



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:

MIRAMONTES ALMARAZ ELIZABETH

TUTOR: Dr. GABRIEL SÁEZ ESPÍNOLA
Mtra. ARCELIA FELICITAS MELÉNDEZ OCAMPO

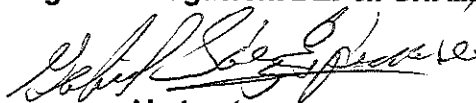
MÉXICO, Cd. Mx.

2020

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 necesarias para su uso como arco de ortodoncia estético. Polyetheretherketone (PEEK) ha sido introducido 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.^{1,2}

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"

Abstract

The following investigation attempt to clarify by the three-point bending test if the polymeric material known as PEEK has the adequate mechanical properties for its use as an aesthetic orthodontic wire. Polyetheretherketone (PEEK) has been introduced into dentistry field as an alternative to metal alloys as much as in Prosthodontics and 3D diagnosis and more recent in Orthodontics.^{1,2}

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 promedios observadas 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 menor en comparación con el níquel titanio se encuentra dentro del margen de valores mencionados por diversos autores para un movimiento dental biológico óptimo ya que su bajo modulo elástico y ausencia de deformación plástica nos hablan de la resiliencia del material y de cómo 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 aparición 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 debido a la novedosa introducción del níquel titanio para 1960 revolucionando la ortodoncia gracias a sus propiedades de memoria de forma y superelasticidad.^{3,4,5} 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 presentan diversas complicaciones por lo que su uso es bastante limitado dejando en desconcierto esta área de la ortodoncia lo cual se vuelve un problema ya que las exigencias de los pacientes por materiales menos visibles pero igualmente efectivos

aumentan día con día en la práctica clínica.^{6,7}

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 discontinuados por presentar pobre estabilidad, además su precio es bastante elevado lo cual los hace poco accesibles.^{8,9}

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 donde se observó que los arcos de fibra de vidrio fabricados mediante pultrusión obtuvieron valores de

fuerza similares a los del níquel y beta titanio en las pruebas mecánicas.¹⁰

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.¹¹

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.¹²

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 níquel titanio aproximadamente de 0.40-0.80 N siendo una excelente aproximación a la fuerza ortodóncica óptima.¹²

Tada Y et al. 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.¹³

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).

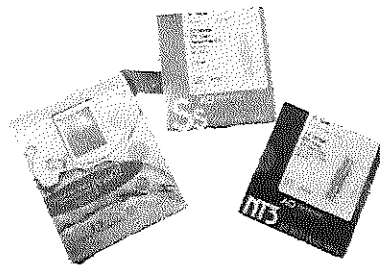


Figura 1. Acero inoxidable (AO Corp.), Níquel titanio (AO Corp.) y Fibra de vidrio (Dentaurum).

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

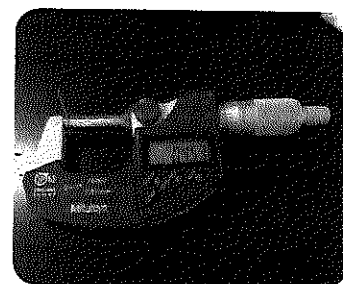
Se obtuvieron barras de PEEK de 0.018" mediante extrusión de una impresora 3D proporcionadas por la Empresa inMateriis¹⁹

Los criterios de inclusión fueron todos aquellos arcos que correspondieran a

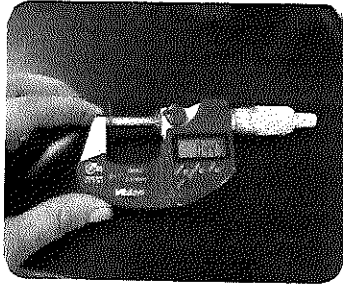
la marca mencionada arriba y tuvieran un grosor uniforme de 0.018" y 30 mm de longitud. Los criterios de exclusión fueron todos aquellos arcos que no correspondieran a esa marca, calibre y longitud o aquellos que estuvieran dañados a simple vista.

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).

