



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

POLIÉTER ÉTER CETONA (PEEK): SU APLICACIÓN EN
EL CAMPO ODONTOLÓGICO.

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N O D E N T I S T A

P R E S E N T A:

ALDO ARMANDO SÁNCHEZ ARENAS.

TUTOR: Mtra. JUANA PAULINA RAMÍREZ ORTEGA.

Vo. B. Ramírez



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.

Dedicatorias.

A mi familia por haberme apoyado en todo momento durante toda mi formación académica y a mis amigos que me han ayudado a que toda esta formación académica fuera una gran experiencia.

A mi tutora la Mtra Juana Paulina Ramírez Ortega por haberme apoyado con su trabajo, su tiempo, su paciencia y amabilidad.

Índice

1.	Introducción.	4
2.	Propósito.	5
3.	Antecedentes.	6
4.	Propiedades generales del PEEK.	8
4.1.	Propiedades químicas, físicas y mecánicas.	9
4.2.	Características biológicas.	10
5.	Presentación del PEEK.	10
6.	Procesamiento del PEEK.	11
6.1.	Moldeo por inyección.	11
6.2.	Moldeo por extrusión.	12
6.3.	Moldeo por compresión.	13
6.4.	Procesamiento por CAD-CAM.	14
7.	Modificación de la superficie del PEEK.	16
7.1.	Tratamiento físico.	18
7.2.	Tratamiento químico.	19
7.3.	Revestimiento de la superficie.	19
7.4.	Preparación con compuestos.	22
7.4.1.	Compuestos convencionales.	22
7.4.2.	Compuestos de tamaño nanométrico.	23
8.	Adhesión del PEEK a composites dentales.	24
8.1.	Abrasión por partículas de aire.	25
8.2.	Tratamiento con plasma.	26
8.3.	Grabado ácido.	26
8.4.	Tratamiento con láser.	28
9.	PEEK en el mercado dental.	29
9.1.	PEEK-OPTIMA™.	29
9.2.	BioHPP®.	29

10.	Usos del PEEK en implantología.	30
10.1.	PEEK como implante.	31
10.2.	PEEK como pilar de implante.....	32
11.	Usos del PEEK en prótesis.	33
11.1.	PEEK en prótesis removible.....	34
11.2.	PEEK en prótesis fija.....	37
11.2.1.	PEEK en prótesis fija implantosoportada.	38
11.3.	PEEK en prótesis maxilofacial.	41
12.	Usos del PEEK en ortodoncia.	45
12.1.	PEEK como alambre para ortodoncia.	45
12.2.	PEEK como recubrimiento de alambre Níquel-Titanio.	46
12.3.	PEEK como retenedor lingual.	47
13.	Usos del PEEK en odontopediatría.	48
13.1.	PEEK como mantenedor de espacio.....	49
14.	Conclusiones.....	52
15.	Referencias bibliográficas.	54
16.	Referencias de imágenes.	58



1. Introducción.

El Poliéter Éter Cetona (PEEK) fue desarrollado en el año de 1978 y para el año de 1988 se aprobó para su aplicación en odontología.

El material PEEK es un polímero termoplástico, tiene un color blanco/opaco o grisáceo y presenta buenas características físicas y mecánicas. Por lo que se ha tratado de utilizar en diferentes áreas como en la implantología y prótesis.

Gracias a la aceptación en las áreas de implantología y prótesis, se ha ampliado el uso de PEEK en el campo de ortodoncia utilizándolo como alambre para ortodoncia o como recubrimiento de alambres de metal para ortodoncia. También se ha empezado a utilizar en la odontopediatría como mantenedor de espacio.

Aunque el PEEK es un material con muy buenas propiedades se han tratado de mejorar mediante la combinación con otros materiales a partir de varios tratamientos en la superficie de PEEK para que pueda tener una mayor aceptación en el campo odontológico.



2. Propósito.

El propósito de este trabajo es hacer una revisión de la literatura de un biomaterial relativamente nuevo en la odontología el cual es el Poliéter Éter Cetona, conocido comúnmente como PEEK.

En este trabajo abordare su composición, sus características y sus aplicaciones clínicas en el campo odontológico para que el cirujano dentista de práctica general conozca los nuevos materiales disponibles y así tenga una variedad más amplia de tratamientos que ofrecer al paciente de acuerdo a las necesidades que se vayan presentando en nuestra práctica diaria y muchas veces para satisfacer la demanda de los pacientes que requieren restauraciones libres de metales.

3. Antecedentes.

El Poliéter Éter Cetona (PEEK) fue desarrollado por científicos ingleses en el año de 1978.^{1, 2, 3, 4, 5} Para el año de 1980, el PEEK se empezó a comercializar para aplicaciones industriales como la fabricación de partes de automóviles y aviones como álabes de turbina, piezas de pistones, aislamiento de cables y válvulas de placa para compresor como se puede ver en la imagen 1.^{2, 3, 4, 5, 6, 7.}



Imagen 1. Válvulas de placa para compresor hechas de PEEK.¹

El PEEK se patentó como material de implantación en el año de 1981 y aceptado a finales de los años 1990 por la FDA (Food and Drug Administration, EE. UU.), especialmente en las áreas de Ortopedia, Traumatología y Neurocirugía.^{8, 9, 10}

A partir de entonces el PEEK se empezó a utilizar en cirugías vertebrales como material de la caja de fusión intersomática

(ver imagen 2), en tratamientos ortopédicos, operaciones cardíacas y cirugías maxilofaciales.^{8, 10}



Imagen 2. Caja intersomática cervical con PEEK.²

En el año 1988 se aprobó el material PEEK para uso en la cavidad bucal, PEEK se introdujo en aplicaciones dentales en el año de 1992, primero en forma de implantes (ver imagen 3) y posteriormente como pilar para implantes. Después con éxito en prótesis implantosoportadas.^{8, 10}



Imagen 3. Implante PEEK. ³

4. Propiedades generales del PEEK.

El Poliéter Éter Cetona (PEEK) es un polímero termoplástico lineal semicristalino, presenta una estructura molecular poliaromática, con combinaciones de grupos cetona y éter como se muestra en la imagen 4. ^{2, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12} Esta estructura molecular proporciona al material estabilidad a altas temperaturas, resistencia al daño químico, resistencia y compatibilidad con agentes reforzantes como fibras de carbono y fibras de vidrio. ^{4, 8, 10}

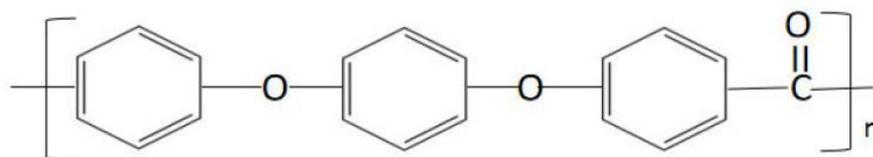


Imagen 4. Fórmula química de la Poliéter Éter Cetona (PEEK) Polímero termoplástico semicristalino poliaromático con estructura química $(-C_6H_4 - O - C_6H_4 - O - C_6H_4 - CO-)_n$. ⁴



PEEK presenta un color blanco/opaco o grisáceo. Dado su color no es adecuado para restauraciones con fines estéticos.^{8, 9, 13} Por lo que, se han utilizado enfoques de unión con resinas para obtener resultados más estéticos.^{8, 9}

4.1. Propiedades químicas, físicas y mecánicas.

PEEK es químicamente inerte, es insoluble a temperatura ambiente en todos los disolventes de uso común excepto en el ácido sulfúrico al 98%, presenta alta resistencia a la radiación gamma y es radiotransparente.^{1, 3, 5, 7, 8, 14}

PEEK no presenta corrosión, por lo cual no se degrada al momento de estar en contacto con la acción de la saliva, por los cambios de pH, por la interacción con alimentos, bebidas o placa bacteriana ni al envejecimiento.⁸

Las propiedades físicas y mecánicas se muestran en la tabla 1.^{1, 10, 12, 13, 15, 16, 17}

Tabla 1. Propiedades físicas y mecánicas del PEEK.

