



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

ANÁLISIS DEL USO ODONTOLÓGICO DEL PMMA
COMBINADO CON GRAFENO PARA LA
ELABORACIÓN DE PRÓTESIS TOTALES.

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

CIRUJANO DENTISTA

P R E S E N T A:

KARINA BRISEÑO MEDRANO

TUTORA: Dra. YOSHAMIN ABNOBA MORENO VARGAS

MÉXICO, Cd. Mx.

2022



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.



AGRADECIMIENTOS

A MIS PAPÁS

Gracias por su amor y apoyo, por guiarme, acompañarme y enseñarme en cada paso de mi vida, por creer en mí. Este logro es tan suyo como mío.

A MI ABUELITA

Gracias por siempre haber estado a mi lado y haberme apoyado incondicionalmente, por enseñarme que la adversidad es solo una palabra y no una condena, te adoro y te admiro por siempre.

A MI HERMANA

Gracias por escucharme y enseñarme otra forma de observar el mundo, por darme ánimos y palabras de aliento cuando más abrumada estaba, por tanto amor y alegría.

A MI AMIGA

Fer, gracias por estos 5 años de carrera, llenos de risas y lágrimas, por todo el apoyo y momentos que pasamos juntas, compartir esta experiencia a tu lado lo hizo más ameno, eres increíble.

A LA UNIVERSIDAD

Estoy muy agradecida con mi universidad por haberme permitido estudiar y desarrollarme como persona tanto en lo académico como en lo profesional.

A MIS ASESORAS

Dra. Yoshamin, Dra. Monica, gracias por guiarme en este proceso tan importante en mi vida, por su tiempo y por los conocimientos.

A MI

Por último, pero no menos importante me agradezco a misma por luchar día a día hasta lograr alcanzar la primera de tantas metas, por permanecer constante y aunque hubo veces donde pensaba: ya no más, siempre logré seguir hasta alcanzar el objetivo.



ÍNDICE

-AGRADECIMIENTOS.....	i
-INTRODUCCIÓN.....	3
-OBJETIVO	4
1 PMMA (Polimetil metacrilato)	6
1.1 Definición	6
1.2 Composición	6
1.3 ¿Cómo se da la polimerización del PMMA?	7
1.4 Reacción química	8
1.5 Tiempos de polimerizado	8
1.6 Características generales.....	9
1.7 Uso odontológico	9
1.8 Ventajas en odontología.....	10
1.9 Desventajas en odontología	11
1.10 Biocompatibilidad	12
2 Grafeno.....	14
2.1 Definición	14
2.2 ¿Cómo se obtiene?	15
2.3 Características:	17
2.4 Uso odontológico	18
2.5 Ventajas en odontología.....	21
2.6 Desventajas del Grafeno	23
2.7 Biocompatibilidad.....	24
2.7.1 Óxido de Grafeno	25
2.7.2 Óxido Reducido de Grafeno	26
3 Prótesis total	28
3.1 Definición de Prostodoncia	28
3.2 Superficies protéticas.....	28
3.3 Principios básicos	29
3.4 Definición de Prótesis Total	30
3.5 ¿Cómo se hace la unión del PMMA con Grafeno?.....	31
4 Casos clínicos.....	32
5 Conclusión	¡Error! Marcador no definido.
6 Bibliografía	41



INTRODUCCIÓN

El edentulismo influye exponencialmente en el ser humano ya que transforma su aspecto físico, altera el lenguaje, perturba la alimentación y modifica la nutrición repercutiendo así en la salud bucal y calidad de vida del paciente.

Gracias a esta afección oral que se presenta cada vez con mayor frecuencia especialmente en adultos mayores se han buscado diferentes materiales para poder mejorar las prótesis totales y brindarle una mejor alternativa de tratamiento al paciente desdentado.

Las resinas acrílicas, principalmente el polimetil metacrilato (PMMA), se han utilizado como un material de uso protésico ya que presenta buenas propiedades, como bajo módulo de elasticidad, buenos resultados estéticos, coste económico y un proceso de fabricación relativamente rápido. Sin embargo, sus principales desventajas son su escasa resistencia al desgaste y la contracción del volumen después de la polimerización. Además, su falta de resistencia bajo la falla de fatiga y la adhesión microbiana al PMMA puede ocasionar estomatitis; también se han notificado reacciones alérgicas e hipersensibilidad debido al monómero siendo un inconveniente importante para su uso a largo plazo.^{18,28}

Con el fin de mejorar la biocompatibilidad y la resistencia mecánica, se han combinado diferentes materiales para formar compuestos con mayores propiedades, un ejemplo de ello es el uso del grafeno.¹⁸

El grafeno es un material nanométrico bidimensional, consistente en una sola capa de átomos de carbono con una estructura semejante a la de un panel de abejas por su configuración atómica hexagonal.

Existe en diferentes formas alotrópicas como óxido de grafeno (GO) y óxido reducido de grafeno (rGO).

Las propiedades que posee el óxido de grafeno (GO) como su biocompatibilidad, resistencia, adhesión antimicrobiana, flexibilidad y transparencia lo convierten en un material con potencial en prostodoncia.²⁸

Por ello, se ha decidido añadir al PMMA convencional ya que exhibe ventajas significativas en términos de propiedades antimicrobianas y mayores propiedades mecánicas.



PROPÓSITO

Describir el uso odontológico de la combinación del PMMA con Grafeno (y sus derivados) por medio de la revisión de la literatura, para dar a conocer las ventajas de ambos materiales para la mejora de las prótesis totales.



CONTENIDO TEMÁTICO

1 PMMA (Polimetil metacrilato)

1.1 Definición

El PMMA fue descubierto a principios de la década de 1930 por los químicos británicos Rowland Hill y John Crawford en Imperial Chemical Industries.²

El polimetilmetacrilato (PMMA) es un termoplástico transparente y rígido. Es el polímero más conocido de la familia de los metacrilatos, obtenido a partir de la polimerización en cadena del metacrilato; presenta una excelente biocompatibilidad y hemo compatibilidad, lo que lo hace adecuado para una amplia variedad de aplicaciones biomédicas.⁴

1.2 Composición

El PMMA cuenta con varios componentes, mismos que se mencionan a continuación en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Componentes del líquido.

Componente	Función
Líquido	
Metilmetacrilato	Monómero
Hidroquinona	Inhibidor que previene la polimerización del monómero durante su almacenamiento
Dimetacrilato de glicol	Agente para el entrecruzamiento de cadenas

Tabla 1. Componentes del líquido (PMMA)⁵.

Tabla 2. Componentes del polvo.

Componente	Función
Polvo	
Poli (metilmetacrilato)	Iniciador
Peróxido de benzoilo	Partículas de polímero
Dióxido de Titanio	Reduce la traslucidez
Pigmentos	Simula los colores de los tejidos
Fibras de colores	Simulan los pequeños vasos sanguíneos

Tabla 2. Componentes del polvo (PMMA) ⁵

1.3 ¿Cómo se da la polimerización del PMMA?

La polimerización se inicia mediante la formación de radicales libres, (Figura 1) ya sea químicamente o con energía como el calor, la luz o las microondas.

Durante la propagación, la polimerización continúa a través de la unión de monómeros, y finalmente, la polimerización termina mediante la transferencia de electrones libres al borde de la cadena.⁴

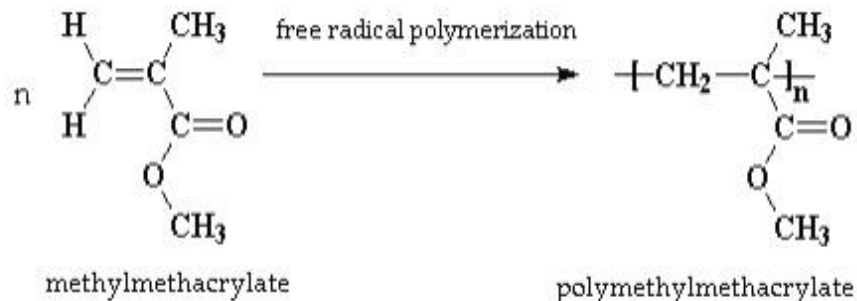


Figura 1 La polimerización de MMA (metilmetacrilato) se utiliza para obtener (polimetilmetacrilato) (PMMA). ¹



Un correcto polimerizado permite que se obtengan mayores propiedades para aplicaciones odontológicas.⁴

Reacción química

La polimerización se da sobre la base de la unión de varios monómeros, cuyas moléculas deben tener dobles ligaduras en posición activa (C=C), además de que debe existir un iniciador, que es el encargado de romper las dobles ligaduras, y un activador, que es el que hace que el iniciador actúe.

