |             |              | 3         | -0,0592          | 3,4959            | 0,012  | 0                            |
|                |           |             |              |           |                  |                   |        |                              |
|                |           |             |              |           |                  |                   |        |                              |
| <b>19X25</b>   | 1,5       | 1,234       | 4,1797       | 0,9908    | 98,2             |                   |        |                              |
|                | 2         | 0,702       | 4,623        | 0,7172    | 51,4             |                   |        |                              |
|                | 2,5       | -0,1248     | 5,4498       | 0,0196    | 0                |                   |        |                              |



|  |  |              |              |         |         |        |          |      |
|--|--|--------------|--------------|---------|---------|--------|----------|------|
|  |  |              | 3            | -0,6066 | 6,0119  | 0,3275 | 10,7     |      |
|  |  | <b>MBT</b>   | <b>16X16</b> |         |         |        |          |      |
|  |  |              |              | 1,5     | -0,114  | 2,2877 | 0,2733   | 7,5  |
|  |  |              |              | 2       | -0,3544 | 2,488  | 0,7058   | 49,8 |
|  |  |              |              | 2,5     | -0,5148 | 2,6484 | 0,8362   | 69,9 |
|  |  |              |              | 3       | -0,5914 | 2,7377 | 0,9032   | 81,6 |
|  |  |              |              |         |         |        |          |      |
|  |  |              | <b>16X22</b> |         |         |        |          |      |
|  |  |              |              | 1,5     | -0,003  | 2,9733 | 1,00E-04 | 0    |
|  |  |              |              | 2       | -0,179  | 3,12   | 0,3605   | 13   |
|  |  |              |              | 2,5     | -0,4348 | 3,3758 | 0,6682   | 44,6 |
|  |  |              |              | 3       | -0,5983 | 3,5666 | 0,8004   | 64,1 |
|  |  |              | <b>17X25</b> |         |         |        |          |      |
|  |  |              |              | 1,5     | 3,59    | 0,1297 | 0,968    | 93,7 |
|  |  |              |              | 2       | 1,0672  | 2,232  | 0,2051   | 4,2  |
|  |  |              |              | 2,5     | 0,1328  | 3,1664 | 0,0057   | 0    |
|  |  | 3            |              | -0,338  | 3,7157  | 0,0527 | 0,3      |      |
|  |  |              |              |         |         |        |          |      |
|  |  | <b>19X25</b> |              |         |         |        |          |      |
|  |  |              | 1,5          | 1,508   | 3,7167  | 0,7138 | 51       |      |
|  |  |              | 2            | 0,3268  | 4,701   | 0,0762 | 0,6      |      |
|  |  |              | 2,5          | -0,4988 | 5,5266  | 0,1577 | 2,5      |      |
|  |  |              | 3            | -0,9177 | 6,0153  | 0,4588 | 21       |      |

**Tabla 7. Valores de tendencia central y variación para la fuerza en descarga en combinaciones EMPOWER® GO ROTH y MBT en todos los alambres**

|                 |           |             |              | Descarga  |                  |                   |        |                              |
|-----------------|-----------|-------------|--------------|-----------|------------------|-------------------|--------|------------------------------|
|                 |           |             |              | Distancia | a<br>(pendiente) | b<br>(intercepto) | r2     | Varianza<br>eliminada<br>(%) |
| <b>EMPOWER®</b> | <b>GO</b> | <b>ROTH</b> | <b>16X16</b> |           |                  |                   |        |                              |
|                 |           |             |              | 1,5       | 0,4625           | 1,2001            | 0,9036 | 81,6                         |
|                 |           |             |              | 2         | 0,4115           | 1,2426            | 0,9397 | 88,3                         |
|                 |           |             |              | 2,5       | 0,201            | 1,4531            | 0,4481 | 20,1                         |
|                 |           |             |              | 3         | 0,0006           | 1,6869            | 0      | 0                            |
|                 |           |             | <b>16X22</b> |           |                  |                   |        |                              |
|                 |           |             |              | 1,5       | 0,668            | 1,8037            | 0,9153 | 83,8                         |
|                 |           |             |              | 2         | 0,3448           | 2,073             | 0,5798 | 33,6                         |
|                 |           |             |              | 2,5       | 0,0024           | 2,4154            | 4,00E- | 0                            |
|                 |           |             |              |           |                  |                   |        |                              |



**Tabla 8. Valores de tendencia central y variación para la fuerza en descarga en combinaciones EMPOWER® OG ROTH y MBT en todos los alambres**

|                 |              |              |              | Distancia | a<br>(pendiente) | b<br>(intercepto) | r2     | Varianza<br>eliminada<br>(%) |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|-----------|------------------|-------------------|--------|------------------------------|
| <b>EMPOWER®</b> | <b>OG</b>    | <b>ROTH</b>  | <b>16X16</b> |           |                  |                   |        |                              |
|                 |              |              |              | 1,5       | 0,45             | 1,5757            | 0,9937 | 98,7                         |
|                 |              |              |              | 2         | 0,1261           | 18455             | 0,1845 | 3,4                          |
|                 |              |              |              | 2,5       | -0,1758          | 2,1475            | 0,1965 | 3,9                          |
|                 |              |              | 3            | -0,3584   | 2,3605           | 0,524             | 27,5   |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 |              | <b>16X22</b> | 1,5          | -0,65     | 3,2737           | 0,3703            | 13,7   |                              |
|                 |              |              | 2            | -0,3366   | 3,0125           | 0,2431            | 5,9    |                              |
|                 |              |              | 2,5          | -0,4894   | 3,1653           | 0,5453            | 29,7   |                              |
|                 |              |              | 3            | -0,6226   | 3,3207           | 0,7377            | 54,4   |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 |              | <b>17X25</b> | 1,5          | -0,293    | 3,276            | 0,0375            | 0,1    |                              |
|                 |              |              | 2            | 0,415     | 2,686            | 0,1241            | 1,5    |                              |
|                 | 2,5          |              | 0,0392       | 3,0618    | 0,002            | 0                 |        |                              |
|                 | 3            |              | -0,3552      | 3,5219    | 0,1657           | 2,7               |        |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 | <b>19X25</b> | 1,5          | 2,097        | 4,1777    | 0,7771           | 60,4              |        |                              |
|                 |              | 2            | 0,3446       | 5,638     | 0,0445           | 0,2               |        |                              |
|                 |              | 2,5          | -0,742       | 6,7246    | 0,1831           | 3,4               |        |                              |
|                 |              | 3            | -1,2639      | 7,3335    | 0,4748           | 22,5              |        |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 | <b>MBT</b>   | <b>16X16</b> |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 |              |              | 1,5          | 0,942     | 1,0873           | 0,852             | 72,6   |                              |
|                 |              |              | 2            | 0,4762    | 1,4755           | 0,5236            | 27,4   |                              |
|                 |              |              | 2,5          | 0,0014    | 1,9503           | 6,00E-63          | 0      |                              |
|                 |              |              | 3            | -0,2787   | 2,2771           | 0,20991           | 4,4    |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
| <b>16X22</b>    |              | 1,5          | 0,868        | 1,0543    | 0,9993           | 99,9              |        |                              |
|                 |              | 2            | 0,7094       | 1,1865    | 0,9674           | 93,6              |        |                              |
|                 |              | 2,5          | 0,4202       | 1,4757    | 0,6571           | 43,2              |        |                              |
|                 |              | 3            | 0,1375       | 1,8055    | 0,1062           | 1,1               |        |                              |
|                 |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |
| <b>17X25</b>    |              |              |              |           |                  |                   |        |                              |

