

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE CINCO TIPOS
ALEACIONES DIFERENTES DE NITINOL.**

**ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FIVE
TYPES OF NITINOL ALLOYS**

AUTORES

Jaramillo Botero Daniela

Odontóloga General, Estudiante del Posgrado de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar

Universidad Santiago de Cali - UNICOC

Medina Parrado Lenis Ximena

Odontóloga General, Estudiante del Posgrado de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar

Universidad Cooperativa de Colombia - UNICOC

ASESOR CIENTÍFICO

Dra. Diana Isabel Pacheco

Odontóloga General, Especialista en Ortodoncia, Especialista en Docencia

Universitaria

P.U.J. - U.M.N.G-UNICIEO - Universidad Piloto de Colombia

ASESOR METODOLÓGICO

Dra. Luz Andrea Velandia Palacio

Odontóloga General, Especialista en Ortodoncia y Ortopedia Maxilar, Especialista

en Odontología Legal y Forense, Doctorado en Investigación

UNICOC – P.U.J - Universidad de Macerata-Italia

ASESOR ESTADÍSTICO

Gerardo Ardila

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE CINCO TIPOS ALEACIONES DIFERENTES DE NITINOL.

RESUMEN

OBJETIVO: Comparar la propiedades físicas y mecánicas de cinco aleaciones diferentes de arcos Níquel titanio calibre 0,014 como son BioStarter (Forestadent), Ni-Ti Wire Series (MEM Dental), Ni-Ti Cuper (Ormco), Ni-Ti Termoactivado (3M), Ni-Ti Super Elastic (Meite Dental). **METODOLOGÍA:** Mediante un estudio In-Vitro con muestreo no probabilístico por conveniencia el cual fue definido mediante un artículo base, a partir de esto la muestra de este estudio consistió 8 arcos de cada marca para un total de 40 arcos. A los cuales se le realizó una prueba de tensión y flexión máquina universal de ensayos mecánicos de la marca Shimadzu, modelo AG-IS5KN, la recolección de la información fue realizada por dos examinadores, residentes del posgrado de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar de UNICOC. El segundo análisis se realizó usando pruebas de análisis exploratorio de datos, Anova y/o Kruskal-Wallis, Shapiro – Wilk, Poshoc TuKey y Wilcoxon. El procesamiento se realizó utilizando SPSS V26 y Real statistics.

RESULTADOS: Los resultados estadísticos derivados de la presente investigación revelaron diferentes valores promedio para la resistencia tensil entre las marcas de arcos evaluadas. El valor más elevado, 1.312,13 MPa (desviación estándar: 19,12), fue atribuido a Meite Dental, mientras que el valor más bajo, 1.110,98 MPa (desviación estándar: 3,62), correspondió a MEM Dental.

CONCLUSIONES: El análisis detallado de estas propiedades permitirá una comprensión más profunda de las diferentes aleaciones de NiTiinol disponibles en el mercado, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y para la práctica clínica de los ortodoncistas.

Palabras clave: arcos ortodónticos, nitinol, deformación, resistencia tensil, modulo elástico, resistencia a la flexión.

ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FIVE TYPES OF DIFFERENT NITINOL ALLOYS.

ABSTRACT

OBJECTIVE: To compare the physical and mechanical properties of five different alloys of 0.014 caliber nickel titanium archwires such as BioStarter (Forestadent), Ni-Ti Wire Series (MEM Dental), Ni-Ti Cuper (Ormco), Ni-Ti Thermoactivated (3M), Ni-Ti Super Elastic (Meite Dental). **METHODOLOGY:** By means of an In-Vitro study with non-probabilistic sampling by convenience, which was defined by means of a base article, from this the sample of this study consisted of 8 archwires of each brand for a total of 40 archwires. These bows were subjected to a tension and flexion test by a Shimadzu universal mechanical testing machine, model AG-IS5KN, and the information was collected by two examiners, residents of the postgraduate program in Orthodontics and Maxillary Orthopedics at UNICOC. The second analysis was performed using exploratory data analysis tests, Anova and/or Kruskal-Wallis,

Shapiro-Wilk, Poshoc TuKey and Wilcoxon. Processing was performed using SPSS V26 and Real statistics.

RESULTS: The statistical results derived from the present investigation revealed different average values for tensile strength between the brands of arches evaluated. The highest value, 1,312.13 MPa (standard deviation: 19.12), was attributed to Meite Dental, while the lowest value, 1,110.98 MPa (standard deviation: 3.62), corresponded to MEM Dental.

CONCLUSIONS: The detailed analysis of these properties will allow a deeper understanding of the different NiTiNol alloys available on the market, providing a solid basis for future research and for the clinical practice of orthodontists.

Keywords: Orthodontic archwires, Nitinol, Deformation, Tensile strength, Elastic modulus, Flexural strength.

INTRODUCCIÓN

La primera etapa en un tratamiento de ortodoncia correctiva tiene como objetivo alinear y nivelar los dientes para colocarlos en una posición correcta tanto en sentido incisivo gingival, mesio distal y vestíbulo lingual o palatino, para esto se requiere de arcos de aleaciones que cumplan ciertas propiedades físicas y mecánicas que permitan ejecutar dicho objetivo (1). Los alambres de ortodoncia de níquel titanio en calibres 0.014 y 0.016 pulgadas son los más utilizados en dicha etapa porque ellos liberan fuerzas ligeras y tienen un amplio rango de trabajo elástico y deflexión (2)(3). Los arcos de NiTiNol se clasifican en dos tipos principales, super elástico austenítico y martensítico activada por calor. Los NiTiNol activados por calor tienen la ventaja de producir menores magnitudes de fuerza que los arcos super elásticos de NiTi del mismo diámetro y deflexión (4). Según Miura los NiTinoles poseen dos propiedades fundamentales que los hace únicas en ortodoncia, memoria de forma y super elasticidad. La primera se refiere a la capacidad del material a volver a su forma original mediante fases de transformación de temperatura y la segunda a la capacidad de generar fuerzas constantes por un periodo de tiempo largo (5) Gravina y cols, (2004) estudiaron las propiedades más relevantes y la aplicación clínica de los alambres de Nitinol que son llamados “superiores” por su efecto de memoria y superelasticidad, diciendo que los mismos proveen mejor desempeño debido a sus propiedades mecánicas, mediante una revisión literaria analizaron y compararon las distintas aleaciones utilizadas en ortodoncia ideales para cada fase del tratamiento y llegaron a la conclusión que el níquel titanio y el multifilamento son los alambres

adecuados para la fase inicial del tratamiento pues tienen un comportamiento muy parecido. Mencionan también que el profesional debe conocer las propiedades necesarias del material para escoger el alambre ortodóntico más apropiado (6).

Los alambres en ortodoncia desempeñan un papel crucial en el tratamiento ortodóntico, ya que son los responsables de generar el movimiento dental almacenando y liberando energía en forma de fuerza, esta fuerza es transmitida al ligamento periodontal (7)(8)(9). Durante años la búsqueda por el material ideal para favorecer dichos movimientos sin producir un daño en los tejidos de soporte del diente ha llevado a la investigación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas detalladas en la metalurgia (10)(11).

Para realizar los tratamientos de ortodoncia se cuenta con arcos de diferentes aleaciones metálicas que son usados durante las distintas fases del tratamiento de ortodoncia, los cuales al momento de ajustarse con los Brackets originan las fuerzas biomecánicas necesarias para crear movimiento dental (12) (11), por esto es recomendable el uso de fuerzas ligeras para evitar daño al ligamento periodontal. Siendo una de sus principales propiedades la súper elasticidad al ser doblados y la mínima deformación plástica (12).

El níquel titanio (Nitinol) es un material que surgió en los primeros años de la década de los 70 el cual presenta características únicas como el fenómeno de la memoria de forma, una alta recuperación elástica y una gran flexibilidad que le permite experimentar grandes deflexiones elásticas con una carga mínima. Estas propiedades han convertido níquel titanio (Nitinol) en la aleación más empleada para

las fases de alineación y nivelación (13), proporcionando al clínico una gran versatilidad de uso, ya que este es un material que gracias a su amplio rango de trabajo y a su aplicación de fuerza baja da excelentes resultados en los tratamientos y adicional se encuentra disponible comercialmente de muchas formas (2)(14). La selección adecuada de los alambres en ortodoncia le permite al profesional realizar de manera eficaz el tratamiento, por eso la importancia del conocimiento de las propiedades mecánicas básicas de las aleaciones, las cuales no son siempre reveladas por sus casas comerciales (6).

Con el amplio estudio de la metalurgia muchos alambres fueron considerados y modificados para la práctica clínica (15), dado que es uno de los alambres de elección por los clínicos para las etapas iniciales del tratamiento ortodóntico los alambres de níquel titanio han sido los arcos de elección para nivelación dental (16) (12). Torres y colaboradores en 2010 reportan que entre las propiedades más relevantes del níquel titanio se encuentran alta flexibilidad, bajo coeficiente de fricción, biocompatibilidad, alta resiliencia, resistencia a la corrosión y bajo modulo elástico (15).