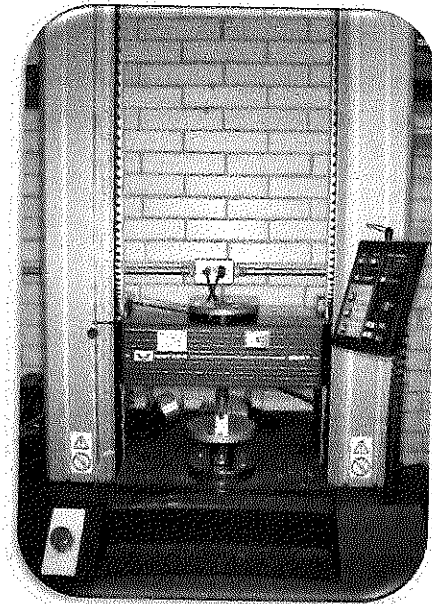
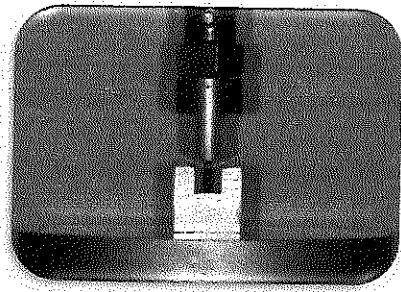
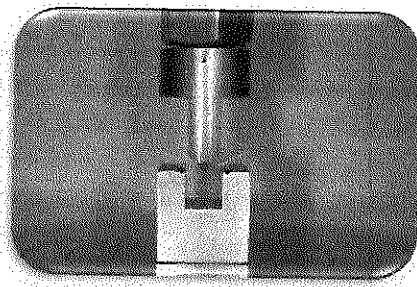


Figura 3. Máquina Universal de pruebas Instron (Modelo 5567, Norwood, USA: SGS US testing Company Inc.)

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

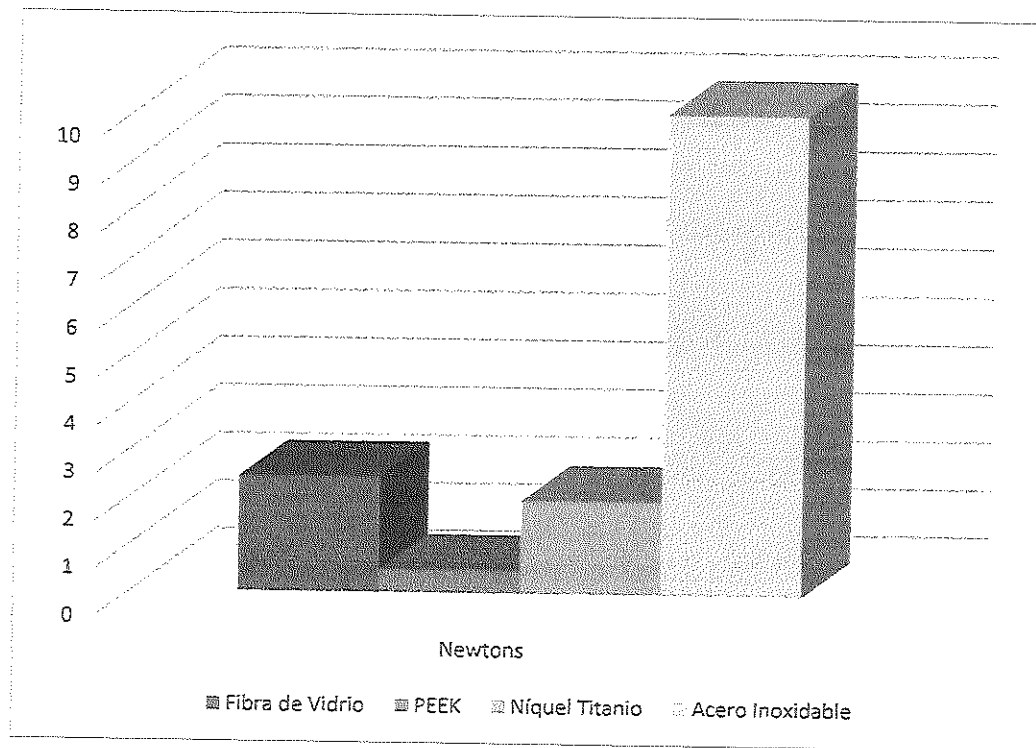
Se observan diferencias estadísticamente significativas entre los 4 grupos al comparar las mediciones de fuerza máxima, módulo elástico y deformación plástica. En la prueba de comparación por grupos podemos observar que no existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de fuerza máxima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