|  |  |  |              |     |         |        |        |      |
|--|--|--|--------------|-----|---------|--------|--------|------|
|  |  |  |              |     |         |        |        |      |
|  |  |  |              | 1,5 | 1,301   | 1,981  | 0,9779 | 95,6 |
|  |  |  |              | 2   | 1,0946  | 2,153  | 0,9648 | 93,1 |
|  |  |  |              | 2,5 | 0,0569  | 2,678  | 0,5217 | 27,2 |
|  |  |  |              | 3   | 0,0325  | 3,3046 | 0,0019 | 0    |
|  |  |  | <b>19X25</b> |     |         |        |        |      |
|  |  |  |              |     |         |        |        |      |
|  |  |  |              | 1,5 | 3,615   | 2,636  | 0,9879 | 97,6 |
|  |  |  |              | 2   | 1,8642  | 4,095  | 0,6225 | 38,8 |
|  |  |  |              | 2,5 | 0,3856  | 5,5736 | 0,0439 | 0,2  |
|  |  |  |              | 3   | -0,4191 | 6,5124 | 0,0608 | 0,4  |

La tabla 9 evidencia un resumen de las ecuaciones de regresión que permitieron una eliminación de 80% o más de la varianza al realizar la predicción. Los asteriscos bajo el desplazamiento representan esa condición. Esto ocurrió solo en el 21% de las ecuaciones, el 56% de las cuales se encontraron en 1,5 o 2 mm de desplazamiento. En consecuencia, no se encontraron hallazgos que permitieran encontrar patrones por marca de los brackets, prescripción, sentido del movimiento o calibre del alambre.

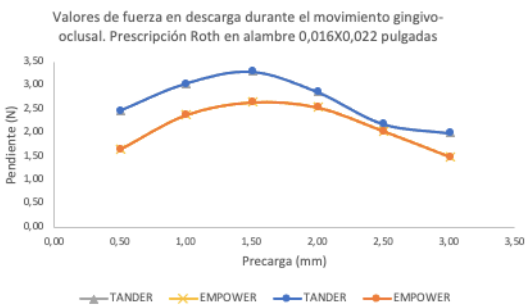
**Tabla 9. Resumen de ecuaciones de regresión para predicciones en Empower® y Tander® ROTH y MBT en sentido gingivo-oclusal y ocluso-gingival.**

| Marca           | Prescripción | Sentido                | Alambre    | Desplazamiento (mm) |   |     |   |
|-----------------|--------------|------------------------|------------|---------------------|---|-----|---|
|                 |              |                        |            | 1,5                 | 2 | 2,5 | 3 |
| <b>Empower®</b> | <b>Roth</b>  | <b>Gingivo Oclusal</b> | 0,016x0,16 | *                   | * |     |   |
|                 |              |                        | 0,016x0,22 | *                   |   |     |   |
|                 |              |                        | 0,017x0,25 | *                   | * |     |   |
|                 |              |                        | 0,019x0,25 | *                   |   |     |   |
| <b>Empower®</b> | <b>Roth</b>  | <b>Ocluso Gingival</b> | 0,016x0,16 | *                   |   |     |   |
|                 |              |                        | 0,016x0,22 |                     |   |     |   |
|                 |              |                        | 0,017x0,25 |                     |   |     |   |
|                 |              |                        | 0,019x0,25 |                     |   |     |   |
| <b>Tander®</b>  | <b>Roth</b>  | <b>Gingivo Oclusal</b> | 0,016x0,16 |                     |   |     |   |
|                 |              |                        | 0,016x0,22 |                     |   | *   |   |
|                 |              |                        | 0,017x0,25 | *                   |   |     |   |
|                 |              |                        | 0,019x0,25 | *                   |   |     |   |
| <b>Tander®</b>  | <b>Roth</b>  | <b>Ocluso Gingival</b> | 0,016x0,16 | *                   |   |     | * |
|                 |              |                        | 0,016x0,22 |                     |   |     |   |
|                 |              |                        | 0,017x0,25 | *                   |   |     |   |
|                 |              |                        | 0,019x0,25 |                     |   |     |   |

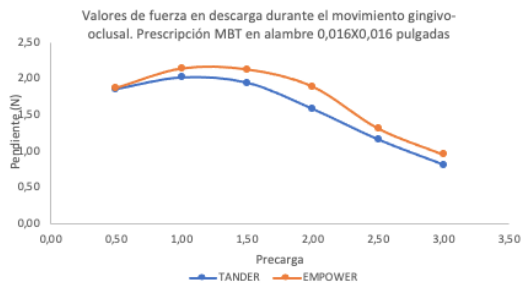
| Marca    | Prescripción | Sentido         | Alambre    | Desplazamiento (mm) |   |     |   |
|----------|--------------|-----------------|------------|---------------------|---|-----|---|
|          |              |                 |            | 1,5                 | 2 | 2,5 | 3 |
| Empower® | MBT          | Gingivo Oclusal | 0,016x0,16 | *                   | * |     | * |
|          |              |                 | 0,016x0,22 |                     |   |     |   |
|          |              |                 | 0,017x0,25 | *                   | * |     |   |
|          |              |                 | 0,019x0,25 |                     | * |     |   |
| Empower® | MBT          | Ocluso Gingival | 0,016x0,16 |                     |   |     |   |
|          |              |                 | 0,016x0,22 | *                   | * |     |   |
|          |              |                 | 0,017x0,25 | *                   | * |     |   |
|          |              |                 | 0,019x0,25 |                     |   |     |   |
| Tander®  | MBT          | Gingivo Oclusal | 0,016x0,16 |                     |   |     | * |
|          |              |                 | 0,016x0,22 |                     |   |     |   |
|          |              |                 | 0,017x0,25 | *                   |   |     |   |
|          |              |                 | 0,019x0,25 |                     |   |     |   |
| Tander®  | MBT          | Ocluso Gingival | 0,016x0,16 |                     |   |     |   |
|          |              |                 | 0,016x0,22 |                     |   |     |   |
|          |              |                 | 0,017x0,25 | *                   |   |     |   |
|          |              |                 | 0,019x0,25 |                     |   |     | * |

Las gráficas 4 y 5 presentan las curvas típicas del valor de los promedios de las pendientes en función de la precarga. Se observó un aumento a partir de 3mm hasta alrededor de 1,5 mm en función de la precarga. A partir de este punto intermedio se presentó un descenso de la pendiente hasta terminar la descarga. Este comportamiento mostró que existe una reducción clara de la pendiente a partir de precargas mayores a 1,5 mm.

