



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
POLÍMERO PEEK PARA EL DISEÑO DE ARCOS DE
ORTODONCIA ESTÉTICOS

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

ESPECIALISTA EN ORTODONCIA

P R E S E N T A:

ELIZABETH MIRAMONTES ALMARAZ

TUTOR: Mtro. GABRIEL SÁEZ ESPÍNOLA

ASESOR: Mtra. ARCELIA SÁNCHEZ MELÉNDEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLÍMERO PEEK PARA EL DISEÑO DE ARCOS DE ORTODONCIA ESTÉTICOS

Miramontes E¹, Sáez G², Meléndez A.³

¹Residente 3° Grado de Ortodoncia. DEPel. UNAM, ²Profesor Ortodoncia. DEPel. UNAM, ³Profesor Metodología Investigación. DEPel. UNAM.

Resumen

La siguiente investigación busca esclarecer por medio de la prueba mecánica de tres puntos de flexión si el material polimérico PEEK tiene las propiedades mecánicas suficientes para su uso como arco de ortodoncia estético. Polyetheretherketone (PEEK) ha atraído mucha atención en el campo de la odontología como alternativa a las aleaciones metálicas tanto en el área de Prostodoncia como en la de diagnóstico en 3D y recientemente en el área de Ortodoncia.

Objetivo.

Determinar las propiedades físicas y mecánicas del polímero PEEK para el diseño de arcos de ortodoncia estéticos y compararlas con acero inoxidable, níquel titanio y fibra de vidrio como materiales estándar.

Material y método.

Se utilizaron 40 muestras, conformadas por 4 grupos de 10 arcos de calibre 0.018" de Acero inoxidable (AO Corp.), Níquel titanio (AO Corp.), Fibra de vidrio (Dentaurum) y PEEK (inMateriis), para ser sometidos a la prueba de tres puntos de flexión y poder evaluar las propiedades de fuerza máxima, módulo elástico, histéresis y deformación plástica de los materiales. La información se presenta en términos de promedios, desviaciones estándar (\pm DE) y proporciones, para determinar las diferencias de promedios de las propiedades mecánicas de los distintos materiales utilizados como arcos de ortodoncia en comparación con el nuevo material polimérico, se aplicó la prueba ANOVA con una significancia del .05 y para determinar por pares que materiales son diferentes entre sí se aplicó la prueba Bon Ferroni.

Resultados.

Se determinó que las diferencias de promedio observada entre los cuatro materiales si son estadísticamente significativas ($p=000$)

Sin embargo, al compararlas con la prueba Bon Ferroni no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la deformación permanente entre los grupos B, C y D. Podemos observar que el material con el menor valor de histéresis, así como poca o nula deformación plástica fue PEEK lo que se traduce clínicamente en un movimiento ligero y constante, aunque de poca intensidad.

Conclusiones.

De acuerdo a los resultados del estudio podemos concluir que la fuerza producida por PEEK aunque es de menor rango con comparación con el níquel titanio se encuentra dentro de los valores mencionados por diversos autores para un movimiento dental biológico óptimo ya que la fuerza que se le aplicará a un diente durante su activación se encontrará muy cerca o será prácticamente la misma ejercida sobre el órgano dentario durante su desactivación, produciéndose un movimiento dental efectivo y predecible.

Palabras Clave. *Arcos de ortodoncia, flexión, PEEK, prueba de tres puntos de flexión, histéresis.*

Introducción.

Un tratamiento de ortodoncia requiere aparatología que genere fuerzas ligeras y constantes las cuales son logradas gracias a los brackets y a la presión ejercida por los arcos de ortodoncia. Los arcos de ortodoncia son elementos activos que nos permiten almacenar energía que es liberada para realizar los movimientos dentales deseados.

