

**DETERMINACIÓN DE LA FUERZA REQUERIDA DURANTE 1 MINUTO
PARA DESPLAZAR 1 mm ARCOS DE GUMMETAL, NITINOL Y ACERO.
ESTUDIO IN VITRO**

Roberto Velásquez Torres¹, Adriana Rojas Sánchez², Miguel Alejandro Rodríguez Forero²

1. Asesor Científico. Odontólogo Universidad de Cartagena. Ortodoncista Universidad Complutense de Madrid. España. Candidato a PHD en Técnica MEAW Universidad de Kanagawa Japón.
2. Institución Universitaria Colegios de Colombia, Colegio Odontológico - Especialización en Ortodoncia y Ortopedia Maxilar.

Resumen

Objetivo: Determinar la fuerza requerida durante 1 minuto para lograr una deflexión de 1 mm en arcos seccionados de Nitinol, Acero, Acero Multiansas, Gummetal y Gummetal multiansas de calibre 0,018x0,022 aplicada en la máquina universal de pruebas marca Shimadzu® modelo Autograph AG-IS 5KN. **Materiales y métodos:** Se tomaron 5 muestras seccionadas de cada aleación de calibre 0,018x0,022. En total 25 especímenes de prueba. Se realizó calibración de la sección transversal por medio de un Micrómetro electrónico con una precisión de 0,005 mm. Se realizó la carga en el tercer bracket en la máquina universal de pruebas marca Shimadzu®. Se graficaron las curvas carga-deflexión y se establecieron las razones mediante la identificación de la pendiente de la recta. Se promediaron las razones y se contrastaron para normalidad con prueba Shapiro-Wilk, y se identificaron las diferencias mediante prueba de Anova de una vía y posprueba de Bonferroni. El nivel de significancia se estableció en 0.05 y el de confiabilidad en 95%. **Resultados:** Las curvas de fuerza versus desplazamiento indican una mayor deflexión para los alambres de Acero recto y Nitinol con respecto al Acero multiloop, al Gummetal recto y Multiloop. Al mismo tiempo que el Gummetal recto alcanza desplazamientos mayores que el Acero multiloop. Todos los desplazamientos cercanos a 1mm. **Conclusión:** La mayor fuerza se generó en el Acero recto. Los valores menores se observaron en el acero Multiloop y el Gummetal multiloop lo cual demuestra que la geometría de los loops reduce la rigidez y permite el control del movimiento dental, transmitiendo fuerzas ligeras.

Palabras clave: Gummetal, Acero, Nitinol, Multiansas.

ABSTRACT

Objective: To determine the load-deflection rate in 1 minute to achieve a deflection of 1 mm in sectioned arches of Nitinol, Steel, Multiloop Steel, Gummetal and Multiloop Gummetal 0.018x0.022 applied in the universal testing machine brand Shimadzu® model Autograph AG - IS 5KN. **Materials and methods:** Five sectioned samples of each 0.018x0.022 alloy were taken. In total 25 test specimens. Cross section calibration was performed by means of an electronic Micrometer with an accuracy of 0.005 mm. The third bracket was loaded onto the universal Shimadzu® testing machine. The load-deflection curves were plotted and the ratios were established by identifying the slope of the line. The ratios were averaged and contrasted for normality with the Shapiro-Wilk test, and differences were identified by one-way ANOVA and Bonferroni post-test. The level of significance was set at 0.05 and the reliability level at 95%. **Results:** The force versus displacement curves indicate a greater deflection for the Straight Steel and Nitinol wires with respect to Multiloop Steel, Straight Gummetal and Multiloop. At the same time that the straight Gummetal reaches greater displacements than the Multiloop Steel. All displacements close to 1mm. **Conclusion:** The greatest force was generated in the Straight Steel. The lower values were observed in the Multiloop steel and the Gummetal multiloop, which shows that the loops geometry reduces stiffness and allows control of dental movement, transmitting light forces.

Keywords: Gummetal, Steel, NiTi, Multiloop.