Existen en el mercado diferentes tipos de aleaciones para alineación y nivelación entre las más usadas se encuentran las diferentes aleaciones de níquel titanio, algunas de ellas indican el tipo de aleación, mientras que otras las casas comerciales hablan de las bondades de sus propiedades y se desconoce en algunas el tipo específico de aleación. Dado que los costos varían entre las diferentes aleaciones y la toma de decisiones, se debe considerar el costo beneficio según la

información científica y no solo comercial de las propiedades biomecánicas. El clínico debe conocer las diferencias entre dichas propiedades para realizar una adecuada selección de los arcos de acuerdo con las necesidades de cada paciente ya que se deben tener en cuenta el estado del periodonto la morfología y la longitud radicular el grado de apiñamiento en el momento de aplicar las fuerzas ortodóncicas ya que estos factores influyen en el momento final que se expresa en el diente y sus tejidos de soporte. Debido a que la alineación dental inicial consta de muchos tipos y cantidades de movimiento dental, la selección y aplicación de arcos es fundamental, un arco de alambre ideal debe mover los dientes con fuerzas ligeras y continuas, lo que reducirá los riesgos de malestar del paciente, necrosis del ligamento periodontal, y reabsorción radicular. (17)

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue comparar los efectos físicos y mecánicos de cinco aleaciones de arcos diferentes de níquel titanio para alineación y nivelación comercialmente disponibles en el mercado.

METODOLOGÍA

Mediante un estudio in vitro, se ha procurado realizar una comparación minuciosa de las propiedades físicas y mecánicas de arcos de alineación y nivelación con calibre 0,014, provenientes de cinco marcas comerciales distintas: BioStarter (Forestadent), Ni-Ti Wire Series (MEM Dental), Ni-Ti Cuper (Ormco), Ni-Ti Termo activado (3M), y Ni-Ti Superelastic (Meite Dental). Para este análisis, se optó por un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando ocho segmentos de la parte posterior del arco por cada marca. La confiabilidad del estudio se estableció con un nivel del 95%, una potencia del 80%, y un efecto de error del 0,97188947, garantizando así la robustez de la muestra.

Las pruebas de tensión y flexión en alambres destinados a ortodoncia se realizaron siguiendo rigurosamente el procedimiento normativo establecido en la norma internacional ISO-15841, específicamente en los numerales 6.4.2 (Tensión) y 6.4.3 (Flexión).

La ejecución de estas pruebas se llevó a cabo en el Laboratorio de Ensayos Mecánicos Inter facultades de la Universidad Nacional de Colombia. Para el ensayo de tensión, se mantuvo una velocidad constante de 1.5 mm/min, con una "longitud calibrada" de 20 mm (considerando una longitud adicional de al menos 20 mm en cada extremo para la sujeción del alambre en las mordazas, totalizando 60 mm). En cuanto al ensayo de flexión, se implementó una velocidad de 7.5 mm/min y la distancia entre soportes se ajustó a 14 mm (54 mm en total, sumando la distancia

entre soportes y las longitudes adicionales en los extremos). Cabe destacar que todas las pruebas se realizaron a temperatura ambiente.

El equipo utilizado para estas pruebas fue una máquina universal de ensayos mecánicos de la marca Shimadzu, modelo AG-IS 5KN, con certificado de calibración correspondiente al mes de agosto de 2022. Este equipo permitió la obtención de datos precisos sobre la resistencia a la tracción, el límite del módulo elástico (tanto a tensión como a flexión), la resistencia a la flexión y las deformaciones del material en condiciones de tensión y flexión. Para la observación detallada de la zona de deformación, se empleó un equipo estereomicroscopio de la marca NIKON, modelo SMZ800, equipado con cámara y pantalla de captura. Este conjunto de instrumentos garantizó la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos en este estudio.

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el software Real Statistic (V.8.4), empleando diversas herramientas para evaluar la distribución y comparación de los valores obtenidos. En el caso de las variables continuas, se sometieron a una evaluación de normalidad mediante la prueba d'Agostino. La comparación entre los grupos de estudio se realizó analizando los valores de las variables numéricas. Con este propósito, se aplicaron pruebas paramétricas, como ANOVA, y la prueba de Tukey para comparaciones pareadas post hoc.

Todas las pruebas fueron bidireccionales, y se consideraron estadísticamente significativos aquellos valores de p inferiores a 0,05. Este umbral respalda la

robustez de las conclusiones estadísticas obtenidas, proporcionando una base confiable para la interpretación de los resultados.

El empleo del software Real Statistic no solo facilitó, sino que también enriqueció el análisis de los datos recopilados, garantizando la validez y solidez de las conclusiones estadísticas derivadas de este estudio comparativo de propiedades físicas y mecánicas de arcos de alineación y nivelación.

RESULTADOS

Los resultados estadísticos derivados de la presente investigación revelaron diferentes valores promedio para la resistencia tensil entre las marcas de arcos evaluadas. El valor más elevado, 1.312,13 MPa (desviación estándar: 19,12), fue atribuido a Meite Dental, mientras que el valor más bajo, 1.110,98 MPa (desviación estándar: 3,62), correspondió a MEM Dental.

En cuanto a la resistencia a la flexión, Meite Dental exhibió el valor promedio más alto, alcanzando 833,91 MPa (desviación estándar: 7,61), mientras que Forestadent registró el valor más bajo con un promedio de 541,89 MPa (desviación estándar: 6,90).

El límite del módulo elástico a tensión presentó variaciones significativas, siendo Meite Dental la marca con el valor promedio más alto de 29.115,85 MPa (desviación estándar: 2.154,16), y Forestadent con el valor promedio más bajo de 15.667,83 MPa (desviación estándar: 768,52).

En términos de deformación a tensión, se destacó MEM Dental con un valor promedio de 23,48% (n=8) como el más alto, mientras que Meite Dental registró el valor más bajo con un promedio de 22,90% (n=8).

Finalmente, en relación con la deformación a flexión, 3M presentó el valor promedio más alto con un 5,60% (n=8), mientras que Forestadent exhibió el valor más bajo con un promedio de 5,44% (n=8). Estos resultados se detallan en la Tabla 1,

proporcionando una visión completa y minuciosa de las diferencias en las propiedades físicas y mecánicas de los arcos evaluados.

Tabla 1.

	GRUPO	n	Mean	Standard Error	Median	Maximum	Minimum	IQR	d'Agostino-Pearson p-value	ANOVA : Single Factor p-value
RESISTENCIA TENSIL (F/mm ² =Mpa)	(Forestadent)	8	1224,94	10,80	1224,90	1271,95	1188,90	47,28	0,595	0,000
	(Ormco)	8	1300,16	8,16	1303,04	1337,96	1264,12	24,64	0,979	
	(MEM)	8	1110,98	3,62	1111,77	1125,20	1089,28	5,60	0,042	
	(Meite Dental)	8	1312,13	19,12	1313,55	1380,63	1210,39	53,00	0,443	
	(3M)	8	1184,86	7,03	1182,15	1220,22	1152,68	13,23	0,607	
RESISTENCIA A LA FLEXION (F/mm ² =Mpa)	(Forestadent)	8	541,89	6,90	541,92	567,63	517,83	34,37	0,276	0,000
	(Ormco)	8	568,19	6,55	562,51	591,51	546,91	31,83	0,202	
	(MEM)	8	553,88	6,35	557,91	576,59	530,70	30,91	0,295	
	(Meite Dental)	8	833,91	7,61	832,64	862,53	805,82	30,59	0,432	
	(3M)	8	710,11	8,88	700,75	754,48	687,54	37,25	0,483	
LIMITE DE MODULO ELASTICO A TENSION (N/mm ² =Mpa)	(Forestadent)	8	15667,83	768,52	15724,20	18676,10	12559,50	3540,05	0,559	0,000
	(Ormco)	8	22976,76	1571,90	21405,20	29129,80	18336,90	8060,00	0,218	

DEFORMACION A TENSION (%)	(MEM)	8	25101,04	1125,53	25074,60	31232,30	20955,70	2914,88	0,384	0,953
	(Meite Dental)	8	29115,85	2154,16	31084,20	36593,00	19549,40	8223,30	0,577	
	(3M)	8	25086,55	1236,71	24253,65	30889,10	21491,40	4940,45	0,580	
	(Forestadent)	8	23,29	0,80	23,50	26,47	20,29	2,58	0,837	
	(Ormco)	8	23,03	0,48	23,45	24,45	20,49	1,71	0,372	
	(MEM)	8	23,48	0,36	23,74	24,95	21,49	0,78	0,220	
	(Meite Dental)	8	22,90	0,73	23,43	25,19	18,42	1,17	0,013	
	(3M)	8	22,95	0,55	23,50	24,60	20,79	2,85	0,206	
	(Forestadent)	8	5,44	0,20	5,39	6,23	4,64	0,95	0,527	
	(Ormco)	8	5,56	0,19	5,71	6,17	4,65	0,58	0,535	
DEFORMACION A FLEXION (%)	(MEM)	8	5,49	0,16	5,58	6,05	4,65	0,57	0,532	0,968
	(Meite Dental)	8	5,46	0,19	5,41	6,40	4,65	0,57	0,797	
	(3M)	8	5,60	0,15	5,55	6,12	4,93	0,50	0,845	
	(Forestadent)	8	5,44	0,20	5,39	6,23	4,64	0,95	0,527	
	(Ormco)	8	5,56	0,19	5,71	6,17	4,65	0,58	0,535	

