



Universidad
Norbert Wiener

Powered by **Arizona State University**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
ODONTOLOGÍA**

TESIS

“Comparación de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con óxido de grafeno, Lima – Perú, 2023”

**Para optar el Título Profesional de
Cirujano Dentista**

Presentado por:

Autor: Cunya Criollo, Ceneida
Código ORCID: 0000-0003-3383-1145

Asesor: Dr. C.D. Gregorio Lorenzo, Menacho Angeles
Código ORCID: 0000-0003-2283-0155

**Línea de Investigación General
Salud y Bienestar**

**Línea de Investigación Especifica
Materiales e instrumentos odontológicos**

Lima – Perú

2023

	DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA Y DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN		
	CÓDIGO: UPNW-GRA-FOR-033	VERSION: 01 REVISIÓN: 01	FECHA: 08/11/2022

Yo, Cunya Criollo Ceneida, egresado de la Facultad de Ciencias de salud y Escuela Académica Profesional de Odontología de la Universidad privada Norbert Wiener declaro que el trabajo académico **“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE UNA RESINA PARA PROTESIS DE POLIMETILMETACRILATO VERSUS UNA MEJORADA CON ÓXIDO DE GRAFENO, LIMA – PERÚ, 2023”**, Asesorado por el docente: DR. ESP. GREGORIO LORENZO, MENACHO ANGELES DNI: 06039730 **ORCID** tiene un índice de similitud de (18) (dieciocho) % con código **ID: oid: 0000-0003-3383-1145** verificable en el reporte de originalidad del software Turnitin.

Así mismo:

1. Se ha mencionado todas las fuentes utilizadas, identificando correctamente las citas textuales o paráfrasis provenientes de otras fuentes.
2. No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquella señalada en el trabajo.
3. Se autoriza que el trabajo puede ser revisado en búsqueda de plagios.
4. El porcentaje señalado es el mismo que arrojó al momento de indexar, grabar o hacer el depósito en el turnitin de la universidad y,
5. Asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión en la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas del reglamento vigente de la universidad.



.....
Firma

Nombres y apellidos del Egresado: Cunya Criollo Ceneida
DNI: 48051255



.....
Firma

Nombres y apellidos del Asesor: Dr. Esp. Gregorio Lorenzo, Menacho Angeles
DNI: 06039730

DEDICATORIA

En primer lugar, quiero darle gracias a la vida por existir, a continuación, quiero expresar mi agradecimiento a las personas a las que esta Tesis está especialmente dedicada: A mi magnánima madre Hilda, eres la responsable de que llegue hasta aquí, un ejemplo de amor dedicación y perseverancia, a mi padre Juan, eres admirable a pesar de las dificultades físicas que atraviesas tiene el coraje de hacer frente y seguir para adelante, solo deseo que te sientas orgullo de mí, y finalmente a mis hermanos por su portentoso afecto.

AGRADECIMIENTO

Le estoy profundamente agradecida a mi asesor de Tesis el Dr. Mg. C.D. Gregorio Lorenzo, Menacho Angeles, por su incommensurable flexibilidad y apoyo en el desarrollo de mi tesis.

También deseo expresar mi agradecimiento a mi docente responsable de investigación al Mg. C.D. Jorge Girano Castaños por su pasión en la investigación y la enseñanza.

Así también quiero expresar mi gratitud al laboratorio HTL, por permitirme ejecutar mi estudio en sus instalaciones, sin cuya colaboración, este trabajo no se habría podido llevar a cabo.

Y, por último, estoy tremendamente agradecida a mi familia.

A todos, Gracias.

INDICE

Dedicatoria	3
Agradecimiento	4
INDICE	5
Índice de tablas/ gráficos	9
Resumen	10
Abstract:	11
Introducción	12
1. CAPITULO I: EL PROBLEMA	14
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Formulación del problema	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problemas específico	17
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. General.....	17
1.3.2. Específicos	17
1.4. Justificación de la investigación	17
1.4.1. Teórica	17

1.4.2. Metodológica.....	18
1.4.3. Práctica.....	18
1.4.4. Sociedad.....	19
1.5. Delimitaciones de la investigación	19
1.5.1. Temporal.....	19
1.5.2. Espacial.....	19
1.5.3. Recursos.....	19
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes.....	21
2.2. Bases teóricas.....	31
2.3. Formulación de hipótesis	49
2.3.1. Hipótesis general.....	49
3. CAPITULO III: METODOLOGÍA	50
3.1. Método de la investigación	51
3.2. Enfoque de la investigación	51
3.3. Tipo de investigación	51
3.4. Diseño de la investigación	51
3.5. Población, muestra y muestreo.....	51
3.6. Variables y operacionalización.....	52

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	53
3.7.1. Técnica.....	53
3.7.2 Instrumento	53
3.7.3 Descripción de la obtención de la autorización	53
3.7.4 Descripción del procedimiento	53
3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos:.....	56
3.9. Aspectos éticos:	56
3. CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS...	58
4.1. Resultados	59
4.1.1. Análisis descriptivo de resultados	59
4.1.2. Prueba de hipótesis.....	61
4.1.3. Discusión de resultados	63
4. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
5.1. Conclusiones.....	68
3.2. Recomendaciones.....	69
REFERENCIAS	70
ANEXOS	80
Anexo 1: Matriz de consistencia	81
Anexo 2: Aprobación del Comité de Ética.....	82

Anexo 3: Carta de aceptación del laboratorio HIGH TECHNOLOGY LABORATORY S.A.C	83
Anexo 4: Datos recopilados por el software de laboratorio	84
Anexo 5: Fotos de la preparación de las muestras	86

Índice de tablas/ gráficos

TABLA N° 1: Sumario estadístico de valores de resistencia a la flexión (Mpa) del grupo PMMA convencional..... 60

GRÁFICO N° 1: Histograma de la resistencia a la flexión (Mpa) de la resina PMMA..... 61

TABLA N° 2: Sumario estadístico de valores de resistencia a la flexión (Mpa) del grupo G-PMMA 61

GRÁFICO N° 2: Histograma de la resistencia a la flexión (Mpa) de la resina G-PMMA.. 62

TABLA N° 3. Comparación de valores de resistencia a la flexión (Mpa) entre el grupo de resina PMMA y el grupo de resina G-PMMA..... 63

RESUMEN

El material de base para dentaduras postizas de PMMA se ha utilizado durante décadas sin mejoras significativas en la composición. Se ha demostrado que la adición de distintos rellenos mejora algunas propiedades de las resinas acrílicas. Estudios recientes han demostrado que la incorporación de grafeno en materiales dentales basados en resina puede mejorar sus propiedades mecánicas e incluso reducir su contracción durante el proceso de polimerización. El presente estudio tuvo como **Objetivo:** Comparar los valores de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno. **Materiales y métodos:** Se fabricaron treinta muestras rectangulares de curado por calor y se dividieron en dos grupos ($n = 15$ / grupo): Grupo 1, PMMA; Grupo 2, G-PMMA. Las muestras se sometieron a una prueba de flexión de tres puntos en una máquina de ensayo universal, todos los especímenes se cargaron hasta la fractura y el valor en Megapascals (Mpa) se registró mediante un software conectado a la máquina de ensayo, para evaluar la resistencia a la flexión. Los datos sobre RF se analizaron estadísticamente con la prueba t de muestras independientes para comparar los dos grupos. **Resultados:** En comparación con las muestras de PMMA, cada muestra de G-PMMA mostró valores significativamente más altos de RF (valor de $p < 0.0001$). Se demostró que la resina de polimetilmetacrilato, presentó una resistencia a la flexión de 83.15 Mpa, mientras que la resina enriquecida con óxido de grafeno presentó una resistencia a la flexión de 93.77 Mpa. **Conclusiones:** Se concluye que el polímero enriquecido con grafeno (G-PMMA) demostró ser un material prometedor para ser utilizado con fines protésicos. Esto se evidencia por un aumento significativo en la resistencia a la flexión.

Palabras clave: Polimetacrilato de metilo; óxido de grafeno; resistencia a la flexión

Abstract

PMMA denture base material has been used for decades without significant improvements in composition. The addition of various fillers has been shown to improve some properties of acrylic resins. Recent studies have shown that the incorporation of Graphene into resin-based dental materials can improve their mechanical properties and even reduce their shrinkage during the polymerization process. The present study had as **Ojective**: To compare the values of the flexural resistance of a polymethylmethacrylate resin for prostheses versus one improved with graphene. **Materials and methods**: Thirty rectangular heat-cure specimens were fabricated and divided into two groups (n = 15/group): Group 1, PMMA; Group 2, G-PMMA. The specimens were subjected to a three-point bending test on a universal testing machine, all specimens were loaded to fracture, and the value in Megapascals (Mpa) was recorded using software connected to the testing machine, to assess the strength of the specimens. flexural strength. RF data were statistically analyzed using the independent samples t-test to compare the two groups. **Results**: Compared to the PMMA samples, each G-PMMA sample showed significantly higher RF values (p value < 0.0001). It was shown that the polymethylmethacrylate resin presented a flexural strength of 83.15 Mpa, while the graphene oxide-enriched resin presented a flexural strength of 93.77 Mpa. **Conclusions**: It is concluded that the graphene-enriched polymer (G-PMMA) proved to be a promising material to be used for prosthetic purposes. This is evidenced by a significant increase in flexural strength.

Keywords: Polymethyl methacrylate; graphene oxide; flexural strength.

INTRODUCCIÓN

Uno de los materiales más utilizados en la odontología protésica es el metacrilato de polimetilo debido a sus características deseables, estos materiales biocompatibles son químicamente inertes, dimensionalmente estables y facilitan su procesamiento.

En el capítulo I se plantea el problema de investigación donde destaca el problema de alta fractura de las prótesis a base de resina de polimetilmetacrilato, debido a que no presentan una resistencia mecánica óptima. Se plantea como problema general cuál es la diferencia de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno. Como objetivo principal se propone comparar los valores de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno. Se presenta cuatro justificaciones: teórica, metodológica, práctica y social, para caracterizar la importancia del estudio. Se describen las limitaciones del estudio.

En el capítulo II del marco teórico, se investiga los antecedentes tanto nacionales como internacionales describiendo sus resultados y conclusiones extraídas de dichos resultados, en la base teóricas del estudio plantea los conceptos de resinas de polimetilmetacrilato, las propiedades mecánicas y la influencia del grafeno en el campo de los biomateriales.

En el capítulo III de diseño y método se presenta el método de investigación, el enfoque de la investigación, el tipo de investigación y el diseño. También se detalla la población de estudio, la muestra y la técnica del muestreo, las variables su operacionalización y las técnicas e instrumentos para la recopilación y análisis de datos y los aspectos éticos.

De acuerdo con el capítulo IV se describen los resultados del estudio, tanto descriptivos como de la prueba de hipótesis así también la discusión de los resultados con los antecedentes. Finalmente, en el capítulo V, resaltan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

1. CAPITULO I: EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Las propiedades mecánicas de los materiales dentales juegan un papel importante en su desempeño clínico y están fuertemente relacionadas con el procesamiento y la composición. Por ejemplo, las dentaduras completas utilizadas para la restauración estética y funcional en pacientes desdentados están expuestas a fuerzas masticatorias altas y complejas que pueden causar fracturas.¹ La necesidad de rehabilitar a los pacientes que presentan dichas circunstancias, hace necesario desarrollar materiales acrílicos con mayor resistencia al impacto que permitan realizar tratamientos restauradores duraderos. Mejorar la dureza aumentando el grosor de la prótesis puede ser problemático para el paciente, por lo que es importante explorar otras formas de enriquecer las propiedades mecánicas, así como también mejorar las propiedades biológicas de la resina acrílica reduce la incidencia de úlceras bucales por dentaduras postizas, en consecuencia, mejora la calidad de vida de pacientes portadores de dentaduras postizas.²

Las dentaduras están hechas de materiales a base de polímeros debido a su alta disponibilidad, trabajabilidad y versatilidad en términos de moldeo.³ La resina de base acrílica (PMMA) es el mejor material para prótesis dentales completas debido a su biocompatibilidad, falta de toxicidad y buena apariencia. Sin embargo, los productos poliméricos no tienen una resistencia mecánica óptima o pueden provocar una respuesta inflamatoria. Las propiedades mecánicas y de desgaste de las prótesis de PMMA a menudo provocan grietas y fracturas en el uso clínico temprano y, por lo tanto, están constantemente expuestas a cambios físicos y químicos.^{4,5} La combinación de dos o más materiales con diferentes composiciones, morfologías y propiedades da como resultado compuestos con propiedades físicas y químicas únicas y actividad mecánica o biológica mejorada. Debido a su funcionalidad mejorada, los composites se utilizan

ampliamente en odontología y otros campos biomédicos como materiales de restauración, portadores de fármacos, piezas protésicas, etc. El mejoramiento de nuevos materiales y el sistema para la producción de biocompuestos de próxima generación con funcionalidad mejorada son de gran interés. En este ámbito surge el grafeno.⁶ Conocido como "el material más delgado del universo" desde el 2004, el grafeno ha recibido mucha atención en varios campos de investigación, incluida la odontología, por sus propiedades mecánicas únicas, alta resistencia y módulo de elasticidad. Además, el grafeno tiene propiedades electrónicas incomparables y proporciona una gran superficie que puede funcionalizarse químicamente. Es un alótropo del carbono y está compuesto por una capa con un grosor de un átomo de átomos de carbono con enlaces sp^2 , que está estrechamente empaquetada en una estructura cristalina en forma de panal. El óxido de grafeno (GO) y el óxido de grafeno reducido (rGO) son ricos en grupos que contienen oxígeno (epóxi, hidroxilos y carboxilos) y se pueden funcionalizar fácilmente con una amplia gama de aplicaciones.⁷ Al incorporar grafeno a un material en particular, se pueden obtener materiales compuestos con propiedades mejoradas. Un ejemplo de ello es la incorporación industrial de óxido de grafeno en metacrilato de metilo para crear un polímero modificado (PMMA), que ofrece importantes ventajas mecánicas, como también en el estudio de la biorreactividad de los tejidos blandos.⁸

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la diferencia de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno?