Estos han sido fabricados de diversos materiales, a finales de 1930 el oro fue perdiendo popularidad gracias a la introducción del acero inoxidable en los años 1950's los cuales podían ser fabricados con calibres mucho menores sin embargo no fue mucho el tiempo que predominó en el mercado gracias a la novedosa

introducción del níquel titanio para 1960 revolucionando la ortodoncia gracias a sus propiedades de memoria de forma y superelasticidad.^{1,2} En las últimas décadas se han realizado diversos intentos por fabricar arcos estéticos, actualmente los arcos metálicos con recubrimientos estéticos y los compuestos por fibra de vidrio siguen siendo los más populares en el mercado, sin embargo siguen presentando diversas complicaciones por lo que su uso es bastante limitado dejando en desconcierto esta área de la ortodoncia lo cual se vuelve un problema para los ortodoncistas ya que las exigencias de los pacientes por materiales menos visibles pero igualmente efectivos aumentan día con día en la práctica clínica.^{3,4}

En los últimos años diversos autores desarrollaron prototipos de arcos de filamentos de fibra de vidrio reforzados con composite o nylon, pero con poco éxito debido a que exhiben considerable distorsión y doblamiento que termina causando la disrupción de la interface de las fibras con el polímero disminuyendo sus propiedades mecánicas por lo que han sido descontinuados por presentar pobre estabilidad, además su precio es bastante elevado lo cual los hace poco accesibles.^{3,5}

En el año 2000, Fallis and Kusy desarrollaron diversos arcos estéticos tanto redondos como cuadrados, elaborados con fibras de vidrio S2 embebidas en una matriz polimérica, estos fueron sometidos a pruebas mecánicas y morfológicas comparándolos con aleaciones como acero inoxidable, níquel titanio y beta titanio se observó que los arcos de fibra de vidrio obtenidos mediante pultrusión tuvieron valores de fuerza similares al níquel titanio y beta titanio en las pruebas mecánicas.⁵

En el 2016 Alobeid A. y cols. Sometieron a prueba de tres puntos de flexión arcos de fibra de vidrio y níquel titanio simples y estéticos donde se encontraron los valores más bajos para los arcos de fibra de vidrio (0.4N) a 1mm de deflexión, mientras los de níquel titanio ya sea recubiertos o no mostraron valores (2-2.2N)

semejantes entre ellos, pero mucho mayores a los de fibra de vidrio y a los recomendados clínicamente.⁶

Maekawa M et al. nos proponen en su artículo del 2015, tres nuevos materiales plásticos que pudieran cumplir con las características antes mencionadas, para su uso como arcos de ortodoncia.⁷

En este estudio, se someten a pruebas tres tipos de súper plásticos (SEPs) los cuales proveen buenas propiedades mecánicas, químicas y estéticas, se observa que PEEK tiene la carga flexural más alta con miserable deformación, en este artículo los filamentos de SEP's que se utilizaron tenían casi el doble del calibre de los arcos metálicos con los que fueron comparados, por lo que el autor considera que si se disminuyera el calibre de PEEK la fuerza ortodóncica liberada probablemente disminuiría hasta 1/5 en comparación con los arcos de NiTi, aproximadamente de 0.40-0.80 N siendo una excelente aproximación a la fuerza ortodóncica óptima.⁷

Tada Yoshida y cols. Evaluaron las propiedades mecánicas de tres calibres de arcos de PEEK donde se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la deformación permanente y la fricción estática entre Ni-Ti y los 3 arcos de PEEK sugiriendo que PEEK puede ser un material aplicable para tratamientos de ortodoncia.⁸

Material y método

El estudio se llevó a cabo en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el Laboratorio de Biomateriales Dentales.

Se conformaron 4 grupos de estudio: grupo A arcos de Acero inoxidable (AO Corp.), grupo B arcos de Níquel titanio (AO Corp.), grupo C arcos de Fibra de vidrio

(Dentaurum) y grupo D arcos de PEEK (inMateriis) para determinar propiedades como fuerza máxima, modulo elástico, histéresis y deformación plástica. (Figura 1).



Figura 1. Acero inoxidable (AO Corp.), Níquel titanio (AO Corp.) y Fibra de vidrio (Dentaurum).

Cada grupo se conformó por 10 muestras, la decisión del número de muestras se fundamentó en muestreo por criterio.

Se obtuvieron barras de PEEK de 0.018" mediante extrusión de una impresora 3D proporcionadas por la Empresa inMateriis

Los criterios de inclusión fueron todos aquellos arcos que correspondieran a la marca mencionada arriba y tuvieran un grosor uniforme de 0.018" y 30 mm de longitud. Los criterios de exclusión fueron todos aquellos arcos que no correspondieran a esa marca, calibre y longitud o aquellos que estuvieran dañados a simple vista.