Propiedades físicas y mecánicas	
Módulo elástico	3000 a 4000 MPa
Módulo de flexión	140 a 170 MPa
Resistencia a la tracción	80 MPa
Conductividad térmica	0.29 W/mK

Absorción de agua	6.5 g / mm ³
Solubilidad en agua	0.5% p/p
Fuerza de unión	> 25 MPa
Densidad	1.3-1.5 g/cm ³
Dureza	110 HV

4.2. Características biológicas.

PEEK actúa como un material relativamente bioinerte con limitaciones en fijación al hueso, propiedad que ha sido objeto de investigación.¹⁵ La biocompatibilidad del PEEK se ve afectada por las características de su superficie, la humectabilidad y la composición química.^{1, 8} PEEK presenta una superficie hidrofóbica, por lo cual no permite la absorción de proteínas, no promueve la adhesión celular y la formación de placa bacteriana es menor que en otros materiales.^{1, 8}

De acuerdo a la evaluación de los componentes del PEEK, no se ha demostrado evidencia de citotoxicidad, mutagenicidad o carcinogenicidad.^{1, 2, 4, 5, 6, 7, 10}

5. Presentación del PEEK.

El PEEK se puede encontrar en forma de cilindro, gránulos, polvo o polvo ultrafino como se puede observar en la imagen 5.^{8,18}

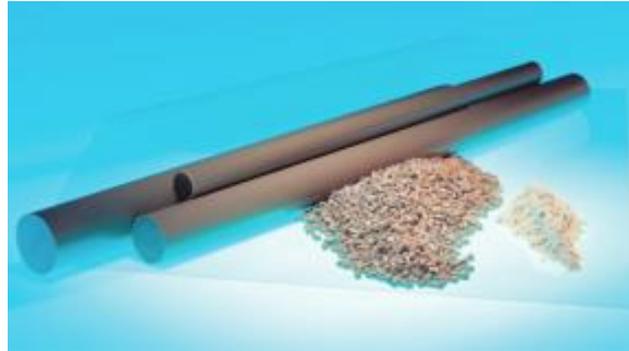


Imagen 5. PEEK en forma de cilindro, gránulo y polvo. ⁵

6. Procesamiento del PEEK.

6.1. Moldeo por inyección.

El moldeo por inyección es un tipo de fabricación atractiva para la proyección masiva de implantes fabricados con PEEK. Este tipo de moldeo se realiza con cilindros o gránulos, que se vierten en una tolva que tiene la máquina (ver imagen 6). Los cilindros o gránulos se introducen automáticamente y llegan a la cámara de calentamiento que tiene una temperatura de 400°C, aquí hay un émbolo y este mantiene una presión constante hacia el polímero de modo que fluya hacia un molde que está optimizado y especialmente diseñado con la geometría de la pieza deseada además tiene una temperatura que va de 175 a 205°C. Una vez que el componente PEEK se vuelve sólido, es expulsado del molde y se obtiene el producto final. ^{8,18}



Imagen 6. Máquina de inyección PEEK. ⁵

6.2. Moldeo por extrusión.

Los gránulos o cilindros son la materia prima para el proceso de extrusión. Este proceso es similar al moldeo por inyección, los cilindros o gránulos se vierten en una tolva que tiene la llegando a la cámara de calentamiento que tiene una temperatura de 400 °C, aquí hay un tornillo y este mantiene una presión constante hacia el polímero de modo que fluya. Después el polímero fundido se enfría lentamente a temperatura ambiente a lo largo de una línea de extrusión y se obtiene el producto final. Este proceso se lleva a cabo en la máquina que se muestra en la imagen 7 ^{8,18}

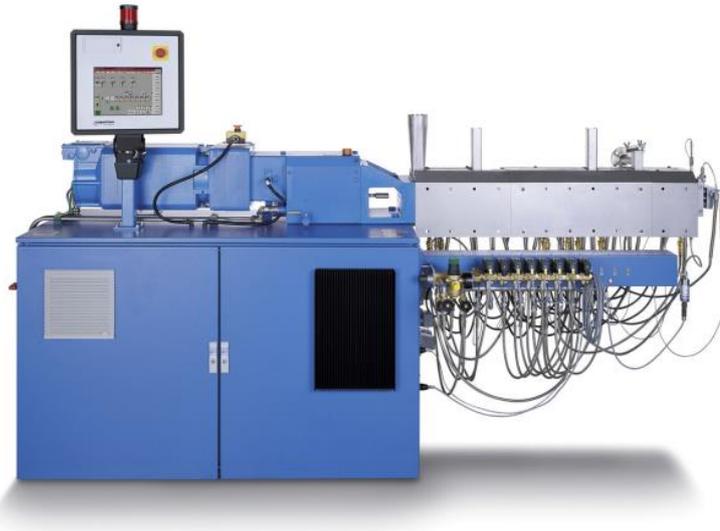


Imagen 7. Máquina extrusora de PEEK. ⁵

6.3. Moldeo por compresión.

Para este tipo de moldeo se recomienda el polvo ultrafino y la máquina para procesar el PEEK mediante compresión (ver imagen 8) consta de dos platos calentados. El plato inferior contiene un hueco para la placa o la hoja que se carga con polvo o gránulos. Los platos son entonces presionados juntos y calentados para consolidar el polvo o los gránulos para que este tome forma del molde del plato inferior. Comparado con el moldeo por inyección es un proceso relativamente económico, pero los tiempos de ciclo son largos. Por lo que este tipo de moldeo no se recomienda para producción de alto volumen. ^{8, 18}



Imagen 8. Máquina de compresión para PEEK. ⁵

6.4. Procesamiento por CAD-CAM.

CAD-CAM (diseño asistido por computadora-Fabricado asistido por computadora) es un proceso de diseño y fabricación asistido por computadora para restauraciones utilizando materiales biocompatibles. ^{4,13}

PEEK es un material atractivo para ser procesado por CAD-CAM (ver imagen 9), ya que es más fácil de fresar y este proceso de fresado no afecta las propiedades de PEEK. ^{4, 10}



Imagen 9. Estructura PEEK diseñada por computadora.⁶

Se ha reportado que cuando las prótesis de PEEK son elaboradas por CAD-CAM su resistencia a la fractura es mucho mayor que la alúmina, la zirconia o el disilicato de litio.⁴

Para este tipo de procesamiento el PEEK se presenta en forma de disco (ver imagen 10 y 11) para que pueda ser fresado y dar paso a la fabricación de prótesis fijas y removibles.^{4, 8}



Imagen 10. Discos PEEK color blanco para CAD-CAM.⁷



Imagen 11. Disco PEEK color rosa para CAD-CAM.⁸

7. Modificación de la superficie del PEEK.

Como ya se mencionó en el punto 4.2, el PEEK actúa como un material relativamente bioinerte con limitaciones en fijación al hueso y esto es debido a su superficie hidrofóbica, por lo cual no permite la absorción de proteínas y no promueve la adhesión celular cuando PEEK se utiliza como material de implante.^{1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 15}

Dada sus limitaciones a fijación en hueso se ha tratado de modificar la superficie de PEEK mediante algunas estrategias como lo son el tratamiento físico, tratamiento químico, revestimiento de la superficie y preparación con compuestos (ver imagen 12) para que PEEK pueda ser un material

bioactivo y pueda ser utilizado en el campo de la implantología (ver imagen 13). 4, 5, 7, 9, 10, 11.

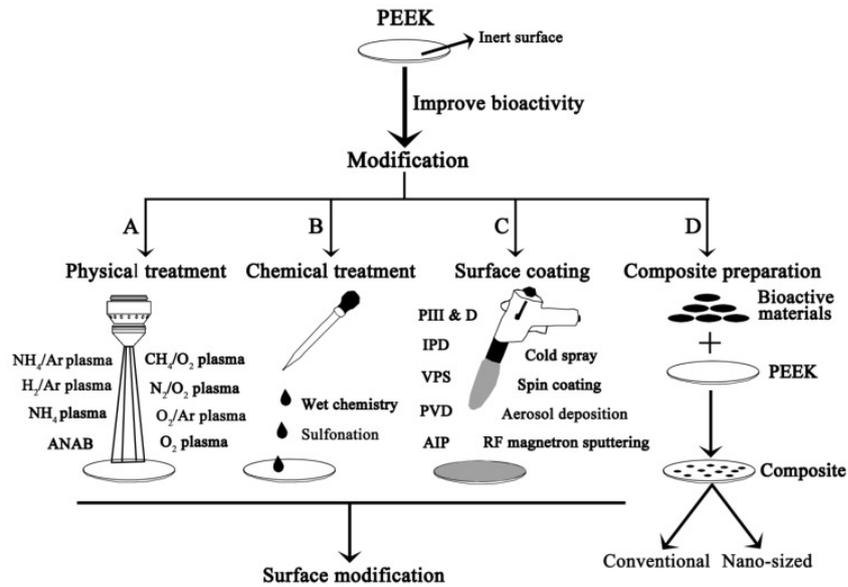


Imagen 12. Esquema de estrategias para mejorar la bioactividad de PEEK.⁹

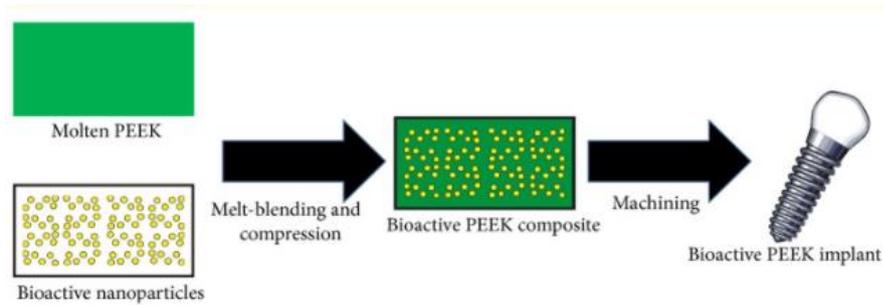


Imagen 13. Diagrama esquemático del proceso de fusión-mezcla para producir compuestos de PEEK bioactivos.¹⁰