1.2.2. Problemas específico

1. ¿Cuál es el valor de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato?
2. ¿Cuál es el valor de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno?

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Comparar los valores de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno.

1.3.2. Específicos

- 1 Determinar los valores de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato.
- 2 Determinar los valores de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Teórica

El presente estudio tuvo importancia teórica ya que se estudiaron conceptos y teorías sobre la efectividad de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de PMMA mejorada con

grafeno, debido a que es de gran interés la mejora de las propiedades físicas de los materiales de base en las prótesis dentales, buscando así disminuir las fracturas, que duren en el tiempo otorgando seguridad y confianza para su bienestar de los pacientes. Por lo que es de gran valor que los odontólogos y estudiantes tengan los conocimientos de nuevos materiales que combinados con una resina de PMMA otorgan mejores propiedades mecánicas. Por lo tanto, la presente investigación significará un aporte teórico en el área odontológica relevante basado en la creación de nuevos conocimientos y resultados que podrá convertirse en antecedentes significativos para la creación de materiales dentales con adición de grafeno dado sus propiedades mecánicas y biológicas relevantes.

1.4.2. Metodológica

La justificación metodológica de este estudio se debe a que se realizó un estudio de diseño experimental, que comparó la resistencia a la flexión de las resinas de PMMA versus una mejorada con grafeno. Para ello, este trabajo es asesorado por un experto para realizar el experimento, obteniendo así datos precisos que se analizan en un programa estadístico. Por lo tanto, este estudio colaborará con futuras investigaciones que deseen emplear grafeno en resinas para base de prótesis.

1.4.3. Práctica

En lo práctico su utilidad hacia el profesional es que durante los tratamientos con prótesis totales es necesario que las prótesis resistan los grandes impactos ya sea por el sistema estomatognático o durante su uso. Debido a la practicidad de las resinas para base de prótesis se puedan realizar tratamientos de calidad. Los resultados de dicha investigación ayudarán al odontólogo en su

práctica diaria a tener mayor conocimiento y alternativas de tratamiento en la elección de material.

1.4.4. Sociedad

El envejecimiento gradual de la población es un tema importante que debemos afrontar hoy en día, lo que lleva a un aumento de las necesidades de atención dental de los pacientes de edad avanzada. En la sociedad el presente estudio contribuirá a reducir la incidencia de fracturas de las dentaduras postizas, brindando tratamientos duraderos de esta manera devolviendo la confianza y la aceptación a los pacientes portadores de prótesis.

1.5. Delimitaciones de la investigación

1.5.1. Temporal

La presente investigación se desarrolló durante el mes de febrero del presente año, el cual fue realizado en un solo periodo de tiempo.

1.5.2. Espacial

El estudio se desarrolló en el laboratorio High Technology Laboratory Certificate S.A.C

1.5.3. Recursos

Dicha investigación no cuenta con financiamiento público o privado, por lo tanto, es autofinanciado por el participante de la presente investigación, para afrontar los gastos de transporte, alimentación y material los cuales no influyeron negativamente a la investigación.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

García R, et. Al., (2021) En México se realizó un estudio con el Objetivo de “*Determinar la citotoxicidad y los efectos del óxido de grafeno (GO) sobre la proliferación celular de fibroblastos gingivales, células pulpodentales y osteoblastos humanos en cultivo, y determinar las propiedades físicas, mecánicas y biológicas del poli (metacrilato de metilo) (PMMA) enriquecido con GO*”. **Material y método:** Se prepararon muestras de resina acrílica termopolimerizable (OptyCril termopolimerizable, NewStetic, Colombia) y resina acrílica con óxido de grafeno (PMMA-GO, Graphe Dental, México) de acuerdo a las instrucciones del fabricante (PMMA) se determina las propiedades mecánicas y físicas, según ISO-20795-1: 2013 Odontología-Polímeros de base-Parte 1: Polímeros de base para dentaduras postizas. Se preparó para 10 muestras con un tamaño de $50\pm 1 \times 15\pm 1 \times 3,0\pm 0,1$ mm y se mantuvo en agua a $37\pm 1^\circ\text{C}$ por 50 ± 2 h. La muestra se colocó sobre el soporte de flexión, que debe sumergirse en agua a $37\pm 1^\circ\text{C}$, según ISO-20795-1:2013. Antes de iniciar la prueba, la muestra alcanzó la temperatura del baño en cinco minutos. Las muestras se sometieron a un ensayo de flexión en tres puntos, se colocaron sobre dos soportes separados por una distancia (L). Se aplicó una fuerza (F) que operaba a 1 mm/min al centro de la muestra utilizando una Máquina de Prueba Universal (Instron 5567, Norwood, MA, EE. UU.) para desviarla. Los especímenes se mantuvieron sumergidos en agua a una temperatura $37\pm 1^\circ\text{C}$ donde se aplicó la carga (F en Newton) hasta que ocurrió la falla. El valor de resistencia a la flexión (R) se obtuvo en MPa. La expresión matemática utilizada calculo un valor p constante de 32mm para L (espacio entre apoyos), ancho (b, en mm) y espesor (h, en mm): $R = (3FL) / (2bh^2)$. **Resultados:** Se muestran diferencias significativas en ambas resinas. La resina GO modificada se reduce significativamente ($p < 0.05$, t-Student) mostrando resultados para

PMMA 41 ± 3 MPa y para PMMA-GO 47 ± 10 MPa, de resistencia a la flexión. **Conclusiones:** Los resultados muestran que GO presenta buena biocompatibilidad y puede promover la proliferación y regeneración celular. Agregar GO en PMMA mejoró las propiedades físicas, mecánicas, químicas y biológicas en comparación con PMMA sin GO. Estos datos muestran el uso potencial de GO para la producción de bases dentales, lo que es beneficioso para el desempeño clínico y biológico.⁹

Di Carlo S, et. Al., (2020). En Italia se realizó un estudio con el objetivo de “*Comparar tanto el módulo elástico (EM) como la resistencia a la flexión (FS) de dos materiales utilizados en prótesis dentales, a saber, polimetilmetacrilato (PMMA) y polimetilmetacrilato reforzado con grafeno (G-PMMA).*” **Material y método:** se usaron cuarenta muestras las cuales se distribuyeron en veinte para cada dos grupos: 1. PMMA convencional (PMMA); 2. PMMA reforzado con grafeno (G-PMMA). Las muestras presentaban forma rectangular (62 mm de longitud, 10 mm de ancho y 2,5 mm de espesor) según la Especificación n° 12 de la Asociación Dental Americana (ADA) para polímeros de base de prótesis. Las muestras se midieron utilizando un calibre digital, con una exactitud de 0,01 mm. Se usó un sistema de diseño asistido por computadora / fabricación asistida por computadora (CAD / CAM) para la elaboración de todas las muestras con una técnica de fresado. Precisamente, las muestras de G-PMMA se consiguió fresando discos poliméricos “G-CAM” (98,5 mm de diámetro y 22 mm de espesor), fabricado por Graphenano Dental Company (Valencia, España). La prueba mecánica se realizó utilizando una prueba de flexión de tres puntos (Instron® máquina de ensayo, modelo 3366). La prueba FS se realizó utilizando una celda de carga de 10 kN. Después de una precarga de aproximadamente 2 N, la punta comenzó a aplicar la carga a una velocidad de la cruceta de 1,0

mm / min y la muestra se desvió hasta que se rompió. Los resultados se registraron usando un software de análisis estadístico estándar. Se utilizó Excel como base de datos (Microsoft, Redmond, WA, EE. UU.). Se calcularon estadísticas descriptivas que incluían valores medios, desviación estándar, para cada variable y se utilizaron diagramas de caja para evaluar los valores atípicos de los datos. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para definir si los datos encajan a una distribución normal o no. Se llevó a cabo una prueba para identificar diferencias medias estadísticamente significativas en el FS y EM entre G-PMMA y PMMA convencional. En cada prueba, el punto de corte de significancia estadística fue $p \leq 0,05$. **Resultados:** el valor medio de FS mostrado por el G-PMMA antes de la fractura fue mayor ($113,03 \pm 2,94$ MPa) que el valor medio de FS de PMMA ($96,32 \pm 8,78$ MPa). La adición de grafeno al PMMA proporcionó un aumento estadísticamente significativo de $16,71 \pm 2,93$ (IC del 95%, 10,56-22,86) MPa en el FS en comparación con el PMMA convencional ($p < 0,001$). **Conclusiones:** se concluye que este nuevo material será una innovación para la elaboración de prótesis dentales fijas y removibles, permitiendo a los odontólogos y laboratorios dentales trabajar de una manera más predecible asegurando un mejor producto terminado.¹⁰

Hernandez. J, et. Al., (2020). En España se llevó a cabo un estudio con el objetivo de “*Efecto de termociclaje sobre microdureza superficial de la PMMA modificado por grafeno: un estudio experimental in vitro*”. **Material y métodos:** Se realizó un estudio experimental, Los materiales a utilizar fueron discos C2 monocromáticos G-CAM (G-MONO) y discos C2 multicromáticos G-CAM (G-MULTI) proporcionados por Graphenano Nanotechnologies (Paterna, Valencia, España). Un total de noventa y seis muestras (48 de G-MONO y 48 de G-MULTI) fueron diseñadas y realizadas por CAD-CAM en formato rectangular (64 x 10x 3,36 mm). Una vez obtenidas todas las muestras, se colocaron en incubadora, con 100% de humedad, a 37°C durante

24 horas, para ser tratadas. Las muestras G-MONO y G-MULTI se dividieron por igual en 4 grupos (n = 24): Grupo 1 (G-MONOC) y Grupo 2 (G-MULTIC) sirvieron como controles y no se termociclaron, Grupo 3 (G-MONOT) y el Grupo 4 (G-MULTIT) se sometieron a termociclado durante 10.000 ciclos en agua destilada entre 5 ° C y 55 ° C, con un tiempo de espera de 30 segundos. La medición de la microdureza de las muestras se realizó con un durómetro digital Shore A (Sauter HD, Balingen, Alemania). Este método se basa en la penetración de una aguja en la superficie del material, Se realizaron tres mediciones de microdureza para cada muestra y los valores medios se calcularon como el valor Shore A final. Los valores de microdureza se expresan en unidades Shore A y la lectura varía de 0 a 100 Shore. Los valores de microdureza se analizaron estadísticamente utilizando ANOVA de 1 vía seguido de la prueba de Tukey. Con un nivel de significancia $p = 0,05$. Se analizó estadísticamente en el software Statistix 2020 Analytical (Tallahassee, EE. UU.). **Resultados:** los valores medios de microdureza superficial fueron muy similares en todos los grupos G-MONO termociclado y no termociclado; para G-MULTI termociclado, mostro una pequeña disminución en la microdureza superficial. El ANOVA de una vía no reveló diferencias significativas entre el Grupo 1 (G-MONOC) y el Grupo 3 (G-MONOT), y entre el Grupo 2 (G-MULTIC) y el Grupo 4 (G-MULTIT). Las comparaciones en la prueba de Tukey emparejada tampoco se encontró diferencias no significativas ($\alpha < 0,05$). **Conclusiones:** se concluye que el PMMA para CAD / CAM modificado por grafeno como material en la fase de refuerzo pasó con éxito por el proceso de envejecimiento consistente en 10.000 ciclos térmicos, manteniendo sus valores de microdureza superficial.¹¹

Bacali C, et. Al., (2019). En Rumania se hizo un estudio con el objetivo de “*Evaluar la resistencia a la flexión, biocompatibilidad y actividad antimicrobiana de una resina de prótesis*

de polimetilmetacrilato mejorada con nanopartículas de grafeno y plata”. **Material y métodos:**

Se realizó un estudio experimental, para la elaboración de nanomateriales a base de grafeno el compuesto de nanopartículas de plata de grafeno (G-AgNp) se unió utilizando la técnica de deposición química de vapor catalítico por radiofrecuencia (RF-CCVD), empleando nanopartículas de plata distribuidas sobre óxido de magnesio (Ag_x / MgO, donde x = 3% en peso) y óxido de grafeno. La mezcla de G-AgNp con el acrílico se elaboró en una solución de alcohol etílico al 95%, a temperatura ambiente, mediante agitación continua, en un promedio de 30 min. Posteriormente, los compuestos se desecaron al horno a 40°C. La síntesis se realizó utilizando un caudal de metano de 80 mL / min y un tiempo de reacción de 60 min. Los materiales experimentales que se usaron fueron resina de base de prótesis comercial Castavaria, una vez unido el polvo de resina con nanopartículas de grafeno y plata (1% en peso y 2% en peso) mediante un vibrador de laboratorio. El modelo de control solo contiene el material comercial (M), y las muestras P1 y P2 contienen 1% en peso y 2% en peso de nanopartículas de grafeno. La resina polimerizada en frío con y sin relleno se preparó según la proporción recomendada (1 ml / 0,95 g de monómero: 1,7 g de polímero) y se vertió en un molde de silicona. La resina se curó a 55 °C y 2.5 bar durante 30 minutos para obtener una barra de 150 mm/5 mm y se cortó en 5 discos de 1 mm usando un cortador (Isomet 1000 Precision Saw, Buehler). Para determinar la resistencia a la flexión, se prepararon 10 muestras rectangulares (25 x 2 x 2) para cada material usando un molde de silicona bajo las mismas condiciones de elaboración. La resistencia a la flexión se evaluó en una máquina de prueba universal (Lloyd Instruments, Ametek, Farham, Reino Unido) utilizando una prueba de flexión de 3 puntos. La resistencia a la flexión se midió en (Mpa) usando la siguiente ecuación: $S = 3Fl / 2bd$, donde S es la resistencia a la flexión, F es la fuerza en el punto de ruptura (fuerza máxima), l es la distancia entre los dos. Piezas basadas en máquinas (20 mm), B es el ancho de la muestra, D es el grosor de la muestra.