Con base en los resultados del test de normalidad, se procedió a realizar una prueba paramétrica (ANOVA), que reveló diferencias significativas en la resistencia tensil, resistencia a la flexión y el límite del módulo elástico a tensión. Para discernir entre qué categorías de los grupos se identificaban estas diferencias, se aplicó la prueba post hoc Tukey. Los hallazgos indicaron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia tensil entre todas las aleaciones, con excepción de Forestadent - 3M y ORMCO – Meite Dental. Específicamente, se observaron diferencias

significativas entre Forestadent y MEM Dental (Tukey, $P = 0,000$), Forestadent y Meite Dental (Tukey, $P = 0,000$), ORMCO y MEM Dental (Tukey, $P = 0,000$), ORMCO y 3M (Tukey, $P = 0,000$), MEM Dental y Meite Dental (Tukey, $P = 0,000$), MEM Dental y 3M (Tukey, $P = 0,000$), y entre Meite Dental y 3M (Tukey, $P = 0,000$) (Tabla 2).

En relación con la resistencia a la flexión, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en todas las aleaciones, a excepción de Forestadent – ORMCO, Forestadent – MEM y ORMCO – MEM. Estas diferencias fueron especialmente notables entre Meite Dental, Forestadent y 3M, ORMCO y Meite Dental, ORMCO y 3M, MEM Dental y Meite Dental, y Meite Dental y 3M, todas con un valor $P = 0,000$ para la prueba de Tukey (Tabla 2).

Por otro lado, en el límite del módulo elástico a tensión se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre Forestadent y ORMCO (Tukey, $P = 0,009$), Forestadent y MEM Dental (Tukey, $P = 0,000$), Forestadent y Meite Dental (Tukey, $P = 0,000$), Forestadent y 3M (Tukey, $P = 0,000$), y ORMCO y Meite Dental (Tukey, $P = 0,038$) (Tabla 2).

Finalmente, en lo que respecta a la deformación a tensión y flexión, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (Tabla 2). Estos resultados proporcionan una perspectiva detallada de las disparidades en las propiedades mecánicas entre las marcas de arcos evaluadas.

Tabla 2.

group 1	group 2	RESISTENCIA TENSIL (F/mm2=Mpa)		RESISTENCIA FLEXION (F/mm2=Mpa)		LIMITE DE MODULO ELASTICO A TENSION (N/mm2=Mpa)		DEFORMACION A TENSION (%)		DEFORMACION A FLEXION (%)	
		mean	p-value	mean	p-value	mean	p-value	mean	p-value	mean	p-value
(Forest adent)	(Ormco)	75,22	0,000	26,30	0,104	7308,94	0,009	0,26	0,998	0,26	0,998
(Forest adent)	(MEM)	113,96	0,000	11,99	0,774	9433,21	0,000	0,19	0,999	0,19	0,999
(Forest adent)	(Meite Dental)	87,19	0,000	292,02	0,000	13448,03	0,000	0,39	0,991	0,39	0,991
(Forest adent)	(3M)	40,08	0,100	168,23	0,000	9418,73	0,000	0,34	0,994	0,34	0,994
(Ormco)	(MEM)	189,18	0,000	14,31	0,642	2124,28	0,837	0,45	0,984	0,45	0,984
(Ormco)	(Meite Dental)	11,97	0,939	265,73	0,000	6139,09	0,038	0,13	1,000	0,13	1,000
(Ormco)	(3M)	115,30	0,000	141,93	0,000	2109,79	0,840	0,08	1,000	0,08	1,000
(MEM)	(Meite Dental)	201,15	0,000	280,03	0,000	4014,81	0,307	0,58	0,960	0,58	0,960
(MEM)	(3M)	73,87	0,000	156,24	0,000	14,49	1,000	0,53	0,970	0,53	0,970
(Meite Dental)	(3M)	127,27	0,000	123,80	0,000	4029,30	0,303	0,05	1,000	0,05	1,000

La tabla 3 hace una descripción de los diferentes tipos de aleaciones de NiTi que fueron incluidas en el presente estudio en combinación con el distribuidor y la gama a la que pertenece cada marca comercial.

Tabla 3.

GRUPO	TIPO DE ALEACIÓN	DISTRIBUIDOR	GAMA
MEM (mem dental)	NiTi Termo (cobre níquel titanio)	Ixion	Baja 7.500/ud
OR (Ormco)	Cooper NiTi 35°	Damon	Alta 21.000/ud

MD (Meite Dental)	NiTi Natural Superelastic	China	Baja 5.000/pq
FOR (Forestadent)	N/A	Forestadent	Alta 19.000/ud
3M	NiTi termo activado superelastic	3M	Media 11.000/ud

Tabla 4.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	Diferencias	No diferencias
	en todas las aleaciones	forestadent - ormco
		forestadent - mem
		ormco - mem

LÍMITE DE MODULO ELÁSTICO	Diferencias	No diferencias
	forestadent- ormco	
	forestadent - mem	
	forestadent - meite	
	forestadent - 3m	
	ormco - meite	

RESISTENCIA TENSIL	Diferencias	No diferencias
	todas las aleaciones	

En cuanto a la deformación se puede realizar la comparación de la ruptura entre el grupo T1 (imagen 1) correspondiente a Forestadent y el grupo T3 (imagen 2)

correspondiente a MEM Dental, donde en el grupo T1 se observa una ruptura más homogénea con un cuello de ruptura más estrecho que en el grupo T3 donde el cuello de ruptura se encuentra más ancho en comparación con T1.

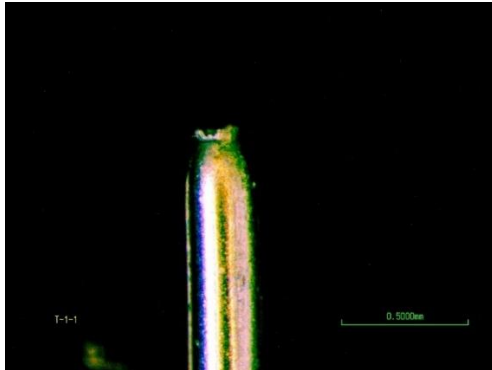


Imagen 1. Zona de deformación del material

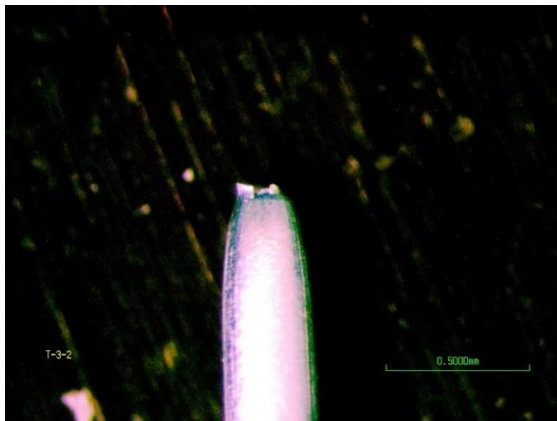


Imagen 2. Zona de deformación del material

DISCUSIÓN

Conocer las aleaciones y sus propiedades son fundamentales para comprender como los arcos de ortodoncia se comportan en el ámbito clínico. La adecuada selección del arco se realiza con base a las necesidades biomecánica, la situación clínica y el tipo de alambre a utilizar de acuerdo con el caso a tratar. Este conocimiento permite facilitar la selección del arco que se ajuste a sus necesidades entre la amplia gama de materiales disponibles comercialmente. (18) El propósito de este estudio fue comparar las propiedades mecánicas y físicas de cinco variedades diferentes de NiTi.

