

**Comparación de las Propiedades Mecánicas Carga- Deflexión y Tensión - Esfuerzo de los Alambres de Ortodoncia GUMMETAL® y CuNiTi.**

Yuli Alexandra Junco Arenas Código 10761824954

Geider Harrinson Sotelo Cancelado Código 10761823578

Lucy Karolina Cabrera Ordoñez Código 10761821917

Marian Janeth Chaverra Castellar Código 10761824925

**Universidad Antonio Nariño**

Especialización en ortodoncia

Facultad odontología

Bogotá, Colombia

2021

**Comparación de las Propiedades Mecánicas Carga- Deflexión y Tensión - Esfuerzo de los Alambres de Ortodoncia GUMMETAL® y CuNiTi.**

Yuli Alexandra Junco Arenas

Geider Harrinson Sotelo Cancelado

Lucy Karolina Cabrera Ordoñez

Marian Janeth Chaverra Castellar

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ortodoncista

Diana Monroy Suarez, Esp Ortodoncia

Gustavo Jaimes Monroy, MSC

Asesores

Línea de Investigación:

Biomecánica

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Ortodoncia

Facultad de Odontología

Bogotá, Colombia

2021

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

El trabajo de grado titulado Comparación de las Propiedades Mecánicas Carga- Deflexión y Tensión - Esfuerzo de los Alambres de Ortodoncia GUMMETAL® y CuNiTi., Cumple con los requisitos para optar

Al título de Ortodoncista.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá, 30 de octubre, 2021

Contenido

[**1.** **Planteamiento del problema** 14](#_Toc86143170)

[**2.** **Objetivos** 19](#_Toc86143171)

[**2.1.** **Objetivo General** 19](#_Toc86143172)

[**2.2.** **Objetivos Específicos** 19](#_Toc86143173)

[**3.** **Justificación** 20](#_Toc86143174)

[**4.** **Marco Teórico** 21](#_Toc86143175)

[**5.** **Metodología** 30](#_Toc86143176)

[**5.1.** **Tipo De Estudio:** 30](#_Toc86143177)

[**5.2.** **Muestra** 30](#_Toc86143178)

[**5.2.2.** ***Criterios de inclusión:*** 30](#_Toc86143179)

[**5.2.3.** ***Criterios de exclusión:*** 31](#_Toc86143180)

[**5.3.** **Variables** 31](#_Toc86143181)

[**5.3.1.** ***Variables Dependientes:*** 31](#_Toc86143182)

[**5.3.2.** ***Variables Independiente:*** 31](#_Toc86143183)

[**5.4.** **Descripción De Procedimientos** 35](#_Toc86143184)

[**6.** **Resultados** 40](#_Toc86143185)

[**6.1.** **Comparación De Las Propiedades Mecánicas Carga- Deflexión Y Tensión – Esfuerzo Mediante Pruebas De Tracción De Los Alambres GUMMETAL® y CuNiTi.** 40](#_Toc86143186)

[**6.2.** **Fuerza Máxima Entregada Por Cada Uno De Los Alambres Sometidos A La Prueba De Tensión – Flexión.** 41](#_Toc86143187)

[**6.3.** **Límite Elástico De Cada Uno De Los Alambres Sometidos A La Prueba De Tensión – Flexión, Antes De La Ruptura.** 42](#_Toc86143188)

[**6.4.** **Rigidez De Cada Uno De Los Alambres Sometidos A La Prueba De Tensión – Flexión.** 43](#_Toc86143189)

[**6.5.** **Rango De Cada Uno De Los Alambres Sometidos A La Prueba De Tensión – Flexión.** 44](#_Toc86143190)

[**7.** **Discusión** 46](#_Toc86143191)

[**8.** **Conclusiones** 50](#_Toc86143192)

[**Recomendaciones** 52](#_Toc86143193)

[**Referencias** 53](#_Toc86143194)

[**Anexos** 58](#_Toc86143195)

**Lista de tablas**

[Tabla 1 32](#_Toc86143207)

[Tabla 2 40](#_Toc86143208)

[Tabla 3 41](#_Toc86143209)

[Tabla 4 45](#_Toc86143210)

**Lista de figuras**

[Figura 1 34](#_Toc86143218)

[Figura 2 35](#_Toc86143219)

[Figura 3 36](#_Toc86143220)

[Figura 4 36](#_Toc86143221)

[Figura 5 37](#_Toc86143222)

[Figura 6 37](#_Toc86143223)

[Figura 7 40](#_Toc86143224)

[Figura 8 41](#_Toc86143225)

[Figura 9 42](#_Toc86143226)

[Figura 10 43](#_Toc86143227)

**Lista de anexos**

Anexo A. Curva Carga- Deflexión de diferentes aleaciones 57

Anexo B. Grafica de rigidez que relaciona la fuerza con la deflexión. 58

Anexo C. Grafica de rigidez que relaciona la fuerza con la deflexión. 59

**Resumen**

Se realizó con 60 muestras de alambre ortodóntico 0.017x 0.025 pulgadas; 30 correspondían a la aleación GUMMETAL® y 30 a CuNiTi termoactivado para analizar y comparar las variables mediante ensayos de Carga-Deflexión y Tensión-Esfuerzo, en la máquina universal de ensayos mecánicos Shimadzu AG-IS. Se estableció que el GUMMETAL® presenta un límite elástico mucho mayor; el GUMMETAL® muestra una fuerza más baja y constante; el CuNiTi mostro una rigidez baja pero menos estable, el GUMMETAL® por el contrario mostró una rigidez más alta y estable; el CuNiTi mostró un rango mucho mayor aunque más inestable y el GUMMETAL® mostró un rango mucho menor pero más estable. Conclusiones: el CuNiTi presentó valores más altos en 3 de las 4 variables evaluadas pero es más inestable que el GUMMETAL®, siendo este último más constante en la entrega de fuerzas menores y lo hace ideal para las primeras etapas de tratamiento de ortodoncia.

**Abstract**

This study was carried out by using a sample of sixty transversal -section orthodontic wires, 0.017x 0.025 inches gauge; thirty were GUMMETAL® alloy and thirty were thermoactivated CuNiTi in order to evaluate and compare variables by load-deflection and Stress -Strain. Samples were evaluated and compared by tensile tests on the Shimadzu® AG-IS universal mechanical testing machine. It was possible to establish that GUMMETAL® has a much higher elastic limit; with regard to the force, it was possible to determine that GUMMETAL® shows a lower and constant force; with the variable 'stiffness' CuNiTi showed a low but less stable stiffness, while GUMMETAL® on the contrary showed a higher stiffness but at the same time more constant; CuNiTi showed a much higher but more unstable range, and GUMMETAL® showed a much smaller but more stable range.

**Introducción**

La presente investigación se refiere al tema de la comparación de las propiedades mecánicas carga-deflexión y tensión-esfuerzo de 2 tipos de alambres de ortodoncia GUMMETAL® y CuNiTi, el tratamiento de ortodoncia se compone principalmente de aparatología fija en los dientes (brackets) y estos están unidos por medio de arcos de alambre que son los encargados de generar el movimiento de los dientes a las posiciones deseadas. El tratamiento de ortodoncia se lleva a cabo en varias etapas y en cada una de estas etapas se emplean diferentes tipos de arcos, que pueden variar de material y diámetro dependiendo la necesidad.

Respecto a los alambres de ortodoncia, no existe un alambre que sea el ideal para utilizar en todas las etapas del tratamiento, este alambre debería cumplir con unas características ideales como ser biocompatible, tener baja rigidez para entregar fuerzas ligeras en la activación, resistencia a la deformación permanente, un buen rango de trabajo, una fácil inserción en la aparatología fija y que tenga un bajo costo.

El interés de la investigación es académico ya que se realizó para conocer las propiedades mecánicas, específicamente la fuerza máxima, el límite elástico, la rigidez y el rango de cada tipo de alambre y esto permitirá saber cuál alambre se acerca más a las propiedades ideales que debería tener un arco que se pueda utilizar en todas las etapas del tratamiento de ortodoncia, ya que no existe en la actualidad y sería de gran utilidad para la práctica ortodóncica ya que reduciría tiempos de tratamiento, costos y tiempos de las citas para el paciente.

De manera que, se realizó un estudio cuasi experimental con 2 grupos experimentales uno de GUMMETAL® y el otro de CuNiTi, cada grupo constaba de 30 alambres rectangulares de calibre 0017 x 0.025 pulgadas, los cuales fueron sometidos a pruebas de tracción en la máquina universal de ensayos marca Shimadzu® 5kN y así poder evaluar la fuerza máxima, el límite elástico, la rigidez y el rango de cada tipo de alambre, para finalmente poder comparar estos 2 tipos de alambres y saber cuál es el que mejores propiedades presenta para trabajar en ortodoncia.