**Gráfica 4**

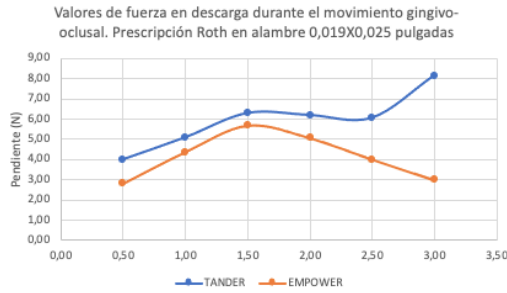


**Gráfica 5**

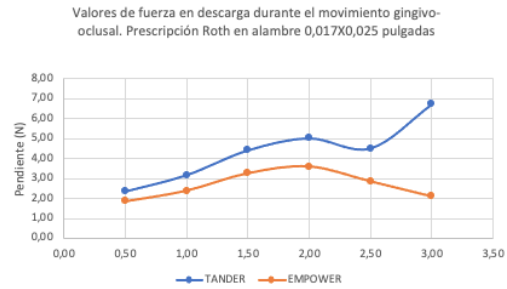


Por otra parte, en las gráficas 6 y 7 se observa un cambio en la curva típica en los alambres TANDER® ROTH 0,017”x0,025” y 0,019”x0,025” en el movimiento gingivo-oclusal. Inicia con un ascenso de la pendiente desde 0,5mm hasta 1,5 mm, posteriormente se observa una zona de meseta entre 1,5mm y 2,5mm. A partir de este último punto se evidencia un marcado ascenso hasta 3,0mm.

**Gráfica 6**



**Gráfica 7**



**Tabla 10. Diferencias en promedios de fuerza en las combinaciones de las variables estudiadas para la distancia a 0.5mm en los alambres 16x16, 16x22, 17x25, 19x25.**

Las combinaciones utilizadas fueron: marca, prescripción, tipo de movimiento y tamaño del alambre, las cuales componen un solo elemento.

| <b>Alambre 17x25</b>                |                       |                                   |                       |             |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------|
| <b>0.5 mm</b>                       |                       |                                   |                       |             |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                       | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig.</b> |
| <b>Emp-Roth-GO</b>                  | <b>Tander-Roth-OG</b> | -1,1649746*                       | ,2346528              | .006        |
| <b>Emp-Roth-GO</b>                  | <b>Tan-MBT-OG</b>     | -1,0995293*                       | ,2346528              | .012        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-Roth-GO</b>    | 1,1649746*                        | ,2346528              | .006        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tan-MBT-GO</b>     | 1,0146331*                        | ,2346528              | .026        |
| <b>Tan-MBT-GO</b>                   | <b>Tander-Roth-OG</b> | -1,0146331*                       | ,2346528              | .026        |
| <b>Tan-MBT-GO</b>                   | <b>Tan-MBT-OG</b>     | -,9491878*                        | ,2346528              | .047        |
| <b>Tan-MBT-OG</b>                   | <b>Emp-Roth-GO</b>    | 1,0995293*                        | ,2346528              | .012        |
| <b>Tan-MBT-OG</b>                   | <b>Tan-MBT-GO</b>     | ,9491878*                         | ,2346528              | .047        |

| <b>Alambre 19x25</b>       |                      |                       |             |  |
|----------------------------|----------------------|-----------------------|-------------|--|
| <b>0.5 mm</b>              |                      |                       |             |  |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS</b> | <b>Diferencia de</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig.</b> |  |

| BRACKETS           |                    | medias (I-J) |          |             |
|--------------------|--------------------|--------------|----------|-------------|
| Emp-Roth-<br>GO    | Tander-Roth-<br>OG | -2,4789382*  | ,4855186 | <b>.005</b> |
| Emp-Roth-<br>GO    | Tan-MBT-<br>OG     | -2,6601899*  | ,4855186 | <b>.002</b> |
| Tander-Roth-<br>OG | Emp-Roth-<br>GO    | 2,4789382*   | ,4855186 | <b>.005</b> |
| Tander-Roth-<br>OG | Emp-MBT-<br>GO     | 2,2513481*   | ,4855186 | .014        |
| Tander-Roth-<br>OG | Emp-MBT-<br>OG     | 2,0108072*   | ,4855186 | .039        |
| Tan-MBT-GO         | Tan-MBT-<br>OG     | -1,9917258*  | ,4855186 | .043        |
| Emp-MBT-<br>GO     | Tander-Roth-<br>OG | -2,2513481*  | ,4855186 | .014        |
| Emp-MBT-<br>GO     | Tan-MBT-<br>OG     | -2,4325997*  | ,4855186 | .006        |
| Tan-MBT-OG         | Emp-Roth-<br>GO    | 2,6601899*   | ,4855186 | <b>.002</b> |
| Tan-MBT-OG         | Tan-MBT-<br>GO     | 1,9917258*   | ,4855186 | .043        |
| Tan-MBT-OG         | Emp-MBT-<br>GO     | 2,4325997*   | ,4855186 | .006        |
| Tan-MBT-OG         | Emp-MBT-<br>OG     | 2,1920588*   | ,4855186 | .018        |
| Emp-MBT-<br>OG     | Tander-Roth-<br>OG | -2,0108072*  | ,4855186 | .039        |
| Emp-MBT-<br>OG     | Tan-MBT-<br>OG     | -2,1920588*  | ,4855186 | .018        |

Tabla 11. Diferencias en promedios de fuerza en las combinaciones de las variables estudiadas para la distancia a 1mm en los alambres 16x16, 16x22, 17x25, 19x25.

| Alambre 17x25                |                    |                      |                |             |
|------------------------------|--------------------|----------------------|----------------|-------------|
| 1 mm                         |                    |                      |                |             |
| PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS |                    | Diferencia de medias | Error estándar | Sig         |
| Emp-Roth-<br>GO              | Tander-Roth-<br>OG | -1.8425420*          | ,3405296       | <b>.002</b> |
| Emp-Roth-<br>GO              | Tan-MBT-OG         | -1.4472133*          | ,3405296       | .031        |

|                       |                       |             |          |      |
|-----------------------|-----------------------|-------------|----------|------|
| <b>Tander-Roth-OG</b> | <b>Emp-Roth-GO</b>    | 1.8425420*  | ,3405296 | .002 |
| <b>Tander-Roth-OG</b> | <b>Emp-MBT-GO</b>     | 1.7891138*  | ,3260322 | .002 |
| <b>Emp-MBT-GO</b>     | <b>Tander-Roth-OG</b> | -1.7891138* | ,3260322 | .002 |
| <b>Emp-MBT-GO</b>     | <b>Tan-MBT-OG</b>     | -1.3937851* | ,3260322 | .029 |
| <b>Tan-MBT-OG</b>     | <b>Emp-Roth-GO</b>    | 1.4472133*  | ,3405296 | .031 |
| <b>Tan-MBT-OG</b>     | <b>Emp-MBT-GO</b>     | 1.3937851*  | ,3260322 | .029 |