7.1. Tratamiento físico.

Los tratamientos físicos para modificar la superficie de PEEK son las modificaciones con plasma (como plasma de oxígeno (O_2), plasma de amoníaco (NH_4), plasma de nitrógeno y oxígeno (N_2 / O_2), plasma de metano y oxígeno (CH_4 / O_2), plasma de oxígeno y argón (O_2 / Ar), plasma de amoníaco / argón (NH_4 / Ar) (ver imagen 14) y plasma de hidrógeno / argón (H_2 / Ar) y el haz de átomo neutro acelerado (ANAB).^{4, 5, 7}

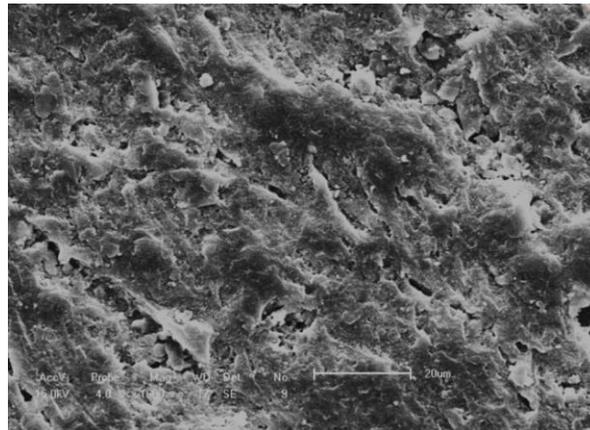


Imagen 14. Superficie PEEK tratada con Plasma de argón.⁴

Los plasmas son gases ionizados, las partículas generadas por los gases pueden interactuar con la superficie del PEEK y modificar sus propiedades físicas y químicas superficiales sin cambiar las propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas.^{4, 5, 7}

La técnica ANAB se caracteriza porque se emplean haces intensos de átomos de gas neutro dirigidos a la superficie PEEK, estos se pueden controlar y dar como resultado una textura controlable a escala nanométrica de la superficie a una profundidad de 5 nm y así mejorar la osteointegración.^{4,5}

7.2. Tratamiento químico.

Los tratamientos químicos son muy raros. Solo la modificación química húmeda o el tratamiento de sulfonación pueden modificar la superficie de PEEK.^{4,5,7}

7.3. Revestimiento de la superficie.

Se han utilizado varios materiales para revestir la superficie de PEEK como la hidroxiapatita (HA), el titanio (Ti), el dióxido de titanio (TiO_2) y el carbono tipo diamante (DLC) para poder mejorar la bioactividad del implante PEEK.^{4,5,7,12,19}

El material bioactivo más utilizado como revestimiento de PEEK es la HA.^{5,7} Lee y cols. utilizaron una técnica de pulverización en frío para fabricar PEEK recubierto de HA y evaluar su bioactividad. Las pruebas indicaron que en términos de adhesión celular, morfología, proliferación, diferenciación y relación de contacto hueso-implante, fue notablemente mejorada por el recubrimiento de HA.^{5,7}



El titanio (Ti) es el material de implante más utilizado para aplicaciones dentales y ortopédicas que soportan cargas debido a sus excelentes propiedades mecánicas y biológicas. Por lo que Ti es apropiado como material de recubrimiento para PEEK.^{5,7}

Chang Yao y cols. estudiaron la adhesión de osteoblastos en PEEK recubierto con Ti utilizando el proceso de deposición de plasma iónico (IPD). Los estudios arrojaron que el PEEK recubierto con Ti aumentó significativamente la adhesión y la extensión de los osteoblastos a la rugosidad superficial nanométrica.^{5,7}

Cook y cols. aplicaron la deposición de vapor de plasma (PVD) para revestir con Ti la superficie de PEEK. La evaluación histológica y la evaluación mecánica revelaron que las muestras recubiertas de Ti tenían porcentajes significativamente más altos de contacto con el hueso que las muestras no recubiertas.^{5,7}

Han y cols. recubrieron con Ti el PEEK utilizando un proceso de deposición por haz de electrones, este produjo una película densa y uniforme sobre el sustrato a bajas temperaturas. Los resultados fueron una mejor unión celular, mejor proliferación y diferenciación osteoblástica, además aumentó la relación de contacto hueso-implante.⁵

En otro estudio, PEEK se revistió con Ti mediante un proceso de pulverización de plasma al vacío (VPS) y se trató químicamente en una solución de hidróxido de sodio



(NaOH). En este PEEK revestido se formó una capa de fosfato cálcico durante la inmersión en fluido corporal simulado (SBF), mientras que no se produjo esta capa de fosfato de cálcico en las superficies de PEEK sin tratar.^{5, 7, 11}

Con respecto al material de dióxido de titanio (TiO_2) se ha demostrado que tiene buena biocompatibilidad, bioactividad, hidrofiliidad y resistencia a la corrosión. El TiO_2 puede depositarse sobre el sustrato de PEEK mediante una técnica de recubrimiento de iones de arco (AIP) siguiendo tres pasos (bombardeo de iones de argón, deposición de la capa inferior de titanio y recubrimiento de TiO_2 deposición) a una temperatura de deposición baja sin dañar el sustrato de PEEK, al tiempo que proporciona una adhesión de película satisfactoria. A partir de los resultados de las capacidades de adhesión, proliferación y osteo-diferenciación celular, se concluye que el TiO_2 /PEEK recubierto mostró una mejor compatibilidad con los osteoblastos.^{5, 7}

Otro material que se utiliza con menos frecuencia es el carbono tipo diamante (DLC). Chu y cols. recubrieron PEEK con carbono tipo diamante mediante la técnica de implantación y deposición de iones por inmersión en plasma. Los resultados demostraron mejorar significativamente la unión y extensión de los osteoblastos.⁵



7.4. Preparación con compuestos.

Algunas cerámicas, como la hidroxiapatita (HA), la fluorohidroxiapatita (HAF), el dióxido de titanio (TiO_2), el silicato de calcio (CS), el biovidrio y la vitrocerámica, se denominan materiales bioactivos debido a su capacidad para unirse a hueso, aunque estos biomateriales presentan algunas desventajas como una mayor tendencia a la fractura y un módulo elástico más alto en comparación con el hueso humano. ^{4, 5, 7, 20}

7.4.1. Compuestos convencionales.

Gracias a que la HA presenta una biocompatibilidad, bioactividad y osteoconducción aparte de utilizarse como material de recubrimiento para PEEK, también se ha utilizado como material de relleno para preparar el compuesto PEEK. Diversos estudios han realizado investigaciones acerca de las propiedades mecánicas del compuesto PEEK con incorporación de HA y estas han arrojado buenos resultados en las propiedades mecánicas, adecuada biocompatibilidad y un módulo similar al hueso cortical. Aunque también se observó que no soporta las cargas a largo plazo y esto es por el tamaño de las partículas (micrómetros) pues hacen que existan propiedades mecánicas inferiores a las que ofrece el PEEK puro. ^{4, 5, 7, 21}



7.4.2. Compuestos de tamaño nanométrico.

El compuesto convencional HA / PEEK puede no soportar cargas a largo plazo debido al tamaño de las partículas, por lo que los científicos decidieron usar nanotecnología para mejorar la bioactividad de PEEK y a su vez mejorar sus propiedades mecánicas. Wang y cols. prepararon nanocompuestos HA / PEEK mediante un proceso de moldeo por inyección y encontraron que este nuevo nanocompuesto exhibía propiedades mecánicas satisfactorias y un alto contenido superficial de HA.^{4, 5, 7}

Otro compuesto convencional es la fluorohidroxiapatita (HAF) esta se caracteriza por una mayor proliferación de células óseas en comparación con la hidroxiapatita (HA). Otro punto importante de la fluorohidroxiapatita es su efecto antibacteriano debido a la presencia de iones fluoruro (F^-). Wang y cols. han demostrado que se puede producir implantes PEEK / nano-HAF presentando propiedades antimicrobianas principalmente contra *Streptococcus mutans*, uno de los agentes causantes de periodontitis, y además puede llegar a presentar un módulo elástico 3 veces mayor que el de PEEK puro. Aunque es importante que se realicen más estudios para investigar las propiedades de HAF antes mencionadas.^{20, 21}