En el caso de las resinas acrílicas, las moléculas de metacrilato tienen dobles ligaduras en posición activa, contienen en su formulación peróxido de benzoilo como iniciador, el cual es excitado por una amina terciaria, en las quimiopolimerizables, y por temperaturas del orden de los 70°C en las termopolimerizables.

Para que durante el almacenamiento no se dé una polimerización prematura del monómero contenido en el líquido, se agregan pequeñas proporciones (menos de 0.5%) de hidroquinona⁶.

1.4 Tiempos de polimerizado

- **Termopolimerizable:** se sumergen las muflas en agua a diferentes temperaturas con el fin de proporcionar el calor necesario para que se dé la reacción de polimerizado. Existen 2 ciclos de tiempo y temperatura:
 - a) 74 °C por 8 horas
 - b) 74 °C por 2 horas y después a 100 °C
- **Autopolimerizable:** la reacción de polimerizado se da en un tiempo máximo de 10 a 15 minutos hasta su etapa final.⁶



1.5 Características generales

- El PMMA presenta muy buenas propiedades ópticas: transmite más luz (hasta un 92% de luz visible) que el vidrio.
- A diferencia del vidrio, el PMMA no filtra la luz ultravioleta.
- El PMMA es adecuado para el moldeo por inyección, la extrusión, el moldeo por soplado (sólo acrílicos modificados por impacto), el termoformado y la fundición.¹
- La densidad del acrílico oscila entre 1.17-1.20 g/cm³ por lo que tiene una excelente resistencia a los arañazos en comparación con otros polímeros transparentes como el policarbonato.
- No se ve afectado por soluciones acuosas de la mayoría de los productos químicos de laboratorio, como detergentes, limpiadores, ácidos inorgánicos diluidos.
- Posee escasa resistencia al impacto.
- Resistencia al calor limitada.
- Resistencia química limitada, propensa al ataque de disolventes orgánicos.
- Pobre resistencia al desgaste y a la abrasión.
- Es posible agrietarse bajo carga.³

1.6 Uso odontológico

Este material se utiliza en el ámbito odontológico para:

- Fabricar bases para dentaduras parciales y totales. (Figura 3)
- Confeccionar dientes prefabricados.
- Elaborar dientes de laboratorio.
- Hacer prótesis provisionales. (Figura 2)
- Ferulizar dientes.
- Fabricar guardas nocturnas.
- Reparar aparatos hechos con resina acrílica.

- Elaborar cucharillas o porta impresiones.
- Crear aparatos para uso ortodóncico y ortopédico.⁵

Así mismo, la obtención de materiales modernos de PMMA incluye: PMMA fresado y materiales impresos en 3D.²

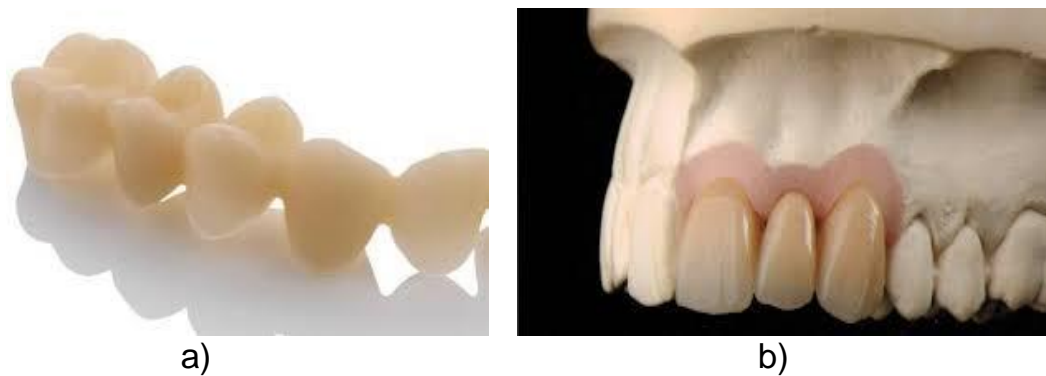


Figura 2. Prótesis provisional a) parcial fija b) removible²⁹

1.7 Ventajas en odontología

- Es un material biocompatible.
- La resistencia a la flexión del PMMA es de 90 MPa. y se requiere una alta resistencia a la flexión para tolerar las fuerzas de masticación sin deformación permanente o fractura.
- El PMMA es inerte y químicamente no reactivo con los fluidos orales y los nutrientes.
- Posee una resistencia a la tracción de 60 MPa.
- Tiene una baja solubilidad (0,02 mg/cm² en agua y 0,04 mg/cm² en hidrocarburos).⁴
- Los acrílicos se pueden serrar, taladrar, fresar, grabar fácilmente con herramientas afiladas con punta de carburo.
- Las superficies cortadas pueden lijarse y pulirse fácilmente.¹



- De acuerdo con el punto anterior, posee resistencia al desgaste y está directamente relacionada con la dureza de la superficie, que es de unos 300 MPa
- Tiene un módulo de elasticidad cercano a 2,400 MPa.
- La resistencia a la fractura del PMMA, indica su capacidad para resistir la propagación de grietas siendo de unos 2 MN/m³.⁴

1.8 Desventajas en odontología

- La conductividad térmica del PMMA es relativamente baja ($5.7 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{cm}^{-1}$) y esto es un inconveniente ya que los materiales de la base de la dentadura deben tener una conductividad térmica adecuada para disipar la temperatura de los alimentos a los tejidos orales; si el calor se transmite lentamente, puede resultar en el agrietamiento de la superficie.
- Posee una alta absorción de agua y ésta tiene lugar cuando los materiales se sumergen; debido a la polaridad del PMMA las moléculas de agua infiltradas pueden producir una expansión de este y afectar su estabilidad dimensional.
- El PMMA es un material radiolúcido por lo que es difícil de detectar en radiografías.
- La solubilidad en cetonas y ésteres es relativamente alta ya que los alcoholes actúan como plastificantes y pueden disminuir la Transición vítrea, por lo tanto, debe evitarse el almacenamiento o la limpieza de las prótesis con alcoholes.
- El PMMA carece de propiedades antimicrobianas.
- Los materiales de las prótesis a base de PMMA suelen mostrar una pobre estabilidad de color debido a la liberación de monómeros residuales que promueven la absorción de agua y, en consecuencia, la decoloración.
- Los materiales a base de PMMA muestran una contracción de curado en el rango de -0.50 a -0.58%. dando lugar a cambios



dimensionales notables e imprecisiones durante la fabricación de la dentadura.⁴

1.9 Biocompatibilidad

Las interacciones entre los materiales y los tejidos orales dependen de las propiedades de la superficie del biomaterial ya que la superficie de éste determina la respuesta celular representando un aspecto importante para mantener un equilibrio favorable del medio bucal.

Las células epiteliales orales y los fibroblastos suelen interactuar indirectamente con los biomateriales a través de las proteínas de la matriz extracelular (ECM) adsorbidas en su superficie.⁴

De acuerdo con un estudio de Abdallah et al. se describe que los biomateriales con propiedades químicas superficiales relacionadas a la de los tejidos percutáneos, como el PMMA aminado, inducen una mayor adsorción selectiva de proteínas clave de la lámina basal (lamininas, nidógeno-1), mejorando sus interacciones con las células epiteliales.

El epitelio de unión se forma durante la organogénesis, éste es el encargado de crear un sello que puede impedir la invasión bacteriana. Las interacciones entre las células epiteliales orales y los dientes se producen a través de la lámina basal. Este complejo proteico es bastante rico en proteínas adhesivas, como las lamininas. (Figura 3)

En su estudio realizado con células epiteliales incubadas con muestras de superficie plana de PMMA, Abdallah et al. demostró que se adsorben mayores cantidades de proteínas de la lámina basal en el PMMA en comparación con otros biomateriales.