Establecer la fuerza máxima entregada por cada uno de los alambres sometidos a la prueba de tensión – flexión. Establecer el límite elástico de cada uno de los alambres sometidos a la prueba de tensión -flexión, antes de la ruptura. Comparar la rigidez de cada uno de los alambres sometidos a la prueba de tensión – flexión. Comparar el rango de cado uno de los alambres sometidos a la prueba de tensión – flexión.

El conocimiento de las propiedades mecánicas mediante ensayos de carga-deflexión y tensión-esfuerzo de los alambres de ortodoncia GUMMETAL® y CuNiTi, serán el soporte teórico sobre el cual se infiere un comportamiento clínico, evidenciando de esta forma en que etapas del tratamiento se pueden aprovechar aún más sus propiedades mecánicas, potencializando y optimizando las mecánicas lo que puede resultar en menores tiempos de tratamiento y en menor efecto biológico adverso.

1. **Planteamiento del problema**

Los aparatos de ortodoncia fijos consisten en brackets unidos a los dientes que están conectados por arcos de alambre, que ejercen fuerzas sobre los dientes. El tratamiento que incluye aparatos fijos de ortodoncia utiliza arcos de alambre para permitir el movimiento dental. Este método se lleva a cabo en etapas y junto con la selección de los arcos apropiados contribuye al éxito del tratamiento. No hay un arco de alambre ideal para todas las etapas del tratamiento de ortodoncia con aparatología fija (Miura et al., 1986).

Para hacer la mejor elección entre los diversos brackets y alambres de ortodoncia disponibles, es esencial conocer la magnitud de las fuerzas liberadas por estos alambres y su comportamiento en relación con el aumento gradual de la desviación del alambre (Wang et al., 2018).

Estos materiales deben ser biocompatibles e idealmente deben tener baja rigidez para entregar fuerzas ligeras en la activación; resistencia a la deformación permanente; buen rango de trabajo para poder maximizar las activaciones para que haya un comportamiento elástico durante semanas o meses; facilidad de inserción dentro de la aparatología fija y bajo costo. El rendimiento de los alambres está determinado no solo por las propiedades del material, sino también por factores geométricos, como la forma de la sección transversal (si el alambre de arco es circular, rectangular o cuadrado), la longitud (es decir, el intervalo entre soportes) y el diámetro (Wang et al., 2018).

Por cumplir con estas características los alambres hechos de aleaciones de acero inoxidable (SS) se usan ampliamente en la terapia de ortodoncia. Los arcos de acero inoxidable se pueden doblar a casi cualquier forma deseada sin romperse. Los métodos que tiene a la mano el ortodoncista para aumentar la flexibilidad del alambre es aumentar la longitud del arco a través de ansas para permitir su uso en la alineación inicial. Esto puede llevar mucho tiempo, ya que cada ortodoncista debe personalizar el arco de alambre para cada paciente (Kusy & Whitley, 2007).

Otro método para aumentar la flexibilidad de los arcos de acero inoxidable se genera al retorcer dos o más hilos de un alambre de diámetro pequeño (≤ 0. 01 pulgada), estos ofrecen una combinación importante de resistencia y mejoran las características de resorte (Kusy & Whitley, 2007).

En el tratamiento de ortodoncia, la fuerza óptima produce un movimiento eficiente de los dientes sin molestias para el paciente o daños en los tejidos. Por lo general, se considera que dicho movimiento dental es provocado por fuerzas ligeras y continuas generadas por el alambre superelástico. La superelasticidad es un fenómeno en el que el valor de la tensión permanece bastante constante hasta cierto punto de deformación del alambre. Al mismo tiempo, cuando el alambre es deformado, el valor de tensión nuevamente permanece constante. Desde el desarrollo del alambre de aleación de Ni-Ti para aparatos de ortodoncia en 1971, este material se ha utilizado ampliamente por cumplir con esta característica y además por contar con memoria de forma, la cual es altamente útil en el movimiento dental (Miura et al., 1986) (Gravina et al., 2014).

Los desarrollos en la tecnología de alambres de Níquel-Titanio (NiTi) han dado como resultado una disminución en la popularidad de los alambres de acero inoxidable para la alineación inicial. Esto debido a las propiedades elásticas y a las fuerzas livianas y constantes que aplica sobre el diente. Las propiedades elásticas del NiTi son independientes de si está operando clínicamente en la meseta austenítica o superelástica.

Los alambres de NiTi se pueden clasificar según su estructura cristalina y la transformación de fase en: Estabilizado entre estos está el Nitinol, Titanal y Orthono; Austenítico activo superelástico o Sentalloy; Termodinámico graduado, un ejemplo de estos es el Bioforce y por ultimo está el grupo de los Martensítico termodinámico activo entre los que se encuentra el CuNiTi y Neosentalloy (Wang et al., 2018).

Al comparar la composición química y la topografía superficial de cinco marcas comerciales de alambres rectangulares superelásticos de NiTi (Dentaurum, Forestadent y Lancer) y alambres activados por calor (GAC y CuNiTi 35ºC). Los resultados mostraron que todos los alambres probados presentaron diferencias mínimas en su composición química, con casi 58% de Níquel y 42% de Titanio, excepto el alambre CuNiTi que, además del Níquel (50.7%) y Titanio (42.4%), presentó 6.9% de cobre en su composición (Kusy & Whitley, 2007).

El uso específico de alambres de ortodoncia CuNiTi 35ºC asociados con brackets de autoligado (sistema Damon), fue que reduciría significativamente el coeficiente de desgaste generado en la mecánica convencional, que es la clave para un tratamiento eficiente. Como resultado, habría una reducción significativa en el período promedio de tiempo en el sillón, el número de visitas realizadas al ortodoncista y en el grado de incomodidad del paciente (Gravina et al., 2014).

Los alambres CuNiTi tienen un porcentaje significativo de cobre (Cu) además de Ni y Ti en su composición, y al agregar entre 5 y 6% de cobre en la composición de alambres superelásticos de NiTi aumentaría la resistencia mecánica y reduciría el porcentaje de deformación permanente después de la desactivación, todo lo cual se considera características favorables (Gravina et al., 2014).

En la actualidad, la aleación de Ni-Ti es la única con memoria de forma en la práctica ortodóncica. Sin embargo, esta aleación contiene una alta proporción de níquel. Los arcos de alambre que contienen níquel pueden inducir hipersensibilidad y se recomienda a los pacientes sensibles a este, que eviten el uso de este arco (Li et al., 2012).

La aleación de titanio y molibdeno se ha utilizado para un alambre de ortodoncia sin níquel. Sin embargo, este no tiene memoria de forma y propiedad superelástica. Por lo tanto, se espera que las nuevas aleaciones superelásticas biocompatibles que carecen de níquel sean una opción (Miura et al., 1986)

Saíto y colaboradores en 2003 fabricó alambres redondos Ti–23Nb–0.7Ta–2Zr–1.2O (TNTZ-O) una aleación a base de titanio tipo beta, llamada GUMMETAL. Se demostró que poseía propiedades "super", tales como muy alta resistencia, bajo módulo de Young, superelasticidad y superplasticidad a temperatura ambiente (Li et al., 2012). Estas propiedades "super" son atribuibles a un mecanismo de deformación plástica sin dislocación. En aleaciones trabajadas en frío, este mecanismo forma campos de deformación elásticos de estructura jerárquica que varían en tamaño desde la escala nanométrica hasta varias decenas de micrómetros. La energía de deformación elástica resultante conduce a una serie de propiedades mejoradas del material (Kuntz et al., 2018).

Otros autores afirman que el comportamiento superelástico mostrado por GUMMETAL® se debe a una transformación martensítica inducida por estrés reversible que puede repetirse en el transcurso de numerosos ciclos (Li et al., 2012). Además, los materiales especializados con rigidez variable que se desarrollaron originalmente para la ortodoncia son cada vez más atractivos para la articulación temporomandibular, la cirugía ortognática y la ortopedia (Kuntz et al., 2018).

Por otro lado, el conocimiento científico de la respuesta biológica a las fuerzas de ortodoncia continúa creciendo, pero la guía definitiva sobre los niveles óptimos de fuerza para los dientes individuales es difícil de alcanzar. Los nuevos desarrollos en materiales y tecnología de arcos han proporcionado al ortodoncista un espectro completo de tasas de desviación de carga y opciones de fuerza diferencial para expresar estas fuerzas con una economía de arcos de alambre maximizada (Li et al., 2012) (Saito, 2003).

Además, las afirmaciones de los fabricantes de una mayor eficiencia de las nuevas aleaciones de alambre que se utilizan para justificar su mayor costo podrían no ser suficientes. Puesto que, en la actualidad existen diferentes tipos de alambres los cuales ya han demostrado su eficiencia clínica, como los que se mencionan anteriormente. Una de estas aleaciones es la de CuNiTi, el cual se utiliza en las primeras etapas del tratamiento y tiene características similares a las mencionadas de GUMMETAL ®.