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± 0.374N)	1.94N (DE± 0.120N)	2.41N (DE± 0.315N)	0.47N (DE± 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. Fuerza máxima

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	Níquel titanio	.000	-8.430	-7.791
	Fibra de Vidrio	.000	-7.961	-7.321
	PEEK	.000	-9.904	-9.264

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

Modulo elástico

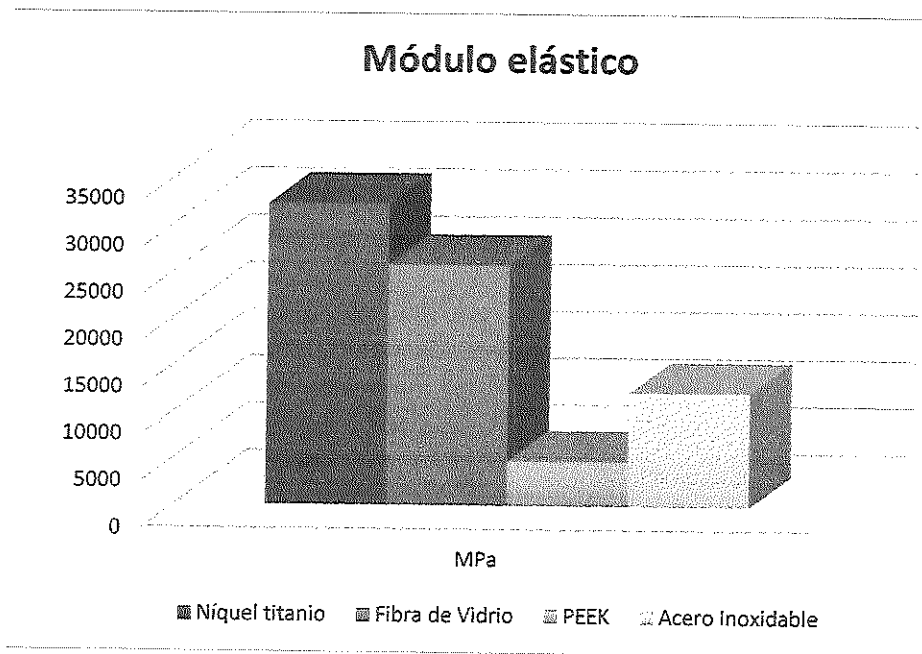
El material que demostró tener el modulo elástico más alto fue el níquel titanio con un promedio de 31976.67 MPa siendo el más bajo nuevamente

el PEEK con 4732.77 MPa mostrándolo como un material resiliente, 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