También se ha demostrado que, en el caso de las células epiteliales gingivales, el PMMA promovió una mayor viabilidad celular en el día 1 que todos los demás biomateriales estudiados.

También reportó que en los días 3 y 7 de incubación, el PMMA, junto con el PDLLA (ácido poli(D, L-láctico)) y el alginato, indujeron mayores tasas de proliferación epitelial.

Los resultados de Abdallah et al. también destacaron que la preparación de la química de la superficie de un biomaterial más cercana a la de los tejidos de contacto (es decir, la aminación del PMMA) mejoraba las proteínas clave de la lámina basal (queratina 5 laminina-a, b, c; y nidógeno-1). En consecuencia, esta preparación de la superficie tuvo un efecto positivo en la adhesión y proliferación de las células epiteliales.²

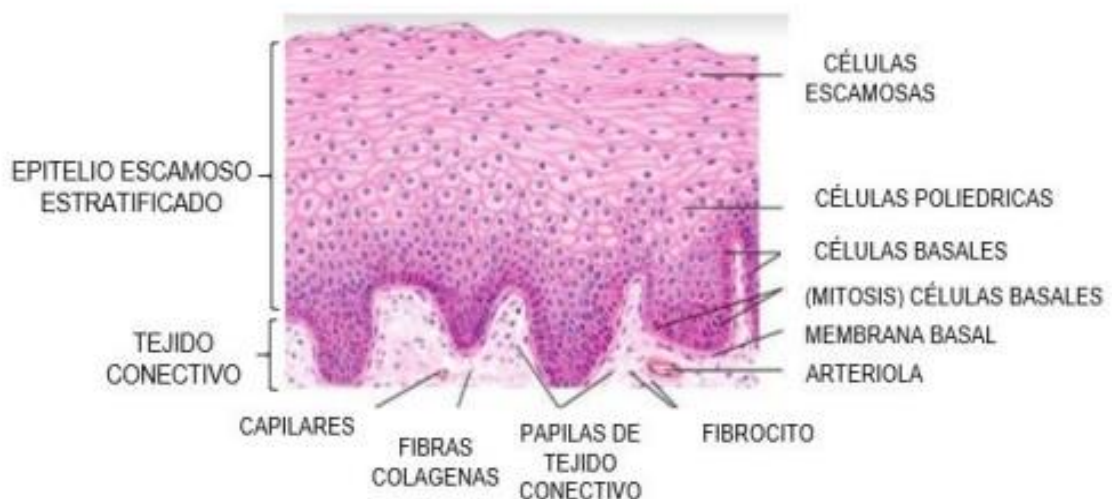


Figura 3. Anatomía de la mucosa oral adaptación de (Ferrer y Venegas, 2017).²

En la misma línea, Atay et al.⁷ señalaron que las nuevas generaciones de materiales para restauraciones provisionales CAD/CAM (PMMA fresado) pueden utilizarse de forma segura en condiciones clínicas y Herráez-Galindo et al.⁸ sugirieron que el PMMA fresado demostraba un comportamiento fibroblástico similar al del disilicato de litio, que se consideraba el "patrón oro".

Las normas que rigen el PMMA son la 12,13 y 15 de la ADA.⁵

2 Grafeno

2.1 Definición

En 2004 los científicos Geim y Novoselov colocaron cinta adhesiva a un bloque de grafito, produciendo así el material que les valió el Premio Nobel de Física en 2010.

Este material era más fuerte que el diamante, más conductor que el cobre y un millón de veces más fino que el papel. Este nuevo y sorprendente material recibió el nombre de grafeno.¹⁰

El grafeno es una estructura nanométrica, bidimensional, de átomos de carbono fuertemente cohesionados en una superficie uniforme, ligeramente plana, con ondulaciones, de un átomo de espesor, con una apariencia semejante a una capa de panal de abejas por su configuración atómica hexagonal.⁹

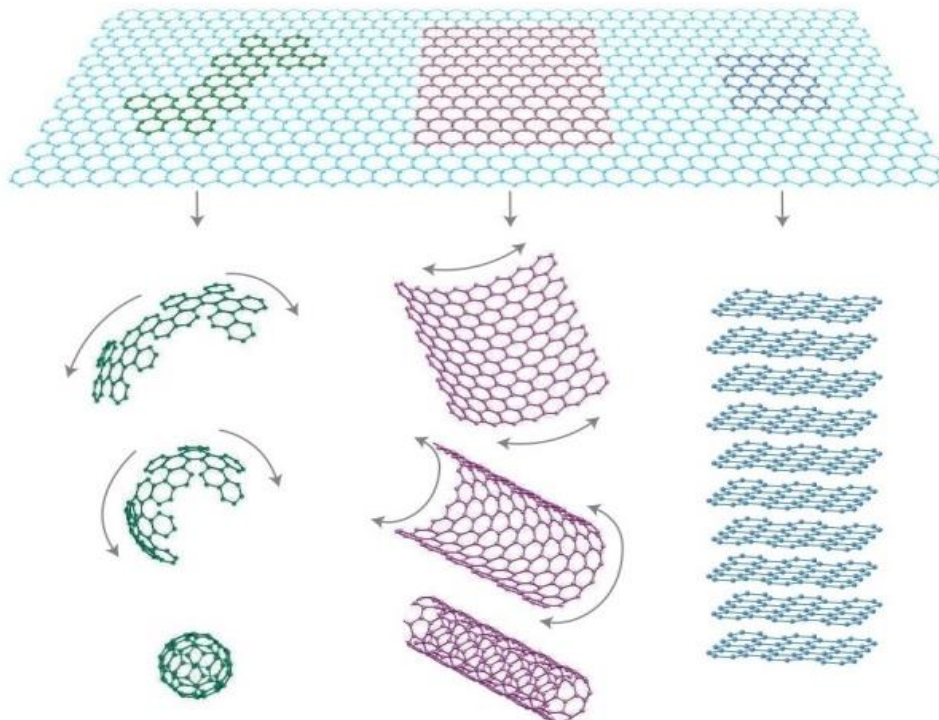


Figura 4. Estructura molecular de las diferentes morfologías del grafeno: a) cuando se envuelve en una estructura 0D forma moléculas esféricas llamadas fullerenos, b) cuando se enrolla en una estructura 1D forma nanotubos de carbono, (c) cuando forma una única hoja atómica 2D es grafeno, (d) cuando se apila en una estructura en 3D es el grafito.¹⁰



En términos sencillos, una capa ultrafina de grafito, se llama grafeno. Esta estructura molecular puede adoptar varias morfologías, mismas que se presentan a continuación: (Figura 4)

- (a) cuando se envuelve en una estructura 0D forma moléculas esféricas llamadas fullerenos.
- (b) cuando se enrolla en una estructura 1D forma nanotubos de carbono.
- (c) cuando forma una única hoja atómica 2D es grafeno.
- (d) cuando se apila en una estructura en 3D es el grafito. ¹⁰

Los nanomateriales basados en grafeno pueden clasificarse según el número de capas apiladas en una lámina:

- (a) monocapa (1 capa)
- (b) bicapa (2 capas)
- (c) pocas capas (3-4 capas)
- (d) multicapa (5-10 capas)

Cuando están en un formato oxidado, la estructura se puede dividir en dos clases, óxido de grafeno (GO) y óxido de grafeno reducido (rGO). La principal diferencia entre el óxido de grafeno y el óxido de grafeno reducido es la disminución en la relación del número de átomos de oxígenos con respecto al de átomos de carbono presentes en la estructura, mientras que en el grafeno está constituido únicamente por carbonos. ^{9,10}

2.2 ¿Cómo se obtiene?

La producción de grafeno depende del método que utilices para sintetizarlo. Cuanto más puro quieras obtener el grafeno, es decir, de mayor calidad, el proceso será más complicado, la cantidad obtenida más pequeña y el coste más elevado. Por lo que la producción de grafeno siempre ha estado restringida a nivel laboratorio.¹¹

A continuación, se mencionan de manera breve, algunos procedimientos de síntesis del grafeno.