Así mismo, se presenta que los alambres de arco GUMMETAL® tienen muchas ventajas teóricas sobre otros tipos de arcos (Kuntz et al., 2018). Sin embargo, hay información limitada disponible sobre estudios realizados, que demuestren la veracidad de la afirmaciones dadas acerca de sus propiedades y, por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comparar las propiedades mecánicas de los alambres rectangulares de ortodoncia llamados GUMMETAL® con los alambres CuNiTi mediante pruebas de tensión-flexión.

**Pregunta de Investigación**

¿Cuáles son las diferencias en las propiedades Carga- Deflexión y Tensión -Esfuerzo de los alambres GUMMETAL® rectangulares de calibre 0,017”x 0,025” comparado con los alambres de CuNiTi rectangulares de calibre 0,017”x 0,025” en un modelo in vitro mediante máquina universal de ensayos mecánicos?

1. **Objetivos**
	1. **Objetivo General**

Comparar las propiedades mecánicas Carga- Deflexión y Tensión - Esfuerzo mediante pruebas de tracción de los alambres GUMMETAL® rectangulares de calibre 0,017”x 0,025” comparado con el alambres de CuNiTi rectangulares de calibre 0,017”x 0,025” in vitro mediante ensayos de tracción en la máquina universal de ensayos mecánicos.

* 1. **Objetivos Específicos**

Establecer la fuerza máxima entregada por cada uno de los alambres sometidos a la prueba de tensión – flexión.

Establecer el límite elástico de cada uno de los alambres sometidos a la prueba de tensión – flexión, antes de la ruptura.

Comparar la rigidez de cada uno de los alambres sometidos a la prueba de tensión – flexión.

Comparar el rango de cado uno de los alambres sometidos a la prueba de tensión – flexión.

1. **Justificación**

Este proyecto hace parte del Área de investigación Ortodoncia, perteneciente a la Línea de Investigación Biomecánica, el tipo De Estudio es Cuasi-Experimental. En primer lugar, cabe resaltar que en la práctica de ortodoncia la selección adecuada del alambre permitirá que las fuerzas ejercidas en el diente sean saludables, no solo para el propio diente sino para los tejidos adyacentes como lo es el periodonto.

Así mismo, de la elasticidad y la resistencia del alambre dependerá que las fuerzas ejercidas sean adecuadas, esto sin que ocurra alguna deformación o fractura de este. Por lo antes mencionado, el conocimiento de las propiedades mecánicas de los alambres por parte del ortodoncista proporciona una herramienta importante en la selección adecuada, pocos fabricantes proporcionan la información suficiente sobre las características propias de cada aleación en el mercado.

Además, existen estudios que afirman tener mejores propiedades físicas que los alambres usados con mayor frecuencia en la práctica clínica. Como especialistas es importante evolucionar a medida que la ciencia va encontrando aleaciones que parecen ser más eficientes. Sin embargo, es determinante comprobar que aquellos beneficios que se mencionan en esas aleaciones y dispositivos que nos presentan las casas fabricantes sean reales. (Kuntz et al., 2018).

Así entonces, este estudio va a comparar las propiedades mecánicas Carga-Deflexión, Tensión - Esfuerzo, Fuerza Máxima, Límite Elástico, Rigidez y Rango de los alambres GUMMETAL® y CuNiTi.

1. **Marco Teórico**

 Fischer-Brandies et al, en 2003 compararon la composición química y la topografía superficial de cinco marcas comerciales de alambres de NiTi superelásticos rectangulares (Dentaurum, Forestadent y Lancer) y alambres activados por calor CuNiTi 35°C GAC. Los resultados con respecto a la topografía superficial evidenciaron que todos los alambres presentaron partículas de residuos de Si y Al producto de la fabricación. Los alambres superelásticos presentaron superficies más lisas en comparación con los activados por calor. Dicha característica es importante porque están asociadas con la intensidad del desgaste del alambre, la biocompatibilidad y la resistencia a la corrosión, dado que la liberación de iones y las fracturas causadas por la fatiga comienzan en el punto de partículas de residuos y corrosión (Fischer-Brandies et al., 2003).

En el 2013 Marco Abdo Gravina et al, en una primera parte de un estudio que se dividió en 2 partes, comparó, a través de pruebas de tracción, ocho tipos de arcos de NiTi superelásticos y activados por calor, de 6 empresas comerciales (GAC, TP, Ormco, Masel, Morelli y Unitek) con (CuNiTi 27 ° C y 35 ° C, Ormco). Concluyendo que los arcos CuNiTi 35 °C presentaban cargas de desactivación menos favorables en relación con los otros arcos NiTi activados por calor, asociados a un menor porcentaje de deformación, mostrando un comportamiento mecánico menos favorable bajo tracción, en relación con los otros arcos (Gravina et al., 2013).

En el 2014 Marco Abdo Gravina et al, realizaron un análisis cualitativo de la composición química de alambres NiTi y CuNiTi superelásticos y activados por calor de diferentes marcas comerciales, a través de microscopía electrónica de barrido con el sistema de microanálisis espectroscopía dispersiva de energía; y la técnica de análisis de electrones secundarios, el acabado de la superficie y la región de fractura de estos alambres, dado que las características específicas afectan el rendimiento clínico de estas aleaciones. Los resultados del estudio evidenciaron que los CuNiTi 27 ° C superelásticos, así como los termoactivados, presentaron las microcavidades más pequeñas y los mejores acabados de fractura, mientras que los CuNiTi 35 ° presentaron acabados inadecuados (Gravina et al., 2014).

Renee C. Pompei-Reynolds and Georgios Kanavakis, evaluaron en el 2014, las propiedades mecánicas de los alambres de Cobre-Níquel-Titanio de 2 fabricantes, de tamaños (0.016 y 0.016x0.022 pulgadas, en 3 temperaturas de acabado austenitico (27° C, 35° C y 40° C), concluyeron que los alambres de ortodoncia del mismo material, dimensión y de diferentes lotes de producción, no siempre tienen propiedades mecánicas similares, afectando la fuerza esperada, incluso cuando provienen del mismo fabricante (Pompei-Reynolds & Kanavakis, 2014).

En el año 2003 en los laboratorios centrales de investigación y desarrollo de Toyota en Japón, se desarrolló un nuevo grupo de aleaciones de beta titanio. Hasta ese momento había sido difícil encontrar una aleación que tuviera un módulo elástico bajo junto con una alta resistencia, para usar en implantes y hueso artificial las aleaciones de beta titanio eran las que mejor características presentaban por su no toxicidad en el cuerpo (Saito, 2003).

Como también cuatro empresas han colaborado en el desarrollo de esta nueva aleación para terapia de ortodoncia: la Sección de Investigación en Metalurgia de Toyota Central I + D Labs., Inc Toyotsu Material Inc.; Maruem Works Co., Ltd .; y Rocky Mountain Morita Corporation. El profesor Shin Hasegawa de la Universidad Dental de Kanagawa, Japón, ha sido la cabeza de esta investigación durante 6 años (Saito, 2003). Se investigó las propiedades y el comportamiento de deformación plástica de las aleaciones de Ti-Nb-Ta-Zr-O y con el fin de aclarar la estabilidad de fase del GUMMETAL®. Encontraron que el endurecimiento de trabajo, que es la tasa de cambio de dureza entre materiales templados y los trabajados en frío para cada aleación y el módulo de Young está relacionado con la estabilidad de fase, al igual que el comportamiento de la deformación plástica (Min et al., 2010).

Dentro de las investigaciones que se han realizado del GUMMETAL® resalta la de Nordstrom et al en el 2018 en la que se comparaba la efectividad de los alambres GUMMETAL® y NiTi como arcos iniciales para alinear los dientes, los pacientes en edades entre 12 y 20 años se dividieron en 2 grupos cada uno de 14 sujetos y un grupo fue alineado con NiTi y el otro con GUMMETAL®, se tomaron exploraciones digitales durante el tratamiento para comparar la mejoría en el índice de irregularidad de Little y evaluar los cambios en los anchos intercaninos e interpromolares. Como resultado se redujo en 27% el apiñamiento en el primer mes con los arcos de GUMMETAL® lo que no era estadísticamente significativo respecto al NiTi, de igual manera no hubo diferencias entre los dos grupos en las distancias intercaninas e interpremolares (Nordstrom et al., 2018).

Dentro de los conceptos básicos está el término carga que se define como la fuerza por unidad de área y tiene magnitud y dirección, otro término es la resistencia que es la capacidad de un alambre de soportar una carga que lo deforma sin exceder el límite de deformación plástica. El límite proporcional o elástico es el punto en el cual si se suspende la fuerza el alambre va a retornar a su forma inicial sin sufrir alguna deformación, pero si se continúa con esa fuerza se va a llegar al límite proporcional que es el punto donde sí se excede el alambre va a sufrir cambios permanentes y finalmente está el punto de ruptura donde el alambre no resiste más la carga ni la deformación y sufre una fractura (Burstone & Kwangchul Choy, 2015).