Las muestras se sometieron a prueba de tres puntos de flexión para evaluar las propiedades de fuerza máxima, módulo elástico, histéresis y deformación plástica de los materiales. Siendo PEEK el material en cuestión, se comparará este con el acero inoxidable, el Níquel Titanio y la Fibra de Vidrio.

Cada muestra se calibró en tres puntos: extremos y parte media mediante un Calibrador Digital Mitutoyo, para así poder establecer un promedio de grosor uniforme con una precisión de 0.005mm. (Figura 2).



A.



B.

Figura 2. A. y B. Calibración de muestras mediante tronillo micrométrico (Mitutoyo).

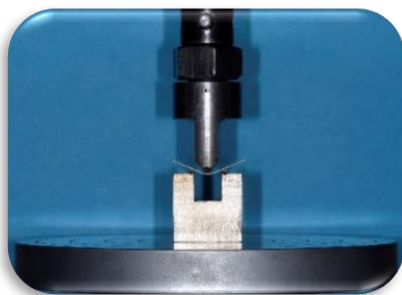
Se realizaron pruebas de flexión piloto en la Máquina Universal de Pruebas Instron a 3mm de deflexión con una velocidad de carga de 1mm/min y distancia entre los soportes de 13mm, donde se observó que las muestras de acero inoxidable sufrían considerable deformación plástica, por lo que se optó por disminuir la distancia de deflexión manteniendo la misma distancia entre los soportes, así como la velocidad de carga.

Las propiedades flexurales se obtuvieron mediante la prueba de tres puntos de flexión utilizando la máquina universal para pruebas mecánicas Instron (Modelo 5567, Norwood, USA: SGS US testing Company Inc.) y de acuerdo a la norma ISO 15841:2014 y la ANSI/ADA Especificación No. 32:2010 para Odontología - Alambres de uso en ortodoncia. (Figura 3).

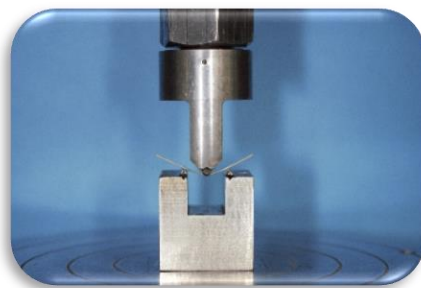


Figura 3. Máquina Universal de pruebas Instron (Modelo 5567, Norwood, USA: SGS US testing Company Inc.)

Se utilizaron 40 muestras de arcos, cada muestra se colocó en un soporte de metal con dos apoyos de 1.77mm de diámetro, siendo la distancia entre los dos soportes de 13mm, a una temperatura de 37°C. La velocidad de carga fue de 1mm/min y la deflexión total de 2mm. (Figura 4).



A.



B.

Figura 4. Pruebas de tres puntos de flexión. A. Muestra de fibra de vidrio. B. Muestra de PEEK. Distancia de soportes 13mm. Diámetro de soportes 1.77mm.

La información se presenta descriptivamente en términos de promedios, DE (\pm) y proporciones, para determinar las diferencias de promedios de las propiedades mecánicas de los distintos materiales utilizados como arcos de ortodoncia en comparación con el nuevo material polimérico, se aplicó la prueba ANOVA con una significancia del .05 y para determinar por pares que materiales son diferentes entre sí se aplicó la prueba Bon Ferroni.