Un compuesto nanométrico que se puede llegar a utilizar para PEEK es el dióxido de titanio (TiO_2). Wu y cols. han sugerido la incorporación de partículas nanométricas de TiO_2 a la superficie de PEEK para así obtener mejores propiedades mecánicas y una mayor cantidad de hueso alrededor de los implantes de PEEK / nano- TiO_2 en comparación con el PEEK puro.²⁰

Sin embargo antes de incorporar TiO_2 a PEEK se debe de tomar en cuenta que hasta la fecha, no hay ningún estudio que haya investigado la posible liberación de partículas de TiO_2 de los compuestos PEEK / nano- TiO_2 después de someterse a una carga mecánica. Y esto debido a que las partículas de TiO_2 pueden estimular una respuesta inflamatoria o cancerígena en las células. Por lo que es importante que se realicen estudios para evaluar si existe la liberación de TiO_2 cuando se utiliza como nanocompuesto en PEEK.²⁰

8. Adhesión del PEEK a composites dentales.

El PEEK presenta problemas de adhesión hacia los compuestos de resina dado su comportamiento inerte y su baja energía superficial por lo que se ha tratado de mejorar las propiedades adhesivas de PEEK a los composites. Entre los tratamientos esta la abrasión por partículas de aire, el tratamiento con plasma, grabado ácido y tratamiento láser. En la imagen 15 se muestra el proceso de acondicionamiento de

PEEK mediante grabado ácido para restaurarlo con resina compuesta.^{9, 22}

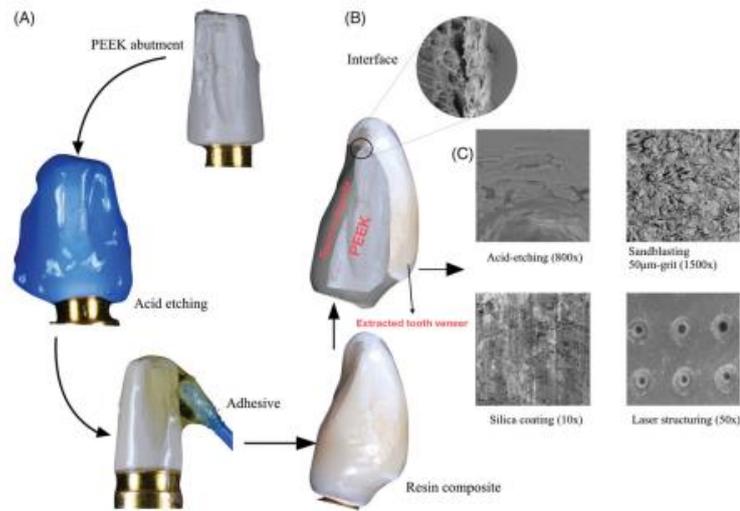


Imagen 15. Ilustración esquemática de una restauración provisional de implante de resina compuesta de PEEK. (A) Secuencia experimental: pilar provisional PEEK; Pretratamiento de superficie PEEK mediante grabado ácido; Aplicación de adhesivo a la superficie de PEEK; revestimiento de resina compuesta. (B) Vista detallada de PEEK. (C) Morfología de la superficie de PEEK después de diferentes pretratamientos.¹¹

8.1. Abrasión por partículas de aire.

La abrasión por partículas de aire puede llegar a mejorar la microrrugosidad y el área de la superficie de unión, y a su vez limpiarla, dando así una mayor fuerza de unión entre la resina de recubrimiento y PEEK.⁹

Cuando el tratamiento de abrasión por partículas de aire se llega a combinar con el grabado ácido, se puede lograr la adhesión entre PEEK y la resina de

recubrimiento. Keul y cols. investigaron los efectos de la abrasión por aire y la abrasión por aire + grabado con solución de piraña (ácido sulfúrico, agua y peróxido de hidrógeno). Los resultados arrojaron que la fuerza de unión era mayor en la abrasión por aire + grabado con solución piraña que solo con la abrasión por aire.⁹

8.2. Tratamiento con plasma.

Varios estudios se centraron en el tratamiento con plasma. Por ejemplo, Stawarczyk y cols. revelaron que un plasma a baja presión de gas helio no mejoraba la adhesión de la resina a PEEK. Sin embargo, Zhou y cols. obtuvieron una adhesión de la resina a PEEK. Pues ellos trataron la superficie con plasma de argón, y la superficie presentaba grietas y surcos lo que ayudaba a mejorar la rugosidad de la superficie PEEK y la fuerza de unión con la resina.⁹

8.3. Grabado ácido.

Los estudios han demostrado que se puede obtener una buena adhesión de la resina a la superficie de PEEK mediante el grabado ácido. Cuando se llega a tratar la superficie de PEEK con ácido sulfúrico al 98%, se presenta una superficie porosa y permeable como se puede observar en la imagen 16.^{9, 10}



Imagen 16. Superficie PEEK tratada con ácido sulfurico al 98%.⁴

Cuando se presenta este tipo de superficie porosa se ve mejorada la fuerza de unión entre la resina y el PEEK. Ahora bien si se trata la superficie de PEEK con ácido fluorhídrico al 9.5% la fuerza de unión entre la resina y PEEK es deficiente pues la superficie no presenta porosidad como se puede observar en la imagen 17.⁹

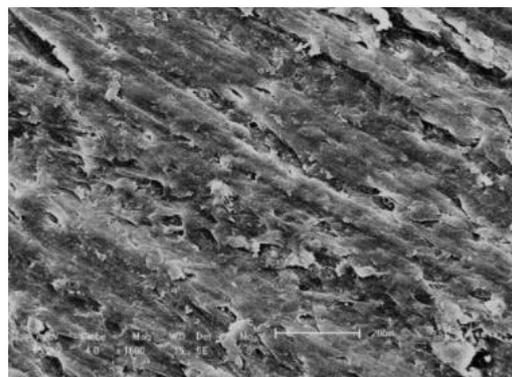


Imagen 17. Superficie PEEK tratada ácido fluorihidrico al 9.5%.⁴



Es importante recordar que el uso de ácido sulfúrico con una alta concentración como lo es al 98% es riesgoso debido a su naturaleza corrosiva pues puede llegar a causar daños a las mucosas por lo que esta desventaja del ácido sulfúrico al 98% ha limitado su aplicación en la mejora de PEEK.⁹

8.4. Tratamiento con láser.

Como método prometedor para mejorar la fuerza de unión de PEEK se encuentra el tratamiento de irradiación con láser ya que este ha atraído mucha atención, sin embargo se han encontrado resultados negativos. En un estudio se realizó el tratamiento láser con CO_2 obteniendo resultados negativos pues la superficie de PEEK no tuvo un cambio significativo. En otro estudio el uso de irradiación con láser de granate de itrio aluminio dopado con erbio (Er: YAG) proporcionó una superficie de unión más alta; por lo que podría ser un enfoque factible para mejorar las propiedades adhesivas de PEEK.^{9,23}

Además de los tratamientos con láser de CO_2 y Er: YAG, se ha propuesto utilizar un láser de ortovanadato de itrio dopado con neodimio (Nd: YVO_4) para tratar la superficie de PEEK, Se comenta que se pueden fabricar ranuras uniformes en la superficie de PEEK para mejorar significativamente la fuerza de unión entre la resina y el PEEK. Por lo que se puede concluir que los tratamientos con láser podrían servir como un



método prometedor para mejorar las propiedades adhesivas de PEEK.⁹

9. PEEK en el mercado dental.

9.1. PEEK-OPTIMA™.

Es el primer material termoplástico que se utilizó para la elaboración de implantes. Fue desarrollado en 1999 por Invibio Biomaterial Solutions Co. PEEK-OPTIMA™ se está utilizado en odontología para elaborar implantes y pilares protésicos provisionales.^{8, 15}

Hoy en día la compañía de Invibio ha hecho modificaciones en PEEK sacando al mercado PEEK-OPTIMA™ HA, (se caracteriza por el agregado de hidroxiapatita (HA) para estimular el crecimiento óseo), PEEK-OPTIMA™ reforzado (se caracteriza por el agregado de fibras de carbono cortas dispersas dentro de la matriz de PEEK mejorando las propiedades físicas y mecánicas) y PEEK-OPTIMA™ ultra reforzado (se caracteriza por el agregado de fibras de carbono continuas dispersas dentro de la matriz de PEEK mejorando las propiedades físicas y mecánicas).⁵