| <b>Alambre 19x25</b>                |                       |                                   |                       |             |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------|
| <b>1.0mm</b>                        |                       |                                   |                       |             |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                       | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig.</b> |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tander-Roth-OG</b> | -1,7747827*                       | ,4181401              | .032        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tander-Roth-OG</b> | -2,5016751*                       | ,4181401              | <b>.001</b> |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-Roth-OG</b>    | -1,9141179*                       | ,4181401              | .016        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tan-MBT-OG</b>     | -2,0801503*                       | ,4181401              | .006        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tan-Roth-GO</b>    | 1,7747827*                        | ,4181401              | .032        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-Roth-GO</b>    | 2,5016751*                        | ,4181401              | <b>.001</b> |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tan-MBT-GO</b>     | 1,7588094*                        | ,4181401              | .034        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-MBT-GO</b>     | 3,3117781*                        | ,4181401              | <b>.000</b> |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-Roth-GO</b>    | 1,9141179*                        | ,4181401              | .016        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-MBT-GO</b>     | 2,7242209*                        | ,4181401              | <b>.000</b> |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tander-Roth-OG</b> | -1,7588094*                       | ,4181401              | .034        |



| <b>Alambre 19x25</b>                |                       |                                   |                       |             |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------|
| <b>1.0mm</b>                        |                       |                                   |                       |             |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                       | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig.</b> |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tander-Roth-OG</b> | -3,3117781*                       | ,4181401              | <b>.000</b> |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-Roth-OG</b>    | -2,7242209*                       | ,4181401              | <b>.000</b> |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tan-MBT-OG</b>     | -2,8902533*                       | ,4181401              | <b>.000</b> |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-MBT-OG</b>     | -2,2536183*                       | ,4181401              | <b>.002</b> |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-Roth-GO</b>    | 2,0801503*                        | ,4181401              | .006        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-MBT-GO</b>     | 2,8902533*                        | ,4181401              | <b>.000</b> |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-MBT-GO</b>     | 2,2536183*                        | ,4181401              | <b>.002</b> |

**Tabla 12. Diferencias en promedios de fuerza en las combinaciones de las variables estudiadas para la distancia a 1.5mm en los alambres 16x16, 16x22, 17x25, 19x25.**

| <b>Alambre 16x22</b>                |                       |                                   |                       |             |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------|
| <b>1.5mm</b>                        |                       |                                   |                       |             |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                       | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig.</b> |
| <b>Emp-Roth-GO</b>                  | <b>Emp-MBT-GO</b>     | 1,0012283*                        | ,1651651              | .001        |
| <b>Emp-Roth-GO</b>                  | <b>Emp-MBT-OG</b>     | ,9149679*                         | ,1751841              | .004        |
| <b>Emp-Roth-GO</b>                  | <b>Tander-Roth-OG</b> | -,8131571*                        | ,1651651              | .008        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-Roth-GO</b>    | ,8131571*                         | ,1651651              | .008        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tan-MBT-GO</b>     | ,7893460*                         | ,1751841              | .019        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-MBT-GO</b>     | 1,1756339*                        | ,1651651              | .000        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tan-MBT-OG</b>     | ,7283822*                         | ,1651651              | .024        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-MBT-OG</b>     | 1,0893735*                        | ,1751841              | .000        |

|                   |                       |             |          |      |
|-------------------|-----------------------|-------------|----------|------|
| <b>OG</b>         |                       |             |          |      |
| <b>Emp-MBT-GO</b> | <b>Emp-MBT-GO</b>     | ,7101341*   | ,1651651 | .030 |
| <b>Emp-MBT-GO</b> | <b>Tander-Roth-OG</b> | -,7893460*  | ,1751841 | .019 |
| <b>Emp-MBT-GO</b> | <b>Tan-Roth-GO</b>    | -1,0012283* | ,1651651 | .001 |
| <b>Emp-MBT-GO</b> | <b>Tander-Roth-OG</b> | -1,1756339* | ,1651651 | .000 |
| <b>Emp-MBT-GO</b> | <b>Emp-Roth-OG</b>    | -,7101341*  | ,1651651 | .030 |
| <b>Emp-MBT-OG</b> | <b>Tan-Roth-GO</b>    | -,9149679*  | ,1751841 | .004 |
| <b>Emp-MBT-OG</b> | <b>Tander-Roth-OG</b> | -1,0893735* | ,1751841 | .000 |

| <b>Alambre 17x25</b>                |                    |                             |                       |               |
|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|
| <b>1.5 mm</b>                       |                    |                             |                       |               |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                    | <b>Diferencia de medias</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig. P</b> |
| <b>Emp-Roth-GO</b>                  | <b>Emp-Roth-GO</b> | 1.4771884*                  | ,2772462              | .003          |

| <b>Alambre 19x25</b>                |                       |                                   |                       |             |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------|
| <b>1.5mm</b>                        |                       |                                   |                       |             |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                       | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig.</b> |
| <b>Emp-Roth-GO</b>                  | <b>Emp-MBT-GO</b>     | 1,3063332*                        | ,3128519              | .037        |
|                                     | <b>Tander-Roth-OG</b> | -1,6159973*                       | ,3128519              | .004        |
|                                     | <b>Emp-MBT-OG</b>     | -1,8113288*                       | ,3128519              | .001        |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Emp-Roth-GO</b>    | 1,6159973*                        | ,3128519              | .004        |
|                                     | <b>Tan-MBT-GO</b>     | 1,9313466*                        | ,3128519              | .000        |

|                    |                            |             |          |             |
|--------------------|----------------------------|-------------|----------|-------------|
|                    | <b>Emp-MBT-<br/>GO</b>     | 2,3035364*  | ,3128519 | <b>.000</b> |
|                    | <b>Tan-MBT-<br/>OG</b>     | 1,2739726*  | ,3128519 | .045        |
| <b>Emp-Roth-OG</b> | <b>Tan-MBT-<br/>GO</b>     | 1,3794466*  | ,3128519 | .022        |
|                    | <b>Emp-MBT-<br/>GO</b>     | 1,7516364*  | ,3128519 | <b>.001</b> |
| <b>Tan-MBT-GO</b>  | <b>Tander-Roth-<br/>OG</b> | -1,9313466* | ,3128519 | <b>.000</b> |
|                    | <b>Emp-Roth-<br/>OG</b>    | -1,3794466* | ,3128519 | .022        |
|                    | <b>Emp-MBT-<br/>OG</b>     | -2,1266781* | ,3128519 | <b>.000</b> |
| <b>Emp-MBT-GO</b>  | <b>Tan-Roth-GO</b>         | -1,3063332* | ,3128519 | .037        |
|                    | <b>Tander-Roth-<br/>OG</b> | -2,3035364* | ,3128519 | <b>.000</b> |
|                    | <b>Emp-Roth-<br/>OG</b>    | -1,7516364* | ,3128519 | <b>.001</b> |
|                    | <b>Emp-MBT-<br/>OG</b>     | -2,4988679* | ,3128519 | <b>.000</b> |
| <b>Tan-MBT-OG</b>  | <b>Tander-Roth-<br/>OG</b> | -1,2739726* | ,3128519 | .045        |
|                    | <b>Emp-MBT-<br/>OG</b>     | -1,4693041* | ,3128519 | .012        |
| <b>Emp-MBT-OG</b>  | <b>Emp-Roth-<br/>GO</b>    | 1,8113288*  | ,3128519 | <b>.001</b> |
|                    | <b>Tan-MBT-<br/>GO</b>     | 2,1266781*  | ,3128519 | <b>.000</b> |
|                    | <b>Emp-MBT-<br/>GO</b>     | 2,4988679*  | ,3128519 | <b>.000</b> |
|                    | <b>Tan-MBT-</b>            | 1,4693041*  | ,3128519 | .012        |

|  |    |  |  |  |
|--|----|--|--|--|
|  | OG |  |  |  |
|--|----|--|--|--|

Tabla 13. Diferencias en promedios de fuerza en las combinaciones de las variables estudiadas para la distancia a 2mm en los alambres 16x16, 16x22, 17x25, 19x25.

