

DOI: 10.26820/recimundo/7.(2).jun.2023.310-319

URL: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/2054>

EDITORIAL: Saberes del Conocimiento

REVISTA: RECIMUNDO

ISSN: 2588-073X

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Artículo de Investigación

CÓDIGO UNESCO: 32 Ciencias Médicas

PAGINAS: 310-319





Resistencia a la flexión y módulo Weibull de Poliéter Éter Cetona

Flexural strength and Weibull modulus of Polyether Ether Ketone

Resistência à flexão e módulo de Weibull da Poliéter-Éter-Cetona

Harold Emilio Montalvo Gaibor¹; Bolívar Andrés Delgado Gaete²

RECIBIDO: 29/04/2023 **ACEPTADO:** 22/05/2023 **PUBLICADO:** 25/06/2023

1. Odontólogo; Posgradista en Rehabilitación Oral; Facultad de Odontología de la Universidad Central del Ecuador; Quito, Ecuador; hemontalvo@uce.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0002-4352-386X>
2. Especialista en Rehabilitación Oral; Máster Universitario en Ciencias Odontológicas; Odontólogo; Docente de Pregrado; Facultad de Odontología de la Universidad Católica de Cuenca; Docente de Posgrado de Rehabilitación Oral; Facultad de Odontología de la Universidad Central del Ecuador; Quito, Ecuador; badelgado@uce.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0001-5586-2829>

CORRESPONDENCIA

Harold Emilio Montalvo Gaibor

hemontalvo@uce.edu.ec

Quito, Ecuador

RESUMEN

Objetivo general: Evaluar la resistencia a la flexión y módulo Weibull del Poliéter Éter Cetona (PEEK) empleado como material odontológico, a través de ensayos de flexión de 3 puntos. **Materiales y métodos:** Estudio experimental e in vitro, la muestra fueron 60 cubetillas en forma cuadrangular del PEEK, que se dividió en Grupo 1 (n=30): Muestras de PEEK de China (PEEK Disc, Vasden, Shenzhen Guangdong China) y Grupo 2 (n=30): Muestras de PEEK norteamericana (Arco TriLor, Harvest Dental Products, EE. UU), las medidas del disco son de 98 mm de diámetro x 20 mm de ancho, se procedió a fresar los discos y obtener las planchas de 20mm x 2 mm, las cuales con un microtomo electrónico se cortaron las cubetillas de las dimensiones de acuerdo con el ISO 4049/2000. Las muestras estuvieron expuestas a 10000 ciclos térmicos de 5 a 55°C con un tiempo de inmersión de 30s en un termociclador y se almacenaron en agua destilada a (37°C ± 1°C) durante 24 h. Para las cargas de flexión de 3 puntos se utilizó una máquina de ensayo universal Microtensil OM 100 con una velocidad de cruceta de 1 mm/min. Los datos fueron procesados con la prueba de normalidad Shapiro Wilk, T Student con un nivel de confianza del 95%. **Resultados:** Se demostró diferencia significativa entre la resistencia a la flexión del grupo 1 y 2 (p=0,000), donde el mayor valor es reportado por el grupo 2, la mayor media del módulo de Weibull fue obtenida por el grupo 1, con una resistencia de falla para el grupo 1 $\sigma_0=214,40\pm 0,25$ MPa,65,55% y el grupo 2 de $\sigma_0=247,30\pm 32,12$ MPa,65,99%. **Conclusión:** El grupo 2 soporta mayor carga de flexión, sin embargo, ambos grupos de estudio tienen similar resistencia de falla en el punto cero, es necesario ampliar las investigaciones utilizando el análisis de Weibull en los Poliéter Éter Cetona empleados en odontología.

Palabras clave: Resistencia a la Flexión, Módulo de Weibull, Poliéter Éter Cetona, Ensayo de Flexión.

ABSTRACT

General objective: To evaluate the flexural strength and Weibull modulus of Polyether Ether Ketone (PEEK) used as a dental material, through 3-point bending tests. **Materials and methods:** Experimental and in vitro study, the sample was 60 quadrangular shaped PEEK trays, which were divided into Group 1 (n=30): PEEK samples from China (PEEK Disc, Vasden, Shenzhen Guangdong China) and Group 2 (n=30): North American PEEK samples (Arco TriLor, Harvest Dental Products, USA). The discs were milled to obtain plates of 20 mm x 2 mm, which were cut with an electronic microtome to the dimensions according to ISO 4049/2000. The samples were exposed to 10000 thermal cycles from 5 to 55°C with an immersion time of 30s in a thermocycler and stored in distilled water at (37°C ± 1°C) for 24 h. A Microtensil OM 100 universal testing machine with a crosshead speed of 1 mm/min was used for the 3-point bending loads. The data were processed with the Shapiro Wilk normality test, T Student with a confidence level of 95%. **Results:** Significant difference was demonstrated between the flexural strength of group 1 and 2 (p=0.000), where the highest value is reported by group 2, the highest mean Weibull modulus was obtained by group 1, with a failure strength for group 1 $\sigma_0=214.40\pm 0.25$ MPa,65.55% and group 2 of $\sigma_0=247.30\pm 32.12$ MPa,65.99%. **Conclusion:** Group 2 supports higher bending load, however, both study groups have similar failure resistance at zero point, it is necessary to extend the investigations using Weibull analysis in Polyether Ether Ketone used in dentistry.