En ortodoncia es muy común estudiar las características de los alambres por medio de una curva de carga deflexión, en donde un mismo material es sometido a varias cargas y esta información se diagrama en una curva que va a indicar qué tan flexible o rígido es una alambre, en algunos alambres es proporcional la carga a la deflexión hasta el límite elástico, hay que tener en cuenta que los cambios que se van a producir en un alambre también están relacionados con el material de fabricación, su longitud y diámetro. Lo antes nombrado corresponde a las características extrínsecas de los alambres (Burstone & Kwangchul Choy, 2015).

A continuación, se analizan las características intrínsecas de los alambres, que es la respuesta que tienen frente a una carga externa, esta respuesta se grafica por medio de la curva de tensión-deformación, donde la tensión o esfuerzo es la distribución interna de la carga y se mide en pascales y la deformación es la distorsión que se produce a nivel interno producida por la carga. Es importante conocer la Ley de Hooke que dice que la relación entre la tensión y deformación es siempre igual hasta el límite. El módulo de Young o de elasticidad es la constante de la relación lineal en la Ley de Hooke y representa la pendiente bajo la curva, en otras palabras, es el radio entre el stress compresivo y la deformación bajo el límite elástico, si la pendiente es menor la elasticidad del alambre será mayor (Burstone & Kwangchul Choy, 2015).

 Otra de las características es el rango de trabajo, siendo este la cantidad de deformación elástica que va a soportar el alambre sin sufrir deformación permanente y se ve afectada por la forma y el tamaño del alambre. De igual forma se debe hablar de la resiliencia que es la cantidad de energía almacenada disponible para mover un diente y para terminar, está el módulo de dureza que es el área que se encuentra debajo de la línea de tensión deformación hasta el punto de fractura (Burstone & Kwangchul Choy, 2015).

Por último, la deflexión es la carga externa necesaria para la deformación de la unidad y en ortodoncia, significa la fuerza generada por la deformación de la longitud de la unidad. Los arcos de ortodoncia con deflexión alto no solo aplican una fuerza excesiva sobre los dientes, sino que su fuerza disminuye rápidamente con el movimiento de los dientes. Los arcos con deflexión baja generan fuerzas ligeras y continuas (Burstone & Kwangchul Choy, 2015).

El GUMMETAL® es una aleación la cual presenta una composición química típica de Ti – 36Nb – 2Ta – 3Zr – 0.3O (% en peso). El proceso de fabricación incluye pulvimetalurgia seguida de un tratamiento de solución con trabajo en frío que permite la producción de grandes piezas de GUMMETAL®. Las “super” propiedades de GUMMETAL® bajo trabajo intensivo en frío incluyen un módulo de Young ultra bajo con comportamiento elástico no lineal, resistencia ultra alta, deformación de alto rendimiento, alta ductilidad y deformabilidad superplástica a temperatura ambiente. Sus características se obtienen por la yuxtaposición de tres números electrónicos: 1). su número de electrones de valencia promedio composicional [relación electrón / átomo (e / a)] es aproximadamente 4.24; 2). Su orden de enlace (valor Bo), que indica la fuerza de enlace, es aproximadamente 2,87 según el método de agrupación DV-Xα; 3). Su nivel de energía orbital de electrones "d" (valor Md), que indica que su electronegatividad, es aproximadamente 2,45 eV (Saito, 2003).

Por otro lado, la adición de oxígeno y un buen rendimiento de trabajo en frío producen una microestructura similar al mármol, que le da a GUMMETAL® una estructura deformada por plástico sin un movimiento de dislocación del cristal. El oxígeno es el elemento más importante para obtener sus propiedades mecánicas y su comportamiento de deformación único (Chang & Tseng, 2018).

Las características que hacen que el GUMMETAL® sea adecuado para ortodoncia es su alta flexibilidad y súper elasticidad, más fácil de doblar y manejar que las otras aleaciones, alta recuperación elástica sin histéresis controlando así la fuerza, es no tóxico por ser libre de níquel, rara vez ocurrirá la ruptura en boca porque no es susceptible al endurecimiento por trabajo y tiene un mínimo coeficiente de fricción que lo hace adecuado para mecánicas de deslizamiento en ortodoncia (Chang & Tseng, 2018).

Así mismo Hasegawa en el 2010, describe que sus propiedades permiten su uso para mecánicas de deslizamiento, aumenta la eficiencia del tratamiento, permitiendo su simplificación e incluso se puede ver una reducción en el tiempo de tratamiento. Como es más flexible que el NiTi, un arco rectangular se puede doblar más libremente, permitiendo que entre en el slot de todos los brackets incluso si aún no se tiene una alineación completa, entonces se podría iniciar un tratamiento con el control vertical y con el torque activo. (Hasegawa, 2010)

Como también se afirma la aplicación clínica del GUMMETAL® en etapas iniciales del tratamiento, en pacientes con apiñamiento, pues es adecuada por su deformación elástica y va a producir fuerzas bajas al mismo tiempo que realiza grandes movimientos. El alambre rectangular se puede utilizar desde etapas iniciales lo que va a disminuir el tiempo de alineación en comparación con otros alambres. Se va a tener un control tridimensional en todas las etapas de tratamiento activo, todo esto se va a ver reflejado en un menor número de visitas al ortodoncista y menor cambio de alambres (Hasegawa, 2010).

Desglosando algunos términos importantes se encuentra tensión que es la distribución interna de la carga, definida en términos de fuerza por unidad de área o superficie. La resistencia a la tracción de un material puede determinarse si se divide la carga máxima (en libras) entre el área de la sección transversal original (en pulgadas cuadradas)

Cuando se aplica un esfuerzo sobre un metal éste cambia su forma, se puede definir como la distorsión interna producida por la carga, definida en términos de desviación por unidad de longitud. Se representa por medio de la letra épsilon (e): e = d/longitud del alambre.

En el tratamiento de ortodoncia las fuerzas entregadas por los arcos de alambre dependen en gran medida de las propiedades físicas del material del alambre y de las dimensiones del alambre. Los arcos iniciales deben ser biocompatibles e idealmente tener:

1. Baja rigidez para entregar fuerzas ligeras en la activación

2. Alta resistencia y resistencia a la deformación permanente

3. Buen rango para poder maximizar las activaciones para que haya un comportamiento elástico durante semanas o meses;

4. Facilidad de acoplamiento con aparatos fijos

5. Bajo costo (Wang et al., 2018).

Dentro de los alambres más utilizados de ortodoncia Chan en 2018 menciona unos alambres como el acero inoxidable, que posee una gran resistencia a la corrosión y excelentes propiedades de endurecimiento de trabajo y bajo coeficiente de fricción, este es el material estándar en ortodoncia. En 1960 salen al mercado las aleaciones de cromo-cobalto Elgiloy de la RMO, con una gran rigidez y se pueden tratar térmicamente para obtener el manejo deseado, a nivel general tienen baja dureza y son muy resistentes. A principios de 1970 se empieza a utilizar aleaciones de Níquel Titanio (NiTi) que hoy en día son ampliamente utilizados por su baja relación carga/deflexión que produce un nivel de fuerza deseable y buen control de la magnitud de la fuerza, se utilizan principalmente en la fase inicial del tratamiento (Chang & Tseng, 2018).

Algunos artículos refieren que no hay diferencia entre arcos de NiTi y CuNiTi en términos de eficiencia de alineación anterior maxilar, cambio de ancho del arco maxilar en las regiones canina y molar y cambio de inclinación incisiva. Tal es el caso de Ezgi Atik y Cols en 2019 compararon arcos de NiTi superelásticos y de CuNiTi premium activados por calor para determinar la eficiencia de la alineación de los dientes anteriores superiores y los cambios en las dimensiones del arco intermaxilar mediante la asignación al azar de 50 pacientes. La eficiencia de la alineación se calculó mediante el índice de irregularidad de Little. Además, se evaluaron los cambios en el ancho del arco y la inclinación de los incisivos como medidas de resultado secundarias. Los posibles factores como la edad, el sexo, el tipo de maloclusión, la cantidad de apiñamiento, la dimensión de la ranura, no mostraron diferencias estadísticamente significativas, entre los grupos (Atik et al., 2019).