Resultados

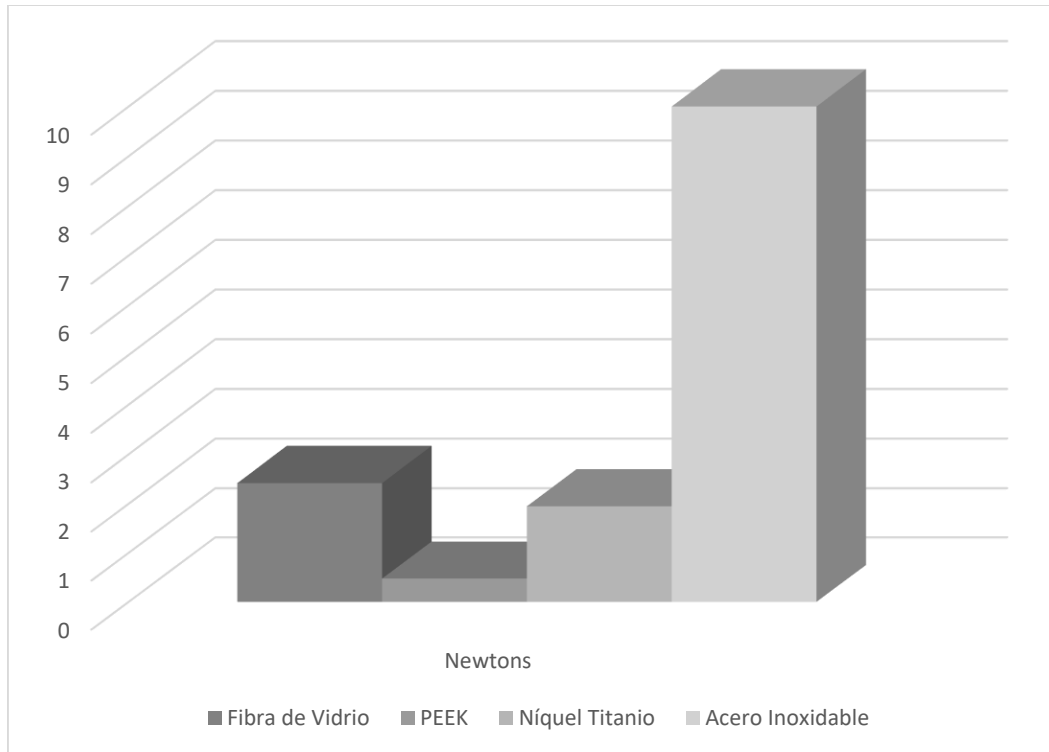
Se observan diferencias estadísticamente significativas entre los 4 grupos al comparar las mediciones de fuerza máxima y módulo elástico. En la prueba de comparación por grupos podemos observar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos B, C y D en los resultados de deformación plástica e histéresis.

Fuerza Máxima

En la **Tabla 1** se observa que el material que obtuvo el promedio de fuerza máxima más elevado, fue el de acero inoxidable con un promedio de 10.025N mientras PEEK fue el material que obtuvo el menor valor con un promedio de 0.475N.

Tabla 1. Distribución promedio de fuerza máxima de los arcos ortodóncicos de 4 materiales. DPel 2019			
Acero Inoxidable	Níquel titanio	Fibra de Vidrio	PEEK
Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
10.02N (DE \pm 0.374N)	1.94N (DE \pm 0.120N)	2.41N (DE \pm 0.315N)	0.47N (DE \pm 0.090N)

Grafica 1. Distribución promedio de fuerza máxima en Newtons en arcos de Acero Inoxidable, Níquel Titanio, Fibra de Vidrio y PEEK. DPel 2019



Se determinó que las diferencias de promedio observada entre los cuatro materiales si son estadísticamente significativas ($p=000$), la comparación por pares se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Comparación de medias por pares y significancia.				
Arco	Material	Signif.	Intervalos de confianza (95%)	
			Lim. inf.	Lím. sup.
Niq. titanio	Fibra de vidrio	.001	.149	.789
	PEEK	.000	-1.793	-1.153
	Acero inoxidable	.000	7.791	8.430
Fibra de vidrio	Níquel titanio	.001	-.789	-.149
	PEEK	.000	-2.262	-1.622
	Acero Inoxidable	.000	7.321	7.961
PEEK	Níquel titanio	.000	1.153	1.793
	Fibra de Vidrio	.000	1.622	2.262
	Acero inoxidable	.000	9.264	9.904
Acero inoxidable	Niquel titanio	.000	-8.430	-7.791
	Firbra de Vidrio	.000	-7.961	-7.321
	PEEK	.000	-9.904	-9.264