Keywords: NFlexural Strength, Weibull Modulus, Polyether Ether Ketone, Flexural Test.

RESUMO

Objetivo geral: Avaliar a resistência à flexão e o módulo de Weibull do Poliéter Éter Cetona (PEEK) utilizado como material odontológico, através de ensaios de flexão em 3 pontos. Materiais e métodos: Estudo experimental e in vitro, a amostra foi de 60 moldeiras de PEEK de formato quadrangular, que foram divididas em Grupo 1 (n=30): Amostras de PEEK da China (PEEK Disc, Vasden, Shenzhen Guangdong China) e Grupo 2 (n=30): Amostras de PEEK da América do Norte (Arco TriLor, Harvest Dental Products, EUA). Os discos foram fresados para obter placas de 20 mm x 2 mm, que foram cortadas com um micrótomo eletrônico com as dimensões de acordo com a norma ISO 4049/2000. As amostras foram expostas a 10000 ciclos térmicos de 5 a 55°C com um tempo de imersão de 30s num termociclador e armazenadas em água destilada a (37°C ± 1°C) durante 24 h. Foi utilizada uma máquina de ensaios universal Microtensil OM 100 com uma velocidade de cruzamento de 1 mm/min para as cargas de flexão de 3 pontos. Os dados foram processados com o teste de normalidade Shapiro Wilk, T Student com um nível de confiança de 95%. Resultados: Foi demonstrada diferença significativa entre a resistência à flexão do grupo 1 e 2 (p=0,000), onde o valor mais alto é reportado pelo grupo 2, o módulo de Weibull médio mais alto foi obtido pelo grupo 1, com uma resistência à falha para o grupo 1 $\sigma_0=214,40\pm 0,25$ MPa,65,55% e para o grupo 2 de $\sigma_0=247,30\pm 32,12$ MPa,65,99%. Conclusão: O grupo 2 suporta maior carga de flexão, no entanto, ambos os grupos de estudo possuem resistência à falha semelhante no ponto zero, é necessário ampliar as investigações utilizando a análise de Weibull em Poliéter Éter Cetona utilizado em odontologia.

Palavras-chave: Resistência à Flexão, Módulo de Weibull, Poliéter Éter Cetona, Ensaio de Flexão.

Introducción

La Poliéter Éter Cetona (PEEK) es un material polimérico termoplástico y semicristalino producido sintéticamente que está compuesto por una cadena molecular de elemento aromático, y está interconectado por grupos funcionales cetona y éter, el PEEK ha sido utilizado en diversas áreas médicas, como una opción para sustituir el titanio en las prótesis 1, por poseer un módulo de elasticidad (4 GPA) que demuestran resultados similares al hueso cortical 2. Además, presenta una ductilidad considerable, resiste los grandes flujos deformativos de fuerzas de compresión y pruebas de tensión uniaxial, con una densidad de 1,32 g/cm³ y una gran resistencia a la deformación y la fatiga, por esta razón se ha empleado en la odontología para realizar prótesis dentales y aplicaciones médico - ortopédicas como implantes articulares de reemplazo óseo, tornillos y clavos 3.

De acuerdo a investigaciones previas, manifiestan que el PEEK tiene una resistencia a la flexión entre 140 a 170 MPa, con una mayor resistencia a la fractura que la zirconia y la cerámica, además han demostrado que las propiedades de tracción de este material es similar al de esmalte y la dentina, también puede exhibir un mejor efecto de protección contra el estrés en comparación con el titanio y puede considerarse como un buen material sustituto dental 4. Sin embargo, en comparación con los materiales convencionales, la rigidez de PEEK no es suficiente para soportar la tensión de carga, por eso en algunas ocasiones se mezcla con otros elementos para aumentar la resistencia a la tracción y a la flexión, este último relacionado con la ruptura del mismo y la capacidad a mantener la estabilidad al estar expuesta a la fuerza que se aplica perpendicular al eje longitudinal 5.