| Alambre 16x16                |                |                            |                |      |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------|------|
| 2.0mm                        |                |                            |                |      |
| PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS |                | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig. |
| Tander-Roth-OG               | Emp-MBT-OG     | -,5819671*                 | ,1409763       | .040 |
| Emp-MBT-OG                   | Tander-Roth-OG | ,5819671*                  | ,1409763       | .040 |

| Alambre 17x25                |                |                            |                |             |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------|-------------|
| 2 mm                         |                |                            |                |             |
| PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS |                | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig.        |
| Tan-Roth-GO                  | Emp-Roth-GO    | 1.4390338*                 | ,2545215       | <b>.001</b> |
| Tan-Roth-GO                  | Emp-Roth-OG    | 1,2285688*                 | ,2545215       | .009        |
| Tan-Roth-GO                  | Tan-MBT-GO     | 1,9795103*                 | ,2545215       | <b>.000</b> |
| Tan-Roth-GO                  | Emp-MBT-GO     | 1,1678393*                 | ,2436858       | .009        |
| Tan-Roth-GO                  | Tan-MBT-OG     | 1,4320795*                 | ,2699608       | <b>.003</b> |
| Emp-Roth-GO                  | Tan-Roth-GO    | -1,4390338*                | ,2545215       | <b>.001</b> |
| Tander-Roth-OG               | Tan-MBT-GO     | 1,1553349*                 | ,2545215       | .016        |
| Emp-Roth-OG                  | Tan-Roth-GO    | -1,2285688*                | ,2545215       | .009        |
| Tan-MBT-GO                   | Tan-Roth-GO    | -1,9795103*                | ,2545215       | <b>.000</b> |
| Tan-MBT-GO                   | Tander-Roth-OG | -1,1553349*                | ,2545215       | .016        |
| Tan-MBT-GO                   | Emp-MBT-OG     | -1,0156267*                | ,2436858       | .037        |

|                        |                    |             |          |             |
|------------------------|--------------------|-------------|----------|-------------|
| <b>Emp-MBT-<br/>GO</b> | <b>Tan-Roth-GO</b> | -1,1678393* | ,2436858 | .009        |
| <b>Tan-MBT-<br/>OG</b> | <b>Tan-Roth-GO</b> | -1,4320795* | ,2699608 | <b>.003</b> |
| <b>Emp-MBT-<br/>OG</b> | <b>Tan-MBT-GO</b>  | 1,0156267*  | ,2436858 | .037        |

| <b>Alambre 19x25</b>                          |                        |                                   |                       |               |
|---|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|
| <b>2.0mm</b>                                  |                        |                                   |                       |               |
| <b>VARIABLES PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                        | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig. P</b> |
| <b>Tan-MBT-<br/>GO</b>                        | <b>Emp-MBT-<br/>OG</b> | -2,1795134*                       | ,5281742              | .041          |
| <b>Emp-MBT-<br/>OG</b>                        | <b>Tan-MBT-<br/>GO</b> | 2,1795134*                        | ,5281742              | .041          |

Tabla 14. Diferencias en promedios de fuerza en las combinaciones de las variables estudiadas para la distancia a 2.5mm en los alambres 16x16, 16x22, 17x25, 19x25.

| <b>Alambre 16x16</b>                |                            |                                   |                       |               |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|
| <b>2.5mm</b>                        |                            |                                   |                       |               |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                            | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig. P</b> |
| <b>Emp-Roth-<br/>GO</b>             | <b>Tander-Roth-<br/>OG</b> | ,6317697*                         | ,1435361              | .023          |
| <b>Tander-Roth-<br/>OG</b>          | <b>Emp-Roth-<br/>GO</b>    | -,6317697*                        | ,1435361              | .023          |

| <b>Alambre 17x25</b>    |                         |                                   |                       |               |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|
| <b>2.5 mm</b>           |                         |                                   |                       |               |
| <b>VARIABLES</b>        |                         | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig. P</b> |
| <b>Tan-Roth-<br/>GO</b> | <b>Emp-Roth-<br/>GO</b> | 1,6729206*                        | ,3735399              | .019          |
| <b>Tan-Roth-<br/>GO</b> | <b>Emp-Roth-<br/>OG</b> | 1,7382826*                        | ,3735399              | .013          |
| <b>Tan-Roth-<br/>GO</b> | <b>Tan-MBT-<br/>GO</b>  | 1,9807930*                        | ,3735399              | <b>.003</b>   |
| <b>Tan-Roth-<br/>GO</b> | <b>Tan-MBT-<br/>OG</b>  | 1,7882963*                        | ,3735399              | .009          |

|                         |                    |             |          |             |
|-------------------------|--------------------|-------------|----------|-------------|
| <b>Emp-Roth-<br/>GO</b> | <b>Tan-Roth-GO</b> | -1,6729206* | ,3735399 | .019        |
| <b>Emp-Roth-<br/>OG</b> | <b>Tan-Roth-GO</b> | -1,7382826* | ,3735399 | .013        |
| <b>Tan-MBT-<br/>GO</b>  | <b>Tan-Roth-GO</b> | -1,9807930* | ,3735399 | <b>.003</b> |
| <b>Tan-MBT-<br/>OG</b>  | <b>Tan-Roth-GO</b> | -1,7882963* | ,3735399 | .009        |

Tabla 15. Diferencias en promedios de fuerza en las combinaciones de las variables estudiadas para la distancia a 3mm en los alambres 16x16, 16x22, 17x25, 19x25.