- Síntesis por método físico: método de la cinta Scotch.

El método tradicional, llamado exfoliación micromecánica, consiste en obtener grafeno a base de deshojar el grafito con cinta adhesiva. Tras sucesivas pasadas, parte del grafito se va eliminando y se obtienen capas de grafeno de pequeño espesor. (Figura 5).

De este modo se consigue grafeno de alta calidad mediante un método sencillo y barato, si bien tiene la desventaja de que es un proceso muy lento y de bajo rendimiento, a la vez que costoso en cuanto a mano de obra y tiempo requerido para obtener una cantidad mínima de grafeno, por lo que no resulta un procedimiento apto para su uso industrial.



Figura 5. Procedimiento físico para la obtención de grafeno, a partir de la delaminación del grafito.¹¹

-Síntesis por método químico:

Para la producción de grafeno a gran escala se han tenido que desarrollar métodos alternativos de síntesis económicamente viables y que, de igual manera, den lugar a un grafeno de calidad.

Estos métodos de síntesis pueden seguir dos estrategias distintas:

-Estrategia Top down (descendente)

El grafeno se obtiene con la exfoliación de materiales de carbono, normalmente grafito, para obtener láminas de grafeno mediante procesos mecánicos y/o químicos.

-Estrategia Bottom up (ascendente)

El grafeno se obtiene a partir de los átomos de carbono generados tras la descomposición de hidrocarburos, generalmente a altas temperaturas. Entre las estrategias Bottom up destaca la



deposición química en fase de vapor (CVD) y el crecimiento epitaxial sobre sustratos.¹¹

2.3 Características:

En cuanto a las características del grafeno se ha reportado lo siguiente:

- Es un material bidimensional, lo que lo hace 100,000 veces más delgado que un cabello humano.
- Es ultraligero, una lámina de grafeno de 1 metro cuadrado pesa solo 0.77 miligramos.
- Es flexible, elástico y maleable; una lámina de grafeno puede estirarse un 10% de su tamaño normal de forma reversible y puede doblarse hasta un 20% sin sufrir daño alguno.
- Supera la dureza del diamante.
- Es 100 veces más fuerte y resistente que el acero con su mismo espesor.
- Tiene una resistencia mecánica de 42 N/m (tensión de rotura).
- El grafeno puro es prácticamente transparente, similar al vidrio, debido a su poco espesor.
- Su conductividad térmica es de 5,000 W/m²K, mayor que la del cobre, el diamante o la plata, lo que le permite disipar el calor y soportar intensas corrientes eléctricas sin calentarse.
- Tiene una alta conductividad eléctrica de $0.96 \cdot 10^8$ ($\Omega \cdot m^{-1}$)
- El grafeno es conductor y semiconductor.
- Es capaz de soportar la radiación ionizante.
- Es multiplicador de frecuencias ya que, si se le aplica una señal eléctrica de cierta frecuencia, el grafeno genera otra onda del doble o triple de frecuencia.¹¹
- Es hidrófugo, repele el agua y la corrosión.
- Es inerte químicamente, no reacciona con el oxígeno del aire ni se oxida.¹⁶



- El grafeno es muy denso, incluso resistente a la penetración de las moléculas del gas helio, las más pequeñas que existen; sin embargo, sí deja pasar el agua.
- Es un material bactericida, capaz de inhibir el crecimiento bacterias, virus y hongos. No afecta al ADN humano y, por ser carbono, se ha demostrado que permite el crecimiento de células, lo que lo convierte en un sustrato con un potencial muy interesante para la medicina regenerativa o para la industria alimentaria.
- Es biocompatible; los estudios in vivo que se han realizado sobre la toxicidad del grafeno, (en poblaciones de ratas por inyección intravenosa e intratraqueal), han revelado que el óxido de grafeno no reporta toxicidad aparente para las células biológicas en concentraciones bajas y medias.
- Puede reaccionar con otras sustancias para formar composites con diferentes propiedades.
- Es autorreparable ya que si una capa de grafeno pierde algunos átomos de carbono por cualquier motivo los átomos cercanos al hueco dejado se acercan y cierran dicho hueco, sin embargo, aún sigue en discusión e investigación.¹¹

Gracias a todas estas propiedades que presenta el grafeno, actualmente se está implementando tanto en el área médica como en el área odontológica, con muy buenos resultados y amplias aplicaciones.

2.4 Uso odontológico

El grafeno se ha estudiado en el ámbito odontológico en los siguientes campos: ingeniería de tejidos, implantología, su uso como material antibacteriano y para la creación de materiales dentales.

-Ingeniería de Tejidos:

Los nanomateriales basados en el grafeno, especialmente el GO, se utilizan como andamios en la ingeniería de tejidos para favorecer la adhesión, la proliferación y la diferenciación celular. Se han llevado a cabo numerosos estudios sobre células madre para explorar estas propiedades. ^{18,1}

-Implantología:

La pérdida de dientes es un problema de salud pública en todo el mundo por lo que se han buscado maneras de sustituir los dientes faltantes mediante prótesis (fijas, removibles); específicamente implantes.

Se ha utilizado el grafeno como aditivo o recubrimiento a metales para implantes dentales y biomédicos: Los compuestos de grafeno pueden mejorar las propiedades de los metales, como la durabilidad de la resistencia y la tenacidad. (Figura 6)

En un estudio se reportó que el grafeno GO y rGO en combinación de varios implantes metálicos y no metálicos estimuló la diferenciación de células madre a células madre osteogénicas. ^{18,1}



Figura 6. Prótesis fabricada a partir de grafeno.¹¹

-Efecto antibacterial:

Se ha informado que los nanomateriales basados en carbono poseen efectos antimicrobianos. Este efecto se basa en tres mecanismos diferentes.

1. Las nanoestructuras 2D son capaces de envolver las células induciendo una tensión mecánica y limitando la absorción de nutrientes.
2. El mecanismo de interacción se debe a que los bordes de la nanoestructura actúan como nano-cuchillas, penetrando y rompiendo la membrana celular.
3. El tercer mecanismo se basa en la producción de estrés oxidativo.

-Materiales dentales:

El grafeno puede mezclarse con otros materiales como el PMMA para mejorar sus propiedades como: resistencia a la flexión, a la deformación, al desgaste, a la dureza y probando un aumento en el efecto antibacteriano.¹²

Muestra de ello es el G-CAM, mismo que mencionaremos a continuación.

¿Qué es G-CAM?

G-CAM es un producto en formato de disco de 98,5 mm para la fabricación de prótesis dentales mediante sistema CAD/CAM. (Figura 7).

G-CAM es un acrílico termoestable que tiene como base principal resina de polimetilmetacrilato dopada con grafeno (forma alotrópica del carbono).¹⁴



Figura 7. Discos de G-CAM.¹⁴

Los principales usos del G-CAM en odontología son los siguientes:

Tabla 3. Usos del G-CAM en odontología.

Tipos de prótesis/ material	PMMA	Metal	Circonio	Disilicato de litio	Resina + Grafeno
Coronas individuales	✓	✓	✓	✓	✓
Puentes de hasta 3 unidades	X	✓	✓	X	✓
Puentes de más de 2 pónticos	X	✓	X	X	✓
Incrustaciones	✓	X	X	✓	✓
Carillas	X	X	✓	✓	✓
Prótesis completas	✓	X	X	X	✓
Rehabilitación sobre implantes	✓	X	X	X	✓

Tabla 3. Usos del G-CAM en odontología.¹⁴

2.5 Ventajas en odontología

- Posee una apariencia similar a la de los tejidos del medio oral, ideal para las zonas que sean más estéticas. El disco G-CAM dispone de una amplia gama cromática incluso en una misma pieza resultando extremadamente natural.
- Tiene una temperatura de transición vítrea (T_g) que evita su ablandamiento y distorsión durante su uso y limpieza. Hay que tener en cuenta que, si bien la temperatura normal en la boca es 32-37 °C, el consumo de bebidas calientes (que puede estar a 70 °C o más) someten a estos materiales a temperaturas mayores.
- El grafeno mejora la estabilidad dimensional de los polímeros para uso dental, por lo que permite que la prótesis dental no varíe su



forma con el tiempo. En esto influyen no sólo los mecanismos de ablandamiento térmico, sino también la libertad de tensiones internas, la polimerización incompleta del material o la absorción de agua.