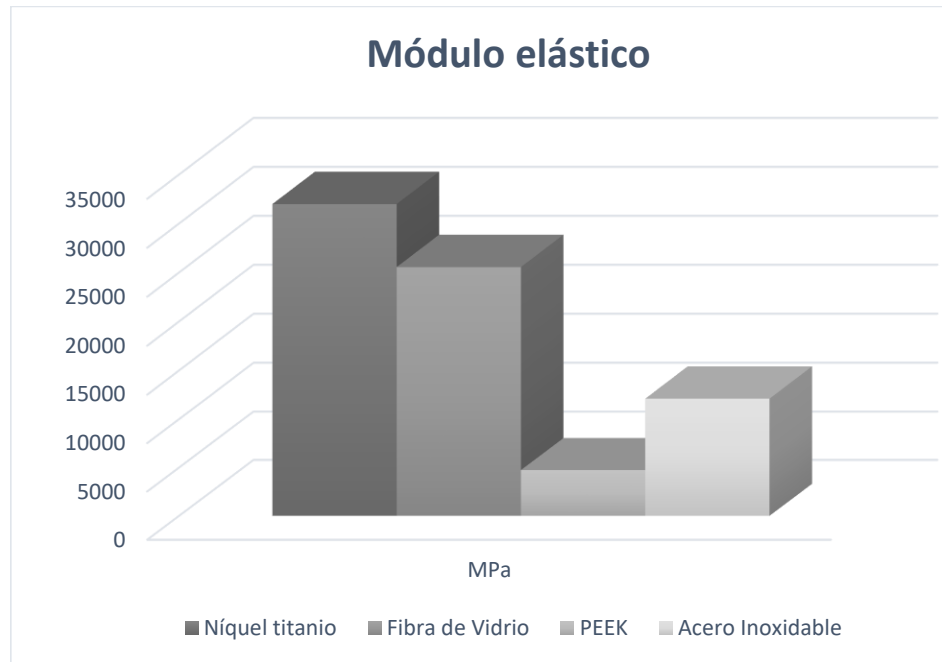
**La diferencia de medias es significativa al .05%*

Modulo elástico

El material que demostró tener el modulo elástico más alto fue el níquel titanio con un promedio de 31976.67 MPa siendo el más bajo nuevamente el PEEK con 4732.77 MPa mostrándolo como un material resilente, el cual nos provee de menor fuerza y rigidez.

Tabla 3. Distribución promedio de módulo elástico de los arcos ortodóncicos de 4 materiales. DPel 2019			
PEEK	Fibra de Vidrio	Acero Inoxidable	Níquel Titanio
Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
4732.77MPa (DE± 918.48MPa)	25544.40MPa (DE± 4517.88MPa)	0.287J/mm ² (DE± 0.022J/mm ²)	31976.67MPa (DE± 5696.19MPa)

Grafica 2. Distribución promedio de módulo elástico en MPa en arcos de Acero Inoxidable, Níquel Titanio, Fibra de Vidrio y PEEK. DPel 2019