9.2. BioHPP®.

BioHPP® (Bio polímero de alto rendimiento) fue desarrollado por Bredent GmbH para uso en el campo odontológico. Esta versión de PEEK se

caracteriza por el agregado de rellenos cerámicos (óxido de aluminio y óxido de zirconio con tamaño de grano entre 0,3-0,5 mm). El pequeño tamaño del grano es responsable de las buenas propiedades físicas, mecánicas y del pulido mejorado. BioHPP se utiliza para prótesis fijas de tres a cuatro unidades, pilares de implantes y estructuras para prótesis implantosoportadas ver imagen 18.^{8, 15}



Imagen 18. Prótesis fija de BioHPP®.¹²

10. Usos del PEEK en implantología.

Se estima que el PEEK podría ser una alternativa a los materiales convencionales en implantología como el oro (Au), tantalio (Ta), acero inoxidable, aleación Níquel-Titanio (NiTi), aleación de titanio (Ti), aleación de Cobalto-Cromo (Co-Cr) las cuales se han utilizado en la clínica como prótesis permanentes (prótesis de cadera, implantes dentales, etc.), o como implantes temporales (placas, clavijas, tornillos y varillas para la fijación de fracturas óseas).^{2, 5}



Los metales convencionales proporcionan una resistencia mecánica favorable, excelente resistencia a la fricción y propiedades no tóxicas. Sin embargo, algunas desventajas como su alta resistencia y módulo elástico han impedido sus aplicaciones médicas.^{2, 5, 9}

Como PEEK ha demostrado una alta biocompatibilidad en odontología, se ha convertido en un material que se utiliza en la producción de implantes, pilares para implantes y prótesis fija y removible aunque estos no se han utilizado clínicamente de forma extensiva.^{2,9}

10.1. PEEK como implante.

El titanio (Ti) y sus aleaciones se han utilizado como implantes dentales desde que Brånemark los introdujo a finales de la década de 1960.^{2, 4} Los materiales de Ti poseen buenas características fisicoquímicas, propiedades mecánicas, biocompatibilidad y alta resistencia a la fatiga. Independientemente de las buenas características del titanio, este material se ha visto implicado en problemas clínicos, como hipersensibilidad y alergias al metal, degradación y contaminación de la superficie del implante relacionada con la periimplantitis.^{2, 3, 4, 12, 16}

El aspecto metálico del titanio también puede ser un problema, ya que las restauraciones altamente estéticas se están volviendo importantes por la alta

demanda de los pacientes.¹² Se estima que estos aspectos negativos que se pueden ver en los implantes de titanio podrían eliminarse con el uso de un implante producido por un material no metálico como PEEK.²

10.2. PEEK como pilar de implante.

El material del pilar juega un papel importante en la prevención de la recesión de tejidos blandos. Los metales como el titanio y las cerámicas como el óxido de circonio se han estado utilizando para la fabricación de pilares de implantes dentales.^{9, 10, 16}

Recientemente, PEEK se introdujo como material de implante y gracias a este uso, PEEK se ha estado utilizando como pilar de implante en los últimos años (ver imagen 19).⁹



Imagen 19. En la imagen se puede observar la alta estética que se alcanza con un pilar elaborado con PEEK en comparación con un pilar de titanio.¹³



Hahnel y col. analizaron la formación de biopelícula en pilares de implantes fabricados con diferentes materiales como el titanio, zirconia y PEEK. Los resultados arrojaron que PEEK podría ser un material favorable para la fabricación de pilares para implantes presentando una menor formación de biopelícula en su superficie comparada con los pilares tradicionales.⁹

Sin embargo, PEEK no se utiliza como un material de pilar definitivo porque su resistencia a la fractura es menor que la del titanio por lo cual PEEK se ha reforzado con titanio, para que así el pilar no presente fractura al contrario que presente una mayor biocompatibilidad además de que se pueda preservar la altura del hueso y estabilizar el tejido blando.^{4,9}

Aunque solo hay pocos estudios sobre la evaluación clínica de los pilares PEEK, es necesario que se realicen ensayos clínicos más exhaustivos para evaluar las respuestas de los tejidos duros y blandos así como evaluar su comportamiento ante la menor formación de biopelícula en su superficie, ya que los pocos estudios que hay no son suficientes.⁹

11. Usos del PEEK en prótesis.

Gracias a la tecnología CAD-CAM (diseño asistido por computadora-Fabricado asistido por computadora) se han podido introducir biomateriales para la fabricación de prótesis

dentales mucho más precisas. PEEK puede fresarse con precisión para la fabricación de prótesis dentales con buenas propiedades físicas y mecánicas.¹³

11.1. PEEK en prótesis removible.

PEEK se utiliza en prótesis removible (ver imagen 20) como alternativa a los materiales metálicos convencionales de Cobalto-Cromo.¹⁰



Imagen 20. A) Prótesis removible hecha con PEEK. B) Prótesis removible PEEK en boca.¹⁴

El PEEK presenta propiedades favorables como excelente biocompatibilidad, adecuadas propiedades mecánicas, resistencia térmica y química, color blanco y bajo peso específico que permiten la fabricación de estas prótesis removibles sin metal. Gracias a su color blanco y a que no es un metal nos ayuda a eliminar la estética inaceptable del metal y el riesgo de sabor metálico así como alergias a las estructuras metálicas.^{2, 7, 13}



Chen y cols. encontraron que las estructuras de PEEK causaban valores de tensión más bajos en el ligamento periodontal que las aleaciones de cobalto-cromo. Por lo que se podría decir que las prótesis elaboradas de PEEK podrían recomendarse para pacientes con enfermedades periodontales. Aunque cabe señalar que en el mismo estudio se encontró que las estructuras de PEEK con alguna extensión hacia distal, en esta zona en específico existía una mayor tensión hacia la mucosa lo cual podría provocar dolor, reabsorción ósea y desajuste de la base de la prótesis viéndose afectada la correcta masticación.¹³

Los autores concluyeron que aunque en el PEEK existan valores de tensión menores hacia el ligamento periodontal se debe de tener precaución cuando las prótesis removibles presenten una prolongación hacia distal ya que puede afectar la mucosa a tal punto que llegue ser incómoda para el paciente.¹³

La fuerza de retención y la resistencia a la fatiga son factores importantes en las prótesis removibles por lo que se han realizado estudios y se ha encontrado que los cierres fabricados con PEEK (ver imagen 21 y 22) exhibían valores de fuerza de retención menor que los cierres de aleación de Cromo-Cobalto. Aunque se ha considerado que los valores de la fuerza de retención

de los cierres de PEEK son suficientes para el uso clínico. Por otro lado Tannous y cols. han recomendado rebajar los cierres de PEEK 0,5 mm.^{7, 11, 13, 14}



Imagen 21. Ajuste de los cierres PEEK a los pilares.¹⁵



Imagen 22. Vista oclusal de los cierres PEEK 2 años después.¹⁵

Por otro lado no se han encontrado diferencias significativas en la deformación de los cierres hechos con PEEK (ver imagen 23) y los cierres Cromo-Cobalto.^{7, 11, 13}

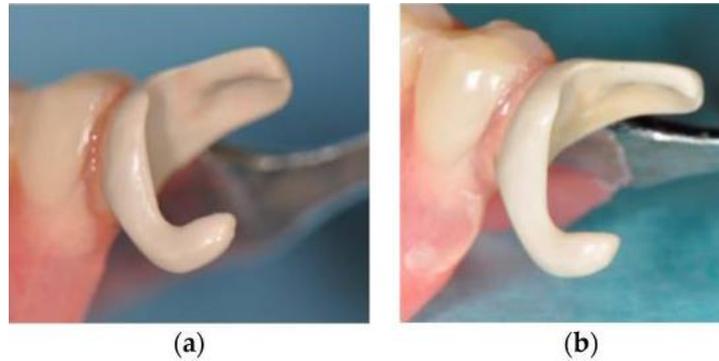


Imagen 23. a) Superficie de cierre PEEK antes de colocarla en boca. b) Superficie de cierre PEEK después de dos años en boca. ¹⁵

11.2. PEEK en prótesis fija.

El PEEK es un material con propiedades mecánicas favorables para el uso en prótesis fija (ver imagen 24) pero presenta una desventaja, la cual es su color opaco/grisáceo o blanco por lo que se deben recubrir con una resina compuesta para cumplir con la estética.