- Gracias al grafeno la densidad del material es baja para que la prótesis sea ligera.
- El material posee, además, una elevada conductividad eléctrica para mantener una mucosa oral saludable y responder normalmente a estímulos de calor o frío.
- Tiene capacidad radiopaca por lo que permite realizar diagnósticos radiográficos, útil en pacientes involucrados en accidentes en los que pueden haber ingerido o inhalado partes de la prótesis.
- Es un material traslúcido que permite una alta transparencia para imitar la estética natural del diente, pero también nos permite obtener colores opacos para evitar transparencias de muñones necrosados o pernos metálicos.
- Es un material totalmente estable que no permite la acumulación de sarro, además de cerrar todos los poros para que no haya acumulación de suciedad ni tinción de colores.
- No requiere de proceso de maquillaje en la pieza dental. (Figura 8)
- El disco G-CAM es químicamente inerte.
- Es insoluble en los fluidos orales.
- No absorbe agua, ni saliva, por lo que las propiedades mecánicas del material no se ven alteradas y es totalmente higiénico.
- El grafeno aporta una elevada resistencia al impacto, útil en el caso de las prótesis removibles en las que cabe la posibilidad de daño o ruptura accidental, si al caerse chocan con una superficie dura.
- El disco G-CAM posee una gran resistencia a la abrasión que evita el excesivo desgaste debido a la limpieza de la prótesis y la ingesta de alimentos; los valores de dureza Vickers de las resinas acrílicas son relativamente bajos, especialmente si se comparan con las

aleaciones usadas en odontología, lo que las predispone a ser desgastadas por la abrasión de ciertos alimentos, productos, limpiadores, etc.

- La versatilidad de los productos permite la utilización de estos en la gran mayoría de tratamientos odontológicos, minimizando los márgenes de error y asegurando la durabilidad del tratamiento.
- G-CAM incorpora, mediante un proceso de plasma, productos desinfectantes de liberación prolongada en el tiempo.²¹



Figura 8. Corona de Grafeno²⁰

2.6 Desventajas del Grafeno

A pesar de todo lo expresado anteriormente acerca de lo prometedor que es este material en materia de innovación, algo sucede con el grafeno que no logra entrar de lleno en el mercado. A continuación, se detallan algunos de los inconvenientes que sufre la industria del grafeno.

- El grafeno puede ser dañino para la salud cuando está sin funcionalidad debido a los residuos derivados de su producción.
- Otra barrera importante que afecta la velocidad de adopción del grafeno es la resistencia que ofrecen los materiales y tecnologías ya existentes. Si el grafeno busca reemplazar un producto instalado cómodamente en el mercado, ciertamente habría

resistencia por el lado de los proveedores existentes en un intento para evitar un cambio a un nuevo material.¹⁸

- La obtención del grafeno es lenta. En cuanto a los métodos para obtener el grafeno, éstos no son escalables, es decir, la producción de este material se vale en métodos lentos e inseguros no adecuados para su producción en masa.
- El precio del material es alto, investigadores coreanos han logrado desarrollar una forma eficiente y rentable de producir grafeno mediante deposición química de vapor (CVD). La desventaja de esta solución es una menor calidad del material y una mayor frecuencia de defectos
- No es tan fuerte como se creía. Algunos científicos de la Universidad de Rice, descubrieron que en los bordes de los anillos donde se “interrumpe la matriz regular de unidades hexagonales (seis átomos) el grafeno tiene la mitad de su fuerza”.¹⁷

Todas estas desventajas pueden generar problemas en los materiales dentales principalmente al momento de dar a conocer este nuevo material, así como al momento de producir en masa para distribuirlo a diferentes consultorios y lugares.

2.7 Biocompatibilidad

El uso de nanomateriales a base de grafeno en odontología ha sido probado y se ha demostrado que estimula la biomineralización celular y la diferenciación osteogénica basándose en la capacidad de estos materiales para aumentar la osteoconductividad.²²

Las principales células madre que se crean, proliferan y diferencian cuando se introduce el grafeno en cavidad oral son células madre mesenquimales (MSC). Tras este descubrimiento, se probó el uso del grafeno para crear, proliferar y diferenciar otras células madre, lo que dio lugar a muchos usos beneficiosos y combinaciones de grafeno con otros factores de crecimiento y células por descubrir. (Figura 9)

Cuando se probó in vitro mediante el método de deposición química de vapor (CVD), se descubrió que el grafeno incrementaba las (MSC) humanas cuando se combinaba con diferentes sustratos y era capaz de proliferar sin signos de citotoxicidad.²³

- Prueba de citotoxicidad in vitro. Norma ISO 10993-5:2009
- Prueba de reversión de mutaciones bacterianas. Norma ISO 10993-3:2014.¹⁴



Figura 9. La importancia de los biomateriales para el medio ambiente y los seres humanos.³⁰

Los derivados del grafeno son óxido de grafeno (GO) y óxido reducido de grafeno (rGO) los cuales son considerados nanomateriales y hablaremos de ellos a continuación.

2.7.1 Óxido de Grafeno

Es una forma oxidada e hidrofílica del grafeno, está estructurado como una única capa de átomos con grupos funcionales tales como carboxilo, epoxilo e hidroxilo. La capa superficial de óxido de grafeno y su capacidad de ser una molécula anfifílica (un extremo hidrofílico y otro extremo

hidrofóbico), permite la adsorción de proteínas y medicamentos insolubles en agua. (Figura 11).¹⁹

Suele sintetizarse mediante el método de Hummer utilizando fuertes oxidantes como el ácido sulfúrico o nítrico.⁴

2.7.2 Óxido Reducido de Grafeno

Otro derivado muy conocido es el óxido de grafeno reducido rGO, que se obtiene mediante exposición química, térmica y ultravioleta del GO.⁴

En el GO están presentes gran número de grupos funcionales y defectos, por ejemplo, la conductividad eléctrica se ve afectada por la alteración que dichos grupos producen en la Hibridación Sp² de las láminas, haciendo que el GO sea eléctricamente aislante. (Figura 10)

Pero mediante el proceso de reducción, pueden eliminarse parte de estos grupos funcionales y mejorar la conductividad eléctrica. Además, bajo determinadas condiciones, las láminas de rGO son estables.^{19, 21}

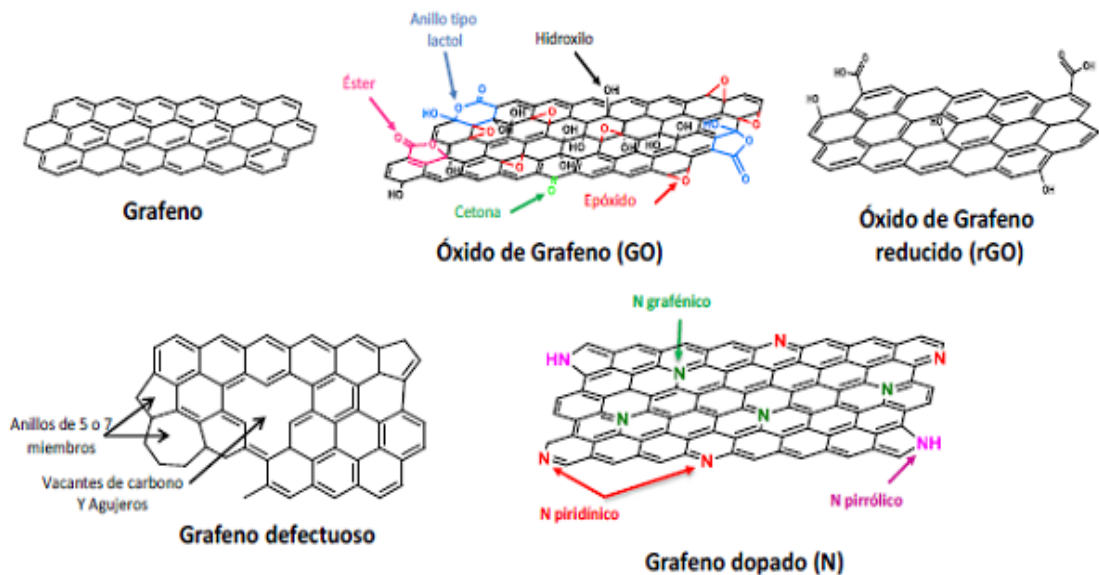


Figura 10. Estructura esquemática de los diferentes tipos de grafeno. Grafeno: obtención, tipos y su aplicación como sensor para detección de gases y sensor de presión.¹⁹



Por las características y beneficios que posee el grafeno es muy versátil ya que tiene aplicaciones en diferentes rubros como aeronáutica, medicina, odontología, electrónica, sistemas de comunicación, entre otros y se cree que sustituirá en la próxima década a materiales tan importantes como el silicio.