| <b>Alambre 16x16</b>                |                            |                                   |                       |               |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|
| <b>3.0mm</b>                        |                            |                                   |                       |               |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                            | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig. P</b> |
| <b>Emp-Roth-<br/>GO</b>             | <b>Tander-Roth-<br/>OG</b> | ,4943646*                         | ,1111771              | .021          |
| <b>Emp-Roth-<br/>GO</b>             | <b>Tan-MBT-<br/>GO</b>     | ,5083624*                         | ,1111771              | .016          |
| <b>Emp-Roth-<br/>GO</b>             | <b>Tan-MBT-<br/>OG</b>     | ,4680771*                         | ,111771               | .034          |
| <b>Tander-Roth-<br/>OG</b>          | <b>Emp-Roth-<br/>GO</b>    | -,4943646*                        | 1111771               | .021          |
| <b>Tan-MBT-GO</b>                   | <b>Emp-Roth-<br/>GO</b>    | -,5083624*                        | ,1111771              | .016          |
| <b>Tan-MBT-OG</b>                   | <b>Emp-Roth-<br/>GO</b>    | -,4680771*                        | ,1111771              | .034          |

| <b>Alambre 17X25</b>                |                            |                                   |                       |               |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|
| <b>3.0mm</b>                        |                            |                                   |                       |               |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                            | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig. P</b> |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Emp-Roth-<br/>GO</b>    | 3,5352028*                        | ,7029874              | .006          |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Tander-Roth-<br/>OG</b> | 3,5661611*                        | ,7029874              | .005          |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Emp-Roth-<br/>OG</b>    | 3,7917496*                        | ,7029874              | .002          |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Tan-MBT-</b>            | 3,5742617*                        | ,7029874              | .005          |

| <b>Alambre 17X25</b>                |                    |                                   |                       |               |
|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|
| <b>3.0mm</b>                        |                    |                                   |                       |               |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                    | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig. P</b> |
|                                     | <b>GO</b>          |                                   |                       |               |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Emp-MBT-GO</b>  | 3,3070791*                        | ,7029874              | .012          |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Tan-MBT-OG</b>  | 3,6094412*                        | ,7029874              | .004          |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Emp-MBT-OG</b>  | 3,1035493*                        | ,7029874              | .022          |
| <b>Emp-Roth-GO</b>                  | <b>Tan-Roth-GO</b> | -3,5352028*                       | ,7029874              | .006          |
| <b>Tander-Roth-OG</b>               | <b>Tan-Roth-GO</b> | -3,5661611*                       | ,7029874              | .005          |
| <b>Emp-Roth-OG</b>                  | <b>Tan-Roth-GO</b> | -3,7917496*                       | ,7029874              | .002          |
| <b>Tan-MBT-GO</b>                   | <b>Tan-Roth-GO</b> | -3,5742617*                       | ,7029874              | .005          |
| <b>Emp-MBT-GO</b>                   | <b>Tan-Roth-GO</b> | -3,3070791*                       | ,7029874              | .012          |
| <b>Tan-MBT-OG</b>                   | <b>Tan-Roth-GO</b> | -3,6094412*                       | ,7029874              | .004          |
| <b>Emp-MBT-OG</b>                   | <b>Tan-Roth-GO</b> | -3,1035493*                       | ,7029874              | .022          |

| <b>Alambre 19x25</b>                |                       |                                   |                       |             |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------|
| <b>3.0mm</b>                        |                       |                                   |                       |             |
| <b>PRESCRIPCIÓN DE LOS BRACKETS</b> |                       | <b>Diferencia de medias (I-J)</b> | <b>Error estándar</b> | <b>Sig.</b> |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Emp-Roth-GO</b>    | 5,1350762*                        | 1,0379219             | .007        |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Tander-Roth-OG</b> | 4,9184571*                        | 1,0379219             | .011        |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Emp-Roth-OG</b>    | 5,4360887*                        | 1,0379219             | .003        |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Tan-MBT-GO</b>     | 5,6219011*                        | 1,0379219             | .002        |
| <b>Tan-Roth-GO</b>                  | <b>Emp-MBT-GO</b>     | 4,6053436*                        | 1,0379219             | .021        |

|                       |                    |             |           |             |
|-----------------------|--------------------|-------------|-----------|-------------|
| <b>Tan-Roth-GO</b>    | <b>Tan-MBT-OG</b>  | 5,4089134*  | 1,0379219 | <b>.004</b> |
| <b>Tan-Roth-GO</b>    | <b>Emp-MBT-OG</b>  | 4,2665327*  | 1,0379219 | .042        |
| <b>Emp-Roth-GO</b>    | <b>Tan-Roth-GO</b> | -5,1350762* | 1,0379219 | .007        |
| <b>Tander-Roth-OG</b> | <b>Tan-Roth-GO</b> | -4,9184571* | 1,0379219 | .011        |
| <b>Emp-Roth-OG</b>    | <b>Tan-Roth-GO</b> | -5,4360887* | 1,0379219 | .003        |
| <b>Tan-MBT-GO</b>     | <b>Tan-Roth-GO</b> | -5,6219011* | 1,0379219 | <b>.002</b> |
| <b>Emp-MBT-GO</b>     | <b>Tan-Roth-GO</b> | -4,6053436* | 1,0379219 | .021        |
| <b>Tan-MBT-OG</b>     | <b>Tan-Roth-GO</b> | -5,4089134* | 1,0379219 | .004        |
| <b>Emp-MBT-OG</b>     | <b>Tan-Roth-GO</b> | -4,2665327* | 1,0379219 | .042        |

**Tabla 16. Porcentaje de casos en los cuales, para cada alambre, distancia y sentido, se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,5$ ) y promedio de significancias para todas las distancias**

| <b>Alambre\Distancia</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>1,5</b> | <b>2</b> | <b>2,5</b> | <b>3</b> | <b>Promedio</b> |
|--------------------------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|-----------------|
| <b>0,016X16</b>          | 0,00       | 0,00     | 0,00       | 7,14     | 7,14       | 21,43    | 6               |
| <b>0.016X22</b>          | 0,00       | 0,00     | 53,57      | 0,00     | 0,00       | 0,00     | 9               |
| <b>0,017X25</b>          | 28,57      | 28,57    | 3,57       | 50,00    | 28,57      | 50,00    | 32              |
| <b>0,019X25</b>          | 50,00      | 64,29    | 78,57      | 7,14     | 0,00       | 50,00    | 42              |

Las tablas 10 a la 15 presentan los promedios de las diferencias, el error estándar y el valor de  $p$  solo cuando se cumplió el criterio de ser menor o igual a 0,05. Es importante anotar que las diferencias investigadas correspondieron a las diferentes combinaciones de bracket, prescripción, dirección y calibre en todas las distancias. Así mismo la tabla 16 presenta un resumen de las significancias encontradas. En ellas fue evidente que el número de diferencias fue pequeño. Si bien hubo dos casos en los cuales se superó la mitad de las comparaciones y tres en los cuales se alcanzó el 50%, los datos globales mostraron pocas diferencias estadísticamente significativas, aunque fue claro que estas diferencias estuvieron principalmente en los calibres grandes (0,017"x0,025" y 0,019"x0,025"). No se encontró un patrón que mostrara más diferencias significativas por mayor pre carga en las combinaciones como se plantearon.

## **DISCUSIÓN**

La información analizada en esta investigación hace referencia a combinaciones de brackets de dos marcas comerciales, dos prescripciones, dos sentidos de movimiento y cuatro alambres de diferente calibre. Esto generó 48 combinaciones. Cada una representa los cuatro elementos (bracket, prescripción, sentido y alambre) las cuales fueron analizadas a 6 distancias en descarga. La aleación utilizada fue austenítica activa, conocida comercialmente como superelástica.