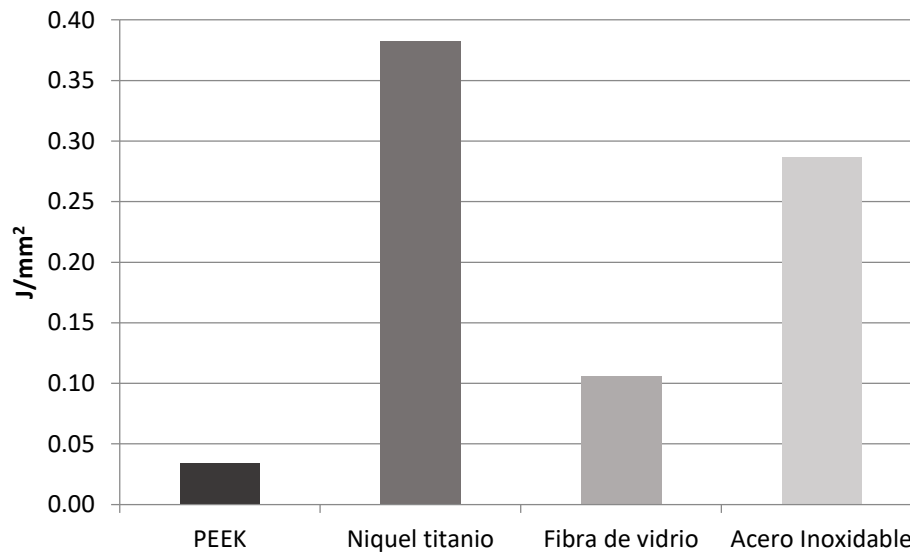


Histéresis

Así mismo encontramos que el material con el menor valor de histéresis fue PEEK con un promedio de 0.034 J/mm^2 lo que se traduce clínicamente en un movimiento ligero y constante, aunque de poca intensidad, por el contrario, el valor más alto fue el níquel titanio con un promedio de 0.383 J/mm^2 el cual nos demuestra la gran cantidad de energía que almacena al material.

Tabla 4. Distribución promedio de histéresis de los arcos ortodóncicos de 4 materiales. DPel 2019			
PEEK	Fibra de Vidrio	Acero Inoxidable	Níquel Titanio
Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
0.034J/mm ² (DE± 0.013J/mm ²)	0.106J/mm ² (DE± 0.048J/mm ²)	0.287J/mm ² (DE± 0.022J/mm ²)	0.383J/mm ² (DE± 0.016J/mm ²)

Grafica 2. Distribución promedio de histéresis en J/mm² en arcos de Acero Inoxidable, Níquel Titanio, Fibra de Vidrio y PEEK. DPel 2019

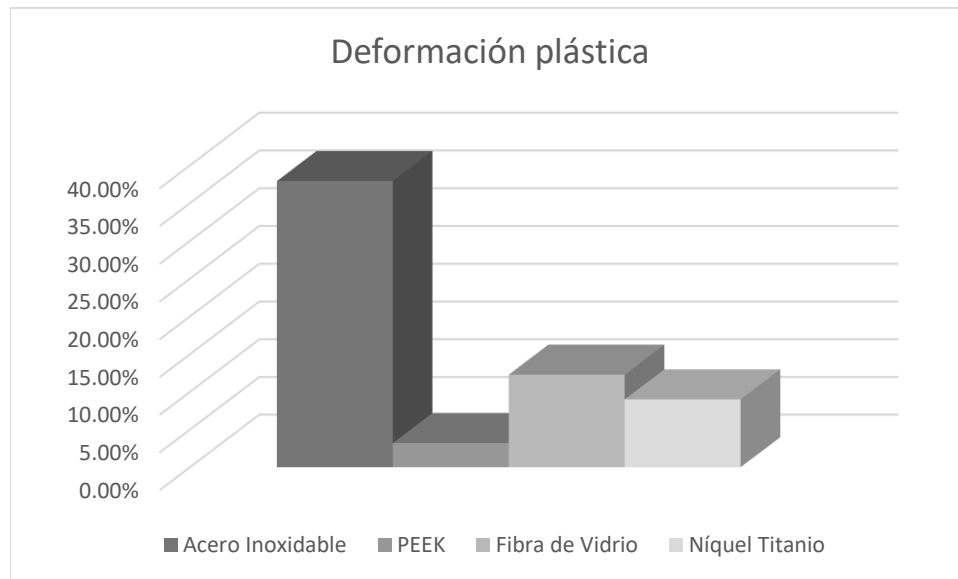


Deformación plástica

Por último, observamos en la **Grafica 2** que el material que mostró la mayor cantidad de deformación plástica fue el acero inoxidable con un promedio de 37.92% debido a su alta rigidez, siendo el menor PEEK con 3.21% y estando el níquel titanio y fibra de vidrio con 9% y 12.28% respectivamente.