13



Imagen 24. Prótesis fija PEEK de 3 unidades. ¹⁶



Gracias a varios estudios comparando a la zirconia, el disilicato de litio y una aleación de alto contenido de oro y PEEK se ha llegado a la conclusión de que PEEK presenta un valor más alto para el módulo de resiliencia que el disilicato de litio, comparable al de la aleación de oro, lo que indica una alta capacidad para absorber elásticamente la energía de fractura. En cuanto a la tensión-deformación se encontró que PEEK presentaba una alta capacidad para disipar energía plástica lo que hace que el material PEEK pueda soportar cargas a la masticación sin fracturarse.^{13, 15, 16}

11.2.1. PEEK en prótesis fija implantoportada.

Las estructuras para prótesis dentales fijas soportadas por implantes se fabrican normalmente con aleaciones metálicas o fresando titanio o zirconia. Sin embargo, algunos informes clínicos recientes han presentado estructuras de PEEK recubiertas con resina compuesta (ver imagen 25 y 26) como una solución para prótesis fijas implantoportadas para pacientes que experimentan alergias a los metales y que demandan restauraciones sin metal.¹³



Imagen 25. Estructura de PEEK sobre implantes en maxilar.¹⁷



Imagen 26. Estructura de PEEK sobre implantes en maxilar recubierta con resina compuesta de nanorelleno.¹⁷

Gracias a su módulo elástico bajo, PEEK proporciona un efecto amortiguador sobre las fuerzas oclusales. Por lo que el uso de PEEK podría ser ventajoso para este tipo de prótesis donde la propiocepción es mínima debido a la ausencia del ligamento periodontal y así eliminar complicaciones comunes como las fracturas de

carillas. Pero esta solución tiene un costo más elevado en comparación con las restauraciones metal-cerámicas o metal-acrílicas convencionales.¹³

Otras ventajas de PEEK son su radiolucidez (como se muestra en la imagen 27), su bajo peso específico lo que permite la fabricación de prótesis más ligeras, su color blanco el cual permite eliminar el aspecto grisáceo de las estructuras metálicas. Cabe mencionar que para lograr buenos resultados estéticos es importante combinar la estructura PEEK con resinas como se puede observar en la imagen 28.¹³



Imagen 27. En la radiografía panorámica se puede observar que la prótesis PEEK es radiotransparente.¹⁷



Imagen 28. Aplicación de resina compuesta de nanorelleno a la estructura PEEK.¹⁷

11.3. PEEK en prótesis maxilofacial.

Debido a la complejidad de las estructuras anatómicas maxilofaciales el elaborar una prótesis de cualquier tipo de estructura maxilofacial ha sido un reto. Han existido biomateriales como las mallas titanio o autoinjertos de costilla o cresta iliaca pero estos se han visto limitados en su aplicación. En el caso de las mallas de titanio porque éstas solo se llegan a utilizar en gran medida para defectos de la calota. En el caso de los autoinjertos se pueden encontrar dificultades para su modelado contorneado, el tiempo quirúrgico y la cantidad de hueso disponible.^{1, 24}

En los últimos años PEEK ha sido reconocido como material para la elaboración de prótesis

maxilofaciales debido a sus propiedades y a uno de sus métodos de fabricación como lo es el CAD-CAM, ya que con este método se pueden elaborar cualquier tipo de prótesis maxilofacial de acuerdo a la necesidad de cada paciente como se puede ver en las imágenes 29, 30, 31, 32 y 33.^{1, 24}

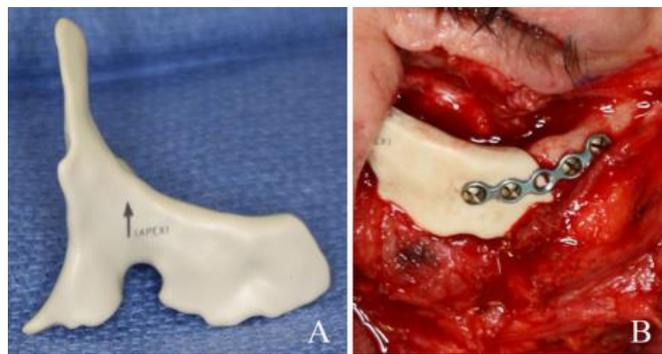


Imagen 29. A) Prótesis realizada con PEEK para reparación maxilar orbito-cigomática mediante CAD / CAM. B) Prótesis PEEK después de su colocación.¹⁸



Imagen 30. Defecto frontal secundario a estesioneuroblastoma. Imagen preoperatoria.¹⁹



Imagen 31. Exposición de malla de titanio. ¹⁹

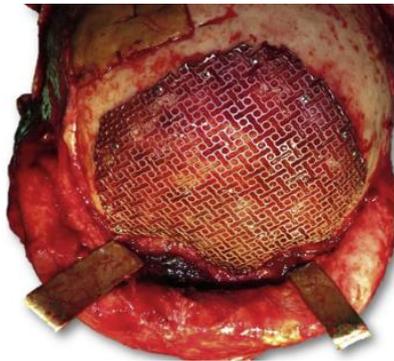


Imagen 32. Malla de titanio sustituyendo a prótesis de PEEK previa. ¹⁹

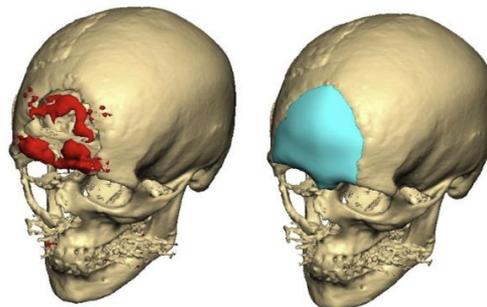


Imagen 31. Diseño de la prótesis planificada en azul para ser fabricada con PEEK.

19

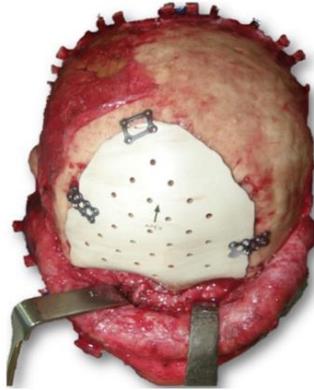


Imagen 32. Prótesis realizada con PEEK.¹⁹



Imagen 33. Imagen clínica después de colocar la prótesis fabricada con PEEK.¹⁹

En los pocos casos clínicos en los cuales PEEK ha sido utilizado como material para la elaboración de prótesis maxilofacial no se han presentado ningún tipo de complicaciones posoperatoria como infección, extrusión o mal posición al contrario se obtuvieron excelentes resultados favorables en cuanto a la función y la estética.^{1, 24}

12. Usos del PEEK en ortodoncia.

Debido a que mucha gente en la actualidad se preocupa por la estética, los alambres de ortodoncia no metálicos se están volviendo cada vez más solicitados por los pacientes.^{9, 25}

12.1. PEEK como alambre para ortodoncia.

PEEK se caracteriza por ser un material libre de metal superando así las principales deficiencias de las aleaciones metálicas, como es su mala estética, la liberación de iones metálicos y la corrosión en el entorno oral.^{9, 25}

Tada y cols. evaluaron las características de carga-deflexión y las propiedades de fricción de los alambres de PEEK, llegando a la conclusión de que estos alambres fabricados con PEEK eran adecuados para su uso en ortodoncia.⁹

Maekawa y cols. demostraron que PEEK en comparación con el poliéter sulfona (PES) y el polivinilideno difluoruro (PVDF), presenta una buena resistencia a la fluencia, buena resistencia a la flexión y una absorción de agua mínima, lo que lo hace un material adecuado para sustituir al metal.^{9, 25} Cabe señalar que se observó una mejor apariencia estética en PES y PVDF, en lugar de las muestras de PEEK como se puede mostrar en la imagen 34.^{2, 9, 25}

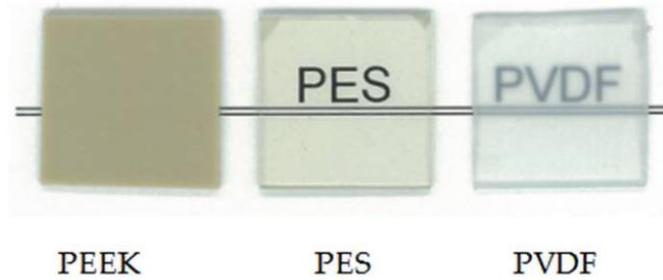


Imagen 34. Aspecto exterior del Color de PEEK, PES Y PVDF. ⁴

12.2. PEEK como recubrimiento de alambre Níquel-Titanio.

Además de utilizar PEEK como alambre de ortodoncia, también se puede utilizar como revestimientos de alambres Níquel-Titanio (como se puede observar en la imagen 35) para mejorar la resistencia a la corrosión y mejorar las propiedades mecánicas. ⁹

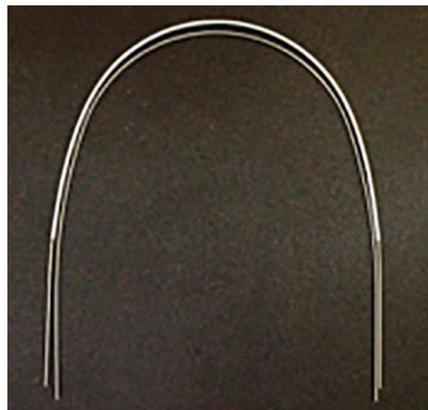


Imagen 30. Un arco de metal preformado y un arco de alambre se pasan a través de un tubo fabricado con PEEK, que cubre el alambre hasta la porción mesial del primer molar. ²⁰