Las medias obtenidas, para los alambres de bajo calibre se encuentran dentro de los valores convencionales utilizados en ortodoncia, no obstante, son moderadas y ocasionalmente muy altas en los alambres de mayor calibre. El primer incremento de la fuerza con el uso de alambres de mayor calibre es muy similar independientemente de la combinación usada. Este se presenta al pasar de 0,016" x 0,016" a 0,016" x 0,022" con valores de alrededor de 30%. Asimismo, al pasar de 0,016" x 0,022" a 0,017" x 0,025" el incremento se sitúa alrededor de un 45%, luego el valor del incremento desciende hasta aproximadamente 25% al pasar de un 0,017" x 0,025" a un 0,019" x 0,025". La razón por la cual los incrementos no son mayores se debe a los grosores de los movimientos de segundo orden, que son la variable que más aporta en la rigidez del alambre, tienen solo incrementos de 0,016" a 0,017" y de 0,017" a 0,019". Un patrón diferente se observa en movimientos de primer orden ya que, el grosor pasaría de 0,016" a 0,022", luego de 0,022" a 0,025" y por último se mantendría en 0,025" pero con diferencias de 0,017" a 0,019" en el ancho.

En el estudio de Lombardo y cols en 2012, determinaron que los niveles de fuerza aumentan a medida que hay un incremento en el calibre del alambre. En promedio, los valores de fuerza en dicho estudio fueron de aproximadamente el 50% cuando el diámetro aumentó en 0,002 pulgadas (de 0,012" a 0,014" y de 0,014" a 0,016") y alrededor del 150% cuando el diámetro aumentó en 0,004 pulgadas (de 0,012" a 0,016"). (12) Razón por la cual se ajusta a los resultados obtenidos en el presente estudio. No obstante, no evaluaron movimientos de segundo orden, por lo que existe una diferencia en los niveles de fuerza al pasar de un 0,017"x0,025" a un 0,019"x0,025", ya que esta variable en la presente investigación disminuye en lugar de aumentar.

El propósito del presente estudio era observar el impacto de la precarga llevando los alambres incrementalmente hasta 3 mm y permitiendo su descarga total cada 0,5 mm, los alambres razonablemente se encontraban en diferentes fases de acuerdo con la distancia utilizada en carga. Debido a eso las curvas que describen la descarga variaron en cada distancia, desde curvas similares a las de la elasticidad convencional hasta curvas que alcanzaron a mostrar el comportamiento típico de estas aleaciones en su fase de transformación. Hasta cierta distancia, las pendientes de las curvas mostraron que a mayor desplazamiento en carga ocurría mayor entrega de fuerza en descarga. Pero cuando la carga era mayor de 1,5 mm se presentaba una disminución de la fuerza en descarga en los alambres que habían sido sometidos a mayor carga (Ver Gráficas 1, 2 y 3). Estos hallazgos concuerdan con los mencionados por Hitoshi y cols en 2017,(14) donde los resultados obtenidos mostraron una diferencia estadísticamente significativa en las deflexiones de 2mm y 3mm en un estudio de tres puntos. Los valores encontrados en ese estudio sugieren que en pequeñas deflexiones no hay diferencia en la fuerza ejercida en los tipos de alambre analizados (0,014" y 0,016"). Adicionalmente, estos fenómenos respaldan la teoría expuesta en hallazgos previos de la literatura reportados por Burstone y cols en 1985,(5) y, junto a la evidente reducción en las pendientes de descarga como consecuencia de la precarga, confirma la hipótesis del primer objetivo del presente estudio. Este hallazgo representa la disminución de los valores de fuerza en la parte inferior de la histéresis. Dado que la histéresis es explicada por pérdida de energía en forma de calor, y es posible que esa pérdida esté asociada a la distancia del desplazamiento por difusión que ocurre en los átomos durante la carga.

Por otra parte, desde el punto de vista clínico, los alambres no mostraron mesetas contundentes, a excepción de algunos casos a 3mm y 2,5 mm. Es decir que si los alambres son utilizados para

buscar fuerzas relativamente uniformes es necesario activarlos a distancias superiores a las del presente estudio. De lo contrario, el alambre se comportará como una aleación martensítica estabilizada sin las propiedades de las superelásticas. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que no siempre la precarga a distancias importantes es posible. Quizás esto último pueda ser superado por el uso de diseños especiales como aparatos estáticamente determinados. El juicio clínico será importante para decidir cuándo realmente se justifica el uso de aleaciones austeníticas activas y de diseños ingeniosos para aprovechar las propiedades de estas aleaciones, como anteriormente es mencionado en la investigación. Burstone y col. en 1999, diseñaron un estudio para determinar si es posible aplicar fuerzas relativamente constantes y si las magnitudes de fuerza se aproximan a los valores de fuerza previstos por el fabricante. Por lo tanto, se activaron resortes pesados, medianos y livianos de 15 mm a temperaturas que oscilaron entre 15 °C y 60 °C y se midió la fuerza. Se concluyó que es posible lograr fuerzas relativamente constantes con un procedimiento de sobreactivación que permita la relajación hasta la activación deseada y el uso de temperatura constante. (15) De la misma manera, Burstone y col en 1985 (5) mediante una prueba de deflexión de tres puntos, concluyeron que el alambre de niti produce fuerzas relativamente constantes en un rango amplio de acción y observaron, como la rigidez a la flexión de estas aleaciones está modulada por la cantidad de activación. Sin embargo, los hallazgos no son estrictamente comparables ya que ellos utilizaron una configuración de viga en extremo libre y midieron el momento de flexión en el alambre. El valor de la información acá presentada consiste en que ha sido obtenida con un diseño que intenta simular condiciones clínicas. Por otra parte, deberá asumir retos como definir el papel de las respuestas particulares de estas aleaciones en la mecanotransducción.

La elasticidad convencional relaciona la deformación con la fuerza aplicada en la forma de  $F = -kd$ , donde  $F$  es la fuerza aplicada,  $k$  es la constante elástica de la aleación en cuestión y  $d$  la deformación. En consecuencia, la relación entre fuerza y deformación es proporcional, sin exponenciales y por esa razón la respuesta es lineal. Dado que la aleación bajo estudio es austenítica activa, su comportamiento es pseudo elástico, caracterizado por fases de diferente rigidez como consecuencia de sus cambios de fase, (16) lo cual dificulta la posibilidad de tener una respuesta predecible. Por otra parte, se supone que las características de la fuerza empleada y su transformación en esfuerzos en el ligamento periodontal deben modular el fenómeno biológico que finalmente conduce a la proliferación celular que permite el movimiento dental. Autores como Muraviev y Ospanova en 2001, han hecho sugerencias sobre cómo debe ser la fuerza adecuada para el movimiento dental por razones tanto de evitar el daño tisular como para controlar el tipo de movimiento deseado (17). Por este motivo el conocimiento de la fuerza empleada es importante en ortodoncia. Para ello se obtuvieron ecuaciones de regresión lineal para explorar la posibilidad de conocer la fuerza en función de la precarga. El resultado de las ecuaciones fue considerado bueno cuando la varianza eliminada fuera igual o superior al 80%.