Los fabricantes invierten en publicidad para mostrar que sus arcos son superiores en calidad y que su rendimiento mejorado es el resultado de contar con las cualidades mecánicas adecuadas. Sin embargo, estos atributos rara vez se mencionan en el empaque del producto. Debido a la amplia gama de marcas, la abundancia de empresas de producción y la falta de conocimiento sobre las características del material, es difícil para los profesionales seleccionar el mejor material con una mejor relación costo-beneficio para su uso. (6)(19)

En la presente investigación se compararon diferentes características de varios tipos de NiTi calibre 0.014", se escogió esta aleación debido a las propiedades mecánicas que posee las cuales le permiten amplias deflexiones que son requeridas durante la primera fase del tratamiento de ortodoncia. (20)(21)

Al analizar los datos correspondientes a la resistencia tensil de los subgrupos de arcos evaluados, se pudo identificar que Meite Dental presento la resistencia tensil más alta lo cual es indicativo de una baja flexibilidad comparada con las otras aleaciones evaluadas. Esto coincide con lo observado por Sarul 2013 quien demuestra que la aleación de NiTi natural presenta menor flexibilidad al ser comparada con NiTi termo y NiTi cooper. (22)(23)

Al observar los datos de deformación a la tensión y deformación a la flexión no se observaron diferencias significativas entre las aleaciones evaluadas lo cual podría relacionarse con el manejo de un mismo tipo de calibre en todas las aleaciones.

El comportamiento elástico de cualquier material se puede describir en cuanto a cómo responde a una carga externa en términos tanto de estrés como de tensión, que son ambos indicativos del estado interno del material. (24)(25) Se recomienda una prueba de tensión, en la que toda la aleación alcance simultáneamente el límite elástico, con el fin de identificar su comportamiento de estrés-tensión. El menor límite de modulo elástico se observó en la aleación de Forestadent, estos arcos son aleaciones de nique titanio sometidos a tratamiento superficial con baño de plasma y iones, un bajo módulo elástico en una aleación implica clínicamente que presenta una alta capacidad para ajustar en los brackets de dientes con mal posiciones lo cual puede reflejarse en una menor incomodidad para el paciente y dado que presenta fuerzas más livianas tendría bajo potencial de generar reabsorción radicular. (26)(27)

La resistencia a la flexión se observó como mayor en el arco de la casa comercial Meite NiTi natural mientras que la más baja se dio en la aleación de la casa comercial Forestadent, lo cual se relaciona con lo observado en el límite de módulo elástico y es indicativo de su uso en los casos que se requiere baja distribución de fuerzas.

Es importante notar que la variedad experimental encontrada en la literatura dificulta la comparación de diferentes estudios de este tipo (26) y adicionalmente la falta de información proporcionada por las casas comerciales, hace más compleja la posibilidad de concluir respecto a los hallazgos y aislar factores individuales que puedan ser contribuyentes.

CONCLUSIÓN

- Este trabajo establece una base sólida para futuras investigaciones y para la práctica clínica de los ortodoncistas, facilitando así la realización efectiva de tratamientos ortodónticos.
- Tras analizar los cinco tipos de aleaciones de Nitinol, se observó una variabilidad significativa en sus propiedades físicas y mecánicas. Esto sugiere que la composición química y los procesos de fabricación y manufactura, así como los tratamientos de superficie que se les realizan pueden influir en gran medida en el comportamiento final del material.
- Se recomienda siempre utilizar aleaciones de casas comerciales que tengan representación ya que de una u otra forma garantiza que los materiales tengan un grado de calidad relacionado que permita que los arcos cumplan con las propiedades biomecánicas que se requieren en cada una de las etapas del tratamiento de ortodoncia correctivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Colegios de Colombia UNICOC, por su colaboración y a las doctoras Diana Isabel Pacheco y Luz Andrea Velandia Palacio.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

FINANCIACIÓN

Esta investigación no recibió financiación externa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lopez R, Ortega R, Pacheco D, Soler J, Pantoja F, Naranjo F. Biomechanical behavior of the dentoalveolar unit (UDA) of a central incisor under an orthodontic treatment, using wires of NiTi and NiTiCu: 3D simulation using finite elements. 2019;17(3):22–33. Available from: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/32101/2019rafaelortega.pdf>
2. Brantley WA. Evolution, clinical applications, and prospects of nickel-titanium alloys for orthodontic purposes. Journal of the World Federation of Orthodontists. 2020 Oct;9(3):S19–26.
3. Reddy RK, Katari PK, Bypureddy TT, Naga V, Yenugupalli Kartheek, Nemala R V Sairam. Forces in initial archwires during leveling and aligning: An in-vitro study. Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry [Internet]. 2016 Jan 1;6(5):410–0. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5109854/>
4. Phermsang-ngarm P, Charoemratrote C. Tooth and bone changes after initial anterior dental alignment using preformed vs customized nickel titanium archwires in adults: A randomized clinical trial. The Angle Orthodontist. 2018 Mar 22;88(4):425–34.
5. Teramoto A. Importancia clínica del punto austenítico final en la selección de las aleaciones de níquel-titanio para su aplicación en arcos utilizados en Ortodoncia. Rev. Odont. Mex. 2016 Sep ; 20(3): 166-173. Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-199X2016000300166&lng=es. <https://doi.org/10.1016/j.rodex.2016.08.003>.

6. Gravina M, Motta A, Almeida M, Quintão C. Fios ortodonticos: propriedades mecânicas relevantes e aplicação clínica. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*. 2004 Jan;9:113–28.
7. Santoro M, Nicolay OF, Cangialosi TJ. Pseudoelasticity and thermoelasticity of nickel-titanium alloys: A clinically oriented review. Part I: Temperature transitional ranges. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2001 Jun;119(6):587–93
8. Nagarajan D, Balashanmugam Baskaranarayanan, K Usha, Jayanthi MS, M Vijaykanth. Comparison and ranking of superelasticity of different austenite active nickel-titanium orthodontic archwires using mechanical tensile testing and correlating with its electrical resistivity. *Journal of pharmacy and bioallied sciences* [Internet]. 2016 Jan 1;8(5):71–1. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5074045/>
9. Gravina MA, Brunharo IHVP, Canavarro C, Elias CN, Quintão CCA. Mechanical properties of NiTi and CuNiTi shape-memory wires used in orthodontic treatment. Part 1: stress-strain tests. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2013 Aug;18(4):35–42.
10. Price R. From the past to the present. *Radiography*. 2009;15(4):275.

11. Alam M, Huda Abutayyem, Kanwal B, HaythamJamil Alswairki, YahyaAbdullah Alogaibi. Metallurgy in orthodontic—A systematic review and meta-analysis on the types of metals used. Journal of orthodontic science [Internet]. 2023 Jan 1 [cited 2024 Apr 11];12(1):50–0. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10597363/>
12. Hernández GS, Espínola GS, Gayosso CÁ, Furuki HK. Estudio comparativo de resistencia a la fatiga de arcos de níquel-titanio de tres marcas. Revista Mexicana de Ortodoncia. 2014 Oct;2(4):253–6.
13. Bavikati VN. Evaluation of Mechanical and Physical Properties of Clinically Used and Recycled Superelastic NiTi Wires. JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH [Internet]. 2016; Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5020169/>
14. Teramoto, Alberto. *SENTALLOY® the Story of Superelasticity*. 2010.
15. Torres V. Propiedades mecánicas de tres marcas de arcos ortodóncicos de níquel-titanio termoactivados. Estudio in vitro. Odontología Sanmarquina [Internet]. 2014 Jan 1 [cited 2024 Apr 29]; Available from: https://www.academia.edu/113404519/Propiedades_mec%C3%A1nicas_de_tres_marcas_de_arcos_ortod%C3%B3ncicos_de_n%C3%ADquel_titanio_termoactivados_Estudio_in_vitro
16. Arango-Santander S, Ramírez-Vega C. Titanio: aspectos del material para uso en ortodoncia. Revista Nacional de Odontología. 2016 Jun 7;12(23):63–71.

17. Mallory DC, English JD, Powers JM, Brantley WA, Bussa HI. Force-deflection comparison of superelastic nickel-titanium archwires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2004 Jul;126(1):110–2.
18. Yu JM, Kang SY, Lee JS, Jeong HS, Lee SY. Mechanical Properties of Dental Alloys According to Manufacturing Process. *Materials* [Internet]. 2021 Jun 17;14(12):3367. Available from: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/12/3367/pdf>
19. Abdelrahman RSh, Al-Nimri KS, Al Maaitah EF. A clinical comparison of three aligning archwires in terms of alignment efficiency: A prospective clinical trial. *The Angle Orthodontist* [Internet]. 2014 Aug 4;85(3):434–9. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8612438/>
20. Albuquerque CG de, Correr AB, Venezian GC, Santamaria M, Tubel CA, Vedovello SAS. Deflection and Flexural Strength Effects on the Roughness of Aesthetic-Coated Orthodontic Wires. *Brazilian Dental Journal* [Internet]. 2017; 28:40–5. Available from: <https://www.scielo.br/j/bdj/a/DBKMyNjJkqJgGRxLm75JnHQ/?lang=en>
21. Kusy RP. Orthodontic Biomaterials: From the Past to the Present. *The Angle Orthodontist* [Internet]. 2002 Dec;72(6):501–12. Available from: <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/72/6/501/57656/Orthodontic-Biomaterials-From-the-Past-to-the>
22. Sarul M, Kowala B, Antoszezwska J. Comparison of elastic properties of nickel-titanium orthodontic archwires. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*:

Official Organ Wroclaw Medical University [Internet]. 2013;22(2):253–60.

Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23709382/>

23. Hernández GS, Espínola GS, Gayosso CÁ, Furuki HK. Estudio comparativo de resistencia a la fatiga de arcos de níquel-titanio de tres marcas. Revista Mexicana de Ortodoncia. 2014 Oct;2(4):253–6.

24. Tian K, Darvell BW. Determination of the flexural modulus of elasticity of orthodontic archwires. Dental Materials [Internet]. 2010 Aug;26(8):821–9.

Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20537375/>

25. Rock WP, Wilson HJ. Forces exerted by orthodontic aligning archwires. British Journal of Orthodontics [Internet]. 1988 Nov 1;15(4):255–9. Available from:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3203100/>

26. Hain M, Dhopatkar A, Rock P. The effect of ligation method on friction in sliding mechanics. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics [Internet]. 2003 Apr;123(4):416–22. Available from:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12695769/>

27. Lin L, Currier GF, Kadioglu O, Florez FLE, Thompson DM, Khajotia SS. Flexural properties of rectangular nickel-titanium orthodontic wires when used as ribbon archwires. The Angle Orthodontist. 2018 Aug 3;89(1):54–63.

ANEXOS

Tabla 1. Tabla estadística de resultados d'Agostino y ANOVA

	GRUPO	n	Mean	Standard Error	Median	Maximum	Minimum	IQR	d'Agostino- Pearson p- value	ANOVA: Single Factor p- value
RESISTENCIA TENSIL (F/mm2=Mpa)	(Forestadent)	8	1224,94	10,80	1224,90	1271,95	1188,90	47,28	0,595	0,000
	(Ormco)	8	1300,16	8,16	1303,04	1337,96	1264,12	24,64	0,979	
	(MEM)	8	1110,98	3,62	1111,77	1125,20	1089,28	5,60	0,042	
	(Meite Dental)	8	1312,13	19,12	1313,55	1380,63	1210,39	53,00	0,443	
	(3M)	8	1184,86	7,03	1182,15	1220,22	1152,68	13,23	0,607	
	(Forestadent)	8	541,89	6,90	541,92	567,63	517,83	34,37	0,276	0,000
	(Ormco)	8	568,19	6,55	562,51	591,51	546,91	31,83	0,202	

RESISTENCIA A LA FLEXION (F/mm2=Mpa)	(MEM)	8	553,88	6,35	557,91	576,59	530,70	30,91	0,295	
	(Meite Dental)	8	833,91	7,61	832,64	862,53	805,82	30,59	0,432	
	(3M)	8	710,11	8,88	700,75	754,48	687,54	37,25	0,483	
LIMITE DE MODULO ELASTICO A TENSION (N/mm2=Mpa)	(Forestadent)	8	15667,83	768,52	15724,20	18676,10	12559,50	3540,05	0,559	0,000
	(Ormco)	8	22976,76	1571,90	21405,20	29129,80	18336,90	8060,00	0,218	
	(MEM)	8	25101,04	1125,53	25074,60	31232,30	20955,70	2914,88	0,384	
	(Meite Dental)	8	29115,85	2154,16	31084,20	36593,00	19549,40	8223,30	0,577	
	(3M)	8	25086,55	1236,71	24253,65	30889,10	21491,40	4940,45	0,580	
DEFORMACION A TENSION (%)	(Forestadent)	8	23,29	0,80	23,50	26,47	20,29	2,58	0,837	0,953
	(Ormco)	8	23,03	0,48	23,45	24,45	20,49	1,71	0,372	
	(MEM)	8	23,48	0,36	23,74	24,95	21,49	0,78	0,220	
	(Meite Dental)	8	22,90	0,73	23,43	25,19	18,42	1,17	0,013	

	(3M)	8	22,95	0,55	23,50	24,60	20,79	2,85	0,206	
DEFORMACION A FLEXION (%)	(Forestadent)	8	5,44	0,20	5,39	6,23	4,64	0,95	0,527	0,968
	(Ormco)	8	5,56	0,19	5,71	6,17	4,65	0,58	0,535	
	(MEM)	8	5,49	0,16	5,58	6,05	4,65	0,57	0,532	
	(Meite Dental)	8	5,46	0,19	5,41	6,40	4,65	0,57	0,797	
	(3M)	8	5,60	0,15	5,55	6,12	4,93	0,50	0,845	

Tabla 2. Tabla estadística de resultados de TuKey

group 1	group 2	RESISTENCIA TENSIL (F/mm2=Mpa)		RESISTENCIA FLEXION (F/mm2=Mpa)		LIMITE DE MODULO ELASTICO A TENSION (N/mm2=Mpa)		DEFORMACION A TENSION (%)		DEFORMACION A FLEXION (%)	
		mean	p-value	mean	p-value	mean	p-value	mean	p-value	mean	p-value
(Forestadent)	(Ormco)	75,22	0,000	26,30	0,104	7308,94	0,009	0,26	0,998	0,26	0,998
(Forestadent)	(MEM)	113,96	0,000	11,99	0,774	9433,21	0,000	0,19	0,999	0,19	0,999
(Forestadent)	(Meite Dental)	87,19	0,000	292,02	0,000	13448,03	0,000	0,39	0,991	0,39	0,991
(Forestadent)	(3M)	40,08	0,100	168,23	0,000	9418,73	0,000	0,34	0,994	0,34	0,994
(Ormco)	(MEM)	189,18	0,000	14,31	0,642	2124,28	0,837	0,45	0,984	0,45	0,984
(Ormco)	(Meite Dental)	11,97	0,939	265,73	0,000	6139,09	0,038	0,13	1,000	0,13	1,000

(Ormco)	(3M)	115,30	0,000	141,93	0,000	2109,79	0,840	0,08	1,000	0,08	1,000
(MEM)	(Meite Dental)	201,15	0,000	280,03	0,000	4014,81	0,307	0,58	0,960	0,58	0,960
(MEM)	(3M)	73,87	0,000	156,24	0,000	14,49	1,000	0,53	0,970	0,53	0,970
(Meite Dental)	(3M)	127,27	0,000	123,80	0,000	4029,30	0,303	0,05	1,000	0,05	1,000

Tabla 3. Características de la muestra

GRUPO	TIPO DE ALEACION	DISTRIBUIDOR	GAMA
MEM (Mem dental)	NiTi Termo (cobre níquel titanio)	Ixion	Baja 7.500/ud
OR (Ormco)	Cooper NiTi 35°	Damon	Alta 21.000/ud
MD (Meite Dental)	NiTi Natural Superelastic	China	Baja 5.000/pq
FOR (Forestadent)	N/A	Forestadent	Alta 19.000/ud
3M	NiTi termo activado superelastic	3M	Media 11.000/ud

Tabla 4. Tabla de propiedades analizadas con diferencias entre marcas

DEFORMACIÓN	Diferencias	No diferencias
		Ninguna aleación
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	Diferencias	No diferencias
	en todas las aleaciones	Forestadent - Ormco
		Forestadent - Mem
		Ormco - Mem

LÍMITE DE MODULO ELÁSTICO	Diferencias	No diferencias
	Forestadent-Ormco	
	Forestadent – Mem	
	Forestadent – Meite	
	Forestadent – 3M	
	Ormco – Meite	
RESISTENCIA TENSIL	Diferencias	No diferencias
	todas las aleaciones	