Sin embargo es importante que se realicen más estudios para evaluar la estabilidad a largo plazo de los alambres de ortodoncia recubiertos de PEEK y los alambres hechos de PEEK pues las características de carga-deflexión y la fricción estática pueden verse afectadas por actividades orales, como lo es el comer, el cepillado dental y las pigmentaciones o decoloraciones debidas a los alimentos y/o bebidas. ⁹

En los pocos estudios que se han realizado, el alambre y el tubo PEEK mostró una diferencia de color, aunque este es casi idéntico al de los alambres metálicos que se utilizan clínicamente hoy en día. Sin embargo, para aproximar el color natural de los dientes, el color del alambre y del tubo fabricado con PEEK debe optimizarse aún más para satisfacer la demanda de la estética por parte de los pacientes. ²⁵

12.3. PEEK como retenedor lingual.

La retención es un paso que se debe de seguir cuando se realiza un tratamiento de ortodoncia; este se caracteriza por mantener los dientes en su posición después del tratamiento de ortodoncia y se realiza para tener un resultado favorable a largo plazo del mismo. ²⁶

PEEK llama la atención como alternativa a las aleaciones metálicas en el campo odontológico ya que

PEEK es un polímero termoplástico conocido por sus propiedades físicas y mecánicas.^{26, 27}

En los pocos casos que se ha utilizado PEEK como retenedor lingual (ver imagen 36) el principal inconveniente fue la adherencia del aparato PEEK hacia el diente. Por lo que es importante que se realicen más estudios para evaluar la unión de PEEK hacia el diente.²⁷



Imagen 36. Retenedor lingual fabricado con PEEK mediante CAD / CAM colocado después del tratamiento de ortodoncia.²¹

13. Usos del PEEK en odontopediatría.

La pérdida prematura de dientes temporales siempre ha sido un problema común en la odontología pediátrica, que da como resultado la alteración del arco y afecta negativamente la alineación adecuada de los dientes permanentes.²⁸

PEEK, objeto de estudio en los últimos años, gracias a sus características se ha propuesto como un material para la fabricación de mantenedores de espacio.²⁹

13.1. PEEK como mantenedor de espacio.

Los mantenedores de espacio pueden ser fijos o removibles, estos se utilizan para mantener el espacio de la cavidad bucal que se ha producido a partir de la pérdida prematura de los dientes temporales como se puede observar en las imagen 37 y 38.²⁸



Imagen 37. Mantenedor de espacio fijo PEEK compuesto por dos bandas de ortodoncia en los primeros molares inferiores.²²



Imagen 38. Mantenedor de espacio fijo PEEK, compuesto por una banda en el molar derecho y un ansa en contacto con los incisivos laterales derechos. ²²

Hay varias ventajas de utilizar el mantenedor de espacio ya sea fijo o removible, incluido el mantenimiento de las longitudes distal y mesial de un espacio, mientras se mantiene la altura vertical y se restaura la estética de los dientes, además nos ayuda a eliminar hábitos como la masticación unilateral. ²⁸

Sin embargo, los mantenedores de espacio convencionales presentan algunos inconvenientes, especialmente en términos de diseño y fabricación por lo cual cuando se realizan con PEEK son elaborados a partir de CAD-CAM para eliminar estos inconvenientes (ver la imagen 39). ^{28, 29}

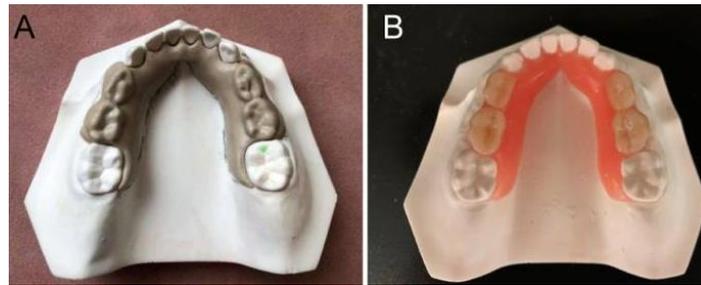


Imagen 33. A) Mantenedor de espacio removable con PEEK; B) Fabricación convencional de mantenedores de espacio removable.²³

Se han realizado algunos estudios de PEEK como mantenedor de espacio y los resultados arrojaron comodidad, y en algunos casos satisfacción con respecto al color, permanecieron estables, no se observó discementación, ni fractura y no se describió alergia, ni presencia de placa.²⁹

Hoy en día el costo de fabricación de los mantenedores de espacio con PEEK es alto y los colores que existen son pocos. Si se utiliza en el sector anterior, el color de la base y los dientes artificiales pueden afectar la estética por lo que es necesario que se mejore el color para que se pueda utilizar en cualquier sector de la cavidad oral.²⁸



14. Conclusiones.

Gracias a sus propiedades físico-químicas, mecánicas, su biocompatibilidad, su color y a su baja densidad, PEEK representa un material muy prometedor y versátil para su uso clínico en la odontología actual.

Ahora bien hablando del uso de PEEK en implantes de todas las características de PEEK las que representan una ventaja para su uso como implantes es su bajo módulo elástico, similar al del hueso y su baja dureza. Sin embargo, debemos de tener en cuenta que PEEK en su composición original es biológicamente inerte, lo que evita una buena unión con el tejido óseo. Aunque gracias a la modificación de la superficie PEEK ha mejorado su bioactividad.

En el caso del uso en prótesis, PEEK presenta adecuadas propiedades mecánicas para su uso ante cargas masticatorias, alta resistencia térmica, química y gracias a su método de elaboración por CAD-CAM se pueden realizar prótesis de acuerdo a las necesidades de cada paciente. Aunque presentan una desventaja pues PEEK presenta un aspecto blanco-opaco o grisáceo, por lo que se han estado utilizando materiales estéticos como recubrimiento o composites de resina para dar la estética deseada cuando se realizan prótesis fijas o removibles.

Con respecto al uso de PEEK en el campo de la ortodoncia es importante que se siga estudiando la confección del tubo y la elaboración del retenedor lingual con PEEK ya que sus



propiedades se pueden ver afectadas por la actividad diaria como el cepillado dental, la masticación, etc. Además se debe de estudiar la adhesión de los aparatos elaborados con PEEK hacia el diente y mejorar el color para que este sea más parecido al del diente.

Y en cuanto al uso de PEEK en odontopediatría es más factible y preciso la elaboración del mantenedor de espacio que en su elaboración tradicional, ahora bien como ya se ha estado mencionado las propiedades de PEEK son buenas y los estudios han concluido que los mantenedores de espacio hechos con PEEK han sido cómodos y en cuanto a la estética es aceptable.

En términos generales es necesario que se realicen más estudios clínicos para evaluar el rendimiento a largo plazo antes de que el PEEK pueda recomendarse de forma segura como una alternativa a los materiales convencionales que se están utilizando hoy en día en el campo odontológico.



15. Referencias bibliográficas.

1. Vladislavov I, Orti V, Cuisinier F, Yachouh J. Polyetheretherketone (PEEK) for medical applications. *J Mater Sci. Mater Med.* 2016; 27(118):1-11.
2. Tekin S, Cangül S, Adıgüzel Ö, Değer Y. Areas for use of PEEK material in dentistry. *Int Dent Res* 2018; 8(2):84-92.
3. Martin A, Azhagarasan NS, et al. Evaluation of the Bioactivity of Surface Modified Polyetheretherketone (PEEK) as an Implant Material: An In Vitro Study. *Contemp Clin Dent.* 2020; 11(4):356-66.
4. Ortega J, Farré M, Cano J, Cabratosa J. Polyetheretherketone (PEEK) as a medical and dental material. A literature review. *Medical Research Archives.* 2017;5(5):1-16
5. Ma R, Tang T. Current strategies to improve the bioactivity of PEEK. *Int J Mol Sci.* 2014; 15(4):5426-5445.
6. Tekin S, Değer Y, Demirci F. Evaluation of the use of PEEK material in implant-supported fixed restorations by finite element analysis. *Niger J Clin Pract.* 2019; 22(9):1252-1258.
7. Veena B, Jayashree A, Acharya A. Polyetheretherketone (PEEK) in Dentistry. *Journal of Clinical and Diagnostic Research.* 2019; 13(8):10-12.
8. Blanch-Martínez N, Arias-Herrera S, Martínez-González A. Behavior of polyether-ether-ketone (PEEK) in prostheses on dental implants. A review. *J Clin Exp Dent.* 2021;13(5):521-526.
9. Qin L, Yao S, Zhao J, et al. Review on Development and Dental Applications of Polyetheretherketone-Based Biomaterials and Restorations. *Materials (Basel).* 2021; 14(2):2-24.