Tal como lo demostró Luo et al. 2023 6, en una revisión sistemática reportó los valores de promedios de la resistencia a la flexión de PEEK impreso con modelado por deposición

fundida (FDM) de 104,65 MPa 7, PEEK reforzado con fibra de carbono es de 264,6 MPa 8, 30% PEEK reforzado con fibra de vidrio con 167 MPa 9, Bio-PEAK (PEEK relleno con 5 % de TiO₂) con valores de resistencia a la flexión entre 190 - 210 MPa, CAM. BioHPP (PEEK relleno con 20 - 30 % de TiO₂) con 160 MPa 10, PEEK relleno con un 30 % de TiO₂ de 163 MPa 8, obteniendo mejores resultados los reforzados con fibra de carbono y vidrio.

En cuanto a la resistencia a la flexión, una investigación previa es la de Lee et al. 2017 11, donde evaluaron el comportamiento biomecánico incluyendo la resistencia a la flexión del polímero de alto rendimiento PEKK (Cendres+Métaux, Milano, Italia) como material de post-núcleo dental intrarradicular a través de un estudio de elementos finitos, identificando que el PEEK presenta una alta resistencia a la fractura con un módulo elástico y una resistencia a la flexión (200 MPA) significativamente más bajos en comparación con el sistema de postes de metal y fibra de vidrio, no obstante es similar a la resistencia a la flexión que la dentina, con una mayor resistencia de la flexión y factor de seguridad del poste de PEEK favorable en contraste al cemento y la corona de cerámica.

Otro parámetro físico que se estudió en la presente investigación es el módulo de Weibull en los PEEK, considerada como una medida de la dispersión de los valores de resistencia y proporciona información sobre la homogeneidad estructural de un material 12, se puede obtener un valor o análisis de las condiciones donde ocurren las primeras fallas por el esfuerzo del material sin llegar a la fractura, donde cada falla presenta una distribución diferente; como el caso de microfisuras o por defecto de los poros del material 13, a pesar de la importancia clínica son limitados los estudios que reportan este módulo en materiales odontológicos.

Sobre el módulo de Weibull, el estudio de Rodríguez et al. 2021 14 estudiaron la carga de fractura y el módulo Weibull en estructuras de prótesis dentales fresadas con

CAD-CAM de PEEK (Bio-P; DEGOS Dental, Regenstauf, Alemania), zirconia y metal, emplearon una prueba de flexión de 3 puntos en una máquina de ensayo universal, con lo cual lograron la fractura e identificaron el análisis del módulo Weibull, confirmó que el PEEK estuvo en el rango de mayor elasticidad y fractura del material en comparación con la zirconia, sin embargo es menor el porcentaje del módulo que el metal.

Prechtel et al. 2020 ¹², determinaron la carga de fractura, el tipo de fractura, módulo de Weibull en incrustaciones de 4 marcas comerciales de PEEK impresas en 3D y comparadas con incrustaciones de PEEK indirectas molidas, dientes sanos y rellenos de resina, efectuaron mediciones de carga de fractura en una máquina de prueba universal (Zwick 1445, ZwickRoell, Ulm, Alemania), evidenciando que los materiales PEEK tienen los siguientes valores promedios del módulo de Weibull (m) para Essentium PEEK es de 4,2; KetaSpire® PEEK MS-NT1 es de 2,7; VESTAKEEP® i4G (exp. material) es de 5,3; VICTREX® PEEK 450G de 3,4; JUVORA™ de 7,4; diente sano con un valor 3,8 y resina de 3,7.

Aunque el PEEK ofrece diferentes ventajas desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, en especial la resistencia a la flexión en comparación con la cerámica, zirconia y titanio, es de importancia ampliar los estudios in vitro para establecer el módulo de Weibull del PEEK, el cual es indicativo de la confiabilidad de un material en función de la dispersión de los defectos, con estos valores se puede indicar un 63,2% de la probabilidad de falla antes de la fractura, también es posible identificar el tipo de defectos (poro, inclusión o aglomeración de relleno), al igual que la resistencia a la flexión, que es indicativo en la práctica clínica de estabilidad y representa el punto en que se fractura el material ¹⁵.

Con la metodología que se aplicó en la presente investigación se aportó datos del módulo de Weibull y de la resistencia de la fle-

xión del PEEK, con la prueba de flexión del material en tres puntos, procedimiento que puede servir de precedente para futuras investigaciones, al igual que con esta información los especialistas podrán verificar la resistencia a la flexión y las fallas estructurales a través del módulo Weibull indicando los posibles defectos por poros, microfracturas o aglomeración de relleno, con esto podrá considerar al PEEK como un material factible técnicamente para la elaboración de prótesis o como material de implantes y decidir utilizarlo para el tratamiento dental de los pacientes, de esta forma se evitará retratamientos o dificultades que comprometan el éxito de la cirugía o la prótesis. En función de la problemática expuesta se plantea evaluar la resistencia a la flexión y módulo Weibull del Poliéter Éter Cetona (PEEK) empleado como material odontológico, a través de ensayos de flexión de 3 puntos.