3 Prótesis total

La Rehabilitación Oral se encarga de restaurar y recuperar la estética y la función oclusal del paciente, a través del correcto diagnóstico y ejecución de un plan de tratamiento que permita alcanzar este y otros objetivos necesarios y particulares en cada caso. ²⁴

3.1 Definición de Prostodoncia

Es la parte de la prótesis odontológica consagrada al estudio de la rehabilitación fisiopatológica de la edentación. (Ozawa-Ito, noviembre de 1977).

Es una rehabilitación fisiológica porque involucra las funciones de la masticación, deglución, fonética, estética y eventualmente adaptación psíquica.

3.2 Superficies protéticas

Reconocemos 3 superficies constitutivas definidas; cada superficie desarrolla una actividad específica en la adaptación, estabilidad y función de la dentadura.

1. Superficie de apoyo

La superficie de apoyo que se obtiene a través de una impresión esta representada por la superficie interna de la base; es la que se adaptará a las condiciones de los rebordes residuales y no debe ser pulida.

2. Superficie pulida

La superficie pulida que se obtiene mediante la técnica de encerado representa la superficie externa de la dentadura; se presta a caracterizaciones de la encía artificial y siempre estará pulida.

3. Superficie oclusal

La superficie oclusal se desarrolla a través de las superficies oclusales de los dientes artificiales y se determina por una programación oclusal con el antagonista.²⁵ (Figura 11).

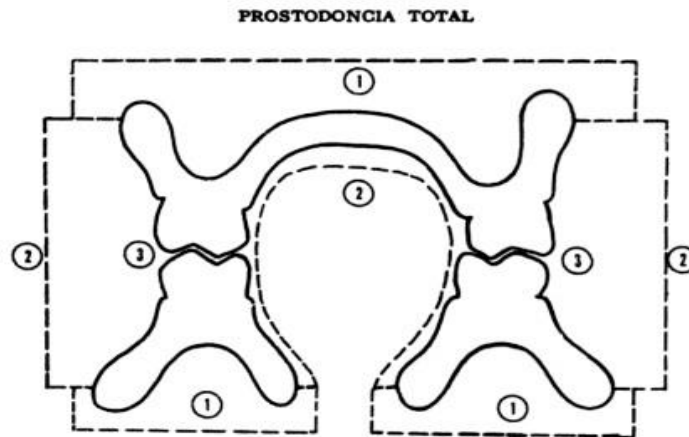


Figura 11. Ozawa-Ito. 1977. 1) superficie apoyo, 2) superficie pulida, 3) superficie oclusal. Ilustración.²⁵

3.3 Principios básicos

-Retención:

Las fuerzas que intervienen en la retención de la dentadura son: adhesión, cohesión y peso.

-Adhesión y Cohesión:

La cohesión es la atracción entre moléculas iguales, que tiende a mantener unidos los materiales líquidos y sólidos; la adhesión se realiza entre moléculas distintas o cuerpos diferentes.

El factor limitante en el efecto retentivo de adhesión y cohesión es la saliva; esta se rompe en 2 (una en la superficie y otra en los tejidos) cuando se retira la dentadura.

-Peso:

Es la fuerza ejercida por la atracción gravitacional de la Tierra.

El peso estructural de la dentadura es un factor que considerar; en el maxilar una dentadura ligera ejercerá una fuerza gravitacional menor de desplazamiento. Inversamente incrementada en la mandíbula, cuyo ligero sobrepeso dentro de los límites fisiológicos, favorecerá el asentamiento de la dentadura en su sitio.

-Tensión superficial:

Se puede definir como la fuerza que ejerce un líquido sobre una determinada superficie debido a la existencia de una atracción no compensada hacia el interior de este sobre las moléculas individuales de la superficie.

Debido a las fuerzas de tensión superficial la reducción de presión de la capa de saliva es mínima, consecuentemente la presión atmosférica ayuda a mantener la dentadura en posición. ²⁵

3.4 Definición de Prótesis Total

Aparato protésico removible que reemplaza artificialmente la totalidad de los dientes en un paciente edéntulo completo de uno o ambos arcos dentales. ²⁶ (Figura 12)



Figura 12. Prótesis total. ²⁶

Posterior a la breve explicación de las propiedades y principios básicos que debe poseer una prótesis total, nos enfocaremos a hablar sobre la unión química del PMMA con el grafeno para su elaboración.

3.5 ¿Cómo se hace la unión del PMMA con Grafeno?

Los acrílicos con base de PMMA se forman iniciando la reacción química en el momento que el monómero se une a las partículas de polímero y provoca una reacción exotérmica, esta reacción química es mejorada y completada gracias a la distribución del calor por las propiedades conductivas del grafeno, lo que permite obtener materiales más compactos y estables. (Figura 13).

La unión de las cadenas poliméricas produce la matriz acrílica. Base de este super material con propiedades exclusivas como la eliminación de coeficiente de absorción de líquidos que evita el envejecimiento y deterioro con el paso del tiempo y con propiedades antagónicas como la unión de dureza superficial y flexión que garantizan materiales más dinámicos, estéticos, ligeros y seguros, un objetivo siempre buscado en odontología.²⁰



Figura 13. Discos de Grafeno.²⁰



4 Casos clínicos

A continuación, se mostrarán 2 casos en los cuales se realizaron prótesis totales de PMMA con grafeno (óxido de grafeno); demostrando así sus ventajas al ser combinados ambos materiales para la rehabilitación oral de dichos pacientes.

- **Caso 1**

“El grafeno en la rehabilitación bucal y su comportamiento biológico. Caso clínico

De acuerdo con Rodríguez et al., 2020, se observó que la incorporación de grafeno en ciertos materiales permitió obtener un material combinado con propiedades mejoradas. Un ejemplo de ello fue la incorporación industrial de óxido de grafeno en metacrilato de metilo para generar un polímero (PMMA) mejorado, no solo desde el punto de vista mecánico, sino también se observó una ventaja en la respuesta biológica de los tejidos blandos.

A continuación, se describe brevemente el caso.

Acudió a consulta un paciente masculino de 70 años buscando alternativas de tratamiento para mejorar la retención y estabilidad de sus prótesis totales (inferior y superior) para poder optimizar su función masticatoria; antecedentes patológicos: es hipertenso controlado por su médico de cabecera, no refiere intervenciones quirúrgicas ni alergias.

Los autores reportaron haber colocado implantes limitados a la zona anterior hasta premolares y haber realizado la rehabilitación protésica con extensiones posteriores. La prótesis se confeccionó con PMMA modificado industrialmente con óxido de grafeno, y dientes de stock de laboratorio.

La cirugía fue realizada de acuerdo con la planificación tomográfica en una sola sesión clínica; se realizó sin incisión, sin guía quirúrgica, y sin requerimiento de sutura.

Se colocaron 5 implantes cónicos Ø 4.1 con conexión externa marca Rosterdent® en el maxilar y 5 implantes cilíndricos Ø 3.3 con conexión externa marca Rosterdent® en la mandíbula. Se prescribió cobertura antibiótica y la aplicación intramuscular de corticoide. A los 7 días se realizó el control de seguimiento clínico, corroborando la evolución favorable.