Se aplicaron cargas a una velocidad de cruceta de 0,5 mm/min hasta que se produjo la fractura (ISO 4029/2000). **Resultados:** Los resultados mostraron que los materiales ricos en grafeno y nanopartículas de plata tenían una resistencia a la flexión estadísticamente significativamente mayor que los materiales de referencia. Mvs. P2: $p = 1.61562e-06$; Mvs. P1: $p = 0,00172$. Este hallazgo también está respaldado por el hecho de que los materiales con las concentraciones más altas de grafeno y nanopartículas de plata exhibieron la mayor resistencia a la flexión (P2 vs. P1: $p = 0.01430$). La resistencia a la flexión mejoró en ambas muestras reforzadas. **Conclusión:** Estos resultados garantizan la posibilidad de utilizar la combinación de PMMA y grafeno como material para prótesis dentales.¹²

Bacali C, et. Al., (2019). En Rumania se realizó una investigación con el objetivo de “*Evaluar la influencia del grafeno en la mejora de las propiedades físico-mecánicas en resinas de PMMA para bases de prótesis dentales*”. **Material y método:** las nanopartículas de grafeno-plata (Gr-Ag) utilizadas en este estudio se sintetizaron mediante deposición química de vapor por radiofrecuencia. (RF-CCVD) utilizando nanopartículas de plata catalíticas distribuidas sobre óxido de magnesio (Ag_x / MgO , donde $x = 3\%$ en peso). La síntesis se realizó con un flujo de metano de 80 mL / min y un tiempo de reacción de 60 min. El grafeno obtenido tenía 6 capas decoradas con nanoclusters de Ag. Los materiales experimentales de una prótesis acrílica líquida autopolimerizable se obtuvieron de Castavaria. La muestra de control contenía solo el material acrílico para dentaduras postizas (M), mientras que las muestras P1 y P2 contenían 1 (P1) y 2 (P2) % en peso de Gr-Ag. Se mezclaron en el polvo de PMMA, utilizando un dispositivo de laboratorio vibratorio, luego la mezcla de polvo y líquido se curó durante 30 min, a 55°C. °C y 2,5 bar en un dispositivo de polimerización, como se describe en las especificaciones del producto. Se obtuvieron barras de 150 mm / 5 mm, que luego se seccionaron en discos de 1,5

mm, 10 por cada muestra. Para la evaluación mecánica de la resistencia a la flexión (FS) se prepararon de acuerdo con la norma ISO 4049/2000 y las normas internacionales “Especificación de la Asociación Dental Americana”. Se utilizaron moldes de silicona para la preparación, para minimizar la formación de grietas y defectos dentro del material. Se prepararon diez muestras de formas y tamaños predeterminados para cada grupo de prueba, de acuerdo con el método de prueba designado: 6 mm× 3 mm para DTS, 4 mm× 8 mm para CS y 2 mm× 2 mm× 25 mm para FS. Después de 24 h, las muestras se evaluaron utilizando una máquina de pruebas mecánicas Lloyd Instruments-LR5k (LF Plus, LLOYD, Instrument, Ametek Inc., West Sussex, Reino Unido) equipada con el software Nexygen (versión 3.0, Lloyd Instruments Ltd. Steyning Way, Bognor Regis, West Sussex, Reino Unido). La significancia estadística de los valores. Se probaron 10 muestras para cada uno de los tres materiales usando un ANOVA unidireccional (Microsoft Office, Excel, Python 3.5 y Matplotlib, San Diego, CA, EE. UU.). **Resultados:** como resultados se obtuvieron que la carga máxima alcanzada durante la prueba de flexión varió significativamente entre las muestras analizadas. La muestra M que contenía solo PMMA resistió 18.1 ± 4.2 N, mientras que las muestras P1 y P2 se expusieron a 53.8 ± 19.2 N y 81.3 ± 18.3 N. El módulo de ruptura aumentó significativamente de 13.4 ± 3.1 MPa para la muestra M a 35.0 ± 8.3 MPa para la muestra P1, mientras que entre las muestras P1 y P2 se obtuvo un ligero aumento. Los resultados revelaron un comportamiento mecánico significativamente mejorado de la resina de PMMA enriquecida con Gr-Ag con respecto al comportamiento de compresión, perfil de flexión y resistencia a la tracción. **Conclusiones:** de la evaluación mecánica, pudimos concluir que un 1% de contenido de Gr-Ag sería suficiente para que el material soportara cargas aplicadas más altas, para exhibir mayor resistencia a la flexión y características de tracción en comparación con el PMMA sin

modificar. Sin embargo, un contenido de 2% de Gr-Ag mostró proporciones más bajas de agua absorbida, lo que podría reducir los riesgos de efectos de degradación mediados por el agua.⁷

Bacali, C. et. Al., (2019). En Rumania se realizó una investigación con el objetivo de, “*Evaluar la solubilidad, ductilidad y resiliencia de un PMMA resina dentada con grafeno y plata, adición de nanopartícula*” **Material y método:** el compuesto de nanopartículas de plata y grafeno (G-Ag) se sintetizó mediante el método de Deposición de Vapor Químico Catalítico por Radiofrecuencia (RF-CCVD) usando nanopartículas de plata distribuidas sobre óxido de magnesio (Ag_x / MgO , donde $x = 3$ % en peso) y óxido de grafeno, elaborados de la misma manera. La unión de G-Ag con acrílico de dentaduras se relaboro en solución de alcohol etílico al 95%, a temperatura ambiente, con agitación continua, en promedio de 30 minutos. Finalmente, los compuestos se secaron en el horno a 40°C. La síntesis se realizó con un caudal de metano de 80 ml / min y un tiempo de reacción de 60 minutos. Los materiales de experimentación se adquirieron de una resina acrílica autopolimerizante comercial, Castavaria. La muestra de control contiene solo el material comercial (M), mientras que las demás muestras contienen también nanopartículas de grafeno-Ag al 1% (P1) y al 2% (P2), respectivamente. Para la muestra se mezcla polvo de resina con nanopartículas de plata de grafeno (1% y 2%), mediante un vibrador de laboratorio. Se mezcló resina acrílica, con y sin cargas añadidas, en la proporción recomendada (1 ml / 0,95 g de monómero: 1,7 g de polímero) posteriormente se colocó en un molde de silicona. Las resinas experimentales se curaron durante 30 minutos, a 55 ° C y 2.5 Barr. La resistencia a la flexión se evaluó mediante la fabricación de 10 muestras rectangulares (25x2x2 mm) para cada material utilizando moldes de silicona. La resistencia a la flexión se midió con una máquina de ensayo universal Lloyd (Lloyd Instruments, Ametek, Farham, Reino Unido) usando una prueba de flexión de 3 puntos. **Resultados:** la media, la

desviación estándar, los valores mínimo y máximo para cada conjunto de 10 valores para cada muestra de solubilidad, ductilidad y resiliencia. Se utilizó ANOVA de una forma para analizar la variación en las medias para los diferentes tipos de muestras. Se utilizó la prueba t pareada para hacer comparaciones de muestras por pares. Con un valor de “p” menor que 0.05 indicará diferencias estadísticamente significativas. El material reforzado se rompió con valores de tensión y deformación ligeramente más bajos. Esto sugiere que la adición de nanopartículas de grafeno y plata redujo ligeramente la ductilidad de la resina reforzada en comparación con los controles. Valor medio del módulo medido en cada grupo de 10 muestras (M, P1, P2). El valor registrado fue de 1,7-6,24 J/m³. En promedio, el módulo más alto de la muestra se logra al 1% de G-Ag. La varianza media dentro del grupo fue estadísticamente significativa (p= 0,00045). En las comparaciones por pares, la diferencia entre P1 (PMMA + 1% G-Ag) y P2 (PMMA + 2% G-Ag) tiene el valor de p más bajo (0.0013), mientras que para los otros pares ronda alrededor 0,05 (0,054 y 0,057 respectivamente). **Conclusión:** la concentración de nanopartículas de plata de grafeno al 1 % en peso tiene un efecto beneficioso sobre la elasticidad, la concentración al 2% mejora la elasticidad y puede tener buenas perspectivas de durabilidad, pero la solubilidad en agua y saliva aumenta y reduce la ductilidad de la resina.¹³

Agarwalla, S. et. Al., (2019). En Singapur se realizó un estudio con el objetivo de “*Evaluar los parámetros de translucidez, dureza y resistencia (resistencia a la flexión, módulo de Weibull y resistencia característica) de G-CAM A1 (GA1) y G-CAM B2 (GB2) comparada con una resina de PMMA (PM) sin modificar*”. **Material y método:** las composiciones de resina de PMMA que contienen material similar al grafeno (GA1 y GB2) se caracterizaron mediante espectroscopía FT-IR y Raman. Diez áreas de 900 μm² fueron analizados usando un microscopio Raman (CRM 200, Witec, Alemania) para la identificación de G (~ 1580 cm⁻¹),

D ($\sim 1354 \text{ cm}^{-1}$) y picos 2D (2680 cm^{-1}). Los espectros infrarrojos se obtuvieron con FT-IR / NIR (Frontier, Perkin Elmer, EE. UU.) En modo de transmisión (cinco espectros para cada muestra, resolución espectral de 2 cm^{-1} , 100 exploraciones por espectro). La resistencia a la flexión biaxial ($n = 10$) se determinó utilizando el método de pistón sobre tres bolas siguiendo las directrices ISO 6872: 2015 (ISO: Organización Internacional de Normalización, 2018) en una máquina de prueba universal (Autograph AG-X plus Series, Shimadzu Scientific, Japón) a una velocidad constante de $0,5 \text{ mm} / \text{min}$ en condiciones húmedas. La resistencia a la flexión (σ_F) se calculó utilizando ecuaciones. **Resultado:** GA1, GB2, PM y VE presentaron flexión biaxial similar fuerza (σ_F) y fueron significativamente menores que LU y EX ($p < 0.05$). **Conclusiones:** no fue posible observar mejoras significativas a partir de la adición de materiales similares al grafeno en la resina de PMMA. Sin embargo, el rendimiento de GA1 y GB2 fue similar al VE, que se utiliza para restauraciones permanentes de un solo diente.¹⁴

Larrea I, (2018) En Ecuador se realizó un estudio con el objetivo de: “Evaluar la resistencia flexural in vitro del acrílico de termocurado reforzado con nanoplacas de grafeno para obtener datos referentes que determinen alteraciones físicas”. **Material y método:** Se confeccionaron láminas de acrílico de termocurado dividiéndolas en tres grupos uno sin refuerzo y dos con refuerzo de nanoplacas de grafeno. Todos los modelos están diseñados con los siguientes estándares: 10 mm de ancho por 65 mm de largo por 2.5 mm de espesor, según el punto 4.3.5 de la especificación no. 12 de la ADA para polímeros de bases de dentadura. Para realizar muestras seriadas se utiliza una plantilla de acetato solido de 73 mm de largo 53 mm milímetros de ancho y 4 mm de espesor y para la producción individual se elaboró plantillas cera con las siguientes dimensiones 15 mm de ancho por 70 mm de largo y 4 mm de espesor. Las muestras se almacenaron en agua destilada a una temperatura de 5°C . Se utilizó una Máquina universal

de ensayos los valores se registraron mediante el dispositivo Advance Force & torque indicador (Quatrol), Se realiza una prueba de resistencia a la flexión de tres puntos a la velocidad de: 1mm/minuto y distancia entre apoyos de: 45mm. La recolección de datos se realizó mediante las mediciones de la última resistencia en mega pascales (Mpa) de las láminas de resina acrílica para base dentaduras con y sin nanoplacas de grafeno; obteniendo la media y moda de los valores. **Resultados:** La media del Grupo G con un valor de 99,68 MPa, frente al grupo control R con una media de 97,7 MPa. **Conclusiones:** Los grupos que en su mezcla contienen pocas cantidades de nanoplacas de grafeno demostraron ser un 2% mejor que el acrílico de termocurado sin algún tipo de refuerzo. ¹⁵

2.2. Bases teóricas

BIOMATERIALES

La ciencia de los biomateriales se ocupa del estudio de materiales diseñados para interactuar con sistemas biológicos y para resolver problemas muy diversos en el campo biomédico. Debido a su carácter interdisciplinario, esta ciencia requiere en la actualidad la participación de expertos profesionales en los campos de la medicina, la biología, la química, la ingeniería de tejidos y la ciencia de los materiales.¹⁶

El término biomaterial fue acuñado en 1976 para referirse a la capacidad de este material para interactuar con los sistemas biológicos. Sin embargo, esta definición ha evolucionado con el desarrollo de nuevos biomateriales para muchas aplicaciones.