Materiales y métodos

Diseño de la investigación

La investigación es experimental e in vitro, donde se varió el tipo de PEEK que se emplean como material odontológico para determinar la resistencia a la flexión y módulo de Weibull, este procedimiento se efectuó en un medio controlado (Laboratorio de biomateriales de la Universidad Católica de Cuenca), a través de ensayos de flexión de 3 puntos.

Muestra

La muestra fueron seleccionada por conveniencia, estuvieron conformadas por 60 cubetillas en forma cuadrangular del PEEK, que se divide en el Grupo 1 (n=30): Muestras de PEEK de China (PEEK Disc, Vasden, Shenzhen Guangdong China) y Grupo 2 (n=30): Muestras de PEEK de EE.UU (Arco TriLor, Harvest Dental Products, EE. UU), siguiendo el procedimiento del artículo de Rodrigues et al. ¹⁶, quienes utilizaron 30 muestras por cada grupo en que determinaron la resistencia a la flexión y el módulo de Weibull.

Criterios de inclusión: Muestras de PEEK con dimensiones de 25 (± 2 mm) \times 2 ($\pm 0,1$ mm) \times 2 ($\pm 0,1$ mm). Cubetillas de PEEK que estuvieron expuestas a termociclado a 10000 ciclos térmicos de 5 a 55 °C con un tiempo de inmersión de 30s.

Criterios de exclusión: Muestras de PEEK fracturados, con alguna grieta o defectos superficiales que pueda alterar los valores de resistencia a la flexión. Módulo de Weibull y resistencia a la flexión donde la prueba de flexión sea mayor o menor a una velocidad de cruceta de 1 mm / min.

Procedimiento experimental

2 discos de PEEK de la marca china (PEEK Disc, Vasden, Shenzhen Guangdong China) y norteamericana (Arco TriLor, Harvest Dental Products, EE. UU) de dimensiones 98mm * 20mm. Se envió a un diseñador gráfico para que diseñe un archivo STL con 3 planchas que tengan el espesor del disco 20mm y 2 mm de ancho, a continuación se envió al laboratorio dental DAYAL el STL para que procedan a fresar los discos en la maquina (DWX-52Di, Dyadent Roland, Japón) para obtener las planchas, las cuales con un microtomo electrónico (Marathon – III, None Brand, EE.UU) se cortaron las 30 muestras de PEEK chino y 30 muestras de PEEK norteamericano con dimensiones 25 (± 2 mm) \times 2 ($\pm 0,1$ mm) \times 2 ($\pm 0,1$ mm), de acuerdo con las especificaciones ISO 4049/2000. Las muestras se terminaron con papel metalográfico de grano 420, después estuvieron expuestas a 10000 ciclos térmicos de 5 a 55 °C con un tiempo de inmersión de 30s (Termociclador Great Solutions, Ecuador) y se almacenaron en agua destilada a (37°C \pm 1°C) durante 24 h (Estufa universal U, memmert, Alemania). Las dimensiones de las muestras se midieron con un calibre digital (Calibrador vernier digital 6" acero inox, std y mm, Truper, China) antes de la prueba. Las cargas de flexión de 3 puntos se aplicaron utilizando una máquina de ensayo universal Microtensil OM 100 (Odeme dental research, Brasil) con una

velocidad de cruceta de 1 mm / min. Los valores de resistencia a la flexión se obtendrán a partir del 3PB, en MPa, con base en la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{3PL}{2wb^2}$$

dónde P es la carga máxima ejercida sobre la muestra (N), L la distancia entre los soportes (20 mm), w el ancho (2 mm) y b es la altura de la muestra (2 mm), esto valores fueron reportados en una hoja de recolección de datos en físico.

Análisis de datos

Los datos se tabularon en una hoja del programa Microsoft Excel, para calcular los valores de resistencia a la flexión en MPa y el módulo de Weibull, luego se trasladó al programa SPSS V23, donde se utilizó la prueba de normalidad Shapiro Wilk y T Student, con un nivel de confianza del 95%, al igual que el análisis del módulo de Weibull.

Resultados

Con la prueba t de Student se demostró diferencia significativa entre la resistencia a la flexión de la PEEK Disc China y PEEK Arco Trilor norteamericano (p=0,000), donde el mayor valor es reportado por la muestra norteamericano (Arco TriLor, Harvest Dental Products) en comparación con la muestra china. (Tabla 1)

Tabla 1. Media de la Resistencia a la flexión (MPa), desviación estándar (D.E.), coeficiente de variación (%) y agrupación de la prueba t de Student ($\alpha = 0,05$)

Grupos PEEK	Media de Resistencia a la flexión (MPa)	D.E	CV%	Diferencia de medias	95% IC		p-valor
					Min	Max	
Grupo 1	204,69	22,84	11,16%	-29,350	-43,756	-14,943	0,000
Grupo 2	234,04	32,12	13,73%				