La magnitud de la expansión para el ancho intercanino e intermolar fue similar entre los arcos de CuNiTi activados por calor y los de NiTi superelásticos que utilizan los mismos tipos de brackets. La diferencia en la estructura de la aleación entre los arcos de CuNiTi y los de NiTi convencionales puede resultar en una tendencia diferente con respecto a la protrusión de los incisivos superiores. La única diferencia significativa en las variables relacionadas con la inclinación se observó en la medida en grados de incisivo superior con respecto a N-A, que fue mayor en el grupo NiTi superelástico que en el CuNiTi. Este resultado puede no considerarse clínicamente significativo, ya que las otras variables de inclinación no mostraron diferencias significativas entre los tipos de arcos (Atik et al., 2019).

Las diferencias estructurales entre los dos tipos de alambres no difirieron en el rendimiento clínico con respecto a la tasa de alineación y los cambios en el ancho del arco en este estudio. Además, la impresión clínica de los autores fue que el CuNiTi activado por calor resultó ser superior al NiTi superelástico, ya que se acoplaba más fácilmente con dientes especialmente mal alineados (Atik et al., 2019).

Así mismo, existen diferentes autores que presentan al arco de alambre GUMMETAL® como una opción eficaz para la alineación, en el tratamiento de ortodoncia, al compararlo con el alambre de Niti. Sin embargo, recientes estudios respaldan la afirmación de presentar a los arcos de alambre CuNiTi como una alternativa igual o mayormente válida (Aydın et al., 2018) (Gok et al., 2018).

Los primeros estudios afirmaron que la aleación de GUMMETAL® se deforma por la formación de fallas gigantes, que es un mecanismo libre de dislocaciones. Como también, presentaron que las propiedades mecánicas y físicas cambian drásticamente con el trabajo en frío. La aleación tiene un módulo de elasticidad bajo (40 GPa), alta resistencia (más de 1100 MPa), alta deformabilidad elástica (2,5%) y deformabilidad de tipo superplástico a temperatura ambiente sin endurecimiento por trabajo. El comportamiento elástico de la aleación en frío muestra no linealidad, con el gradiente de la curva tensión-deformación en la región elástica disminuyendo continuamente con un aumento de la tensión. Estas observaciones se atribuyeron a la baja resistencia al corte, ideal de GUMMETAL® (Sadeghpour et al., 2019).

1. **Metodología**
	1. **Tipo De Estudio:**

Cuasi-Experimental

* 1. **Muestra**

 Muestra de estudio:

En 2007 Theodosia N. Bartzela, Christiane Senn y Andrea Wichelhaus en su artículo titulado:  Load Deflection Characteristics of Superelastic Nickel-Titanium Wires, quisieron medir las propiedades supere elásticas de los alambres de NiTi evaluadas con la prueba de flexión de tres puntos, para la cual se tomaron 48 alambres, de los cuales 33 eran de sección transversa de diferentes pulgadas, 19 de 0.016 X 0.022 pulgadas, 1 de 0.017 X 0.025 pulgadas y 13 de 0.018 X 0.025 pulgadas alambres, de 20 diferentes fabricantes y casas comerciales, se realizaron seis  medidas de cada tamaño de alambre para verificar la reproducibilidad de las medidas, la variabilidad en las mediciones repetidas del mismo tipo de alambre puede disminuir el error ya que el mismo alambre no puede ser medido dos veces, por esta razón queremos realizar 5 pruebas por cada aleación. (Theodosia N. Bartzela, 2007)

* Grupo 1: 30 Arcos termoactivados calibre 0,017 x 0,025 pulgadas marca GUMMETAL®.
* Grupo 2: 30 Arcos termoactivados calibre 0,017x 0,025 pulgadas de marca CuNiTi
	+ 1. ***Criterios de inclusión:***

-Pie de alambre de aleación GUMMETAL® de sección transversal rectangular calibre 0.017 x0.025 Pulgadas, JM Ortho corporation. Lote 190809M.

-Arcos de alambre Tanzo TM MID W/ stops CuNiTi superior e inferior de sección transversal rectangular calibre 0.017 x0.025 Pulgadas, AMERICAN ORTHODONTICS. Lote G03882 y L61158 respectivamente.

* + 1. ***Criterios de exclusión:***

-Alambres fracturados

-Alambres deformados en su superficie.

* 1. **Variables**
		1. ***Variables Dependientes:***

 Carga-Deflexión, Tensión - Esfuerzo, Resistencia Máxima y Límite de Ruptura

* + 1. ***Variables Independiente:***

Tipos de Alambres

* Alambre termoactivados rectangulares GUMMETAL® calibre 0,017x 0,025 pulgadas marca GUMMETAL®
* Alambres termoactivados rectangulares CuNiTi de calibre 0,017x 0,025 pulgadas.

Tabla 1

*Variables*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **VARIABLES** | **CONCEPTUALIZACIÓN** | **INDICADORES** | **ESCALA DE MEDICIÓN** | **UNIDADES DE MEDIDA** |
| **Carga o Fuerza** | Fuerza por unidad de área, descrita en términos de dirección y magnitud. Siempre que esté presente, habrá una deformación o deflexión, esta última puede ser elástica o plástica (Uribe Restrepo, (2010). |  |  | Gramos/ Newton/ |
| **Curva carga-Deflexión**Característica extrínseca | La curva carga/deflexión se utiliza en ingeniería y en odontología para estudiar el comportamiento y las características externas de todos los materiales elásticos, en especial, de los alambres. Esta curva se obtiene a través de lecturas progresivas producidas por una maquina electrónica de medición llamada Instrom. (ver anexo A)(Uribe Restrepo, (2010).Fuerza generada con la desviación de un alambre.Evalúa la rigidez de un material.Las propiedades superelasticas de los alambres dependen principalmente del nivel de fuerza de la meseta.La grafica generada según superelasticidad o rigidez del material evidencia una curva durante la carga, la cual es la energía mecánica aplicada al alambre y otra curva de descarga la cual indica la energía liberada por el alambre activado. La curva de descarga o desactivación es la de interés para el movimiento dental en ortodoncia (Uribe Restrepo, (2010).Medida de la resistencia a la deformación, es decir, es una medida de la fuerza requerida para deformar el material a una distancia definida, (ver anexoA) (Uribe Restrepo, (2010).Punto al que regresa el alambre después de liberar la carga. A partir del límite elástico el material no regresa a su forma inicial y sufre una deformación permanente (ver anexo A) (Uribe Restrepo, (2010).Cantidad de deformación elástica que puede soportar un arco de alambre antes de sufrir una deformación permanente (Uribe Restrepo, (2010). | Mediante la Máquina de ensayo universal de ensayos mecánicos Trapezium 2Evalúa comportamiento cualitativo de un material y lo clasifica según su longitud de meseta clínica.Según Segner y Ibe, un valor de meseta de 0,5 mm se considera un valor bueno para su clasificación. | Razón | Gramos/ Newton/Milímetros |
| **Rigidez** | Medida de la resistencia a la deformación, es decir, es una medida de la fuerza requerida para deformar el material a una distancia definida, (ver anexo B) (Uribe Restrepo, (2010). |  |  |  |
| **Límite elástico o proporcional** | Punto al que regresa el alambre después de liberar la carga. A partir del límite elástico el material no regresa a su forma inicial y sufre una deformación permanente (ver anexo C) (Uribe Restrepo, (2010). | Gráficamente corresponde a la porción diagonal de la curva, si se excede este punto con la fuerza el alambre comenzará a sufrir cambios permanentes, ya que la fuerza y la deformación no serán directamente proporcionales y se producirá más deformación por cada unidad de fuerza (Uribe Restrepo, (2010). |  |  |
| **Rango de trabajo** | Cantidad de deformación elástica que puede soportar un arco de alambre antes de sufrir una deformación permanente (Uribe Restrepo, (2010). | Es afectado por factores como la forma del alambre y el tamaño. Un alambre con un amplio rango de trabajo permite mayores activaciones (Uribe Restrepo, (2010). |  |  |
| **Tensión o esfuerzo/ deformación**Característica intrínseca | Comportamiento elástico interno de un material ante una carga externa (ver anexo C).Grafica indica elasticidad y rango de trabajo de un material, lo que muestra el grado de resiliencia y formabilidad (Uribe Restrepo, (2010). | Tanto la tensión como la deformación se refieren al estado intrínseco del material y dependen del tipo de aleación y de la sección transversal o diámetro del alambre.Indica cuanto se flexionan los materiales y cuanta fuerza pueden almacenar para aplicarla posteriormente a los dientes (Uribe Restrepo, (2010). |  | Megapascal (Mpa)/ Milímetros |

* 1. **Descripción De Procedimientos**

Se adquirieron 60 muestras seleccionadas de alambre ortodóntico de sección transversal rectangular, calibre 0.017x 0.025 pulgadas, 30 correspondían a la aleación GUMMETAL® y 30 a la aleación CuNiTi termoactivado con el fin de analizar y comparar las variables Fuerza Máxima, Modulo elástico, Límite Elástico, Rigidez y Rango, mediante ensayos de Carga-Deflexión y Tensión-Esfuerzo.