En 1999, la Sociedad Europea de Biomateriales los definió como manufacturados con el propósito de evaluar, tratar, mejorar o intercambiar tejidos, órganos o funciones físicas.

Actualmente, en medicina, se considera biomaterial a cualquier material de origen sintético o natural aplicado a un tejido vivo como dispositivo médico o implante.¹⁷

Para poder ser insertado, el biomaterial debe cumplir algunos de los requisitos generales contenidos en el concepto de biocompatibilidad. El término biocompatibilidad se define como la interacción entre un dispositivo biomédico y los tejidos del paciente.¹⁸ El desafío más importante en el uso de estos biomateriales es el rechazo inmunológico porque en la situación actual los implantes de por vida y el reemplazo óseo deben requerir biocompatibilidad, los cuales van a depender de una variedad de factores, incluidas las propiedades químicas y físicas de sus componentes, el tipo de tejido del paciente expuesto al dispositivo y la duración de su exposición.¹⁹

Los biomateriales deben cumplir ciertos requisitos como: 1) Biocompatible, aceptado por los organismos receptores y no provocar rechazo en presencia de biomateriales, 2) No tóxico o cancerígeno, 3) Debido a la presencia de biomateriales biodegradables y permanentes los materiales deben ser estables o biodegradables en productos no tóxicos durante al menos el tiempo programado, 4) propiedades como: mecánicas, de resistencia, superficiales, el periodo de fatiga y el peso deben ser los adecuados, y 5) el diseño del implante, el tamaño, la forma deben ser adecuados. Además, debe ser económico, reproducible en la producción y fácil de procesar para la producción en masa.²⁰

Los nanomateriales (NMs) tal y como los define la Comisión Europea, son materiales de origen natural, incidentales o fabricados con partículas libres o formando agregados o aglomeraciones, de los cuales más del 50 % se encuentra en tamaño de partículas digital con uno o más tamaños que van de uno a cien nanómetros, incluidos fullerenos, los copos de grafeno y nanotubos de carbono de pared simple con una o más dimensiones externas inferiores a 1 nanómetro. Los

nanomateriales también presentan diversas propiedades ópticas, mecánicas, eléctricas y magnéticas que difieren de los materiales de la misma composición, pero en mayor medida.²¹

22

El grafeno es uno de los materiales de tamaño nanométrico que está llamando la atención en los últimos años. La estructura del grafeno tiene solo un átomo de carbono de espesor y tiene excelentes propiedades únicas para una variedad de aplicaciones.¹⁶

TIPOS DE BIOMATERIALES

Clásicamente los biomateriales constan de cuatro clases distintas: polímeros, compuestos, cerámica y metales. En el sector biomédico y farmacéutico (ingeniería de tejidos, apósitos para heridas, bioimagen, sistemas de administración de fármacos, implantes, biosensores, diagnósticos biomédicos y tratamiento de diversas enfermedades). Dentro de los cerámicos, están los carbonos, estos tienen ventajas como una elasticidad similar a la del tejido óseo y, a diferencia de los metales y polímeros sintéticos, no presentan tensión.²³

- Por su origen se denominan materiales:
 - ✓ Naturales como: seda, lana, colágeno.
 - ✓ Sintéticos, conocidos como materiales biomédicos.
- Entre los sintéticos y por su naturaleza:
 - ✓ Metales. Tienen excelentes cualidades mecánicas. Utilizados en prótesis ortopédicas e implantes dentales.
 - ✓ Polímeros. Con propiedades similares a los tejidos vivos. Son los más utilizados en implante y medicina regenerativa.

- ✓ Cerámicos. Químicamente inertes y estables. Se utiliza para prótesis óseas, válvulas cardíacas.
- ✓ Compuestos. Sus características varían mucho en función de los elementos que las componen. Usado en todas las áreas de la bioingeniería.
- Según la reacción del propio cuerpo:
 - ✓ Inerte.
 - ✓ Biológicamente activos.
 - ✓ Replantación.
 - ✓ Biodegradables.
 - ✓ No degradables.²⁴

Resinas acrílicas

La resina acrílica se ha utilizado desde el siglo XIX hasta la actualidad para la rehabilitación parcial y total de pacientes edentulos, debido a su excelente estética y apariencia natural. La selección de materiales varía según la disponibilidad, el costo, las propiedades físicas, las cualidades estéticas y las características del proceso. De todos los materiales utilizados, el polimetilmetacrilato ha mostrado las mejores propiedades, por lo que recientemente ha dominado el campo de las bases para prótesis.²⁵

Entre las propiedades básicas que debe tener un material utilizado como base de prótesis, se encuentran.

- Baja resistente: 55 Mpa en tensión y 76Mpa en compresión.
- Flexible.
- Frágil: la fractura supera rápidamente el límite elástico, sin deformación

permanente.

- Blando: dureza knoop 15
- Resistencia a la fatiga: puede soportar 1.5 millones de dobleces a 17 Mpa antes de la deformación.
- Baja conductividad térmica
- Alta contracción de polimerización
- Radioactivo
- La absorción de agua produce una expansión del 2%, pero contrarresta la contracción de polimerización
- Baja solubilidad
- Poca adhesión al metal y la porcelana
- Solidez de color
- No libera olor ni sabor
- Biocompatibilidad.²⁶

Polimetilmetacrilato.

Descubierto en 1939. El polimetilmetacrilato (PMMA) es un éster polimerizable de ácido acrílico, tiene una resistencia similar a la del hueso y mayor resistencia a la compresión y a la tracción que la hidroxiapatita.²⁷ Es el polímero más importante derivado del ácido etileno. El cual se obtiene mediante una serie de reacciones químicas donde se le agrega un grupo carboxilo al etileno para producir ácido acrílico, se agrega un grupo metilo para obtener ácido meta metil acrílico, finalmente se agrega otro grupo metilo para producir metacrilato de metilo. La

polimerización del metacrilato produce polimetilmetacrilato a partir de la formación de radicales libres por la apertura de dobles enlace del cual este último se utiliza como base de prótesis.²⁸

Los polímeros que se obtienen a partir del ácido metacrílico (poliácidos) son rígidos, resistente, translucidos con extraordinarias propiedades ópticas con un buen índice de refracción y resistentes al envejecimiento. Sin embargo, es necesario mejorar las propiedades mecánicas del PMMA. Las prótesis dentales son frágiles en la boca, principalmente debido a la fatiga de la resina durante su funcionamiento. La fatiga por flexión a menudo conduce a fracturas en la línea media de la prótesis.²⁹

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS ³⁰

- Dureza superficial (Rockwell): M92, M90-M100
- Elongación (%): 2 - 7
- Tensión de rotura (MPa): 72.2 – 79.6
- (Módulo de Young (GPa): 2.7 – 2.9
- Módulo de compresión (GPa): 2.68 – 3.27
- Rigidez específica (MNm/kg): 2.27 -2.44
- Límite elástico (MPa): 57.8 – 63.7
- Módulo de flexión (GPa): 3 – 3.3
- Módulo de compresibilidad (GPa): 4.32 – 4.54
- Impacto de Charpy sin muescas (kJ.m²): 20
- Límite de fatiga a 10⁷ ciclos (MPa): 15.2 – 16.8
- Módulo de cizalladura (GPa): 1 – 1.2
- Color: Transparente

- Densidad (g/cm³): 1.8 - 1.2
- Contracción del molde (%): 0.3–0.6
- Absorción de agua (%): 0.3
- Punto de fusión (°C): 220–240

Existen dos tipos de resinas, las resinas autopolimerizables y las resinas termopolimerizables, pero la principal diferencia con las resinas termopolimerizables es la gran cantidad de monómeros residuales. La pérdida de monómeros residuales mejora las propiedades físicas. Los polimetilmetacrilatos varían ligeramente según el proceso utilizado en su polimerización (termocurado, autocurado, polimerización por microondas y moldeo por inyección). Los materiales base para dentaduras postizas de polimetacrilato generalmente se componen de dos componentes: un monómero (líquido) y un polímero (polvo). El monómero (metacrilato de metilo) se mezcla con un polímero (que consiste en pequeñas cadenas de metacrilato de polimetilo) para formar una masa flexible.³¹ El polvo contiene polímeros (polimetilmetacrilato), así como pigmentos inorgánicos como el sulfuro de mercurio rojo, el óxido férrico marrón y el sulfuro de cadmio amarillo.

- Polímero: metacrilato de polimetilo
- Iniciador: peróxido de benzoilo
- Solubilizante (solo en termocurados): metacrilato de etilo o butilo
- Agente de decoloración: dióxido de titanio
- Fibras sintéticas, pigmentos inorgánicos

El líquido contiene un monómero (metilmetacrilato). Posee un inhibidor para asegurar una jornada laboral más prolongada (hidroquinona).

- Monómero: metacrilato de metilo
- Inhibidor: hidroquinona
- Activador (solo en autocurado): dimetilparatoluidina, en las de termocurado se usa el calor
- Enlazador de cadena cruzada: dimetacrilato de glicol (en termocurado) dimetacrilato de etileno (autocurado)
- Plástico: ftalato de dibutilo.^{26, 32}

La operación se realiza mediante una mezcla de polvo y líquido, el líquido comienza a unirse al polvo, luego el líquido comienza a disolver el polvo formando una masa pegajosa, cuando se produce la disolución completa del polvo, la mezcla se convierte en una masa plástica y comienza a curar muy lentamente como resultado de la reacción de polimerización, la energía liberada se desvanece en forma de calor, por lo que el acrílico se calienta y finalmente se contrae.³²

Agente entrecruzaste

Un agente entrecruzante es una sustancia química cuya principal característica estructural son dos o más grupos funcionales. Cada grupo funcional es capaz de formar unidades en dos o más segmentos de una misma cadena o de diferentes cadenas poliméricas. Es decir, el agente entrecruzante es capaz de formar redes poliméricas a partir de prepolímeros o polímeros. Las redes poliméricas también se forman mediante la reacción de polimerización de monómeros con tres o más grupos funcionales, y estos monómeros también pueden actuar como entrecruzantes de polímeros. Los agentes reticulantes pueden ser enlaces covalentes, cargas complejas, enlaces de hidrógeno, interacciones de van der Waals o interacciones hidrófobas.

El propósito de utilizar agentes reticulantes en reacciones poliméricas es formar redes poliméricas tridimensionales en las que las cadenas poliméricas se entrecruzan mediante enlaces covalentes y fuerzas intermoleculares, dándoles insolubilidad, mayor estabilidad térmica y también mayor estabilidad mecánica.³³

Etilenglicol dimetacrilato

El dimetacrilato de etilenglicol (EGDMA) es un diéster formado por la reacción de 2 moles de ácido metacrílico y 1 mol de etilenglicol. También puede comportarse como un monómero. Es un agente reticulante multifuncional que permite la formación de enlaces o "crosslinks" entre cadenas poliméricas, mejorando las propiedades físicas y mecánicas de la matriz. Sin embargo, la formulación de diluyentes está limitada por efectos indeseables asociados, a saber, una mayor contracción de la polimerización y la formación de resinas compuestas con una menor resistencia a la abrasión y una mayor flexibilidad.³⁴

Generalmente, los agentes reticulantes se usan en proporciones muy pequeñas en comparación con el total de monómeros o comonómeros usados en la reacción de polimerización. Estos reticulantes deben tener múltiples grupos reactivos en su estructura molecular para reticular las diversas cadenas poliméricas, y las funciones tetra y hexafuncionales son comunes. El más notable es el dimetilacrilato de etilenglicol (EGDMA). Por otro lado, un alto grado de entrecruzamiento (número de entrecruzamientos presentes por unidad de volumen) hace que el polímero sea menos elástico, pero, por el contrario, permite el movimiento entre diferentes cadenas y líneas de polímero, lo que resulta en una alta elasticidad.³⁵

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LAS RESINAS DE POLIMETILMETACRILATO

Parámetros mecánicos también conocidos como coeficiente de fractura, resistencia a la flexión o tenacidad a la fractura. Esto determina la capacidad que tiene el material para resistir la distorsión bajo carga. La resistencia a la flexión representa el esfuerzo máximo generado en un material en el momento de la fractura. La resistencia a la flexión es el principal modo de evaluación para todas las adiciones, refuerzos, modificaciones y cambios de composición de los materiales base de las dentaduras postizas. Actualmente, la literatura acepta y respalda las pautas del protocolo ISO esta se mide en forma de tensión en una curva de tres puntos. Cuando se aplica tensión a un modelo rectangular, se genera una serie de tensiones en toda su profundidad. En el borde de la muestra dentro de la curva (área cóncava), hay un valor máximo de tensión de compresión. En el exterior de la curva (lado convexo), la tensión está en el valor máximo de tracción. En los dos bordes extremos, el material se tensa en modo cortante. Los biomateriales utilizados en la fabricación de prótesis, bases de prótesis, puentes o dispositivos similares están expuestos a tensiones complejas durante su funcionamiento, que es una combinación de tensiones de compresión, tracción y cizallamiento. El análisis de la rigidez a la flexión es un parámetro importante para este tipo de prótesis. Los polimetilmetacrilatos tradicionales tienen valores bajos de resistencia a la flexión, debido a ello nace el interés de reforzarse con grafeno dado sus características mecánicas, para producir compuestos poliméricos.^{10, 36}