Introducción

La fuerza necesaria para lograr la deformación de un alambre se denomina razón de carga – deflexión; los alambres que presentan una curva alta de carga – deflexión, no permiten la corrección efectiva de las malposiciones dentales, y no proveen las fuerzas ligeras y continuas, ideales en Ortodoncia. (1)

En la década de 1970, Young H. Kim, desarrolló la técnica de arco multiansas – MEAW; este arco presenta una disminución en la fuerza interdental y permite movimientos de inclinación y corrección del plano oclusal en un corto periodo de tiempo. Este arco multiansas puede confeccionarse en acero, aleación ampliamente utilizada en las diferentes fases del tratamiento ortodóntico. (1)

El arco Multiansas presenta una razón carga deflexión baja con respecto al Nitinol, al TMA y al acero recto lo que permite disminuir el tiempo del tratamiento y las molestias del paciente mientras usa la aparatología.(7) Además, puede disminuir la incidencia de reabsorciones radiculares, ya que entre menos tiempo dure el tratamiento y más ligeras sean las fuerzas, menos molestias se presentarán en el paciente.(7)

En la clínica de Postgrado de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar de UNICOC en Bogotá, se implementa la filosofía MEAW hace varios años con excelentes resultados clínicos sin embargo, se ha reemplazado el uso del arco de acero multiansas por Gummetal el cual contiene una aleación de titanio 36% niobio, 2tantalio, 3circonio Y Oxígeno (Ti-23Nb-0.7Ta-2Zr-1.2 O). Esta aleación compuesta por titanio presenta bajo módulo de elasticidad, gran flexibilidad y resistencia.(11,12,13)

Las características mencionadas, al parecer, superan a las aleaciones que han sido utilizadas para implementar tratamientos con la técnica MEAW; por tanto, este estudio busca determinar la razón de carga-deflexión en la región interdental y compararlo con alambres de Acero, Gummetal y Nitinol.

Materiales y métodos

Se llevó a cabo un estudio experimental con 5 arcos de Acero multiloop, 5 arcos de Acero recto, 5 arcos de Nitinol, 5 arcos Gummetal rectos y 5 arcos Gummetal multiloop de calibre 18x22. Cada cuerpo de muestra fue adaptado al bracket y este a su vez al soporte para prueba. (Figura 1)

El alambre a probar se fijó en 5 brackets con ligadura metálica, dos a cada extremo del segmento central; estos fueron unidos con Adhesivo Hysol EA 960 a una placa de acero inoxidable que estaba unido al dispositivo en la parte inferior. Cada extremo del alambre se fijó de igual forma, en este caso de la

parte superior fue fijada en el tramo medio para realizar la medición. (Figura 2, 3)

Se realizó prueba piloto para la deflexión con alambres rectos bajo especificaciones de la norma ISO 15841:2006(E). (Figura 4) Se utilizó la máquina universal de pruebas Marca Shimadzu® Modelo Autograph AG-IS 5KN. La razón carga-deflexión se midió mediante sometimiento de movimiento cruzado a una velocidad de 1mm por minuto y una deflexión máxima de 1,0mm. La máxima fuerza utilizada fue hasta los 50 N. Los cuerpos de prueba, 5 (cinco) para cada grupo experimental, fueron sometidos a medición para disminuir la posibilidad de cambios en las propiedades físicas de los alambres como resultado de la tensión a partir de mediciones repetidas. (Figura 5)

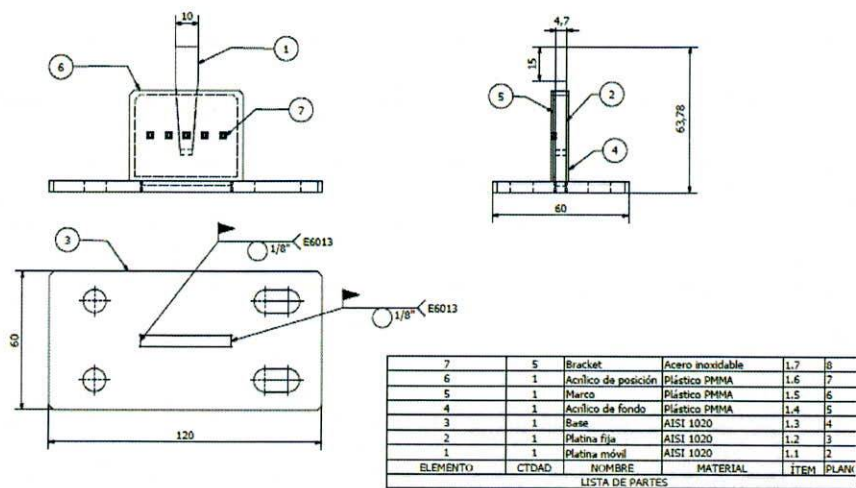


Figura 1. Esquema de fabricación de platinas para montaje y prueba de deformación de arcos multiansas.