A los 4 meses de la cirugía, el paciente concurre a la consulta con una radiografía panorámica de control a distancia y se decide comenzar con la fase de rehabilitación protésica propiamente dicha. (Figura 14)



Figura 14. Panorámica posterior a los 4 meses de paciente.²⁷

Se comenzó con una prótesis híbrida confeccionada en resina con grafeno para favorecer la recuperación tisular y en una segunda etapa, una prótesis obtenida por CAD-CAM.

Se colocó la prótesis en el maxilar realizándolo satisfactoriamente, sin embargo, al momento de colocar la prótesis híbrida inferior, se detecta una leve resistencia al momento de atornillar el pilar correspondiente al implante ubicado en el sector de la pieza 44.

Se procedió a realizar una radiografía dentoalveolar y se observa una falta de concordancia en el acoplamiento entre el pilar y el implante. Se abocardó dicha zona en la prótesis para lograr libre posición de este. Se

atornilló, se coloca la prótesis sobre los implantes y se rebasó con PMMA (convencional) de autocurado. Se retiró, se pulió la nueva conexión y se instaló finalmente la prótesis híbrida inferior. (Figura 15).



Figura 15. Prótesis inferior fuera de boca y posteriormente colocada .²⁷

Se programaron 3 visitas de control a los 7, 30 y 90 días. En el primer control luego de la instalación, el paciente se manifestó contento y cómodo con su situación actual. Con respecto a las visitas siguientes, estas no fueron posibles de realizar por decretarse el Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio en todo el territorio. Transcurridos 8 meses desde la fecha de instalación, el paciente se comunica relatando una fractura reciente de la estructura inferior. En la consulta, se desatornilla y se retira la prótesis híbrida inferior y se observa que la fractura se ubica en la zona que había sido rebasada con PMMA convencional en el momento de la instalación. (Figura 16).



Figura 16. Fractura de prótesis inferior (rebasada con PMMA convencional).²⁷

En el análisis clínico de tejido blandos se observó que toda la encía del reborde marginal se encontraba en perfecto estado de salud gingival excepto la zona rebasada con PMMA convencional presentando aspecto eritematoso.

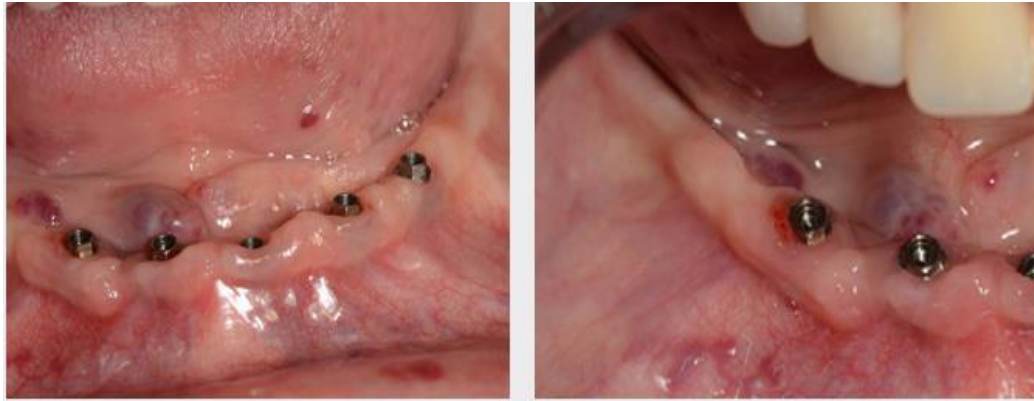


Figura 17. Visualización de tejidos al retirar la prótesis (zona eritematosa).²⁷

Se procede a la reparación de la prótesis y se comienza con la etapa de impresiones y registros para la elaboración de la prótesis híbrida, que será confeccionada mediante técnica CAD-CAM utilizando un disco de resina de PMMA con grafeno. Finalmente se coloca nuevamente la prótesis inferior. (Figura 17). Los autores concluyeron que mediante el seguimiento clínico del paciente se demostró que la incorporación de óxido de grafeno a una resina de PMMA presenta beneficios biológicos notables.²⁷



Figura 19. Prótesis final colocada. ²⁷

- **Caso 2**

“Mejora de la resina de PMMA utilizando óxido de grafeno para una rehabilitación protésica - Un informe clínico”

De acuerdo con Azevedo et al., 2019, se observó que la incorporación de Grafeno (óxido de grafeno) como un aditivo en las resinas de PMMA puede mejorar las propiedades mecánicas de la resina y disminuir el grado de contracción durante la polimerización. Además, Lee et al. informó que el PMMA exhibió mejores efectos de adhesión antimicrobiana después de incorporar GO, a diferencia de los exhibidos por el PMMA puro a través del aumento de la hidrofiliidad.

Exposición del caso:

Acude una mujer de 75 años a la Clínica Dental de la Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid, solicitando un tratamiento restaurador por su comprometida situación funcional y estética. Su historial médico incluía un cáncer de pulmón diez años antes. Los criterios diagnósticos incluyeron examen clínico, imágenes intraorales, examen radiográfico y evaluación diagnóstica de modelos de yeso. (Figura 19).



Figura 19. Fotos intraorales y panorámica de paciente.²⁸

El examen intraoral reveló dos dentaduras parciales fijas maxilares (DPP) de 3 unidades apoyadas por el primer premolar y molar en el primer cuadrante y por el canino y el segundo premolar en el segundo cuadrante. Se decidió extraer los molares comprometidos y restaurar los otros dientes con una prótesis dental fija, para aumentar la dimensión vertical y reemplazar las piezas dentales faltantes. Después del tratamiento periodontal básico (raspado y alisado radicular), se extrajeron el segundo molar derecho maxilar y el primer molar izquierdo. Se dieron recomendaciones sobre higiene bucal. Las suturas se retiraron 7 días después de la cirugía. Un mes más tarde, después de un período de curación, se realizó una impresión preliminar con un escáner intraoral (tríos, 3shape) para el diseño (sistema dental, 3shape) y la fabricación de la primera prótesis provisional en PMMA. El molde preliminar se imprimió en 3D en un material de resina (Formlabs Inc). Posteriormente, se retiraron las restauraciones metal-cerámicas existentes y se realizó doble sondaje para medir la profundidad del surco. Todos los dientes fueron preparados con técnica de preparación vertical como describe Agustín-Panadero *et al*. La prótesis provisional a base de PMMA se cementó (Temp Bond Clear, Kerr) en los dientes preparados para crear el nuevo perfil de emergencia. (Figura 20)



Figura 20. Fotos de preparaciones de paciente y escaneo de paciente.²⁸

La prótesis provisional se mantuvo durante 3 meses, en los cuales se modificó el perfil de emergencia de la prótesis para lograr la adaptación gingival. Después de este período, la impresión definitiva se tomó utilizando otro escáner intraoral (Medit i500, Medit). También se obtuvo un escaneo facial 3D.

La prótesis dental fija definitiva se realizó con base en los parámetros biológicos y funcionales de las restauraciones provisionales. Se diseñó una prótesis hecha de resina de PMMA reforzada con óxido de grafeno (Exocad software, exocad GmbH) y se fresó. Se verificó el ajuste pasivo, los contactos interproximales y la oclusión en la boca del paciente. Después de confirmar todos los parámetros, la prótesis se cementó con un cemento de resina de doble polimerización (Variolink Esthetic DC, Ivoclar Vivadent) que luego se polimerizó por luz. El paciente recibió instrucciones de higiene bucal e información sobre cómo cuidar la nueva prótesis. (Figura 21).



Figura 21. Fotos de prótesis y modelos.²⁸

Las evaluaciones de seguimiento se realizaron a la semana y 1, 3 y 8 meses después de la colocación de la prótesis definitiva. No se reportaron complicaciones mecánicas, estéticas o biológicas, y los tejidos blandos mostraron excelente salud y estabilidad. (Figura 22).



Figura 22. Foto final de tratamiento rehabilitador.²⁸

Los estudios más recientes que nos arroja la literatura acerca de la combinación de PMMA con grafeno van de 2019 a 2020, por lo que no hay resultados a largo plazo.