MATERIALES CON BASE EN ESTRUCTURAS DE CARBÓN

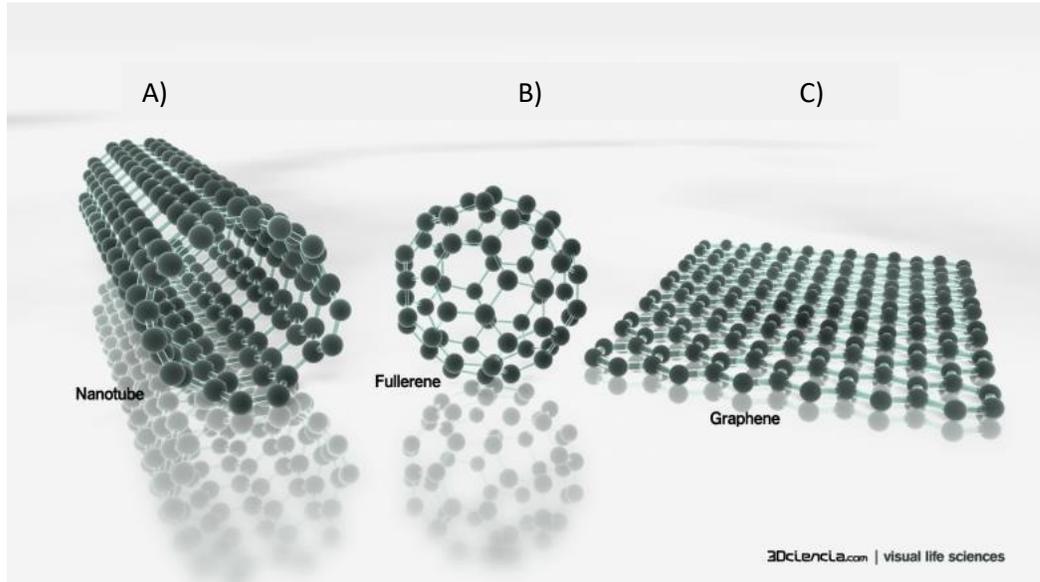


Figura 1. Disposición de carbono: **a)** Nanotubos de carbono, **b)** Fullerenos y **c)** Grafeno. Imagen modificada a partir de <https://flagellum.wordpress.com/tag/grafeno/>

Durante las últimas tres décadas, los materiales a base de carbono han llamado la atención principalmente por sus extraordinarias propiedades electrónicas y mecánicas. Estos materiales se utilizan en diversas aplicaciones, técnicas debido a su gran variedad de propiedades y estructuras con propiedades físicas y químicas muy diversos.

Muchos alótropos de carbono se pueden sintetizar cambiando la combinación de orbitales híbridos sp , sp^2 y sp^3 , hasta ahora se han introducido varias estructuras y nanoestructuras de carbono. Por lo general, las nanoestructuras de carbono se componen principalmente de átomos de carbono con hibridación sp^2 dispuestos en una red hexagonal, pero con una variedad de estructuras, morfologías y propiedades distintas.

Hay cuatro categorías principales de nanoestructuras de carbono: cero, uno, dos y tridimensionales. Por ejemplo, las nanoestructuras de carbono de dimensión cero están los

fullerenos, los puntos de carbono y los puntos cuánticos de grafeno. Las nanoestructuras de carbono unidimensionales como nanotubos y nanofibras. Las nanoestructuras de carbono bidimensionales, que se han introducido recientemente, tienen características interesantes. El grafeno es una excelente nanoestructura bidimensional. Finalmente, las nanoestructuras de carbono 3D se componen principalmente de estructuras 1D y 2D. Por ejemplo, superestructuras de grafeno 3D e híbridos de nanotubos y grafeno.³⁷

Fullerenos (fullerenes):

Los fullerenos son compuestos únicamente de átomos de carbono, poseen un número par de átomos de carbono que varía de 28 a 100 o más, con una forma de esfera hueca. Tienen una estructura de anillos de carbono hexagonal similar al grafito, pero también tienen anillos pentagonales y triangulares que permiten la formación de una estructura tridimensional. La forma más conocida de fullereno es la forma de 60 carbonos, C₆₀, conocida como Buckminster o Buckyball fullereno. El fullereno es un material químicamente estable que es insoluble en solución acuosa.³⁸

Nanotubos de carbono (carbon nanotubes, CNT):

Los nanotubos de carbono tienen una estructura cilíndrica compuesta por una o más capas tubulares similares al grafeno, denominadas nanotubos de carbono de pared simple (SWCNT) y nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT), respectivamente. El diámetro varía desde aproximadamente 1 nm de pared simple hasta más de 100 nm de pared múltiple, pero la longitud puede exceder varios cientos de micrómetros. Los nanotubos son materiales altamente estables química y térmicamente con alta flexibilidad, conductividad eléctrica y térmica, alta relación resistencia-peso y baja densidad. También son muy resistentes a torsiones y estiramientos.³⁸

El grafeno:

Es un material bidimensional (2D) que se compone de una capa de átomos de carbono con hibridación sp^2 conectados por una estructura hexagonal y espesor atómico. Su existencia se conoce desde principios del siglo XX, pero el interés por este material emergió en 2004 cuando Geim y Novoselov pudieron separar las hojas y estudiar sus propiedades. Por este descubrimiento, obtuvieron en el 2010 el Premio Nobel de Física. Los orbitales pz superpuestos hacen que los orbitales π deslocalizados a ambos lados de la hoja de grafeno sean muy difíciles de separar, pero al mismo tiempo esta deslocalización electrónica y el grosor atómico (0,34 nm), los materiales bidimensionales tienen principalmente propiedades extraordinarias como la conductividad eléctrica, movilidad de electrones, capacidad de adsorción, alta dureza (similar al diamante), elasticidad, flexibilidad, densidad, alta conductividad térmica, y eléctrica. El grafeno es un material muy ligero y resistente a las radiaciones ionizantes. ^{39,40}

En los últimos años, el grafeno y sus derivados han surgido como una nueva clase de nanomateriales. El grafeno es una capa plana a base de carbono, dispuesta en una estructura hexagonal bidimensional, que exhibe propiedades mecánicas, electroquímicas y físicas únicas. La familia de nanomateriales del grafeno incluyen varios derivados del grafeno, entre ellos: grafeno de pocas capas (FLG), grafito ultrafino, óxido de grafeno (GO), óxido de grafeno reducido (rGO) y nanoláminas de grafeno. Se diferencian en la calidad de la superficie, el número de capas y el tamaño.

El óxido de grafeno (GO) es uno de los principales derivados químicos del grafeno y puede prepararse mediante la oxidación energética del grafito mediante el método Hummers a través de agentes oxidantes. Dado que la superficie de GO contiene capas de grupos de oxígeno con varios grupos funcionales, como grupos hidroxilo, grupos carboxilo y grupos epóxido, puede

unirse a varias moléculas, por lo tanto, puede unirse a una variedad de materiales como polímeros, biomoléculas, ADN, proteínas, etc.⁴¹

Además de los derivados del grafeno mencionados anteriormente, la familia del grafeno también incluye compuestos a base de grafeno, que resultan de la funcionalización del grafeno con polímeros, moléculas pequeñas o nanopartículas por interacciones covalente o no covalentes, al ser posible que la superficie del grafeno sea funcionalizada por moléculas con propiedades diferentes, permite el desarrollo de diversos dispositivos que pueden mejorar o cambiar las características requeridas para una aplicación en particular. Los estudios en el campo de las Ciencias de la Salud describen las propiedades biológicas del grafeno como una gran ventaja debido a su alta biocompatibilidad, su potencial para interactuar con las células madre y su actividad antibacteriana. Especialmente en odontología, se sabe que incorporarlo a una resina de polimetilmetacrilato (PMMA) mejora no solo las propiedades mecánicas sino también las ventajas biológicas que se le otorgan al material. Se ha estudiado que la incorporación de nanohojas de grafeno puede incorporarse a otros materiales para mejorar su actividad biológica.^{42,43,44}

SÍNTESIS Y PREPARACIÓN DE GRAFENO

El grafeno se puede fabricar mediante tres tecnologías principales: exfoliación, deposición química de vapor y tecnología basada en productos químicos. Una de las particularidades complejas del grafeno es la cantidad de capas dispuestas en lámina de grafeno. Para lograr las propiedades deseadas de las capas de grafeno, las capas deben estar separadas entre sí, de lo contrario, tienden a agregarse en la estructura básica de grafito. Por lo tanto, el método sintético promueve la exfoliación de la lámina de grafeno. Aunque se han descrito varios métodos para obtener grafeno, el decajado químico del grafito es el más utilizado debido a su gran potencial

de producción en grandes cantidades, fácil y de bajo costo. La exfoliación del grafito en solución requiere la oxidación de las estructuras aromáticas para debilitar las interacciones de van der Waals entre las diferentes capas. El grafito se puede eliminar completamente mediante agitación ultrasónica o magnética en un medio oxidante hasta que se forma una suspensión coloidal de partículas con escasas capas de carbono.⁴⁵

Exfoliación/escisión mecánica

Para aprovechar las excelentes propiedades del grafeno, las láminas deben separarse individualmente. El grafito está compuesto por capas de grafeno unidas por interacciones de van der Waals, los métodos de exfoliación aprovechan este hecho para romper estas interacciones débiles. La exfoliación implica una variedad de otras técnicas como la exfoliación en fase líquida, la exfoliación de óxido de grafito, la descompresión de nanotubos de carbono, la exfoliación mecánica entre otras.⁴⁵

Deposición de vapor químico (CVD)

Otro método para producir grafeno se llama deposición química de vapor (CVD). En este método, el grafeno se sintetiza en la superficie de un catalizador metálico dirigiéndose a la descomposición catalítica de grafito o hidrocarburos. La ventaja de este proceso es la nula o pequeña cantidad de residuos de metal. CVD es una de las mejores formas de producir grafeno de una o pocas capas. Además, este método permite la síntesis de nanoestructuras de grafeno dopadas con heteroátomos. El grafeno se puede dopar con nitrógeno, azufre, fósforo, yodo, bromo, flúor, etc. para mejorar el rendimiento en aplicaciones catalíticas y enzimáticas así también en biodetección y transformación de energía.⁴⁶

Metodo hummer

Finalmente, las técnicas basadas en la química son uno de los métodos más productivos para sintetizar grafeno y sus derivados. El enfoque más conocido es el llamado método de Hammer. Este proceso utiliza grafito como precursor de carbono y se oxida en ácido sulfúrico concentrado en presencia de otro oxidante, KMnO_4 . Después de mantener la reacción a la temperatura deseada, se agrega agua y peróxido de oxígeno para separar la capa de óxido de grafeno y luego se lava con ácido clorhídrico (para eliminar el manganeso residual) y agua (para alcanzar un pH neutro). Aunque se pueden usar técnicas químicas para producir grandes cantidades de grafeno, algunos de estos enfoques requieren materiales especiales o valiosos. Otro método basado en químicos para la síntesis de grafeno se llama modificación electroquímica del grafeno. En este método, las láminas de grafeno se sintetizan aplicando un voltaje constante entre el ánodo y el cátodo de grafito en agua desionizada y un electrolito líquido iónico, como el imidazolio.⁴⁶ Se pueden obtener diferentes tipos de partículas de grafeno, dependiendo de los pasos que se realicen durante el proceso de descamación del grafito como:

Grafeno en monocapa, se puede obtener directamente de la exfoliación repetida de grafito, aplicado a sustratos para aplicaciones electrónicas o mediante la división de fases de carburo. Este material tiene excelentes propiedades electrónicas.

Grafeno de pocas capas (2-10 capas), un precursor del grafeno de una sola capa. El cual se logra introduciendo sulfato y ácido nítrico entre las capas de grafito y calentándolas. Esto hace que toda la estructura se expanda.⁴⁷

Óxido de grafeno (GO), se obtiene oxidando fuertemente el grafito por ultrasonido y otros métodos para obtener GO, y luego se dispersa. En una sola capa, generalmente en suspensión acuosa. Tiene una estructura de grafeno rodeada de grupos carboxilato, lo que da como resultado una carga superficial negativa dependiente del pH y una estabilidad coloidal. En la superficie

del sustrato, contiene grupos hidroxilo y grupos epoxi (sin carga, pero polares) y un dominio hidrofóbico que puede formar interacciones π - π asociadas con la adsorción de sonda-fármaco. Por lo tanto, es una molécula anfifílica que actúa como un tensioactivo que estabiliza las moléculas hidrofóbicas en solución.⁴⁷

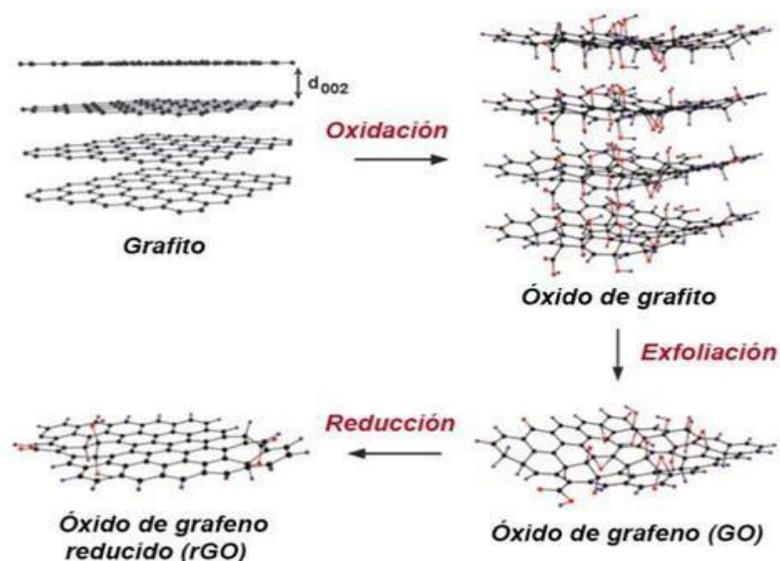


FIGURA 2. Trayecto del óxido de grafito para la síntesis de grafeno. Imagen procedente de: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/wp-content/uploads/2017/06/10.2.png>

Óxido de grafeno reducido (rGO), se puede obtener en condiciones reductoras como alta temperatura y tratamiento con hidracina. Estas condiciones se utilizan con la finalidad de restaurar la conductividad eléctrica y otras propiedades.⁴⁷

Nanopartículas de óxido de grafeno (nano-GO), GO con dimensiones laterales inferiores a 20 nm. De gran interés en su pequeño tamaño para facilitar la entrada celular, aumentar la estabilidad en solución y facilitar la dispersión.⁴³ Se obtienen de GO mediante energía ultrasónica. Dependiendo del grado de oxidación del GO, o igualmente del grado de defectos

estructurales, estos defectos determinan el número de puntos de fractura durante el proceso de sonicación, lo que permite controlar las dimensiones laterales del material.⁴⁷

Entre los diferentes tipos de grafeno, el OG tiene una variedad de grupos funcionales químicamente reactivos en su superficie que facilitan la unión a una variedad de materiales, incluidos los polímeros. Por esta razón, este nanomaterial fue objeto de esta investigación.

PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS NANOMATERIALES EN LA ODONTOLÓGICAS

Todos ellos ofrecen interesantes aplicaciones en muchas áreas, demostrando el potencial de estos materiales para mejorar las cualidades y propiedades de los materiales utilizados en odontología, como implantes dentales, membranas, resinas, cementos y adhesivos, así como estrategias para el blanqueamiento dental. Desarrollo de nuevos métodos para tratamientos y biosensores. Sin embargo, entre ellos, el grafeno y los nanotubos con composición de carbono parecen ser los más prometedores, en especial el grafeno. Como ya se mencionó, esto se debe a la biocompatibilidad de los materiales de carbono y su estructura especial. El número de investigaciones dedicados a estos dos materiales, muestra que hace 20 años la mayor parte del esfuerzo se dirigía al uso de nanotubos, pero en los últimos años el grupo de investigación ha centrado su atención en el uso del grafeno. Desde que el grafeno se aisló por primera vez en 2004, ahora se están desarrollando aplicaciones en odontología después de que se hayan descrito adecuadamente otros temas importantes, como los métodos síntesis y de caracterización. Como se mencionó anteriormente, la estructura de la lámina permite que el grafeno tenga mejores propiedades que los nanotubos, especialmente en términos de resistencia mecánica y funcionalidad. Por lo tanto, se espera que este interés en los materiales basados en grafeno en odontología continúe creciendo y se describirán más aplicaciones en los próximos años.^{48,49,50}

2.3. Formulación de hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

H_I. Existe diferencia en la media de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno.

H₀. No existe diferencia en la media de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno.

3. CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método de la investigación

- El método fue Hipotético-deductivo. Este método permite la formulación de hipótesis, y las demostraciones.

3.2. Enfoque de la investigación

- Se realizó un enfoque cuantitativo

3.3. Tipo de investigación

- Observacional, descriptivo, prospectivo, transversal

3.4. Diseño de la investigación

- Diseño experimental de pos-prueba

3.5. Población, muestra y muestreo

Población Diana:

Personas que se van a beneficiar con los resultados del trabajo de investigación

Muestra:

Se fabricaron 30 muestras de base de dentadura postiza de curado por calor de acuerdo con las normas ISO 20795.1.2013. Las cuales se dividieron en dos grupos (quince muestras para cada grupo):

1. PMMA convencional (PMMA);
2. PMMA reforzado con grafeno (G-PMMA).

Muestreo:

El tipo de muestreo fue no probabilístico intencional por conveniencia.

Criterios de inclusión

- Resinas de polimetilmetacrilato para base de prótesis
- Nanopartículas de óxido de grafeno al 1%
- Resinas de polimetilmetacrilato Vitacryl
- Muestras rectangulares (63x10x2.5 mm)

Criterios de exclusión

- Muestras con burbujas
- Muestras con fracturas o fisuras
- Muestras con superficie rugosa

3.6. Variables y operacionalización

Variable	Definición Operacional	Indicadores	Escala de medición	Valores
Resistencia a la flexión	Capacidad del material para resistir la deformación bajo carga.	Máquina de prueba universal electrónica.	Intervalo	<ul style="list-style-type: none"> • Megapascales (MPa)
Resinas acrílicas	Según las normas No.12,13,15 la ADA clasifico las resinas acrílicas en dos tipos.	Usa No usa	Nominal	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo I: autopolimerizables (polvo y liquido). • Tipo II: termopolimerizables o termoprocésables (polvo, liquido).
Carbonos	Los carbonos se identifican de acuerdo a sus características físicas y químicas	Usa No usa	Nominal	<ul style="list-style-type: none"> • Fullerenos • Nanotubos de carbono • Grafeno

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Técnica

La técnica que se emplea en esta investigación es de tipo experimental *in vitro*.

3.7.2 Instrumento

Como instrumento se utilizó una ficha de recolección de datos, donde se registró los valores de resistencia a la flexión de dos grupos de resinas, resina acrílica de termocurado libre de grafeno y resina acrílica con grafeno, con valores de resistencia a la flexión en Megapascales.

3.7.3 Descripción de la obtención de la autorización

Para la aprobación y realización del proyecto de investigación se presentó una solicitud de autorización ante la Escuela Académico Profesional de Odontología de la Universidad Particular Norbert Wiener.

3.7.4 Descripción del

procedimiento Materiales y equipos

El material experimental se obtuvo de Vitacryl (Vitacryl, Tarrillo Barba, Lima, Perú), una resina acrílica disponible comercialmente para bases de prótesis y óxido de grafeno, la elaboración de las muestras fue realizada con resina de termocurado (Vitacryl) y óxido de grafeno al 1%, la mezcla se realizó mediante un dispositivo de laboratorio vibratorio, las muestras fueron sometidas a compresión por la máquina de ensayos universal.

Diseño de muestras

Las muestras obtenidas se dividieron en dos grupos, los cuales utilizaron acrílico de termocurado (Vitacryl). En el grupo “PMMA”, las muestras no contenían óxido de grafeno, mientras que en el grupo “G-PMMA”, las muestras contenían óxido de grafeno. Todos los especímenes se diseñaron como rectángulos con las siguientes dimensiones (63 mm de largo, 10 mm de ancho y 2,5 mm de espesor) de acuerdo con la especificación n° 12 de la Asociación Dental Estadounidense (ADA). Sobre polímeros para base de prótesis. Para la fabricación personalizada, se usó las mismas dimensiones requeridas para la resina acrílica para crear un patrón de placa de cera hueca para resina acrílica termopolimerizada (Vitacryl) y resina acrílica reforzada con grafeno (G-PMMA), posteriormente las lamias de cera son enmufladas en una fila de tres barras de cera para cada mufla incluida, para el proceso de cera perdida.

El proceso de enmuflado implica colocar la mufla sellada en un recipiente con agua hirviendo hasta que la cera se derrita y forme un espacio negativo de la forma deseada, en este caso la forma de una barra de cera prefabricada, posteriormente, El espacio de formación en la mufla se divide en dos grupos. Para el grupo “PMMA”, la mezcla monómero-polímero consta de tres partes de polvo y una parte de líquido, se abrió la mufla y se colocó la mezcla de acrílico en su fase plástica completando todo el espacio en negativo, luego se sella de nuevo para que comprima y drene el exceso de material.

El procedimiento para el grupo “G-PMMA” con oxido de grafeno fue el siguiente: en una balanza digital se pesó 0,3 g de óxido de grafeno, dicha cantidad se mezcló en 300g resina termopolimerizable, la resina fue manipulada cuando se encuentra es su fase plástica, se abrió la mufla y se colocó la mezcla de acrílico con oxido de grafeno completando todo el espacio en negativo, luego se sella de nuevo para que comprima y drene el exceso de material.

Para el proceso de polimerización, se colocó la mufla por segunda vez en agua hirviendo hasta que el proceso de polimerización térmica se complete, para los dos grupos. Finalmente se obtiene las barras de resina acrílica de los dos grupos, se recortaron y pulieron, todos los bordes y caras se suavizaron y aplanaron al tamaño requerido, el pulido mecánico fue realizado con lechada de piedra pómez y polvo de tiza en combinación con agua durante 30s, las dimensiones se verificaron utilizando calibradores vernier digitales.

Almacenamiento

Las pruebas se almacenaron a una temperatura de 27 ° C en agua destilada durante 24 horas antes de la prueba de flexión.

Medición de resistencia a la flexión

El procedimiento de laboratorio fue colocar cada varilla de resina de forma individual y por separado en una máquina de ensayo universal. Esta máquina tenía una base con postes equidistantes con una separación de 50mm, sobre los que se colocaron las barras acrílicas. Cuando se coloca la barra, un vástago metálico desciende desde el centro de la zona equidistante a un avance de 5mm/min, provocando que el material se deforme y luego se rompa. La técnica utilizada en el laboratorio de ensayos mecánicos para determinar la resistencia de la resina acrílica fue una técnica de tres puntos. Para el cálculo del módulo de resistencia se utilizó una resistencia a la flexión igual a la máxima resistencia que puede soportar el material, calculada mediante la siguiente ecuación:

$$MR = 3PL/2bd^2$$

Donde:

MR: módulo de resistencia;

P: fuerza final con la que se rompe la probeta (N);

L: distancia entre los bastidores;

b: ancho del patrón;

d: grosor de la muestra.

Una vez ejecutado, el laboratorio proporciono los datos necesarios para que el investigador realizara los resultados estadísticos.

3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos:

Para la transcripción del proyecto entre otros documentos se utilizó el programa Word. Para la elaboración de la base de datos, tablas de frecuencia y gráficos se utilizó el programa Excel. Los datos descriptivos se analizaron utilizando la media, la desviación estándar, los valores mínimo y máximo. Se realizó un análisis inferencial al nivel de significancia del 5% por otro lado se evaluó la normalidad de los grupos mediante la prueba de Shapiro-Wilk, prueba de Levene para la igualdad de varianzas de los 2 grupos. Con base en los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, los datos mostrados se distribuyen normalmente, por lo tanto, se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes, considerando la significación estadística como $p < 0.05$.

La estadística descriptiva como inferencial se elaboró utilizando el programa estadístico SPSS 26.

3.9. Aspectos éticos:

Los documentos pertinentes fueron enviados al comité de ética para la evaluación del proyecto de investigación, de igual modo se solicitó y se obtuvo la licencia del laboratorio HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE SAC., para el uso de sus ambientes, donde

se ejecutó el presente proyecto de investigación. No se presentó ningún riesgo ya que se respetó los protocolos para la elaboración y desecho de los materiales sin alterar el medio ambiente. Se respetó y se cumplió con los puntos del artículo 7° del Reglamento de Ética de la Investigación de la Universidad Privada Norbert Wiener.⁵¹ Así también se respetó los puntos del artículo 9° para evitar la mala praxis científica.

4. CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Análisis descriptivo de resultados

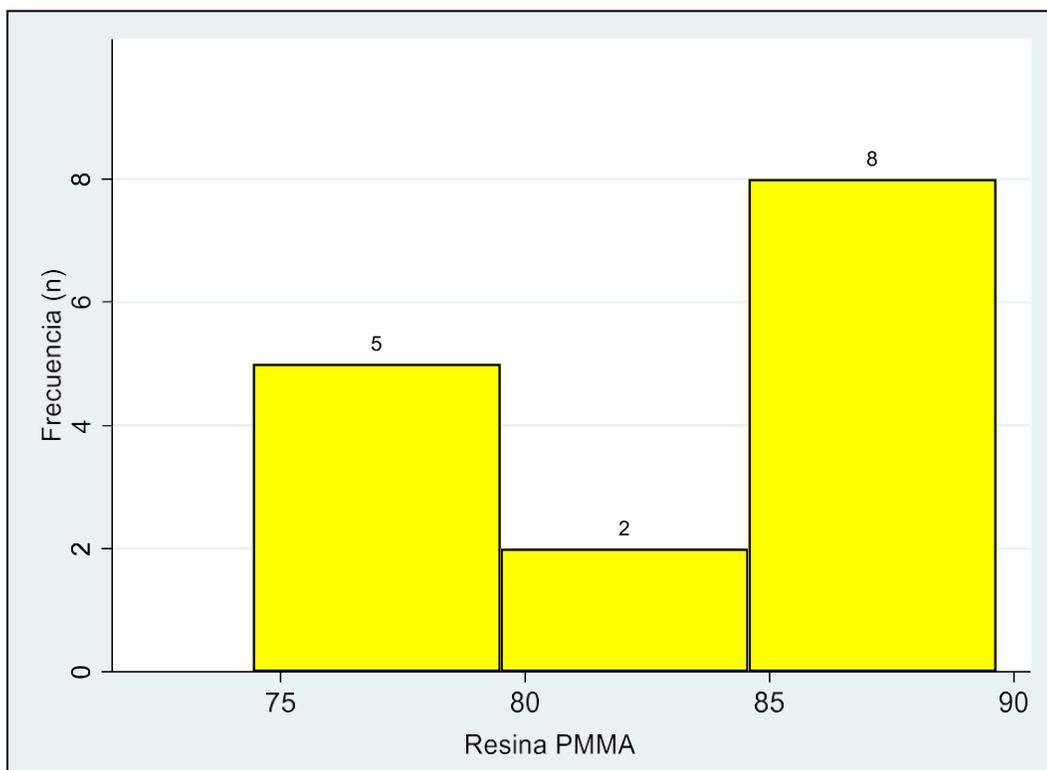
Tabla 1. Sumario estadístico de valores de resistencia a la flexión (Mpa) del grupo PMMA convencional.