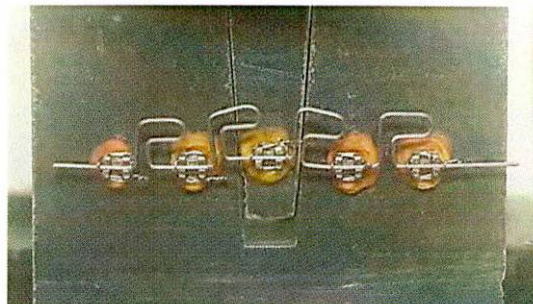


Figura 2. Fijación de brackets sobre las platinas de acero con arco de Nitinol y Gummetal.



Figura 3. Fijación de brackets sobre las platinas de acero (arco Multiansas)

Los datos (de deflexión y la carga) se registraron en el ordenador conectado al Instron y posteriormente exportados a hojas de cálculo. Además, las pruebas se realizaron bajo una temperatura de 21°C y humedad de 49%. (Figura 4)



Figura 4. Máquina universal de prueba Instron. A) panel de control. B) Montaje en la máquina para pruebas. C) Lectura de resultados.

Análisis estadístico

Se realizó una base de datos con las variables de interés en una hoja de cálculo de Microsoft Excel que posteriormente se importó a la aplicación de análisis estadístico STATA Versión 14. En complemento, se graficaron las curvas carga/deflexión y se determinó la constante o pendiente de la recta para establecer la razón entre las dos variables.

Las distribuciones de las variables en escala numérica fueron resumidas en medidas de promedio y desviación estándar. Luego del contraste de hipótesis de normalidad de las variables numéricas mediante prueba de Shapiro-Wilk, se realizó la verificación de diferencias significativas en la máxima fuerza soportada por cada uno de las aleaciones en sistemas de arco por medio de la prueba de Kruskal Wallis y prueba post-hoc de Bonferroni. La significancia estadística se estableció en 0,05.

Resultados

Fueron evaluados 5 cuerpos de muestra en la maquina universal Instron para cada una de las aleaciones. Los resultados indican que el Acero recto soporta en promedio $45.125\text{N} \pm 0.2188\text{N}$, desplazándose 1mm. Los alambres NiTi alcanzaron una fuerza máxima de $21.1625\text{N} \pm 0.03425\text{N}$ con un desplazamiento de $0.99970\text{mm} \pm 0.00045\text{mm}$. Los alambres Gummetal rectos soportaron en promedio $15.95\text{N} \pm 0.07193\text{N}$ de fuerza con un desplazamiento promedio de $0.99820\text{mm} \pm 0.00110\text{mm}$, los alambres de Acero multiloop alcanzaron una fuerza máxima de $11.5\text{N} \pm 0.1563\text{N}$ y desplazamiento de $0.99250\text{mm} \pm 0.00332\text{mm}$. Además, El Gummetal multiloop soportó fuerzas en promedio $7.20\text{N} \pm 0.03563\text{N}$ y un desplazamiento de $0.99250\text{mm} \pm 0.00332\text{mm}$

Se contrastó la diferencia de fuerza máxima alcanzada y desplazamiento mediante prueba Kruskal Wallis, pues no se cumplieron los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas, y se encontraron diferencias significativas

corroboradas por el análisis post hoc de Bonferroni entre todas las aleaciones para fuerza máxima mientras que para desplazamiento las diferencias se evidenciaron entre Gummetal-Acero multiloop y Nitinol-Acero multiloop. (Tabla 1).