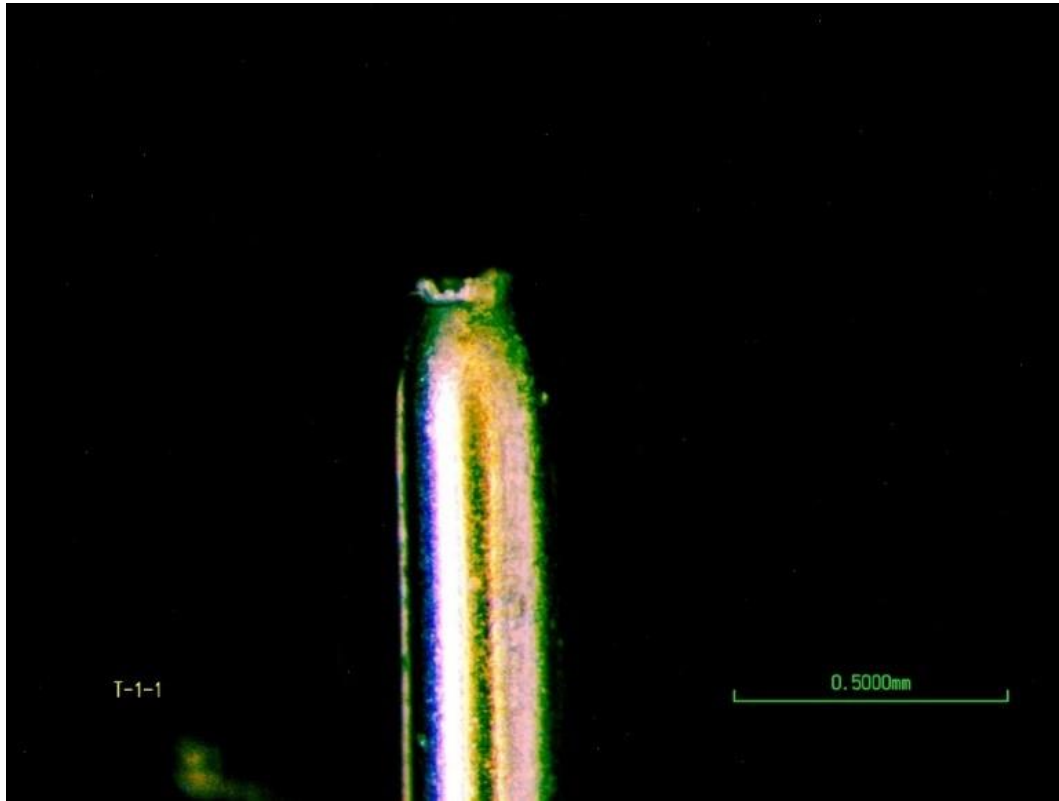


Imagen 1. Zona de deformación del material

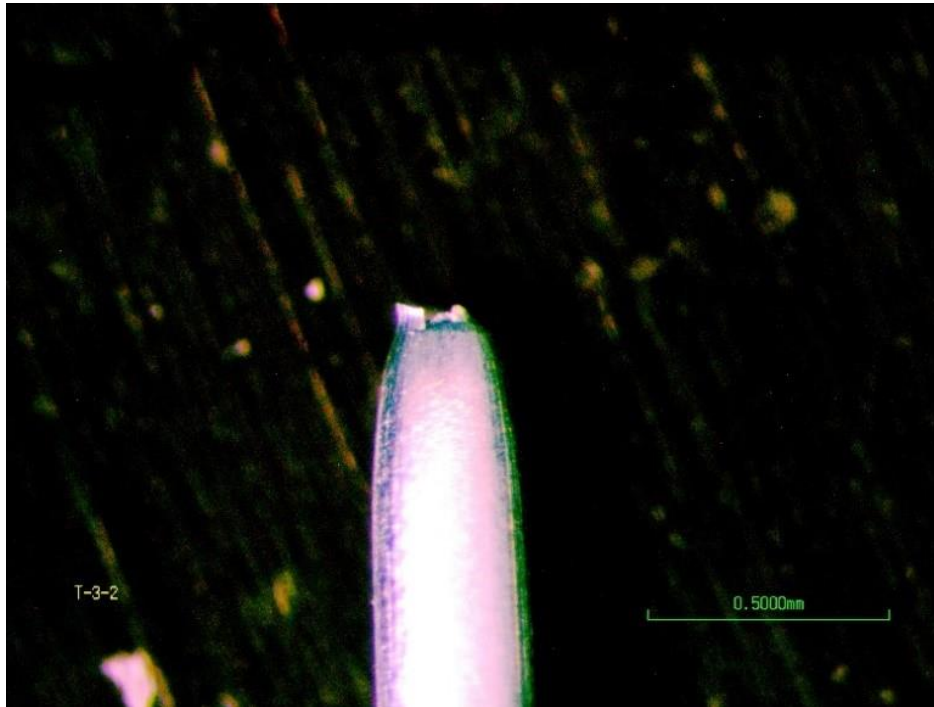
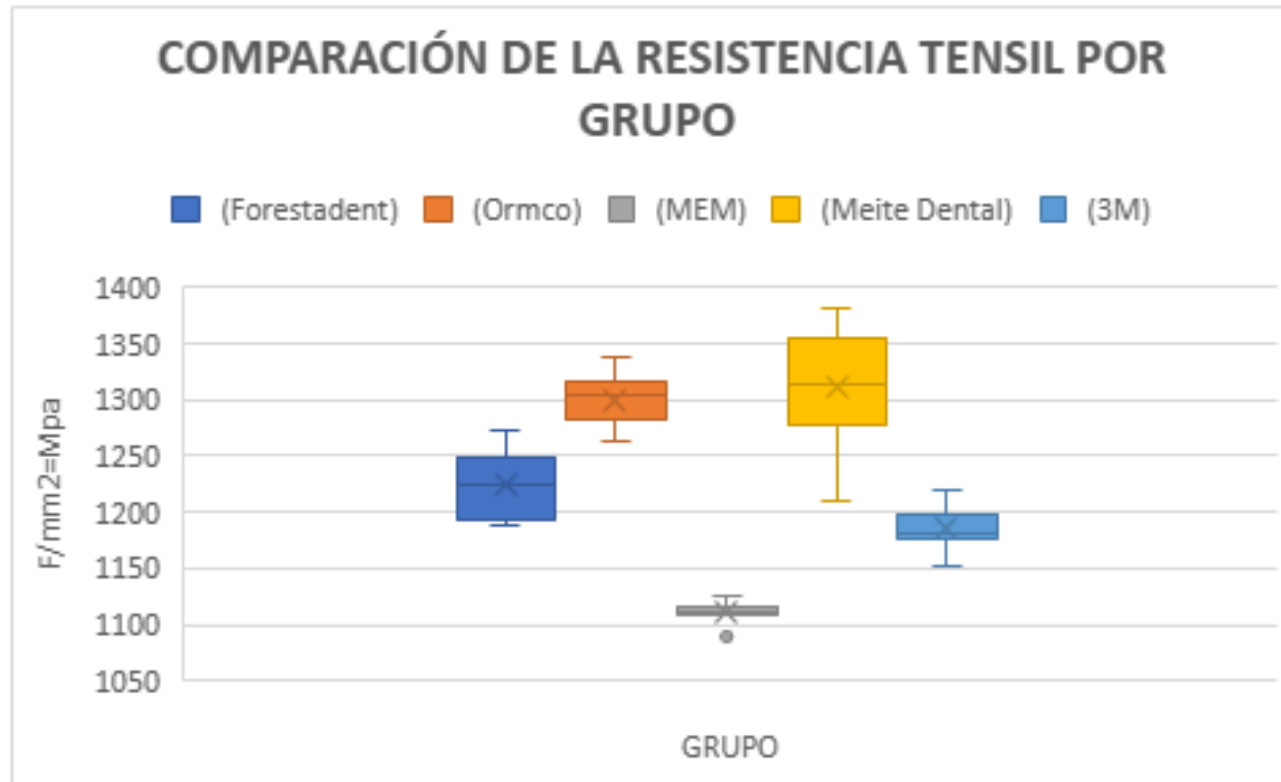
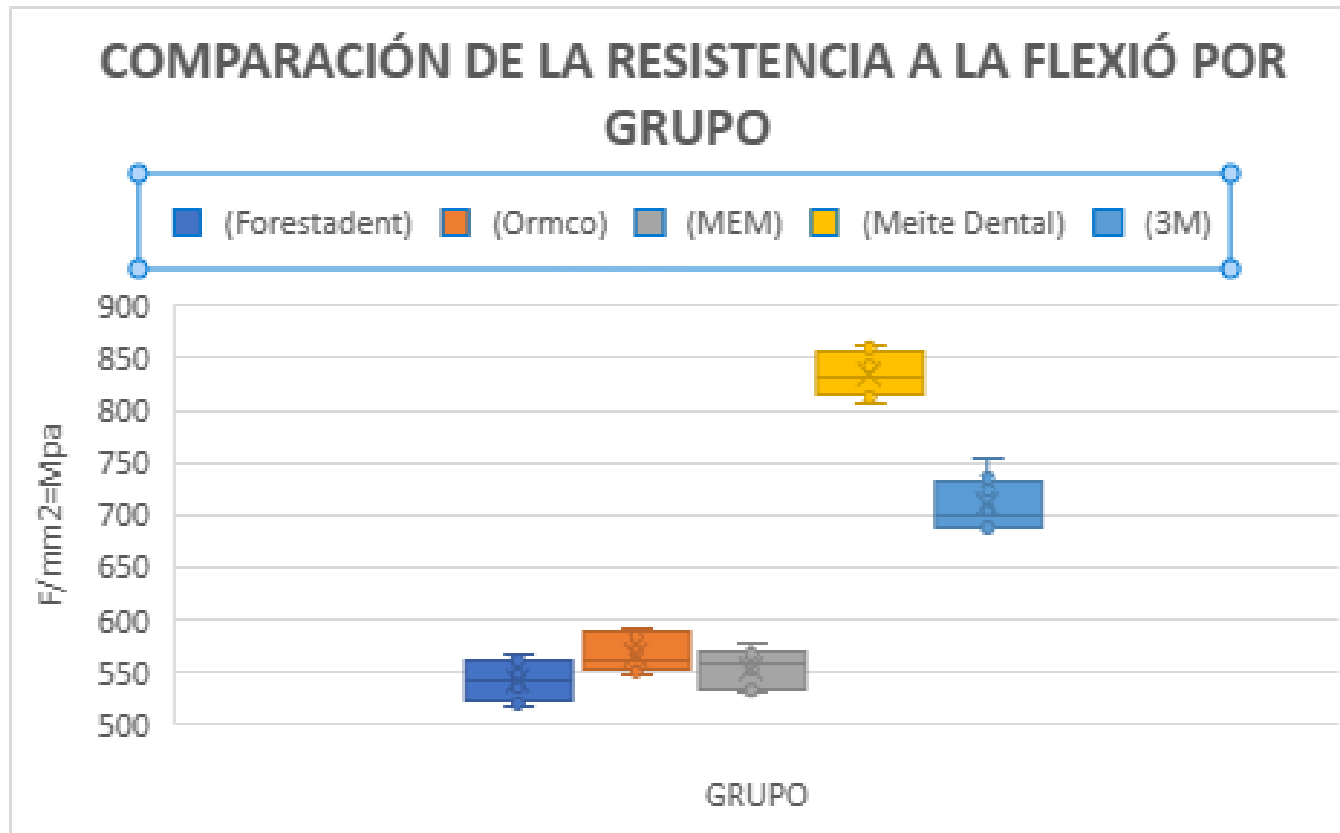