Los días 29 y 30 de junio del año 2021, se realizaron los ensayos, en el Laboratorio Interfacultades de Ensayos Mecánicos – LABIEM, ubicado en el laboratorio 106 del edificio 407 de Posgrados de Materiales y Procesos, en la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. El ensayo se realizó en una Máquina Universal de Ensayos marca Shimadzu® 5kN, con certificado de calibración No. 6305 expedido por ICCLAB, en el mes de Julio del 2017. Como se muestra en la figura 1.

Figura 1

*Maquina universal de ensayo*



Las muestras se dividieron en dos grupos de estudio. El día 29 de junio se realizaron las pruebas a las 30 muestras de alambre CuNiTi. Y el día 30 de junio a las muestras de los alambres GUMMETAL®. Las condiciones atmosféricas en el momento de realizar el ensayo para el día 29 de junio fueron: Humedad Relativa 50,9 % y Temperatura 20°C. Y para el día 30 de junio fueron: Humedad Relativa 45,2 % y Temperatura 21°C. Para los ensayos se implementó una celda de carga de 5KN. La velocidad del ensayo se programó a una velocidad uniforme de 1 mm/min.

Las muestras de alambre de la aleación CuNiTi se adquirieron en presentación de arcos y los GUMMETAL® en pie, los cuales fueron cortados a una longitud total de 40 mm. El instrumento con el que se registró la longitud de las muestras fue un calibrador Pie de Rey, marca Mitutoyo con una resolución de 0,05mm. Como se muestra en la figura 2.

Figura 2

*Medición de la distancia entre los porta muestras de una muestra de alambre*



Las muestras de alambre con longitud total de 40 mm, se fijó 10 mm en cada mordaza, consiguiendo una longitud entre mordazas de 20 mm. Como lo muestra la figura 3.

Figura 3

*A: Muestra de alambre fijada en una mordaza a 10mm. B: Muestra de alambre fijada en ambas mordazas a 10mm*



Para asegurar la muestra se estableció en cada mordaza un espesor de 0,017 in (0,4318 mm) y el ancho en 0,025 in (0,635 mm). Como se observa en la figura 4.

Figura 4

*Instalación de la muestra en las mordazas de la máquina universal de ensayos*



Cada muestra fue sometida a ensayo de tracción a temperatura ambiente, colocando una cámara reguladora de temperatura y un sensor próximo a la zona libre del alambre GUMMETAL® y CuNiTi sujeto a la máquina. Luego que la muestra fue fijada a la máquina de ensayo, se inició la prueba. Se sometieron los alambres a tracción, programando una velocidad de deformación constante de 1 mm/min donde la tensión se incrementa gradualmente, hasta la ruptura del alambre, dividiendo en dos partes la muestra como se ve en la figura 5.

Figura 5

*Muestra ensayada y fallada*



Se tomaron fotografías de las muestras falladas en un Estereomicroscopio Marca Nikon, Modelo SMZ800, con un acercamiento de 6,3X aumentos. Como se muestra en la figura 6.

Figura 6

*Captura con el estereomicroscopio de una de las muestras falladas*



* 1. **Análisis Estadístico**

Desde el punto de vista experimental la variable “material” se considera como un factor que debe ser comparado con las cuatro variables de interés, las cuales están dadas en una escala cuantitativa continua. Estas variables fueron Fuerza Máxima, Fuerza en Límite Elástico, Rigidez y Rango.

Para examinar los p-valores para cada una de las variables de interés se tuvo en cuenta, si el p-valor es menor a 0.05 nos indica que la variable no sigue una distribución normal. Lo que ocurrió con las variables que analizamos, entonces para hacer las comparaciones se siguió un enfoque estadístico no paramétrico.

Así pues, se hizo una comparación del desempeño de las variables de interés al cambiar materiales usando la Prueba U de Mann Whitney.

1. **Resultados**
	1. **Comparación De Las Propiedades Mecánicas Carga- Deflexión Y Tensión – Esfuerzo Mediante Pruebas De Tracción De Los Alambres GUMMETAL® y CuNiTi.**

En primer lugar, se realizaron procedimientos descriptivos para tener un paneo del comportamiento de los datos. A través de una tabla de análisis donde se presenta por un lado los materiales (CuNiTi y GUMMETAL®) y se analizan los valores medias de los resultados con su desviación estándar para cada una de las variables (Fuerza Máxima, Fuerza en Límite Elástico, Rigidez y Rango).

Tabla 2

*Media y desviación para cada variable de interés según el material usado*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|   |   | Fuerza máxima | Fuerza en límite elástico | Rigidez | Rango |
| Material | **Muestras** | **Media** | **Desviación** | **Media** | **Desviación** | **Media** | **Desviación** | **Media**  | **Desviación** |
| CuNiTi | 30 | 328.03 | 14.43 | 48.40 | 4.75 | 187.22 | 57.90 | 1.92 | 0.61 |
| GUMMETAL | 30 | 242.64 | 9.71 | 168.01 | 15.38 | 241.23 | 12.88 | 1.01 | 0.06 |

Por otro lado, dado que se tiene cuatro variables de interés, convino realizar unos análisis gráficos. Cada una de las variables se entrecruzaron con los dos materiales por medio de gráficas boxplot. Por medio de estas se pudo visualizar con mayor claridad los efectos de cambiar el material en el desempeño obtenido en las cuatro variables de interés. En las gráficas se observó que existen algunos datos atípicos, los cuales fueron preservados para mantener el diseño experimental balanceado.

Posteriormente, se realizaron procedimientos inferenciales con los cuales se comprobó y describió con detalle los efectos existentes. Además, para elegir adecuadamente la prueba estadística que permita concluir sobre las diferencias entre materiales, primero se hizo pruebas de normalidad para las variables cuantitativas de interés.

Tabla 3

*Pruebas de normalidad para las variables fuerza máxima, fuerza en límite elástico, rigidez y rango para cada material*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Variable** | **Prueba estadística de normalidad** |  **P-valor** |  |
| Fuerza Máxima | Shapiro-Wilk | <0.001 | \*\*\* |
| Fuerza en Límite Elástico | Shapiro-Wilk | <0.001 | \*\*\* |
| Rigidez | Shapiro-Wilk | <0.01 | \*\*\* |
| Rango | Shapiro-Wilk | <0.001 | \*\*\* |

* 1. **Fuerza Máxima Entregada Por Cada Uno De Los Alambres Sometidos A La Prueba De Tensión – Flexión.**

Figura 7

*Fuerza máxima entre los materiales*



Los valores de fuerza máxima cambian de acuerdo con el material. Si se quiere una fuerza “constante” los valores más estables son los de GUMMETAL® (tienen menor desviación, se ve que el “alto” de la caja es más estrecho). Si se quieren valores más altos la aleación que presenta esta característica es CuNiTi.

* 1. **Límite Elástico De Cada Uno De Los Alambres Sometidos A La Prueba De Tensión – Flexión, Antes De La Ruptura.**

Figura 8

*Fuerza en el límite elástico entre materiales*



Los valores de fuerza en el límite elástico cambian de acuerdo con el material. Dado que se quiere un valor en límite elástico alto, se presentó esta característica en el alambre GUMMETAL®.

* 1. **Rigidez De Cada Uno De Los Alambres Sometidos A La Prueba De Tensión – Flexión.**

Figura 9

*Rigidez entre materiales*



Los valores de rigidez también cambian entre materiales. Dado que se quiere un valor en rigidez bajo, el cual se presenta mejor en el alambre CuNiTi, aunque, se ve que el “alto” de la caja es mucho más grande, es decir, si bien da una rigidez más baja los resultados son menos estables y hay mayor variación. Por otra parte, el alambre GUMMETAL® proporciona una rigidez más estable, aunque a la vez más alta.

* 1. **Rango De Cada Uno De Los Alambres Sometidos A La Prueba De Tensión – Flexión.**

Figura 10

*Rango entre materiales*



Los valores de rango cambian de acuerdo con el material. Dado que se quiere un valor en rango alto, el arco de alambre CuNiTi es el que presenta esta característica. Aunque, se ve que nuevamente el “alto” de la caja es mucho más grande, es decir, si bien da un rango más alto los resultados son menos estables y hay mayor variación. Si bien GUMMETAL® tiene valores más bajos, como con las otras propiedades analizadas nuevamente brinda resultados más estables.

Habiendo hecho el paneo descriptivo, se obtuvo de antemano evidencias de que:

1. El cambio de material afecta significativamente los valores obtenidos en cada una de las cuatro variables de interés.
2. Hay variables de interés que tienen un comportamiento más homogéneo de acuerdo con el material.