La mayor media del módulo de Weibull fue obtenida por la muestra chinas (PEEK Disc, Vasden, Shenzhen Guangdong China) y el menor resultado del grupo norteamericanas (Arco TriLor, Harvest Dental Products), con

una resistencia de falla en el punto cero en el grupo 1 de $\sigma_0=214,40\pm 0,25$ MPa y el grupo 2 de $\sigma_0=247,30\pm 32,12$ MPa, para el 5% es de $\sigma_{(5\%)}=148\pm 0,17$ MPa y el grupo 2 de $\sigma_{(5\%)}=171,78\pm 2,23$ MPa. (Tabla 2)

Tabla 2. Módulo de Weibull (m), error estándar, intervalo de confianza, resistencias características y el fallo

Grupos	n	m (E.S)	95% IC	$\theta 0$ (ES)	95% IC	r	$\theta 0$ 5% (ES)
Grupo 1	30	10,787 (4,17)	10,27 - 11,30	214,40 (0,25)	205,83 - 222,96	0,99	148,00 (0,17)
Grupo 2	30	8,897 (5,87)	7,68 - 10,11	247,30 (3,22)	235,15 - 259,44	0,94	171,78 (2,23)

Con el promedio de la resistencia a la flexión del grupo 1 se determina la falla al 61,67% en la muestra 19, con el grupo 2 es de 45% y a la muestra 14, en el punto

cero la resistencia de falla el grupo 1 es de $\sigma_0=214,40\pm 0,25$ MPa,65,55%) y el grupo 2 de $\sigma_0=247,30\pm 32,12$ MPa,65,99%. (Tabla 3)

Tabla 3. Porcentaje de falla con el análisis del módulo de Weibull

Grupos	Falla a la resistencia a la flexión		Fallas ($\theta 0$)		Máx.		Mín.	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Grupo 1	19	61,67%	20	65,99%	21	69,23%	19	62,75%
Grupo 2	14	45,00%	20	65,58%	21	68,20%	19	62,96%

Con las figuras 1 y 2 se demuestra la tendencia del comportamiento de curvas Weibull, con las que se identificó la resistencia

de falla en el punto cero y 5%, al igual que módulo de Weibull.

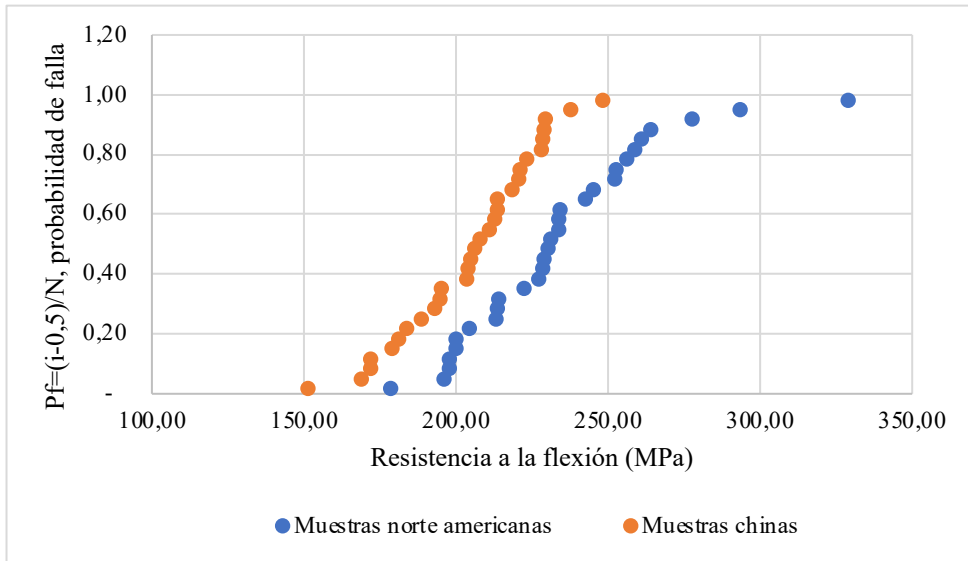


Figura 1. Curvas de falla acumulada de Weibull de la resistencia a la flexión de PEEK norteamericano y PEEK chino con pruebas de flexión de 3 puntos (3P)