Tan solo el 21% de las ecuaciones obtenidas mostró que pueden predecir la fuerza entregada a partir de la precarga con muy buena aproximación. Adicionalmente el 56% de ellas se encontraron en precargas de 1.5 y 2 mm. Aunque esto último no es necesariamente un patrón, es posible explicarlo en la siguiente forma: el inicio de la transformación martensítica por difusión conlleva a la superelasticidad, aunque pedagógicamente se presenta como un punto, en realidad es un espacio en el cual se va realizando en forma gradual, adicionalmente, en presencia de tensiones externas se produce, a una temperatura ligeramente superior a  $M_s$  la denominada

martensita inducida por tensión que contribuye a que el cambio no ocurra de manera puntual. Así las cosas, al inicio de la curva la composición cristalina es más uniforme, conduciendo a repuestas más predecibles.

El número de diferencias estadísticamente significativas fue relativamente pequeño. Ni al analizar casos individuales ni globalmente se encontraron patrones específicos, aunque en los calibres mayores hubo más diferencias. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el hecho de que existan diferencias estadísticamente significativas no quiere decir que también lo sean clínicamente. El incremento de la histéresis que se evidencia en las curvas podría ser la causa de que haya más diferencias en los calibres altos.

### **Limitaciones**

La máquina universal de ensayos, a niveles bajos de desplazamiento, entrega lecturas imprecisas, por esa razón las gráficas empiezan en 0,5mm.

Si bien se emplearon brackets pretorqueados no se realizó una verificación de la inclinación de las caras bucales de los dientes para que, en condición de alineamiento ideal el torque fuera cero.

En el presente estudio se utilizó temperatura ambiente en lugar de la temperatura constante que es el ideal para este tipo de aleaciones.

### **Conclusiones**

1. Al cambiar el calibre de los alambres los incrementos en la fuerza fueron similares en porcentaje independientemente del bracket, sentido y la prescripción.
2. Los incrementos en carga producen mayor entrega de fuerza en descarga hasta 1,5mm, luego el patrón se invierte.
3. La tendencia de las pendientes de descarga es a disminuir con el aumento de la precarga
4. Para las precargas estudiadas, las zonas de transformación, deducidas a partir del comportamiento de las curvas, se encontraron en variados grados de progreso y en la mayoría de los casos para 3 mm no habían terminado. Por este motivo, se recomienda utilizar estas combinaciones a distancias mayores a 3mm si se desea aprovechar la zona de superelasticidad.
5. Solo el 21% de las ecuaciones obtenidas mostró que pueden predecir la fuerza entregada a partir de la precarga con muy buena aproximación. En general esto ocurrió para predicciones a pequeñas distancias, pero aparte de esto, no hubo un patrón detectable.
6. El número de diferencias estadísticamente significativas fue relativamente pequeño. Solo el 46% de las comparaciones mostraron diferencias estadísticamente significativas. Además de lo anterior, debe tenerse en cuenta que el hecho de que existan diferencias estadísticamente significativas no significa que se encuentren en la clínica.

## **Recomendaciones**

Se sugiere para futuros estudios de esta línea de investigación ampliar el análisis de las combinaciones con el fin de identificar significancias representativas. Por otra parte, se recomienda realizar estudios adicionales ampliando la distancia en un rango mayor a 3mm con el fin de identificar con mayor exactitud el comportamiento de la zona de superelasticidad. Se sugiere en próximos estudios analizar este tipo de información, así como el torque ya que, en brackets con torque incorporado debe haber un impacto importante en las cargas impuestas.

## **Declaración de conflictos de interés**

Los autores de la investigación declaran que no existen conflictos de interés.

## **Financiación**

La presente investigación recibió donación de los materiales e instrumentos por parte de la casa comercial American Orthodontics©. Los demás gastos se generaron a través de recursos propios de los investigadores

## **Agradecimientos**

Queremos agradecer la facultad de odontología de la Pontificia Universidad Javeriana, al CIO por permitirnos el uso de la maquina universal MRC® UTM-65A, y a sus docentes por el apoyo brindado en este proyecto.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.**

1. Burtone JC, Choy K. The Biomechanical Foundation of clinical Orthodontics. Huffman L, editor. Quintessence Publishing Co, Inc. Quintessence Publishing Co, Inc; 2015. 199–207 p.
2. Sepúlveda A. El Nitinol: Un Material Inteligente. 2015;(October):5. Available from: [http://www.academia.edu/9373804/EL\\_NITINOL\\_UN\\_MATERIAL\\_INTELIGENTE](http://www.academia.edu/9373804/EL_NITINOL_UN_MATERIAL_INTELIGENTE)
3. Santoro M, Nicolay OF, Cangialosi TJ. Pseudoelasticity and thermoelasticity of nickel-titanium alloys: A clinically oriented review. Part I: Temperature transitional ranges. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2001;119(6):587–93.
4. Nägerl H, Burstone CJ, Becker B, Kubein-Messenburg D. Centers of rotation with transverse forces: An experimental study. Am J Orthod Dentofac Orthop. 1991;99(4):337–45.
5. Burstone CJ, Qin B, Morton JY. Chinese NiTi wire-d new orthodontic alloy. Am J Orthod. 1985;87(6):445–52.
6. Pithon MM, Baião FCS, Sant Anna LID de A, Paranhos LR, Cople Maia L. Assessment of the effectiveness of invisible aligners compared with conventional appliance in aesthetic and functional orthodontic treatment: A systematic review. J Investig Clin Dent. 2019;10(4):e12455.
7. Bartzela TN, Senn C, Wichelhaus A. Load-deflection characteristics of superelastic nickel-titanium wires. Angle Orthod. 2007;77(6):991–8.
8. Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2005;128(3):292–8.

9. Segner D, Ibe D. Properties of superelastic wires and their relevance to orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 1995;17(5):395–402.
10. Alhuwaizi AF. In-Vitro evaluation of load-deflection characteristics and force levels of nickel titanium orthodontic archwires. 2016;(September 2015).
11. Bartzela TN, Senn C, Wichelhaus A. Load-deflection characteristics of superelastic nickel-titanium wires. *Angle Orthod.* 2007 Nov;77(6):991–8.
12. Lombardo L, Marafioti M, Stefanoni F, Mollica F, Siciliani G. Load deflection characteristics and force level of nickel titanium initial archwires. *Angle Orthod.* 2012;82(3):507–21.
13. Londono L, Medina A, Pardo M, Valenzuela P, Suarez A. Posgrado R, Puj O, Odontol OC, Ces D, Bosque E. Fuerza de descarga entre brackets de autoligado de diferentes prescripciones, con alambres níquel-titanio de diferentes calibres”.
14. Higa RH, Henriques JFC, Janson G, Matias M, de Freitas KMS, Henriques FP, et al. Force level of small diameter nickel-titanium orthodontic wires ligated with different methods. *Prog Orthod.* 2017 Dec 1;18(1).
15. Tripolt H, Burstone CJ, Bantleon P, Manschiebel W. The use of nickel-titanium (NiTi) wires in Force characteristics of nickel-titanium tension coil springs. 1999.
16. Miura F, Mogi M, Ohura Y, Hamanaka H. The wire super-elastic property of the Japanese NiTi alloy for use in orthodontics. Vol. 90, *American Journal of ORTHODONTICS and DENTOFACIAL ORTHOPEDICS* Founded in. 1915.
17. Muraviev SE, Ospanova GB, Shlyakhova MY. Estimation of force produced by nickel-titanium superelastic archwires at large deflections. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2001;119(6):604–9.