Tabla 4

*Valores medios de fuerza máxima, fuerza en límite elástico, rigidez y rango para cada material, con sus respectivas diferencias entre medias y valores de significancia.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Material** |  |  |  |
| **Variable** | **CuNiTi** | **GUMMETAL** | **Diferencia de medias** | **P-valor** |  |
| **Fuerza Máxima (N)** | 328.03 | 242.64 | 85.40 | <0.001 | \*\*\* |
| **Fuerza en Límite Elástico (N)** | 48.40 | 168.01 | -119.61 | <0.001 | \*\*\* |
| **Rigidez (N/mm)** | 187.22 | 241.23 | -54.02 | <0.001 | \*\*\* |
| **Rango (mm)** | 1.92 | 1.01 | 0.91 | <0.001 | \*\*\* |

1. **Discusión**

El propósito de este estudio fue comparar las propiedades mecánicas Carga-Deflexión, Tensión - Esfuerzo, Fuerza Máxima, Límite Elástico, Rigidez y Rango de los alambres GUMMETAL® y CuNiTi.

Observando los valores medios y para cada uno de los dos materiales analizados, se observan diferencias sustanciales en las cuatro variables de interés, es decir, ambos materiales proporcionan resultados muy distintos entre sí. Cabe destacar además que los dos grupos experimentales presentan el mismo número de muestras, por lo que podemos afirmar que el experimento tiene un diseño balanceado y por tanto tuvimos herramientas estadísticas robustas para poder comparar y concluir sobre los datos.

Comparando las variables en el presente estudio se pudo establecer que el GUMMETAL® comparado con el CuNiTi presenta un límite elástico mucho mayor, en cuanto a la fuerza se determinó que el GUMMETAL® muestra una fuerza más baja y constante lo cual es indicado durante los tratamientos de ortodoncia ya que el CuNiTi mostró una fuerza más alta, en cuanto a la variable rigidez el CuNiTi mostró una rigidez baja pero menos estable y el GUMMETAL® por el contrario mostró una rigidez más alta pero a la vez más estable, y en cuanto a la variable rango el CuNiTi mostró un rango mucho mayor aunque más inestable mientras que el GUMMETAL® mostró un rango mucho menor pero más estable.

Como se pudo observar en un estudio previo Viana, Bustos, Campo y Moreno en 2020, en el cual se analizaron las propiedades mecánicas de los alambres de ortodoncia GUMMETAL® comparado con los de Níquel -Titanio, mediante ensayos mecánicos, de igual forma se encontró que el límite elástico fue mayor en el grupo de GUMMETAL® que en el grupo Níquel- Titanio 3M Unitek; el rango de trabajo fue mayor en el grupo de Níquel-Titanio 3M Unitek 1.50 ± 0.26 mm y con respecto a la rigidez, se obtuvo valores similares con una diferencia 9.989 N/mm (P>0.05).

Chang & Tseng en 2018 mencionan que las características que hacen que el GUMMETAL® sea adecuado para ortodoncia es su alta flexibilidad, súper elasticidad, más fácil de doblar y manejar que las otras aleaciones, alta recuperación elástica; Así mismo, la no presencia de histéresis controlando así la fuerza, es no tóxico por ser libre de níquel, rara vez ocurrirá la ruptura en boca porque no es susceptible al endurecimiento por trabajo y tiene un mínimo coeficiente de fricción que lo hace adecuado para mecánicas de deslizamiento en ortodoncia sea adecuado para ortodoncia es su alta flexibilidad y súper elasticidad, más fácil de doblar y manejar que las otras aleaciones, alta recuperación elástica sin histéresis controlando así la fuerza, como lo pudimos ver en nuestras prueba el GUMMETAL® demostró tener un límite elástico alto y a su vez una fuerza baja y constante, aunque su rango de trabajo es mucho mejor comparado con el CuNiTi.

En cuanto a los resultado el rango y rigidez mostraron ser una característica que favorece a los alambres de CuNiTi lo cual es un factor importante ya que estos alambres tienen un porcentaje significativo de cobre (Cu) además de Ni y Ti en su composición, y al agregar entre 5 y 6% de cobre en la composición de alambres superelásticos de NiTi aumentaría la resistencia mecánica y reduciría el porcentaje de deformación permanente después de la desactivación, todo lo cual se considera características favorables (Gravina et al., 2014).

Habiendo hecho este paneo descriptivo, tenemos de antemano evidencias de que el cambio de material afecta significativamente los valores obtenidos en cada una de las cuatro variables de interés, hay variables de interés que tienen un comportamiento más homogéneo de acuerdo con el material.

Los fabricantes de arcos de alambre presentan al mercado diferentes tipos de aleaciones de las cuales afirman ciertas propiedades específicas, las cuales según ellos son comprobadas por pruebas de laboratorio. Se presentan como aleaciones ideales para su uso en ortodoncia clínica, en el caso del alambre GUMMETAL® se declara con respecto a sus aplicaciones clínicas, que debido a su bajo módulo de Young la fuerza producida cuando se deforma es pequeña, incluso cuando se usa un arco rectangular. Así mismo, las características de deformación elástica de GUMMETAL® son adecuadas para tratar las primeras etapas de alineación y nivelación. Como también, debido a que no sigue la ley de Hooke, el GUMMETAL® produce una fuerza de ortodoncia baja incluso cuando el desplazamiento es alto (Chang & Tseng, 2018).

Estas características aumentan sustancialmente las aplicaciones potenciales del alambre rectangular de GUMMETAL® sin embargo, como se describió anteriormente, hay una serie de factores que se puede esperar que influyan en el rendimiento de cualquier arco de alambre en uso clínico. Por otra parte, las afirmaciones de los fabricantes de una mayor eficiencia de las aleaciones de arco de alambre más nuevas se utilizan para justificar su mayor costo (Wang et al., 2018).

En este estudio los valores cambiaron de acuerdo con el material, teniendo en cuenta las características que debe entregar un alambre ideal en ortodoncia, Wang et al. en 2018 mencionan que las fuerzas entregadas por los arcos de alambre dependen en gran medida de las propiedades físicas del material de la aleación y de las dimensiones del alambre. Los arcos iniciales deben ser biocompatibles e idealmente tener, baja rigidez para entregar fuerzas ligeras en la activación, alta resistencia a la deformación permanente, buen rango para poder maximizar las activaciones para que haya un comportamiento elástico durante semanas o meses, facilidad de acoplamiento con aparatos fijos y bajo costo.

Limitaciones del estudio: Desde el inicio del proyecto se pretendía realizar con alambres redondos de calibres 0.016 de GUMMETAL® y de CuNiTi respectivamente, que son más comúnmente utilizados en las etapas iniciales de alineación y nivelación, desafortunadamente por el cese en las importaciones del alambre GUMMETAL® hacia Colombia solo se poda conseguir en el país alambre de sección trasversa 0.017 x 0.025, en el cual basamos este estudio.

1. **Conclusiones**

Con los resultados del estudio podemos afirmar que el cambio de materiales afecta el desempeño en las 4 variables de interés, a saber:

La fuerza máxima entregada por cada uno de los alambres sometidos a la prueba de tensión – deflexión, el CuNiTi proporciona mayores valores, los cuales son estadísticamente significativos.

Al establecer el límite elástico de cada uno de los alambres sometidos a la prueba de tensión – flexión, antes de la ruptura, el GUMMETAL® proporciona mayores valores estadísticamente significativos.

Se comparó la rigidez de cada uno de los alambres sometidos a la prueba de tensión – flexión, se evidencio que el CuNiTi proporciona mayores valores y en cuanto al rango encontró que el CuNiTi proporciona mayores valores estadísticamente significativos.

Con los anteriores hallazgos podríamos afirmar que para elegir el mejor material los ortodoncistas deben combinar los resultados estadísticos con criterios técnicos y profesionales desde la odontología y la ciencia de materiales. Con los resultados obtenidos podríamos concluir que en 3 de 4 variables CuNiTi, es el que presenta mayores valores. Sin embargo, cabe mencionar que tiene resultados más inestables, heterogéneos y menos constantes.

Por otra parte, fuerzas menores y constantes facilitan el movimiento dental, lo cual es proporcionado por el GUMMETAL®. Así mismo, el limite elástico es la variable más importante, el GUMMETAL® permite activaciones más grandes antes de llegar al punto de deformación permanente. Lo cual es ideal para la primera etapa del tratamiento.

Con este estudio podemos concluir que el GUMMETAL® es una aleación que tiene propiedades muy equiparables con los alambres que utilizamos comúnmente en fase de alineación y nivelación. Sin embargo, no son suficientes para justificar su costo en el mercado.

**Recomendaciones**

Se recomienda en estudios futuros in vitro incluir un análisis de superficie, a través de microscopia electrónica. Pues se afirma que en comparación con los otros arcos usados en las etapas iniciales del tratamiento de ortodoncia, los arcos de alambre GUMMETAL® presentan una menor fricción, por lo que se podría usar para mecánicas de deslizamiento, en casos particulares, desde el inicio del tratamiento disminuyendo el tiempo total de la terapia ortodóncica.