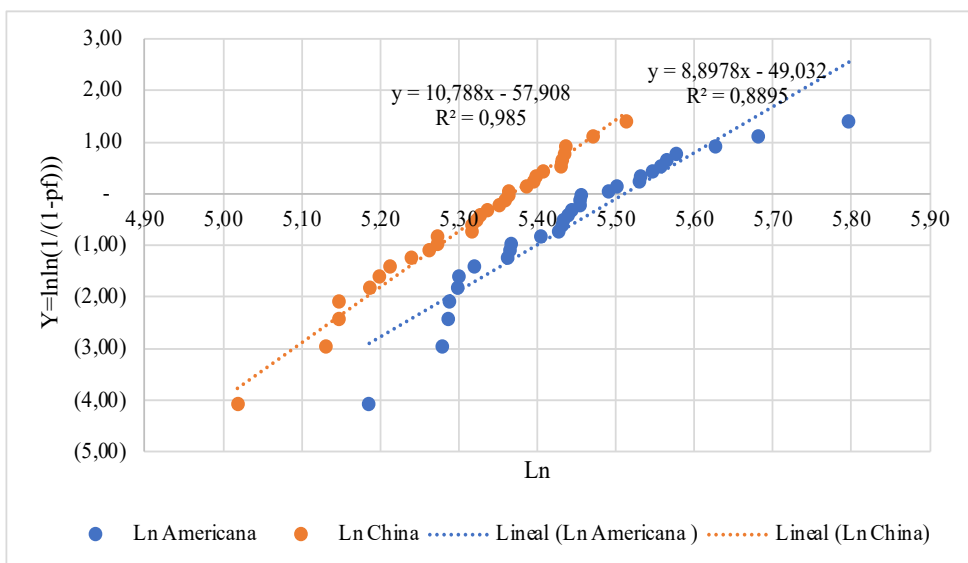


Figura 2. Líneas de estimación de regresión lineal y los parámetros del Weibull de los PEEK norteamericano y PEEK Chino

Discusión

Diversas investigaciones efectuadas los últimos años, han demostrado que el PEEK se puede utilizar en la cirugía oral y craneomaxilofacial, a través de la utilización de implantes dentales, reemplazo del hueso craneal, reconstrucción nasal, de la mandíbula y maxilar, por ser un material alternativo al titanio y al metal, por la excelente biocompa-

tilidad, radiotransparencia, baja densidad y propiedades mecánicas que pueden asemejarse a la estructura ósea del ser humano ^{1,5,16}, por esta razón se estudió la resistencia a la flexión y módulo Weibull del Poliéter Éter Cetona (PEEK) empleado como material odontológico, a través de ensayos de flexión de 3 puntos, a través de una máquina de ensayo universal, prueba de flexión

de fácil aplicación y resultados confiables para materiales homogéneo como plástico y polímero ¹⁷.

Con los resultados se identificó que ambos grupos PEEK superaron los valores de la resistencia a la flexión mínima requerida para los plásticos dentales de 65 MPa ¹, donde el mayor valor de resistencia a la flexión (234,04 ± 32,12 MPa) se reporta con el PEEK norteamericanas (Arco TriLor, Harvest Dental Products, EE.UU) en comparación con el PEEK chino (PEEK Disc, Vasden, Shenzhen Guangdong China) (204,69 ± 22,84) con diferencia significativa (p < 0,05), esto puede estar relacionado con la composición del producto dental americano, es un PEEK termo endurecido reforzado con fibra de vidrio de forma multidireccional, factor que permite una mayor resistencia a la flexión, tal como expresa Luo et al. 2023 ⁶, aducen que el PEEK se forma agregando fibras de carbono y de vidrio de diferentes longitudes y fracciones de peso (que consisten principalmente en 60 o 30% en peso) a PEEK, puede ofrecer una mayor resistencia mecánica y resistencia al desgaste que los PEEK convencionales.

Sin embargo, la resistencia a la flexión del grupo 1 y 2 es menor a lo reportado por los fabricantes (210 MPa y 540 MPa), esta disminución se debe al envejecimiento dinámico por 10000 ciclos térmicos de 5 a 55 °C con un tiempo de inmersión de 30 s por 24 horas (representa 1 año en la cavidad bucal), similar comportamiento fue reportado por Miura et al. 2023 ¹⁸, quienes determinaron la resistencia a la flexión de PEEK fabricado mediante modelado por deposición fundida (FDM) y examinó su potencial para aplicaciones dentales, utilizando PEEK para FDM y discos de PEEK para CAD/CAM, a través de la prueba de flexión de 3 puntos en muestras utilizando una máquina de prueba universal (AGS-X, Shimadzu, Kyoto, Japón) posteriormente efectuaron un envejecimiento muy acelerado, reportando disminución de la resistencia a la flexión de todas las muestras debido a defectos en la

estructura cristalina de PEEK causados por un envejecimiento, es importante considerar que este material para la elaboración de puentes y prótesis dentales requiere la temperatura para lograr el moldeado, este tratamiento térmico debe estar por encima de los 143 °C, valor necesario de temperatura para la transición vítrea de ese material ¹⁹, lo que produce un gran cantidad de contracción, al igual que el envejecimiento acelerado, factores que modifican la resistencia a la flexión de este material.