5 Conclusiones

El grafeno es un descubrimiento que se ha convertido en un increíble avance tecnológico el cuál ha tenido un papel muy importante dentro de la ciencia y la medicina.

La incorporación del grafeno y sus derivados en resinas de PMMA parece ser una buena estrategia para mejorar sus propiedades mecánicas y antimicrobianas y así proporcionar un tratamiento definitivo y fiable.

Existe la necesidad de seguir investigando las propiedades y aplicaciones del grafeno, incluida su seguridad ya que esto permitirá optimizar los métodos de uso de este material y los efectos a largo plazo en los seres humanos y el medio ambiente



6 Bibliografía

- 1-. Techinal University of Gabrovo. Poly(methyl methacrylate) (PMMA). CAE DS-Injection Moulding Materials. [Internet]. Disponible en: https://alokrj.weebly.com/uploads/6/0/5/7/60576155/plastics_pmma.pdf.
- 2-. Mirel P., Greabu M., Totan A., Imre M., Pantea M., Spinu T., Tancu A., Popoviciu N., Stanescu I., Ionescu E. A Review on the Biocompatibility of PMMA-Based Dental Materials for Interim Prosthetic Restorations with a Glimpse into Their Modern Manufacturing Techniques. *Materials* 2020., 13(13). DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13132894>.
- 3-. Omnexus. SpecialChem., Comprehensive Guide on Polymethyl methacrylate (PMMA or Acrylic). *Plastics & Elastomers*. [Internet]. Disponible en: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polymethyl-methacrylate-pmma-sacrylic-plastic>.
- 4-. Díez P. AM. PMMA-Based Nanocomposites for Odontology Applications: A State-of-the-Art. Vol. 23, *International Journal of Molecular Sciences*. MDPI; 2022.
- 5-. Dixon C, Stephen W. *Polímeros para odontología protésica. Materiales dentales aplicaciones clínicas*. Segunda edición. México. 2012. 219 pp.
- 6-. Barceló FH, Palma JM. *Resinas acrílicas. Materiales dentales conocimientos básicos aplicados*. Tercera edición. México D.F. 2008. 226-227 pp.
- 7-. Atay, A.; Gürdal, I.; Bozok Çetintas, V.; Üşümez, A.; Cal, E. Effects of new generation all-ceramic and provisional materials on fibroblast cells. *J. Prosthodont.* **2019**, *28*, e383–e394. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)][[Green Version](#)].
- 8-. Herráez. C.; Rizo-Gorrita, M.;Oliva, I.; Serrera-Figallo, M.Á.; Castillo-O., R.; Torres-Lagares, D. In vitro comparative study of fibroblastic behaviour on polymethacrylate (PMMA) and Lithium disilicate polymer surfaces. *Polymers* **2019**, *11*, 744. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)][[Green Version](#)].



- 9-. Rodríguez C, Kharissova O. Propiedades y aplicaciones del grafeno. UANL. Vol. XI. 2008.
- 10-. Farjadian F., Abbaspour S., Sadatlu M., Mirkiani S., Ghasemi A., Hoseini-Ghahfarokhi., Mozzaffari N., Karimi M., Hamblin MR. Recent Developments in Graphene and Graphene Oxide: Properties, Synthesis, and Modifications: A Review. Chemistry Europe. European Chemical Societies Publishing. [Internet]. DOI: <https://doi.org/10.1002/slct.202002501>
- 11-. Grapheno nanotechnologies. ¿Qué es el grafeno? [Internet]. Disponible en: <https://www.graphenano.com/que-es-el-grafeno/>
- 12-. Di CS., al et, Brauner E, Car, Di C, Visca A, Piccoli L, et al. Graphene Applications in Dentistry [Internet]. Vol. 12, Journal of International Dental and Medical Research. 2019. Available from: [Journal of International Dental and Medical Research \(jidmr.com\)](http://www.jidmr.com)
13. M. Tahriri, M. Del Monico, A. Moghanian, M. Tavakkoli Yarak, R. Torres, A. Yadegari, L. Tayebi, Graphene and its derivatives: Opportunities and challenges in dentistry, Materials Science and Engineering: C, Volume 102, 2019, Pages 171-185, ISSN 0928-4931, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.04.051>.
- 14-. Graphenano Dental. Propiedades G-CAM. [Internet]. Disponible en: <https://www.graphenanodental.com/propiedades-gcam/>.
- 15-. Asanah R., Dasmawati M., Suhaily F., Rahman A., Manaf A., Habsah H., Mechanism and factors influence of graphene-based nanomaterials antimicrobial activities and application in dentistry, Journal of Materials Research and Technology, Volume 11, 2021, Pages 1290-1307, ISSN 2238-7854, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.01.093>
- 16-. Grapheno nanotechnologies. ¿Qué es el grafeno? [Internet]. Disponible en: <https://www.graphenano.com/que-es-el-grafeno/>.
- 17-. Hernández D. Propiedades, características y efectos negativos del grafeno. [Internet]. Disponible en: <https://www.danielhernandez.website/entradas/el-grafeno/>



-
- 18-** Hazra R., Kumar D., Khattak A., Verma K., Legha VS. Graphene: the game changer in dentistry. *Annals of Prosthodontic and Restorative Dentistry*. Vol. 8(4). 2022. pp: 10-13.
- 19-** Farjadian F, Abbaspour S, Sadatlu MA, et al. Recent Developments in Graphene and Graphene Oxide: Properties, Synthesis, and Modifications: A Review. *ChemistrySelect* [Internet] 2020; 5 (33): 10200-10219. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/slct.202002501>.
- 20-** Grapheno nanotechnologies. Proceso de fabricación de los discos G-CAM. [Internet]. Disponible en: <https://www.graphenanodental.com>.
- 21-** Bacali C, Badea M, Moldovan M, Sarosi C, Nastase V, Baldea I, et al. The influence of graphene in improvement of physico-mechanical properties in PMMA denture base resins. *Materials*. 2019 Jul 1;12(14).
- 22-** S.R. Shin, et al. Grafeno basado en material de ingeniería tisular. 105, (2016), 255-274 pp.
- 23-** T.R. Nayak, et al, Graphene for Controlled and Accelerated Osteogenic Differentiation of Human Mesenchymal Stem Cells, 5(6) (2011), págs. 4670-4678.
- 24-** UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. GUÍA DE ATENCIÓN EN REHABILITACIÓN ORAL. [Internet]. pp: 1-50. Disponible en: http://www.odontologia.unal.edu.co/docs/habilitacion/guia_atencion_rehabilitacion_oral_abril_2013.pdf.
- 25-** Ozawa D. *Prostodoncia Total*. Quinta edición. México D.F. Universidad Autónoma de México. 1984. 28-38 pp.
- 26-** Definición II.I.nombre del tratamiento y código -cie 10: elaboración de prótesis total -234401-02 [Internet]. Disponible en: http://www.odontologia.unal.edu.co/docs/habilitacion/prot_prtesis_total.pdf.
- 27-** Rodríguez AN, Curto MH, Sario F, Sánchez JD, Panaino I, Garrofe A. EL GRAFENO EN LA REHABILITACIÓN BUCAL Y SU COMPORTAMIENTO BIOLÓGICO. CASO CLÍNICO. *RAAO*. Vol. LXII. Num. 2. 2020. pp: 17-22.



-
- 28-** Azevedo L, Antonaya M., JL, Molinero P, del Río-Highsmith J. Improving PMMA resin using graphene oxide for a definitive prosthodontic rehabilitation - A clinical report. J Clin Exp Dent. 2019 Jul 1;11(7):e670–4.
- 29-** Resycam 2020. ¿Qué es el PMMA? Usos en la odontología. Ilustración. Recuperado: <https://www.resycam.com/que-es-el-pmma/>.
- 30-** Wokii. Álvarez E. 2022. La importancia de los biomateriales para el medio ambiente y los seres humanos. Ilustración. Recuperado: [La importancia de los biomateriales para el medio ambiente y los seres humanos \(wokii.com\)](http://wokii.com)