10. Jain V, Kumar V, Prakash P, Shankar U. Role of PEEK biomaterial in prosthodontics: A literature review. *IP Annals of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, July-September. 2019; 5(3):63-67.
11. Najeeb S, Zafar M, Kurshid Z, Siddiqui F. Applications of polyetheretherketone (PEEK) in oral implantology and prosthodontics. *Journal of Prosthodontic Research* Volume 60, Issue 1, January 2016, Pages 12-19.
12. Rahmitasari F, Ishida Y, Kurahashi K, Matsuda T, Watanabe M, Ichikawa T. PEEK with Reinforced Materials and Modifications for Dental Implant Applications. *Dent J (Basel)*. 2017; 5(4):2-8.
13. Papathanasiou I, Kamposiora P, Papavasiliou G, Ferrari M. The use of PEEK in digital prosthodontics: A narrative review. *BMC Oral Health*. 2020; 20(1):2-11.
14. Bathala L, Majeti V, Rachuri N, Singh N, Gedela S. The Role of Polyether Ether Ketone (Peek) in Dentistry - A Review. *J Med Life*. 2019; 12(1):5-9.
15. Alexakou E, Damanaki M, Zoidis P, Cols. PEEK High Performance Polymers: A Review of Properties and Clinical Applications in Prosthodontics and Restorative Dentistry. *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*. 2019; 27:113–121.
16. Galvão IAG, Carvalho PC, Feitosa RS, Sousa EI, Grangeiro MTV, Figueiredo V. Propriedades biomecânicas do poli-éter-éter-cetona (PEEK) e sua aplicação na clínica odontológica: uma revisão de literatura. *J Dent Public Health*. 2020; 11(1):62-72.



17. Verma S, Sharma N, Kango S. Developments of PEEK (Polyetheretherketone) as a biomedical material: A focused review. *European Polymer Journal*. 2021; 147:2-10
18. Steven M. Kurtz. Synthesis and Processing of PEEK for Surgical Implants. *PEEK Biomaterials Handbook*. Second Edition. Elsevier. 2019. P. 11-25.
19. Monich P, Henriques B, Novaes de Olivera A. Mechanical and biological behavior of biomedical PEEK matrix composites: A focused review. *Materials Letters*. 2016; 185:593-597.
20. Najeeb S, Khurshid Z, Matinlinna JP, Siddiqui F, Nassani MZ, Baroudi K. Nanomodified Peek Dental Implants: Bioactive Composites and Surface Modification-A Review. *Int J Dent*. 2015;2015:2-7
21. Kligman S, Ren Z, Chung CH, et al. The Impact of Dental Implant Surface Modifications on Osseointegration and Biofilm Formation. *J Clin Med*. 2021; 10(8):2-36.
22. Mario Escobar, Bruno Henriques, Márcio C. Fredel, Filipe S. Silva, Mutlu Özcan & Júlio C. M. Souza. Adhesion of PEEK to resin-matrix composites used in dentistry: a short review on surface modification and bond strength, *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2019;2-12
23. Jahandideh Y, Falahchai M, Pourkhalili H. Effect of Surface Treatment With Er:YAG and CO2 Lasers on Shear Bond Strength of Polyether Ether Ketone to Composite Resin Veneers. *J Lasers Med Sci*. 2020; 11(2):153-159.
24. Rodríguez E, Cebrián-Carretero. J, Del Castillo J, Hernandez J, Nieto M.J, Burgueño M. Complicaciones en reconstrucción craneal con prótesis de polietileno. *Revista Española de Cirugía Oral y Maxilofacial*, 2016; 38(4) 199–205.



25. Shirakawa N, Iwata T, Miyake S, Otuka T, Koizumi S, Kawata T. Mechanical properties of orthodontic wires covered with a polyether ether ketone tube. *Angle Orthod.* 2018; 88(4):442-449.
26. Kadhum AS, Alhuwaizi AF. The efficacy of polyether-etherketone wire as a retainer following orthodontic treatment. *Clin Exp Dent Res.* 2021; 7(3):302-312.
27. Aboulazm K, von See C, Othman A. Fixed lingual orthodontic retainer with bilateral missing lateral incisors produced in PEEK material using CAD/CAM technology. *J Clin Exp Dent.* 2021; 13(6):549-551.
28. Guo H, Wang Y, Zhao Y, Liu H. Computer-aided design of polyetheretherketone for application to removable pediatric space maintainers. *BMC Oral Health.* 2020; 20(1):2-10.
29. Ierardo G, Luzzi V, Lesti M, et al. Peek polymer in orthodontics: A pilot study on children. *J Clin Exp Dent.* 2017; 9(10):1271-1275.



16. Referencias de imágenes.

1. <https://cutt.ly/FR5837n>
2. <https://cutt.ly/nR54qsR>
3. <https://cutt.ly/MR54uRc>
4. Qin L, Yao S, Zhao J, et al. Review on Development and Dental Applications of Polyetheretherketone-Based Biomaterials and Restorations. *Materials (Basel)*. 2021; 14(2):2-24.
5. Steven M. Kurtz. Synthesis and Processing of PEEK for Surgical Implants. *PEEK Biomaterials Handbook*. Second Edition. Elsevier. 2019. P 11-25.
6. Blanch-Martínez N, Arias-Herrera S, Martínez-González A. Behavior of polyether-ether-ketone (PEEK) in prostheses on dental implants. A review. *J Clin Exp Dent*. 2021; 13(5):520-526.
7. <https://cutt.ly/SR54NVR>
8. <https://cutt.ly/cR545xF>
9. Ma R, Tang T. Current strategies to improve the bioactivity of PEEK. *Int J Mol Sci*. 2014; 15(4):5426-5445.
10. Najeeb S, Khurshid Z, Matinlinna JP, Siddiqui F, Nassani MZ, Baroudi K. Nanomodified Peek Dental Implants: Bioactive Composites and Surface Modification-A Review. *Int J Dent*. 2015;2015:2-7
11. Mario Escobar, Bruno Henriques, Márcio C. Fredel, Filipe S. Silva, Mutlu Özcan & Júlio C. M. Souza. Adhesion of PEEK to resin-matrix composites used in dentistry: a short review on surface modification and bond strength, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2019; 2-12.
12. <https://cutt.ly/1R55oWc>



13. Tekin S, Cangül S, Adıgüzel Ö, Değer Y. Areas for use of PEEK material in dentistry. *Int Dent Res* 2018; 8(2):84-92.
14. Alexakou E, Damanaki M, Zoidis P, Cols. PEEK High Performance Polymers: A Review of Properties and Clinical Applications in Prosthodontics and Restorative Dentistry. *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*. 2019; 27:113–121.
15. Ichikawa T, Kurahashi K, Liu L, Matsuda T, Ishida Y. Use of a Polyetheretherketone Clasp Retainer for Removable Partial Denture: A Case Report. *Dent J (Basel)*. 2019;7(4):2-6.
16. Stawarczyk Bogna y cols. Three-unit reinforced polyetheretherketone composite FDPs: Influence of fabrication method on load-bearing capacity and failure types. *Dental Materials Journal* 2015; 34(1): 7–12.
17. Panagiotis Zoidis, DDS, MS, Dr Dent. The all-on-4 modified polyetheretherketone treatment approach: A clinical report. *The journal of prosthetic dentistry*. 2017;1-6.
18. Vladislavov I, Orti V, Cuisinier F, Yachouh J Polyetheretherketone (PEEK) for medical applications. *J Mater Sci: Mater Med* (2016) 27:118.
19. Rodríguez E, Cebrián-Carretero. J, Del Castillo J, Hernandez J, Nieto M.J, Burgueño M. Complicaciones en reconstrucción craneal con prótesis de polieteretercetona. *Revista Española de Cirugía Oral y Maxilofacial*, 2016; 38(4) 199–205.
20. Shirakawa N, Iwata T, Miyake S, Otuka T, Koizumi S, Kawata T. Mechanical properties of orthodontic wires covered with a polyether ether ketone tube. *Angle Orthod*. 2018; 88(4):442-449.
21. Aboulazm K, von See C, Othman A. Fixed lingual orthodontic retainer with bilateral missing lateral incisors produced in



- PEEK material using CAD/CAM technology. *J Clin Exp Dent.* 2021; 13(6):549-551.
22. Ierardo G, Luzzi V, Lesti M, et al. Peek polymer in orthodontics: A pilot study on children. *J Clin Exp Dent.* 2017; 9(10):1271-1275.
23. Guo H, Wang Y, Zhao Y, Liu H. Computer-aided design of polyetheretherketone for application to removable pediatric space maintainers. *BMC Oral Health.* 2020; 20(1):201.