En cuanto al módulo de Weibull, aporta la variabilidad de los resultados en función de la dispersión de la distribución, donde un alto valor del módulo de Weibull indica una agrupación cercana de valores de tensión de fractura y menor es la dispersión, lo que implica que el material es más confiable, mientras que menores resultados de las características de Weibull refleja la baja fiabilidad del material y puede debilitarse en el futuro, experimentando fallas inesperadas ²⁰. En el presente estudio, se identificó un mayor valor en el grupo 2 (m=10,78 con un error estándar de 4,17) y el grupo 1 reporta el menor módulo de Weibull, una posible explicación de este comportamiento son los elementos como la fibra de vidrio del grupo 2, esto puede alterar la estructura interna y mayor posibilidad de defectos críticos (poros y grietas) ²¹, este incide en el módulo de Weibull y capacidad de fracturarse, tal como reporta Prechtel et al. 2020 ¹², quienes demuestra que el valor más alto del módulo de Weibull por el PEEK Juvora y el más bajo KetaSpire® PEEK, lo cual está relacionado con la composición del PEEK Juvora (incrustaciones indirectas molidas).

A pesar de los diferentes valores de resistencia a la flexión y módulo de Weibull, con el análisis de fractura se demostró que ambos grupos de PEEK, tienen similares porcentajes de resistencia de falla en punto cero para el grupo 1 ($\sigma_0=214,40\pm 0,25$ MPa, 65,55%) y el grupo 2 ($\sigma_0=247,30\pm 32,12$ MPa, 65,99%), es decir los dos fallan aproximadamente al 66% en la muestra 20, en este caso es re-

comendable que los especialistas decidan en función de la resistencia a la flexión y la disponibilidad del material.

Las limitaciones de la investigación están relacionadas con la escasa literatura sobre el módulo de Weibull y el análisis de falla por este método estadístico y matemático con PEEK, lo cual fue difícil contrastar la información obtenida en el estudio, otra limitante es la falta de datos de composición de los materiales PEEK de los grupos, en especial de la marca China, por la literatura se identificó que los elementos que conforman el PEEK es un factor fundamental para la resistencia a la flexión y el módulo de Weibull (considera la calidad del material y las fallas).

Las principales fortalezas del estudio, es una investigación innovadora en vista de que se obtuvo el módulo de Weibull en muestras PEEK, demostrando que ambos grupos presentan aproximadamente el mismo porcentaje de resistencia de falla y que la decisión del especialista debe estar fundamentada en la resistencia a la flexión, debido a que existió diferencia significativa entre los grupos, favoreciendo al grupo 2 por soportar mayor fuerza antes de lograr la flexión. Además, con el aporte de esta investigación podrá servir para que futuros estudios puedan incluir el módulo de Weibull como factor indicativo y corroborativo de la calidad del material y posibles fallas.

Conclusiones

A través de ensayos de flexión de 3 puntos, empleando la máquina de ensayo universal, se identificó que el Poliéter Éter Cetona norteamericano presentan mayor resistencia a la flexión en comparación con la muestra china, con diferencia significativa. Mientras que el Poliéter Éter Cetona chino, reporta un mayor valor del módulo de Weibull (m), sin embargo, ambos grupos de estudio tienen similar resistencia de falla (66%). Es necesario ampliar las investigaciones utilizando el análisis de Weibull en los Poliéter Éter Cetona empleados en odontología.

Bibliografía

- Schwitalla AD, Spintig T, Kallage I, Müller WD. Flexural behavior of PEEK materials for dental application. *Dent Mater* [Internet]. noviembre de 2015;31(11):1377-84. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26361808/>
- Zoidis P, Bakiri E, Polyzois G. Using modified polyetheretherketone (PEEK) as an alternative material for endocrown restorations: A short-term clinical report. *J Prosthet Dent*. marzo de 2017;117(3):335-9.
- Limaye N, Veschini L, Coward T. Assessing biocompatibility & mechanical testing of 3D-printed PEEK versus milled PEEK. *Heliyon* [Internet]. 15 de diciembre de 2022 [citado 1 de febrero de 2023];8(12):e12314. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9800332/>
- Bathala L, Majeti V, Rachuri N, Singh N, Gedela S. The Role of Polyether Ether Ketone (Peek) in Dentistry – A Review. *J Med Life* [Internet]. 2019 [citado 1 de febrero de 2023];12(1):5-9. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6527406/>
- Han X, Yang D, Yang C, Spintzyk S, Scheideler L, Li P, et al. Carbon Fiber Reinforced PEEK Composites Based on 3D-Printing Technology for Orthopedic and Dental Applications. *J Clin Med* [Internet]. 12 de febrero de 2019 [citado 1 de febrero de 2023];8(2):240. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6406436/>
- Luo C, Liu Y, Peng B, Chen M, Liu Z, Li Z, et al. PEEK for Oral Applications: Recent Advances in Mechanical and Adhesive Properties. *Polymers (Basel)* [Internet]. 11 de enero de 2023 [citado 4 de junio de 2023];15(2):386. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9864167/>
- Sikder P, Challa BT, Gummadi SK. A comprehensive analysis on the processing-structure-property relationships of FDM-based 3-D printed polyetheretherketone (PEEK) structures. *Materialia* [Internet]. 1 de mayo de 2022 [citado 4 de junio de 2023];22:101427. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589152922001107>
- Chen P, Wang H, Su J, Tian Y, Wen S, Su B, et al. Recent Advances on High-Performance Polyaryletherketone Materials for Additive Manufacturing. *Adv Mater*. diciembre de 2022;34(52):e2200750.
- Babaier R, Watts DC, Silikas N. Effects of three food-simulating liquids on the roughness and hardness of CAD/CAM polymer composites. *Dent Mater*. mayo de 2022;38(5):874-85.