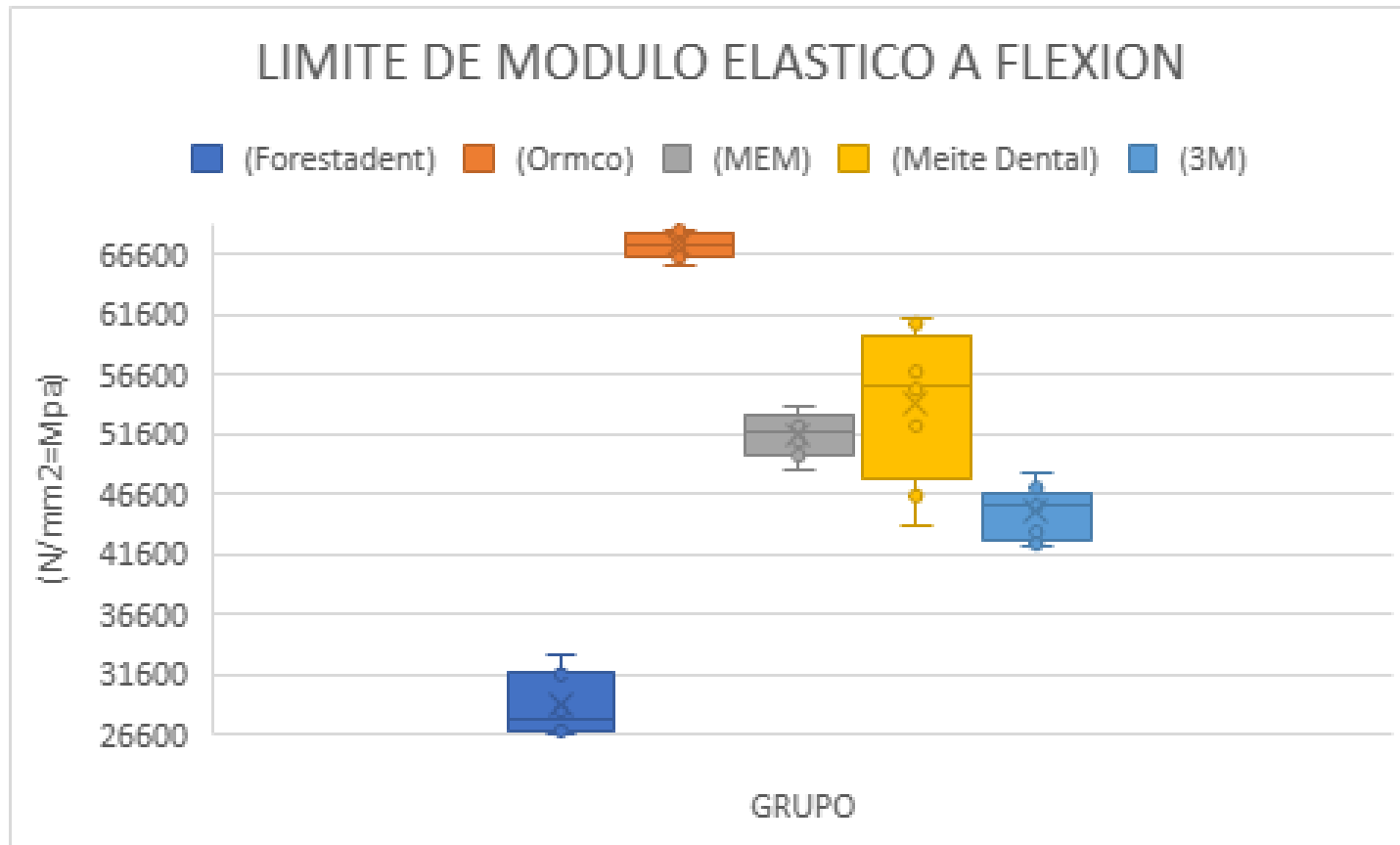
Imagen 2. Zona de deformación del material



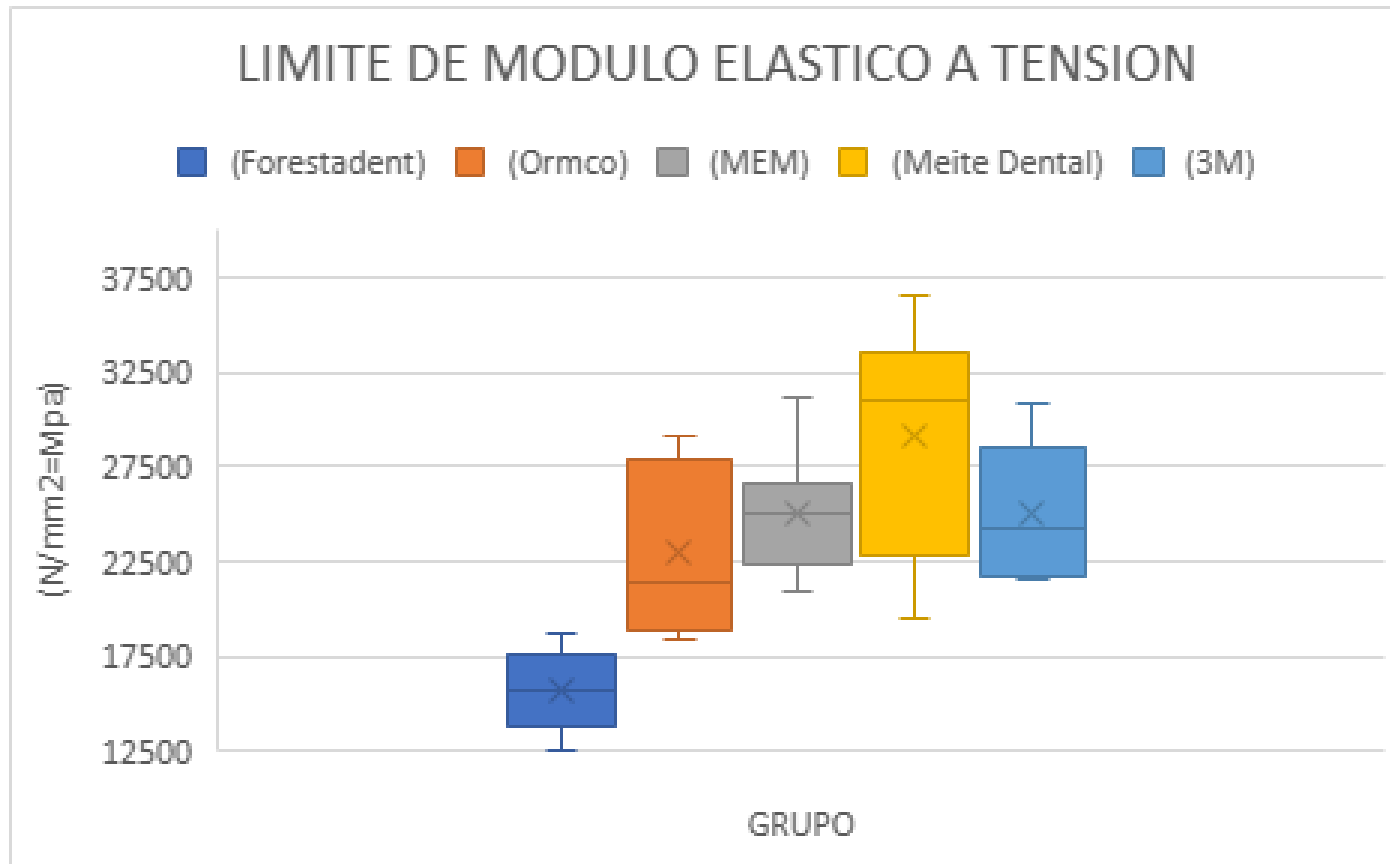
Grafica 1. Comparación de la resistencia tensil por grupo