Grupo	N	Media	D.E.	Mediana	IQR	Min.	Máx.	Asimetría	Curtosis
PMMA	15	83.15	5.19	85.20	9.98	74.43	89.64	-0.35	1.58

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 1 se observa valores de resistencia a la flexión (Mpa) de la resina PMMA con una media de 83.15 Mpa y una desviación estándar de 5.19 Mpa. La mediana con un valor de 85.20 Mpa y un rango intercuartílico de 9.98 Mpa. El valor mínimo con 74.43 Mpa y el valor máximo con 89.64 Mpa. Respecto a la distribución de los datos se presentó distribución de los datos en sentido horizontal de asimetría negativa, valor de la media a la izquierda de la mediana con valor de asimetría de -0.35, y sobre la curtosis se presentó una distribución de los datos aplanada en sentido vertical, distribución platicúrtica.

Figura 1. Histograma de la resistencia a la flexión (Mpa) de la resina PMMA.



Fuente: Tabla 1.

De la Figura 1 se observa que se presentó una mayor frecuencia de resistencia a la flexión del grupo de la resina PMMA entre 75 a 80 Mpa y entre 85 a 90 Mpa.

Tabla 2. Sumario estadístico de valores de resistencia a la flexión (Mpa) del grupo G-PMMA.

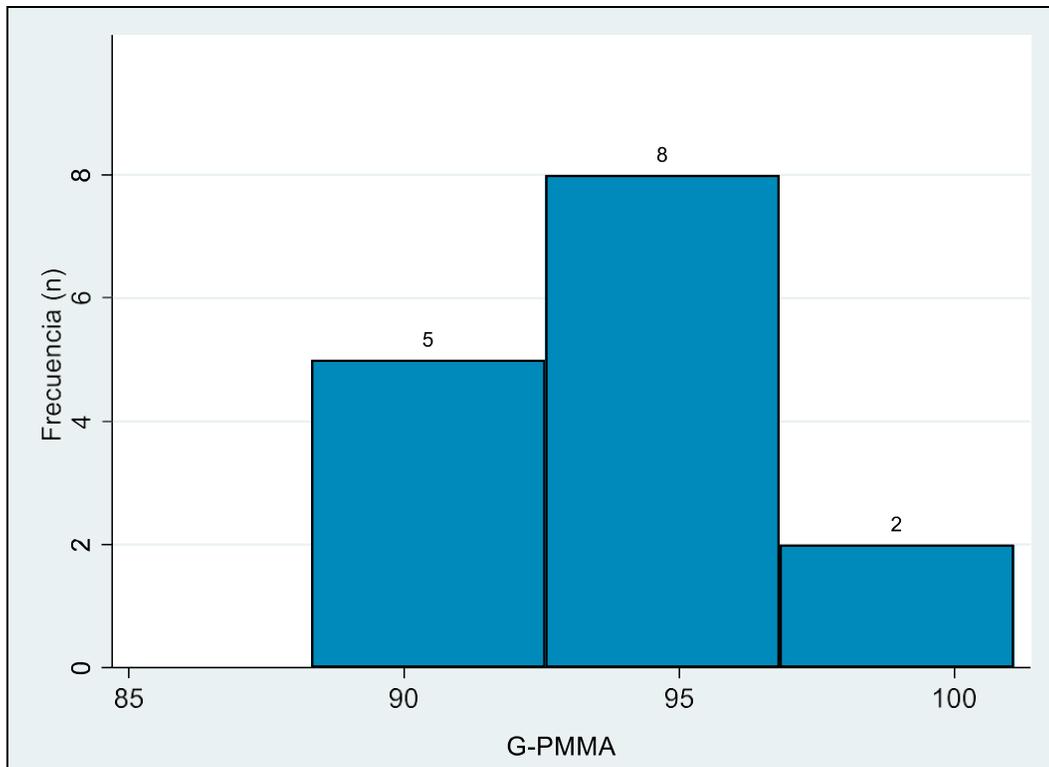
Grupo	N	Media	D.E.	Mediana	IQR	Min.	Máx.	Asimetría	Curtosis
G-PMMA	15	93.77	3.25	93.33	3.72	88.31	101.08	0.68	3.25

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 2 se observa valores de resistencia a la flexión (Mpa) de la resina G-PMMA con una media de 93.77 Mpa y una desviación estándar de 3.25 Mpa. La mediana con un valor de 93.33 Mpa y un rango intercuartílico de 3.72 Mpa. El valor mínimo con 88.31 Mpa y el valor máximo con 101.08 Mpa. Respecto a la distribución de los datos se presentó distribución de los

datos en sentido horizontal de asimetría positivo, valor de la media a la derecha de la mediana con valor de asimetría de 0.68, y sobre la curtosis se presentó una distribución de los datos alargada en sentido vertical, distribución leptocúrtica.

Figura 2. Histograma de la resistencia a la flexión (Mpa) de la resina G-PMMA.



Fuente: Tabla 2.

De la Figura 2 se observa que se presentó una mayor frecuencia de resistencia a la flexión del grupo de la resina G-PMMA alrededor de 95 Mpa.

4.1.2.

Prueba de hipótesis

Estadística inferencial

Tabla 3. Comparación de valores de resistencia a la flexión (Mpa) entre el grupo de resina PMMA y el grupo de resina G-PMMA.

Grupo	Obs	Media	Std. err.	Std. dev.	[95% conf.interval]	
PMMA	15	83.15	1.34	5.19	80.27	86.02
G-PMMA	15	93.77	0.84	3.25	91.98	95.57
Combined	30	88.46	1.26	6.88	85.89	91.03
diff		-10.63	1.58		-13.89	-7.36
diff = mean(PMMA) - mean(G-PMMA)					t = -6.7275	
H0:diff=0		Satterthwaite's degrees of freedom = 23.5064				
Ha:diff<0		Ha: diff!=0		Ha:diff >0		
Pr(T< t) = 0.0000		Pr(T > t)=0.0001		Pr(T> t)=1.0000		

Fuente: Elaboración propia

Planteamiento de hipótesis:

Ho: No existe diferencias significativas en la media de la resistencia a la flexión (Mpa) entre el grupo de resina PMMA y el grupo de resina G-PMMA.

H1: Existe diferencias significativas en la media de la resistencia a la flexión (Mpa) entre el grupo de resina PMMA y el grupo de resina G-PMMA.

Estadístico: t.

Regla de decisión: $p < 0.05$ se rechaza la Ho.

Conclusión: $p = 0.0001$, se determinó que existe diferencias significativas de la media de la resistencia a la flexión (Mpa) entre el grupo de resina PMMA y el grupo de resina G-PMMA.

4.1.3. Discusión de resultados

Durante ocho décadas, el PMMA ha sido un excelente material en odontología en sus diversas aplicaciones. Sin embargo, la deformación cíclica experimentada por las restauraciones hechas con estos polímeros puede conducir a la fractura de estas construcciones, la baja resistencia a la flexión y al impacto combinada con una baja dureza superficial es la principal causa de fractura en este material.⁵²

La fractura ocurre debido a la fatiga por impacto causada por las fuerzas oclusales y las fuerzas de flexión por caída de las dentaduras postizas, creando dos vectores opuestos. Se han utilizado varios enfoques para superar estos inconvenientes mecánicos, nuevas resinas de alto rendimiento que combinan diferentes materiales de refuerzo como óxidos metálicos, fibras, láminas de metal, alambres de acero inoxidable y mica. Sin embargo, estas soluciones no están exentas de inconvenientes. La idea de reforzar polímeros con fibras se basa en el aumento del módulo de elasticidad y resistencia mecánica debido a la distribución de tensiones entre las fibras.⁵³

El progreso reciente en la aplicación de nanomateriales en prótesis muestra claramente que la adición de nanopartículas puede mejorar significativamente muchas propiedades de los materiales protésicos, como el módulo elástico, la dureza de la superficie, la contracción por polimerización y la carga de relleno, se pueden añadir diversos compuestos, como nanoresinas, nanocerámicas, nanometales, etc.⁵⁴ Desde su descubrimiento en 2004, el grafeno se ha estudiado en muchas aplicaciones, desde dispositivos electrónicos y optoelectrónicos hasta materiales fotoconductores. Sin embargo, no fue hasta 2008 que el grafeno se introdujo por primera vez en el campo biomédico y se ha utilizado ampliamente en bioelectrónica, bioimagen, administración de fármacos, ingeniería de tejidos y la odontología.⁵⁵

Cuando se agregan rellenos de refuerzo a los materiales de restauración dental, el refuerzo mecánico está determinado no solo por las propiedades mecánicas inherentes del relleno, sino que también depende en gran medida de la calidad de la unión entre el relleno y la matriz circundante. Recientemente, se han realizado experimentos para crear dispersiones homogéneas de nanorrellenos de grafeno en matrices poliméricas cambiando la química superficial del grafeno y su interacción con la matriz polimérica.^{56,57} Esto generalmente se lleva a cabo mediante enlaces de hidrógeno o funcionalización covalente. Por primera vez, Wand G. et al. Demostraron el efecto de la funcionalización de la superficie y el grado de funcionalización del grafeno en la adhesión interfacial de G-PMMA destaca la importancia de optimizar la funcionalización química para la transferencia de tensión interfacial y los mecanismos de fractura a nivel microscópico. Además, la presencia de fracciones oxidadas en GO puede promover la formación de G-PMMA debido a la buena dispersión y la fuerte interacción interfacial entre el grafeno y la matriz polimérica. Según estudios previos, la incorporación de grafeno al material PMMA puede mejorar aún más las propiedades mecánicas de la resina.⁵⁸

Este estudio evaluó compuestos dentales para bases de dentaduras postizas como el PMMA para determinar la superioridad potencial de los materiales de restauración dental reforzados con grafeno, en términos de resistencia a la flexión. Esta propiedad mecánica es una de las más utilizadas para comparar el rendimiento in vitro de los materiales de restauración dental.⁵⁹ La relevancia clínica de esta prueba radica en la información sobre la resistencia a la fractura, ya que revisiones sistemáticas publicadas recientemente demostraron que la fractura es una de las causas más comunes de falla de los materiales de restauración dental.⁶⁰

En esta investigación, la resina de PMMA mostro menor resistencia a la fractura en comparación con la resina de G-PMMA mejorada con oxido de grafeno con diferencias estadísticamente significativas (valor de $p < 0.0001$). Donde se demostró que la resina de polimetilmetacrilato, presento una resistencia a la flexión de 83.15 Mpa, mientras que la resina enriquecida con oxido de grafeno presento una resistencia a la flexión de 93.77 Mpa. Por lo tanto, a partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa general que establece que existe diferencia en la media de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno. Estos resultados están cerca de los informados por **Di Carlo S, et. Al., (2020)**. Valor medio de resistencia a la flexión mostrado por el G-PMMA antes de la fractura fue mayor ($113,03 \pm 2,94$ MPa) que el valor medio de RF de PMMA ($96,32 \pm 8,78$ MPa). La adición de grafeno al PMMA proporciono un aumento estadísticamente significativo de $16,71 \pm 2,93$ MPa en la RF en comparación con el PMMA convencional ($p < 0,001$). Lo que coincide con los resultados encontrados por **Bacali C, et. Al., (2019)**. Quien menciona que los materiales ricos en grafeno y nanopartículas de plata tenían una resistencia a la flexión estadísticamente significativamente mayor donde PMMA: 77.089 Mpa y para PMMA+1%G-AgNp 87.017 Mpa; este hallazgo también está respaldado por el hecho de que los materiales con las concentraciones más altas de grafeno y nanopartículas de plata exhibieron la mayor resistencia a la flexión. Coincidiendo, además, con los resultados descritos por **Bacali C, et. Al., (2019)**. Quien describe en su investigación que la carga máxima alcanzada durante la prueba de flexión varió significativamente entre las muestras. La muestra M que solo contenia PMMA resistió $18,1 \pm 4,2$ N, mientras que las muestras P1 a $53,8 \pm 19,2$ N respectivamente. El módulo de ruptura aumentó significativamente de $13,4 \pm 3,1$ MPa para la muestra M a $35,0 \pm 8,3$ MPa para la muestra P1. Así también, estos resultados concuerdan con lo encontrado en la investigación de **Bacali, C. et. Al., (2019)**. Quien relata que en sus resultados

de los datos registrado fue de 1,7-6,24 J/m³. En promedio, el módulo más alto de la muestra se logra al 1% de G-Ag. La varianza media dentro del grupo fue estadísticamente significativa ($p=0,00045$). Finalmente, estos resultados también concuerdan con los de **García R, et. Al., (2021)**. Mostrando resultados para PMMA 41 ± 3 MPa y para PMMA-GO 47 ± 10 MPa de resistencia a la flexión donde demuestra que la incorporación de GO en PMMA mejoró las propiedades mecánicas. Estos autores expresan que la adición de partículas de grafeno mejoran las propiedades mecánicas dentro de ellas la resistencia a la flexión de resinas de polimetilmetacrilato. Ello es acorde con lo que en este estudio se demuestra.