Tabla 5. Distribución promedio de porcentajes de deformación plástica de los arcos ortodóncicos de 4 materiales. DPel 2019			
PEEK	Fibra de Vidrio	Acero Inoxidable	Níquel Titanio
Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
3.21% (DE± 0.019%)	12.28% (DE± 0.089%)	37.92% (DE± 0.021%)	9% (DE± 0.221%)

Grafica 2. Distribución promedio de porcentajes de deformación plástica en arcos de arcos de Acero Inoxidable, Níquel Titanio, Fibra de Vidrio y PEEK. DPel 2019



Discusión

Los resultados del estudio se comportan de manera muy similar a los reportados en los de Maekawa M et. al⁷ en donde se menciona que si se disminuye el calibre de los alambres de PEEK nos darán fuerzas ligeras estando dentro de los valores óptimos descritos para el movimiento dental durante las etapas de alineación y nivelación según lo descrito por Proffit.⁵

Así mismo se puede observar que el material con el menor valor de histéresis fue PEEK con 0.034 J/mm^2 lo que se traduce clínicamente en un movimiento ligero y constante aunque de poca intensidad, al contrario del níquel titanio que obtuvo el valor más alto con 0.383 J/mm^2 lo cual nos demuestra la gran cantidad de energía que almacena al material, sin embargo en la gráfica podemos observar como ambos regresan al punto de inicio de aplicación de la fuerza lo que nos dice que en ambos casos se puede entender como que la fuerza que se le aplicara a un diente durante la activación de este material estará muy cerca o será prácticamente la misma ejercida sobre el órgano dentario durante su desactivación, produciéndose un movimiento dental efectivo y predecible.

Los resultados observados de módulo elástico y fuerza máxima de los grupos B, C y D se encontraron muy similares a los de Alobeid et al.⁷ Y a los de Lopes et al.⁴ dentro de los valores promedio adecuados para arcos de ortodoncia lo que nos demuestra en estos las propiedades de memoria de forma y elasticidad de los materiales plásticos y del níquel titanio.

Para este estudio la longitud de deflexión (2mm) a las que las muestras estuvieron sometidas se obtuvo de las normas ISO 15841:2014 y la ANSI/ADA Especificación No. 32:2010 a diferencia del artículo de Tada Y et al.⁹ donde eligieron medidas arbitrarias para las pruebas de tres puntos y donde se observa que todos los arcos se fracturaron a distancias de 4mm o más de deflexión.

De acuerdo a las gráficas observamos que los arcos de fibra de vidrio (Dentaurum) tienen buenas propiedades mecánicas, bajo modulo elástico, así como baja histéresis siendo un material confiable.

Porque, aunque la estética es importante para el ortodoncista, la función sigue siendo primordial, así, cualquier cosa menor resulta siendo insuficiente.

En las etapas iniciales del tratamiento donde existe considerable apiñamiento dental los arcos poliméricos podrían ser de buena elección, ya que de acuerdo con Varela J et al.²² las características mecánicas que se requieren para esta etapa son alta resiliencia y bajo módulo elástico para poder deformar e introducir los arcos sin dificultad en los brackets sin que exista deformación permanente y al mismo tiempo el arco debería proveer fuerzas constantes y ligeras para mover los dientes a sus nuevas posiciones.

Cacciafesta⁵ en su estudio encontró que los niveles de fuerza más altos los obtuvieron los filamentos de 1.2mm de FRC seguidos por los arcos de 0.019 x 0.026" de níquel titanio, mientras no hubo diferencias significativas entre los filamentos de 0.6mm de FRC y los arcos de 0.017 x 0.025" de níquel titanio.

En el artículo de Maekawa M⁷ del 2014, se encontró que PEEK tiene buenas propiedades mecánicas para ser utilizado como arco de ortodoncia estético no metálico, lo que coincide con los resultados obtenidos mediante esta investigación.

Conclusión

Es importante conocer las propiedades de los materiales que estamos utilizando a diario en nuestros tratamientos de ortodoncia y asegurarnos que estos nos van entregar valores de fuerza adecuados para movimientos dentales efectivos.

La curva de descarga es nuestro principal interés en relación con el movimiento dental, esta nos permite conocer si el material aplicara una fuerza ligera y continua que permita activaciones más largas y que resulte en una reducción del trauma a los tejidos y la incomodidad del paciente facilitando así un movimiento dental efectivo. Por el contrario, fuerzas con magnitudes mucho mayores pueden provocar

la hialinización del ligamento periodontal y causar daño irreversible a los tejidos como resorción radicular.