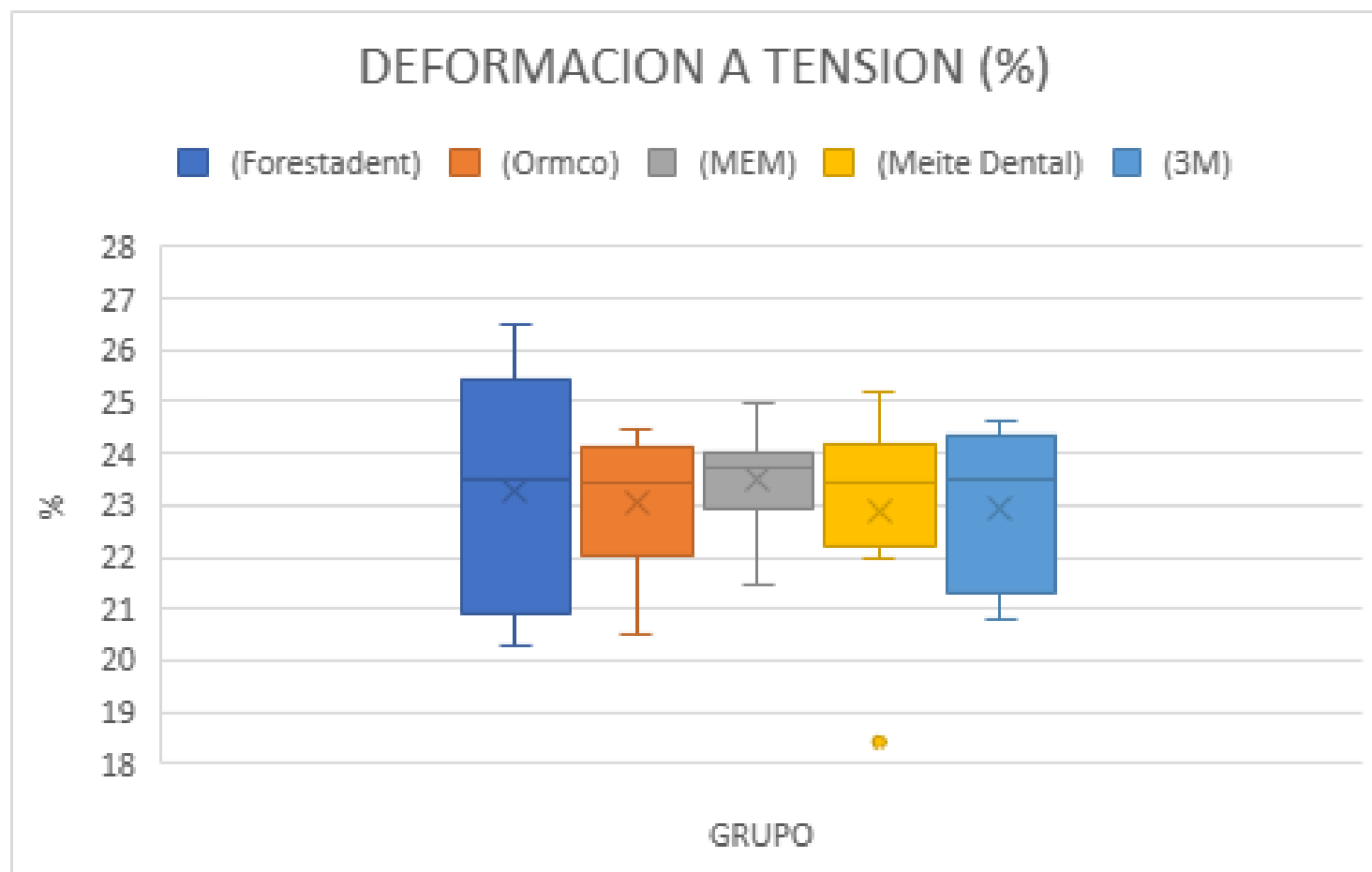
Grafica 2. Comparación de la resistencia a la flexión por grupo



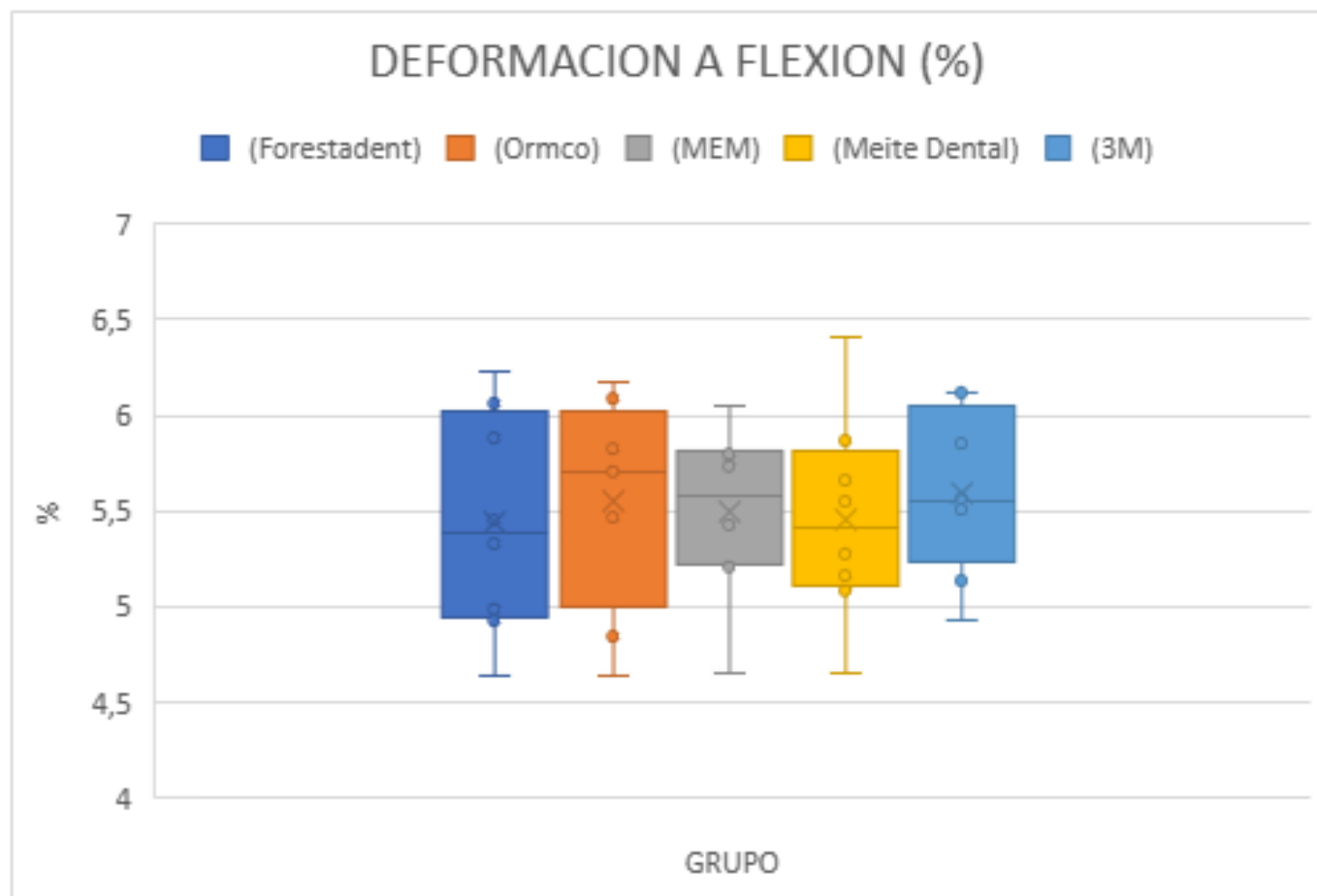
Grafica 3. Límite de modulo elástico flexión



Grafica 4. Límite de modulo elástico a tensión



Grafica 5. Deformación a tensión



Grafica 6. Deformación a flexión

RECOMENDACIONES

- Se sugieren agrupar las aleaciones de acuerdo con su composición para evaluar mejor sus resultados.
- Se recomienda estudios de las propiedades físicas de los materiales termo activados controlando las temperaturas de los alambres. Así como las distintas variantes que las marcas nos ofrecen, para poder hacer una revisión completa de todas las características físicas y mecánicas que ellos presentan.
- Adicionalmente se sugiere evaluar las características de superficie de los alambres, considerando que Forestadent afirma ser de calidad superior por darle un tratamiento de superficie especial a sus alambres.