Tabla 1. Fuerza máxima y desplazamiento en arcos según el tipo de aleación

| Tipo de Aleación | Fuerza (N) ± D.E. | p | Desplazamiento (mm) ± D.E. | P |
|--------------------|-------------------|--------|----------------------------|--------|
| Gummetal | 15.95±0.07193* | 0.0000 | 0.99820±0.00110** | 0.0003 |
| Gummetal Multiloop | 7.20±0.03563* | | 0.99250±0.00332 | |
| Nitinol | 21.1625±0.03425* | | 0.99970±0.00045** | |
| Acero recto | 45.125±0.2188* | | 1 | |
| Acero Multiloop | 11.5±0.1563* | | 0.99250±0.00332 | |

*Diferencias con respecto a las otras aleaciones.

**Diferencias con respecto a aleación de Acero.

Las curvas de fuerza versus desplazamiento indican una mayor deflexión para los alambres de Acero recto y Nitinol con respecto al Acero multiloop, al Gummetal recto y Multiloop. Al mismo tiempo que el Gummetal recto alcanza desplazamientos mayores que el Acero multiloop. Todos los desplazamientos cercanos a 1mm. La pendiente formada por la fuerza vs desplazamiento es mayor en el Acero recto y el Nitinol frente al Acero multiloop, al Gummetal recto y Multiloop. Así pues, por cada milímetro de desplazamiento el Acero ejerce una fuerza de 45N, el alambre de Nitinol ejerce una fuerza de 21.16 N en promedio, Gummetal recto de 15.95N. El Acero Multiloop ejerce una fuerza de 11N y el Acero multiloop de 7.20N. (Figura 6)

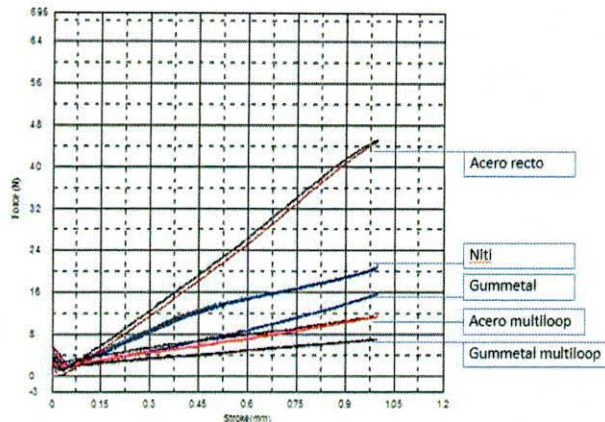


Figura 6. Comparativo de Fuerza (N) vs desplazamiento (mm) en alambres Acero recto, Niti, Gummetal, Acero multiloop y Gummetal multiloop.

Discusión

Se entiende que la rigidez del alambre está representada por la razón carga-deflexión y esta depende de las propiedades elásticas del material, de la sección transversal, el calibre, la longitud y la adición de Loops. (1)

Los alambres que presentan una razón carga-deflexión muy alta no son adecuados para la fase de alineación y nivelación, ya que es cuando los dientes se encuentran más apiñados y el alambre al tratar de posicionarse en todos los dientes, generaría una fuerza que produciría dolor y podría provocar la caída del bracket. (1) Los alambres con una razón carga-deflexión muy baja no podrían usarse en fases de trabajo y finalización, ya que no podrían cambiar las inclinaciones de los dientes del segmento posterior y no producirían cambios en el plano oclusal, el cual es un objetivo de la técnica de MEAW.(1) En contraste tenemos la aleación de Gummetal la cual presenta un módulo de elasticidad bajo, alta resistencia, gran deformación elástica y súper plasticidad.(11,12,13) Esta aleación permite manejar diferentes valores en la carga-deflexión, ideal para su uso en fases de trabajo y finalización, cuando tiene loops presenta una razón carga-deflexión muy baja lo que permitiría su

implementación en fases iniciales. Gracias a su super plasticidad es ideal para mantener el arco gran parte del tiempo durante el tratamiento, lo cual disminuye el tiempo en silla del paciente, así como reduce el dolor puesto que no se requiere el cambio de arco en cada control.(11,12,13)

Estudios previos han demostrado que el acero puede ser el doble de rígido que el Nitinol y el TMA sin embargo, en la región interbracket donde están ubicados los loops en L la razón carga deflexión es muy baja, indicando que la geometría de los loops reduce la rigidez. (1)

Se recomienda realizar futuras pruebas incluyendo aleaciones como el TMA, estableciendo los especímenes en calibres más comunes y fáciles de conseguir como el 0.016x0.022.