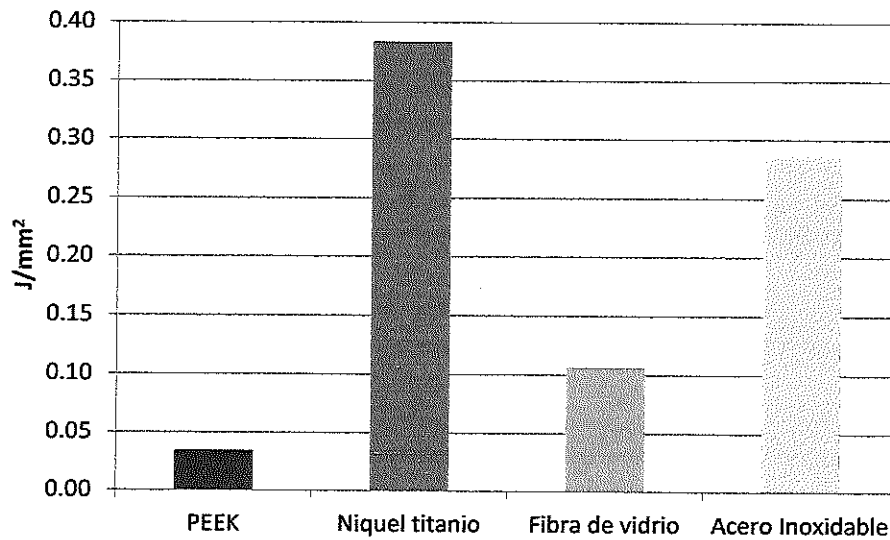
Histéresis

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 .

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



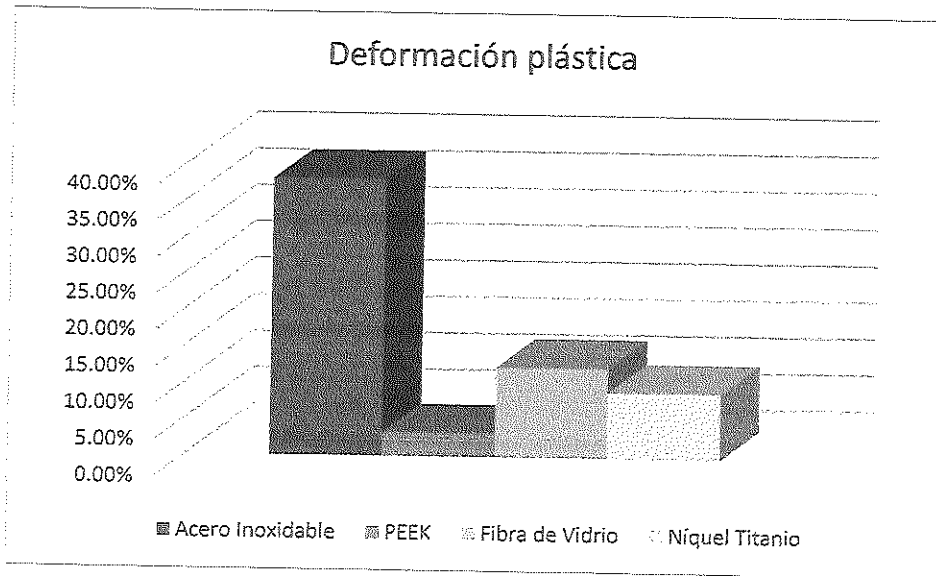
Deformación plástica

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 mencionados por Maekawa M et al.¹² en donde plantea que si se disminuye el calibre de los alambres de PEEK nos darán valores de fuerza

de baja intensidad, pero ubicándose dentro de los valores óptimos descritos por Proffit¹⁴ y Nikolai R.¹⁵ para el movimiento dental durante las etapas de alineación y nivelación.

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, por el contrario el níquel titanio obtuvo el valor más alto con 0.383 J/mm^2 lo cual nos demuestra la gran cantidad de energía que almacena el 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 que la fuerza que se le aplicará a un diente durante la activación estará muy cerca o será prácticamente la misma ejercida sobre el órgano dentario durante su desactivación, produciéndose un movimiento dental efectivo y predecible.

Los valores observados de módulo elástico y fuerza máxima de los grupos B y D fueron menores en comparación a los reportados por Tada Y et al.¹³ no obstante debemos tomar en cuenta que en este artículo del 2017 se utilizaron arcos de PEEK de calibre $0.016 \times 22''$ y $0.019 \times 25''$ tomando como

estándar solo arcos de níquel titanio de $0.016''$ así el autor concluyo que los valores de fuerza eran similares entre sí, lo cual no nos parece adecuado debido a que el tamaño del alambre influye en las propiedades de flexión, lo ideal es comparar arcos de PEEK del mismo calibre que los estándar para poder obtener valores de fuerza confiables, por el contrario los valores del grupo B, C y D se encontraron muy similares a los reportados por Gatto E et al.¹⁷ ubicándose dentro de los valores biológicos recomendados para el movimiento dental lo que nos demuestra 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 Alobeid A et al.¹¹ donde se 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.