- Micovic Soldatovic D, Liebermann A, Huth KC, Stawarczyk B. Fracture load of different veneered and implant-supported 4-UNIT cantilever PEEK fixed dental prostheses. *J Mech Behav Biomed Mater.* mayo de 2022;129:105173.
- Lee KS, Shin JH, Kim JE, Kim JH, Lee WC, Shin SW, et al. Biomechanical Evaluation of a Tooth Restored with High Performance Polymer PEKK Post-Core System: A 3D Finite Element Analysis. *Biomed Res Int* [Internet]. 2017 [citado 2 de junio de 2023];2017:1373127. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5366183/>
- Prechtel A, Stawarczyk B, Hickel R, Edelhoff D, Reymus M. Fracture load of 3D printed PEEK inlays compared with milled ones, direct resin composite fillings, and sound teeth. *Clin Oral Investig.* octubre de 2020;24(10):3457-66.
- Quinn GD, Quinn JB. A practical and systematic review of Weibull statistics for reporting strengths of dental materials. *Dent Mater* [Internet]. febrero de 2010 [citado 1 de febrero de 2023];26(2):135-47. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3086645/>
- Rodríguez V, Tobar C, López-Suárez C, Peláez J, Suárez MJ. Fracture Load of Metal, Zirconia and Polyetheretherketone Posterior CAD-CAM Milled Fixed Partial Denture Frameworks. *Materials (Basel)* [Internet]. 18 de febrero de 2021 [citado 3 de junio de 2023];14(4):959. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7922591/>
- Ghelbere R, Ilie N. Prediction of uniaxial and biaxial flexural strengths of resin-based composites using the Weibull model. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* [Internet]. 1 de julio de 2022 [citado 1 de febrero de 2023];131:105231. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751616122001473>
- Rodrigues SA, Ferracane JL, Della Bona A. Flexural strength and Weibull analysis of a microhybrid and a nanofill composite evaluated by 3- and 4-point bending tests. *Dent Mater* [Internet]. marzo de 2008;24(3):426-31. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17681372/>
- Scărlătescu DD, Modrea A, Stanciu MD. Three-point Bend Test to Determine the Mechanical Behavior of the Tubes Used in Water Supply Networks. *Procedia Manufacturing* [Internet]. 1 de enero de 2019 [citado 5 de julio de 2023];32:179-86. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919302343>
- Miura D, Ishida Y, Shinya A. The Effects of Different Molding Orientations, Highly Accelerated Aging, and Water Absorption on the Flexural Strength of Polyether Ether Ketone (PEEK) Fabricated by Fused Deposition Modeling. *Polymers (Basel)* [Internet]. 23 de marzo de 2023 [citado 4 de junio de 2023];15(7):1602. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10096610/>
- Coppola F, Greco R, Ragosta G. Isotactic polypropylene/EPDM blends: Effect of testing temperature and rubber content on fracture. *J Mater Sci* [Internet]. 1 de mayo de 1986 [citado 4 de junio de 2023];21(5):1775-85. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF01114739>
- Ozkan Ata S, Akay C, Ata N. Evaluation of bond strength of polyether ether ketone (PEEK) to composite resin on hypobaric and hyperbaric conditions. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials* [Internet]. 3 de mayo de 2022 [citado 3 de junio de 2023];71(7):540-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00914037.2021.1960343>
- Baek I, Kwon O, Lim CM, Park KY, Bae CJ. 3D PEEK Objects Fabricated by Fused Filament Fabrication (FFF). *Materials (Basel)* [Internet]. 25 de enero de 2022 [citado 4 de julio de 2023];15(3):898. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8840026/>

CITAR ESTE ARTICULO:

Montalvo Gaibor, H. E., & Delgado Gaete, B. A. (2023). Resistencia a la flexión y módulo Weibull de Poliéter Éter Cetona. *RECIMUNDO*, 7(2), 310-319. [https://doi.org/10.26820/recimundo/7.\(2\).jun.2023.310-319](https://doi.org/10.26820/recimundo/7.(2).jun.2023.310-319)



CREATIVE COMMONS RECONOCIMIENTO-NOCOMERCIAL-COMPARTIRIGUAL 4.0.