Conclusiones

En condiciones experimentales los arcos alcanzaron valores de desplazamiento cercanos a 1mm con diferencias significativas.

Se observó un resultado favorable en el Gummetal ya que no requirió de activaciones con loops para lograr una razón carga-deflexión baja.

El Acero Multiloop es una opción adecuada para el control vertical y horizontal del movimiento dental y para la aplicación de fuerzas ligeras.

El Gummetal multiloop puede reemplazar el uso del acero multiloop ya que presenta la menor razón carga-deflexión.

El Acero recto presentó la mayor razón carga-deflexión, lo que indica que su uso es restringido para las fases finales del tratamiento.

El Nitinol aunque presentó menor razón carga-deflexión que el Acero recto fue superado por el acero multiloop, Gummetal recto y Gummetal multiloop,

resaltando las propiedades inigualables del Gummetal y el aporte de los loops para disminuir la rigidez del material.

El presente estudio aporta información relevante sobre el comportamiento de las aleaciones de Acero, Gummetal y Nitinol, utilizadas en el contexto de la práctica en las Clínicas de Ortodoncia de UNICOC en Bogotá.

Agradecimientos

Al departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia por el desarrollo de las pruebas mecánicas en sus laboratorios. Al Ingeniero Carlos Navarro y a la estudiante de Ingeniería Laura Vallejo por el diseño del montaje.

Referencias bibliográficas

1. Lee YK, Chang YI. The load deflection rate of multiloop edgewise arch-wire. *J Dent College SNU*. 1992;16:195–218.
2. Yang WS, Kim BH, Kim YH. A study of the regional load deflection rate of multiloop edgewise arch wire. *Angle Orthod*. 2001 Apr;71(2):103-9.
3. Voss R. Arco de canto multiansas (multiloop edgewise archwire: meaw) ¿por qué multiloop? aspectos clínicos y biomecánica. *Ortodoncia SAO*. 2008;71(143):70-80.
4. Chun KM, Nahm DS. Mechanical analysis on the multiloop edgewise arch-wire. *Korean J Orthod*. 1991;21:31–50.

5. Graber LW, Vanarsdall RL. Ortodoncia : Principios y técnicas actuales: Elsevier; 2012.
6. Varela JC, Velo M, Espinar E, Llamas JM, Rúperez E, Manero JM, et al. Mechanical properties of a new thermoplastic polymer orthodontic archwire. *Materials Science and Engineering: C*. 2014 9/1/;42:1-6.
7. Roscoe MG, Meira JBC, Cattaneo PM. Association of orthodontic force system and root resorption: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2015 5//;147(5):610-26.
8. Proffit WR, Fields HW, Sarver DM. *Contemporary Orthodontics*: Elsevier Health Sciences; 2014.
9. Kusy RP. A review of contemporary archwires: their properties and characteristics. *Angle Orthod*. 1997;67(3):197-207.
10. Gordin DM, Ion R, Vasilescu C, Drob SI, Cimpean A, Gloriant T. Potentiality of the "Gummetal" titanium-based alloy for biomedical applications. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2014 Nov;44:362-70.
11. Withey E, Jin M, Minor A, Kuramoto S, Chrzan DC, Morris Jr JW. The deformation of "Gummetal" in nanoindentation. *Materials Science and Engineering: A*. 2008 10/15/;493(1-2):26-32.
12. Nishino. K. Multifunctional New Alloy Gummetal. *JAPAN: Mechanicals Engineer*. 2003; 106:61-70
13. Lai MJ, Tasan CC, Raabe D. Deformation mechanism of ω -enriched Ti-Nb-based gum metal: Dislocation channeling and deformation induced ω - β transformation. *Acta Materialia*. 2015 11//;100:290-300.
14. Laino G, De Santis R, Gloria A, Russo T, Quintanilla DS, Laino A, et al. Calorimetric and Thermomechanical Properties of Titanium-Based Orthodontic

Wires: DSC–DMA Relationship to Predict the Elastic Modulus. *Journal of Biomaterials Applications*. 2011 2012/03/01;26(7):829-44.

15. Saito T, Furuta T, Hwang JH, Kuramoto S, Nishino K. Multifunctional Alloys Obtained via a Dislocation-Free Plastic Deformation Mechanism. *Science* 2003;300:464.