En las etapas iniciales del tratamiento donde existe considerable apiñamiento dental los arcos poliméricos podrían ser una buena elección, ya que de acuerdo con Varela J et al.¹⁶ 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 y sin que exista deformación permanente; al mismo tiempo, el arco debería proveer fuerzas constantes y ligeras para mover los dientes a sus nuevas posiciones.

Cacciafesta⁹ en su estudio encontró que no hubo diferencias significativas entre los filamentos de 0.6mm de FRC y los arcos de 0.017 x 0.025" de níquel titanio lo que resulta muy similar a los resultados obtenidos en este estudio al comparar los grupos B y C.

En el artículo de Maekawa M¹² del 2014 y en el de Tada Y¹³ del 2017 se encontró que PEEK tiene buenas propiedades mecánicas para ser utilizado como arco de ortodoncia estético no metálico, lo que coincide con los resultados encontrados mediante esta investigación.

Conclusión

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, 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.¹⁸

. Dentro de las limitaciones del presente estudio podemos sugerir que el material polimérico PEEK puede ser aplicable como arco de ortodoncia estético, ya que cuenta con buenas propiedades mecánicas siendo sus principales características 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. Sería interesante hacer más evaluaciones del material ya sea sometándolo a condiciones de humedad o a ligaduras elásticas o metálicas, además debe investigarse más a fondo con pruebas de fricción y flexión al aumentar el calibre de los arcos.

Cabe mencionar además que encontramos que los arcos de fibra de vidrio Dentaurum cuentan con muy buenas propiedades mecánicas comparables con la de los arcos de níquel titanio.

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

Anexos

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

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

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

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.

Referencias Bibliográficas

1. Najeeb S, Muhammad S, Khurshid Z et al. Applications of polyetheretherketone (PEEK) in oral implantology and prosthodontics. JPOR. 2015; 298:1-8.
2. Dominik A, Spintig T, Kallage I et al. Flexural behavior of PEEK materials for dental application. DENTAL MAT. 2015; 2604: 1-8.
3. Kusy R. A review of contemporary archwires: Their properties and characteristics. The Angle Orthod. 1997; vol. 67: 197-208.
4. Kusy R, Dilley G, Whitley J, Mechanical properties of stainless Steel orthodontic archwires. Clin Mat. 1988; vol. 3. 41-59.
5. 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.
6. 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.
7. Talass M. Optical Fibers as Orthodontic Archwires: Optiflex. J. Showa Univ. Dent. Soc., vol. 15; 1995: 51-58.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Alobeid A, Dirk C, Reimann S et al. Mechanical properties of different esthetic and conventional orthodontic wires in bending tests. J Orofac Orthop. 2016.

12. 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.
13. Tada Y, Hayakawa T, Nakamura Y. Load-Deflection and Friction Properties of PEEK Wires as Alternative Orthodontic Wires. *Materials*. 2017; vol. 10, 914.
14. Proffit W. *Ortodoncia Teoría y Práctica*. Editorial Mosby. 2a edición. 1995.
15. Nikolai R. On optimum orthodontic force theory as applied to canine retraction. *Am. J. Orthod*. 1975; 2: 290-302.
16. Varela J, Velo M, Espinar E, y cols. Mechanical properties of a new thermoplastic polymer orthodontic archwire. *Elsevier*. 2014; 42: 1-6.
17. Gatto E, Matarese g, Di Bella G. load-deflection characteristics of superelastic and termal nickel-titanium wires. *European J of Ortho*. 2013; vol. 35: 115-123
18. Burstone C, Goldberg J. Beta titanium: A new orthodontic alloy. *AJODO*. 1980; vol. 80: 121-132.
19. Schwarz M. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Am J. Orthod*. 1931; 2: 331-352.