Dado que, esta aleación al ser utilizada con sección rectangular proporciona mayor control del torque para mover los dientes desde una etapa temprana y una duración de nivelación dramáticamente más corta en comparación con los alambres. (Chang & Tseng, 2018).

# Referencias

Arango Santander, S., y Ramírez Vega, C. (2016). Titanio: aspectos del material para uso en ortodoncia. Revista Nacional De Odontología, 12(23), 63-71. https://doi.org/10.16925/od.v12i23.1423

Atik, E., Gorucu-Coskuner, H., Akarsu-Guven, B., y Taner, T. (2019). A comparative assessment of clinical efficiency between premium heat-activated copper nickel-titanium and superelastic nickel-titanium archwires during initial orthodontic alignment in adolescents: a randomized clinical trial. *Progress in Orthodontics*, *20*(1). https://doi.org/10.1186/s40510-019-0299-4

Aydın, B., Şenışık, N. E., y Koşkan, Ö. (2018). Evaluation of the alignment efficiency of nickel-titanium and copper-nickel-titanium archwires in patients undergoing orthodontic treatment over a 12-week period: A single-center, randomized controlled clinical trial. *The Korean Journal of Orthodontics*, *48*(3), 153. https://doi.org/10.4041/kjod.2018.48.3.153

Burstone, C. J., y Kwangchul Choy. (2015). *The biomechanical foundation of clinical orthodontics*. Quintessence Publishing Co, Inc. https://www.quintessence-publishing.com/gbr/en/product/the-biomechanical-foundation-of-clinical-orthodontics

Chang, H.-P., y Tseng, Y.-C. (2018). A novel β-titanium alloy orthodontic wire. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, *34*(4), 202–206. https://doi.org/10.1016/j.kjms.2018.01.010

Fischer Brandies, H., Es Souni, M., Kock, N., Raetzke, K., y Bock, O. (2003). Transformation Behavior, Chemical Composition, Surface Topography and Bending Properties of Five Selected 0.016’’ × 0.022’’ NiTi Archwires. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte Der Kieferorthop Die*, *64*(2), 88–99. https://doi.org/10.1007/s00056-003-0062-8

Gok, F., Buyuk, S. K., Ozkan, S., & Benkli, Y. A. (2018). Comparison of arch width and depth changes and pain/discomfort with conventional and copper Ni-Ti archwires for mandibular arch alignment. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, *7*(1), 24–28. https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2018.01.001

Golasiński, K., Pieczyska, E., Maj, M., Staszczak, M., Świec, P., Furuta, T., y Kuramoto, S. (2020). Investigation of strain rate sensitivity of GUMMETAL® under tension using digital image correlation. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, *20*(2). https://doi.org/10.1007/s43452-020-00055-9

Gravina, M. A., Brunharo, I. H. V. P., Canavarro, C., Elias, C. N., y Quintão, C. C. A. (2013). Mechanical properties of NiTi and CuNiTi shape-memory wires used in orthodontic treatment. Part 1: stress-strain tests. *Dental Press Journal of Orthodontics*, *18*(4), 35–42. https://doi.org/10.1590/s2176-94512013000400007

Gravina, M. A., Canavarro, C., Elias, C. N., Chaves, M. das G. A. M., Brunharo, I. H. V. P., y Quintão, C. C. A. (2014). Mechanical properties of NiTi and CuNiTi wires used in orthodontic treatment. Part 2: Microscopic surface appraisal and metallurgical characteristics. *Dental Press Journal of Orthodontics*, *19*(1), 69–76. https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.1.069-076.oar

Hasegawa, S. (2010). Clinical use of GUMMETAL®. *JM Ortho Corporation*, 1–8. https://www.ortofan.pl/handlowy/files/files/GUMMETAL®\_zastosowania\_kliniczne\_0.pdf

Kuntz, M. L., Vadori, R., y Khan, M. I. (2018). Review of Superelastic Differential Force Archwires for Producing Ideal Orthodontic Forces: an Advanced Technology Potentially Applicable to Orthognathic Surgery and Orthopedics. *Current Osteoporosis Reports*, *16*(4), 380–386. https://doi.org/10.1007/s11914-018-0457-5

Kusy RP. (2020). Orthodontic biomaterials: from the past to the present. *The Angle Orthodontist*, *72*(6). https://doi.org/10.1043/0003-3219(2002)072<0501:OBFTPT>2.0.CO;2

Kusy, R. P., y Whitley, J. Q. (2007). Thermal and mechanical characteristics of stainless steel, titanium-molybdenum, and nickel-titanium archwires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *131*(2), 229–237. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.05.054

Li, J., Li, F., Xue, F., Cai, J., y Chen, B. (2012). Micromechanical behavior study of forged 7050 aluminum alloy by microindentation. *Materials & Design*, *37*, 491–499. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.01.036

Liu, S., Guo, Y. Z., Pan, Z. L., Liao, X. Z., Lavernia, E. J., Zhu, Y. T., Wei, Q. M., y Zhao, Y. (2020). Microstructural softening induced adiabatic shear banding in Ti-23Nb-0.7Ta-2Zr-O GUMMETAL®. *Journal of Materials Science & Technology*, *54*, 31–39. https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.03.042

Min, X. H., Emura, S., Sekido, N., Nishimura, T., Tsuchiya, K., y Tsuzaki, K. (2010). Effects of Fe addition on tensile deformation mode and crevice corrosion resistance in Ti–15Mo alloy. *Materials Science and Engineering: A*, *527*(10-11), 2693–2701. https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.12.050

Miura, F., Mogi, M., Ohura, Y., y Hamanaka, H. (1986). The super-elastic property of the Japanese NiTi alloy wire for use in orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *90*(1), 1–10. https://doi.org/10.1016/0889-5406(86)90021-1

Nordstrom, B., Shoji, T., Anderson, W. C., Fields, H. W., Beck, F. M., Kim, D.-G., Takano-Yamamoto, T., y Deguchi, T. (2018). Comparison of changes in irregularity and transverse width with nickel-titanium and niobium-titanium-tantalum-zirconium archwires during initial orthodontic alignment in adolescents: A double-blind randomized clinical trial. *The Angle Orthodontist*, *88*(3), 348–354. https://doi.org/10.2319/061417-393.1

Pieczyska, E., Maj, M., Golasiński, K., Staszczak, M., Furuta, T., y Kuramoto, S. (2018). Thermomechanical Studies of Yielding and Strain Localization Phenomena of GUMMETAL® under Tension. *Materials*, *11*(4), 567. https://doi.org/10.3390/ma11040567

Pompei-Reynolds, R. C., y Kanavakis, G. (2014). Interlot variations of transition temperature range and force delivery in copper-nickel-titanium orthodontic wires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *146*(2), 215–226. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.05.017

Sadeghpour, S., Abbasi, S. M., Morakabati, M., y Karjalainen, L. P. (2019). Effect of dislocation channeling and kink band formation on enhanced tensile properties of a new beta Ti alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, *808*, 151741. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.151741

Saito, T. (2003). Multifunctional Alloys Obtained via a Dislocation-Free Plastic Deformation Mechanism. *Science*, *300*(5618), 464–467. https://doi.org/10.1126/science.1081957

Saito, T., Furuta, T., Hwang, J. H., Kuramoto, S., Nishino, K., Suzuki, N., Chen, R., Yamada, A., Ito, K., Seno, Y., Nonaka, T., Ikehata, H., Nagasako, N., Iwamoto, C., Ikuhara, Y., y Sakuma, T. (2003). Multi Functional Titanium Alloy “‘GUMMETAL®.’” *Materials Science Forum*, *426-432*, 681–688. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.426-432.681

Uribe Restrepo, G. (2010). Ortodoncia: teoría y clínica, Fundamentos de odontología.

Viana, L., Peña, J., Campo, K., y Moreno. (2021). Propiedades Mecánicas de los Alambres de Ortodoncia Gummetal® y Níquel -Titanio, Mediante Ensayos Mecánicos.

Wang, Y., Liu, C., Jian, F., McIntyre, G. T., Millett, D. T., Hickman, J., y Lai, W. (2018). Initial arch wires used in orthodontic treatment with fixed appliances. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. https://doi.org/10.1002/14651858.cd007859.pub4

WS;Kim, Y. (2014). A study of the regional load deflection rate of multiloop edgewise arch wire. *The Angle Orthodontist*, *71*(2). https://doi.org/10.1043/0003-3219(2001)071<0103:ASOTRL>2.0.CO;2

# Anexos

Anexo A. Curva Carga- Deflexión de diferentes aleaciones

****

Anexo B. Grafica de rigidez que relaciona la fuerza con la deflexión.

****

Anexo C. Grafica de rigidez que relaciona la fuerza con la deflexión.

****