La prueba de tres puntos de flexión es la prueba más utilizada para observar las propiedades mecánicas de los arcos de ortodoncia de distintos materiales, de acuerdo a los resultados, podemos concluir que el material polimérico PEEK si cuenta con buenas propiedades mecánicas suficientes ya que sus principales características son bajo módulo elástico, baja histéresis con muy poca o prácticamente nula deformación plástica y con valores de fuerza menores a los arcos metálicos pero adecuados para las etapas iniciales de tratamiento ortodóncico y muy similares a los mencionados por diversos autores para un movimiento dental biológico óptimo, siendo un material viable para la fabricación de arcos estéticos de ortodoncia, Además encontramos que los arcos de fibra de vidrio Dentaurum cuentan con muy buenas propiedades mecánicas comparables con la de los arcos de níquel titanio.

Referencias Bibliográficas

1. Kusy R. A review of contemporary archwires: Their properties and characteristics. *The Angle Orthod.* 1997; vol. 67: 197-208.
2. Kusy R, Dilley G, Whitley J, Mechanical properties of stainless Steel orthodontic archwires. *Clin Mat.* 1988; vol. 3. 41-59.
3. Talass M. Optical Fibers as Orthodontic Archwires: Optiflex. *J. Showa Univ. Dent. Soc.*, vol. 15; 1995: 51-58.
4. Lopes D, Trindade C, Autoun R et al. Coating stability and Surface characteristics of esthetic orthodontic coated archwires. *Angle orthod.* 2013; vol. 83: 994-1001.
5. Cacciafesta V, Sfondrini M, Lena A y cols. Force levels of fiber-reinforced composites and orthodontic stainless Steel wires: A 3-point bending test. *AJODO.*2008; 133: 410-3.
6. Fallis D, Kusy R, Variation in flexural properties of photo-pultruded composite archwires: analyses of round and rectangular profiles. *J of Mat. Science: Mat in Medicine*, vol. 11; 2000: 683-693.
7. Alobeid A, Dirk C, Reimann S et al. Mechanical properties of different esthetic and conventional orthodontic wires in bending tests. *J Orofac Orthop.* 2016.
8. Maekawa M, Kanno Z, Wada T et al. Mechanical properties of orthodontic wires made of super engineering plastic. *Dent Mater J.* 2015; vol. 34: 114-119.
9. Tada Y, Hayakawa T, Nakamura Y. Load-Deflection and Friction Properties of PEEK Wires as Alternative Orthodontic Wires. *Materials.*2017; vol. 10, 914.
10. Proffit W. *Ortodoncia Teoría y Práctica.* Editorial Mosby. 2a edición. 1995.
11. Fillmore G, Tomlinson J. Heat Treatment of cobalt-Chromium Alloy Wire. *The Angle Orthod.* 1976; vol. 46: 187-195
12. Andreasen G, Hilleman T. An evaluation of 55 cobalt substituted Nitinol wire for use in orthodontics. *JADA.* 1971; vol. 82: 1373-1375.

13. Miura F, Mogi M, Ohura Y, et al. The super-elastic property of the Japanese NiTi alloy wire for use in orthodontics. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop*, vol. 90; 1986: 1-10.
14. Gatto E, Matarese G, Di Bella G. load-deflection characteristics of superelastic and thermal nickel-titanium wires. *European J of Ortho*. 2013; vol. 35: 115-123
15. Iijima M, Endo K, Ohno H, et al. Effect of Cr and Cu Addition on Corrosion Behavior of ni-Ti Alloys. *Dent Mat. Journal*. Vol. 17; 1998: 31-40
16. Burstone C, Goldberg J. Beta titanium: A new orthodontic alloy. *AJODO*. 1980; vol. 80: 121-132.
17. Elayyan F, Silikas N, Beam D et al. mechanical properties of coated superelastic archwires in conventional and self-ligating orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010; vol. 137: 213-7.
18. Nikolai R. On optimum orthodontic force theory as applied to canine retraction. *Am. J. Orthod*. 1975; 2: 290-302.
19. Schwarz M. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Am J. Orthod*. 1931; 2: 331-352.
20. <https://www.slimclearfast.com/>
21. Dawood A, Marti B, Sauret-Jackson V y cols. 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*. 2015; 219: 521-529.
22. Varela J, Velo M, Espinar E, y cols. Mechanical properties of a new thermoplastic polymer orthodontic archwire. *Elsevier*. 2014; 42: 1-6.