Pero, en lo que no concuerda el estudio de los autores referidos con el presente, es que según **Agarwalla, S. et. Al., (2019)**. En su estudio evidenció que la resina sin refuerzo presentó una resistencia a la flexión de 117,6 MPa, mientras que la mejorada presentó una resistencia a la flexión de 121,0 Mpa, donde no fue posible observar mejoras significativas a partir de la adición de materiales similares al grafeno en la resina de PMMA. Así también **Larrea I, (2018)**. Quien menciona que la resina de polimetilmetacrilato generó una resistencia a la flexión de 99,68 MPa, frente al grupo control con una media de 97,7 MPa. Debiéndose posiblemente estas diferencias a que la máquina de ensayos empleada por el autor presentó un avance 1mm/minuto mientras que en esta investigación se empleó un avance de 5mm/min. Por último, esta investigación también discrepa con lo expuesto por **Hernandez. J, et. Al., (2020)**. Donde demuestra que el módulo de resistencia a la flexible fue de 87,125 y 88,6875 MPa. Donde los materiales probados no mostraron diferencias significativas. Estas posibles diferencias se deben a que se fabricó barras de acrílico de un grosor de 3,36 mm, Mientras en esta investigación se utilizó plantilla de 2.5 mm de espesor.

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Tras la realización de este estudio experimental, el análisis de los datos obtenidos en el ensayo de flexión y revisión de la literatura científica sobre el tema podemos concluir que:

- ✓ La resina de PMMA mostro menor resistencia a la fractura en comparación con la resina de G-PMMA mejorada con oxido de grafeno con diferencias estadísticamente significativas (valor de $p < 0.0001$). Donde se demostró que la resina de polimetilmetacrilato, presento una resistencia a la flexión de 83.15 Mpa, mientras que la resina enriquecida con oxido de grafeno presento una resistencia a la flexión de 93.77 Mpa.
- ✓ La incorporación de GO en PMMA mejoró las propiedades mecánicas, en comparación con PMMA sin GO. Estos datos muestran que G-PMMA es un material prometedor para ser utilizado como bases de prótesis, contribuyendo a su desempeño clínico.
- ✓ Un 1% de contenido de óxido de grafeno mostro ser suficiente para que el material soportara cargas aplicadas más altas, para exhibir mayor resistencia a la flexión en comparación con el PMMA sin modificar.

3.2. Recomendaciones

Establecidas las conclusiones de esta investigación se recomienda:

- ✓ Continuar realizando investigación de más configuración sobre óxido de grafeno en acrílicos, para analizar la eficacia mecánica como la resistencia a la flexión, así también en campos como la dureza, resistencia al impacto, módulo de elasticidad, biocompatibilidad, sorción de agua, propiedades antibacterianas.
- ✓ Se sugiere tomar en cuenta el uso de resinas enriquecidas con óxido de grafeno para base de prótesis, ya que este material demostró soportar mayor resistencia a la flexión que una resina convencional, además de poseer características muy buenas de las cuales se podrían sacar provecho como por ejemplo la transmisión de electricidad y temperatura.
- ✓ El uso de óxido de grafeno al 1% ya que demostró ser capaz de superar las cargas en cuanto a resistencia a la flexión en comparación con el PMMA sin modificar.

REFERENCIAS

1. Gad MM, Abualsaud R, Rahoma A, Al-Thobity AM, Al-Abidi KS, Akhtar S. Efecto de la adición de nanopartículas de óxido de circonio en las propiedades ópticas y de tracción del material base para dentaduras postizas de polimetilmetacrilato. *Int J Nanomedicina*. 9 de enero de 2018; 13: 283-292. doi: 10.2147/IJN.S152571.
2. Flórez-Calao-JF, Suárez-Fajardo IG, Cruz-González AC. Resistencia al impacto de dos acrílicos convencionales y dos de alto impacto para prótesis total. *Rev. CES Odont* 2021; 34(1): 44-51.
3. Argueta-Figueroa Liliana, Mesta-Pichardo Daniela Itzel, Torres-Gómez Nayely, Martínez-Alvarez O., Paulino-González Ángel David, Arenas-Arrocena M. C. Acrílico termopolimerizable enriquecido con nanopartículas de cobre: evaluación antibacteriana y citotóxica. *Mundo nano [revista en la Internet]*. 2018 Dic [citado 2022 Jun 19]; 11(21): 45-60. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912018000200045&lng=es.
4. Laura S. Acosta. *Nanotecnología en Biomateriales Dentales: Aplicación en Resinas Acrílicas (PMMA) Utilizadas en Prótesis*. 2018
5. Mohammed Razzaq Mohammeda, Ahmed Namah Hadib. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)* 2021. Volume 78, No 1, pp 165-187.
6. 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>.
7. Bacali C, Badea M, Moldavan M, Sarosi C, Nastase V, Baldea I, Chiorean RS, Constantiniuc M. La influencia del grafeno en la mejora de las propiedades físico-mecánicas en las resinas de base de prótesis de PMMA. *Materiales* . 2019; 12 (14): 2335. <https://doi.org/10.3390/ma12142335>
 8. Alejandro Nestor Rodríguez, Mariano H. Curto, Federico Sario, José D. Sánchez, Iván Panaino, Analía Garrofe. El grafeno en la rehabilitación bucal y su comportamiento biológico: caso clínico. *Rev. Ateneo Argent. Odontol*; 63(2): 18-22, nov. 2020.
 9. García-Contreras, R., Guzmán-Juárez, H., López-Ramos, D., & Alvarez-Gayosso, C. Propiedades biológicas y físico-mecánicas del poli(metacrilato de metilo) enriquecido con óxido de grafeno como potencial biomaterial.. *Journal of Oral Research* , [SI], v. 10, n. 2, pág. 1-9, abr. 2021. ISSN 0719-2479. Disponible en: < <https://www.joralres.com/index.php/JOralRes/article/view/joralres.2021.019> >. Fecha de acceso: 24 abr. 2023. doi: <https://doi.org/10.17126/joralres.2021.019>.
 10. Di Carlo S, De Angelis F, Brauner E, Pranno N, Tassi G, Senatore M, Bossù M. Flexural strength and elastic modulus evaluation of structures made by conventional PMMA and PMMA reinforced with graphene. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2020 May;24(10):5201-5208. doi: 10.26355/eurrev_202005_21301. PMID: 32495852.
 11. Antonio Hernández J, Daniela Mora K, Boquete-Castro A, Kina S. Efeito da termociclagem sobre a microdureza superficial do PMMA modificado por grafeno: um estudo experimental in vitro. *Journal of Clinical Dentistry & Research [Internet]*. 2020 Sep [cited 2021 Sep 27];17(3):152–61. Available

from:[https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ddh&AN=147127861](https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ddh&AN=147127861&lang=es&site=ehost-live)
&lang=es&site=ehost-live

12. Bacali c, Baldea I, Moldovan M, Carpa R, Olteanu E, Filip A, NastaseV, Lascu L, Badea M, Constantiniuc M, Badea F. Flexural strength, biocompatibility, and antimicrobial activity of a polymethyl methacrylate denture resin enhanced with graphene and silver nanoparticles. *Clinical Oral Investigations*. 2020. doi: 24. 10.1007/s00784-019-03133-2.
13. Bacali, Cecilia, S. Buduru, Vivi Năstase, A. Crăciun, D. Prodan, M. Constantiniuc, M. Badea, M. Moldovan , C. Sarosi. Solubilidad, ductilidad y resiliencia de una resina para prótesis de PMMA con adición de grafeno y nanopartículas de plata. (2019).
14. Agarwalla, Shruti Vidhawan et al. “Translucency, hardness and strength parameters of PMMA resin containing graphene-like material for CAD/CAM restorations.” *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* vol. 100 (2019): 103388. doi:10.1016/j.jmbbm.2019.103388
15. Larrea I, Resistencia Flexural del Acrílico de Termocurado Reforzado con Nanoplasas de Grafeno. Tesis para Optar el Título de Odontólogo. Quito-Ecuador. 2018
16. Carbajal S. Comparación de la Microdureza Superficial de Discos de Resina Acrílica de Termocurado y Autocurado en Distintos Periodos de Tiempo. Tesis para Optar el Título de: Segunda Especialidad en Rehabilitación Oral. LIMA – PERÚ 2019
17. Armijos Briones Marcelo, Vaca Altamirano Gabriela, Moreano Moreano Richard, Torres Nieto Nathaly. Biomateriales inteligentes usados en odontología. 2022
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5888336>

18. Roi A, Ardelean LC, Roi CI, Boia ER, Boia S, Rusu LC. Ingeniería de tejido óseo oral: biomateriales avanzados para la adhesión, proliferación y diferenciación celular. *materiales* _ 2019; 12(14):2296. <https://doi.org/10.3390/ma12142296>
19. Alok Bharadwaj. Serie de conferencias IOP: Ciencia e ingeniería de materiales, Volumen 1116 , Conferencia internacional sobre aspectos futuristas y sostenibles en ingeniería y tecnología (FSAET 2020) 18 y 19 de diciembre de 2020, Mathura, India
20. Yadav S., Gangwar S. Una descripción general de los avances recientes y la perspectiva futura de los biomateriales; Actas de la 1ra Conferencia Internacional sobre Investigación Contemporánea en Ingeniería Mecánica con Enfoque en Materiales y Manufactura (ICCRME); Lucknow, India. 6 y 7 de abril de 2018.
21. Araceli Sánchez Jiménez, Agurtzane Zugasti Macazaga. Nanomateriales: Medidas preventivas en laboratorios de investigación. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P. 2022
22. Kandavalli Sumanth Ratna, Wang Qingge, Ebrahimi Mahmoud, Gode Ceren, Djavanroodi Faramarz, Attarilar Shokouh, Liu Shifeng. A Brief Review on the Evolution of Metallic Dental Implants: History, Design, and Application . *Frontiers in Materials*. Vol.8. 2021. DOI=10.3389/fmats.2021.646383
23. Popa L, Ghica MV, Tudoroiu EE, Ionescu DG, Dinu-Pîrvu CE. Celulosa bacteriana: un polímero notable como fuente para la confección de biomateriales. *Materiales (Basilea)*. 2022;15(3):1054. Publicado el 29 de enero de 2022. doi:10.3390/ma15031054

24. Cabanillas B. Relación entre la Energía Superficial de dos Marcas de Polimetilmetacrilato, con la Adherencia de la Candida Albicans, en un Estudio in Vitro. Tesis para obtener el Título Profesional de Cirujano Dentista. Lima-Perú 2019.
25. Lema Soto CP, Ortiz C, Morera Rivera MN. Rugosidad superficial de dos resinas acrílicas de termocurado para prótesis totales sometidas a saliva artificial. Acta Odontol. 2018,8(1): 36-44 Disponible desde: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/actaodontocol>
26. Rubio. G. Materiales dentales: polímeros y resinas acrílicas. Universidad de Valparaíso. 2018.
27. James Philippe Jerez Robalino, Mario Alberto Teliz Meneses Guillerm, o Martínez Huichan, Oskar Eduardo Prada Vidarte, Marco Xavier Vizuete Bolaños. Craneoplastia con prótesis de polimetilmetacrilato y planificación en 3D. Presentación de caso clínico y revisión de la literatura. Odontol. Sanmarquina 2022; 25(2): e21098.
28. Bonifaz M. Efecto de los limpiadores químicos de prótesis dentales en la micro dureza superficial de las bases acrílicas de termo curado. Estudio in-vitro. [Tesis para optar el título de Cirujano Dentista]. Quito: Universidad Central de Ecuador; 2018.
29. Argueta-Figueroa Liliana, Mesta-Pichardo Daniela Itzel, Torres-Gómez Nayely, Martínez-Alvarez O., Paulino-González Ángel David, Arenas-Arrocena M. C.. Acrílico termopolimerizable enriquecido con nanopartículas de cobre: evaluación antibacteriana y citotóxica. Mundo nano [revista en la Internet]. 2018 Dic [citado 2022 Jun 22] ; 11(21): 45-60. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2018.21.62549>.
30. Muñoz Arias, S. Polimetilmetacrilato (PMMA). [Internet]. 2022 [citado: 2022, junio]

31. Hacker MC, Krieghoff J, Mikos AG. Polímeros sintéticos. Principios de medicina regenerativa: Elsevier; 2019. pág. 559-90
32. Pérez Pérez Marian, Pérez Ferrás Marisol Leonisia, Pérez Rodríguez Angel Tomás, Hechevarría Pérez Zonia M, Pérez Pérez Amed. Aplicaciones de biomateriales en la Estomatología. ccm [Internet]. 2018 Dic [citado 2022 Jun 23] ; 22(4): 667-680. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1560-43812018000400012&lng=es.
33. Pérez A, Síntesis de Agentes Entrecruzantes para la Formación de Redes Poliméricas con Aplicación en Resinas Dentales. Tesis para optar el título de licenciada en química. México. 2015
34. Choi JR, Yong KW, Choi JY, Cowie AC. Recent advances in photo-crosslinkable hydrogels for biomedical applications. Biotechniques. 2019;66(1):40-53. doi:10.2144/btn-2018-0083
35. Palomino L, Fabricación y Caracterización de Materiales Compuestos de Polimetil metacrilato con Cargas de Trihidróxido de Aluminio y Minerales no Metálicos de Origen Nacional. Tesis para optar el grado académico de: Magister. Lima – Perú. 2017.
36. Albán Hurtado CA, Sánchez VG, Vélez Cuenca TM, Merino Segovia AC. Comparación de la resistencia a la fractura de la resina nanohíbrida y bulk-fill utilizando técnicas incremental y monoincremental de la investigación. Sathiri: Sembrador. 2019; 14(1): p. 196-206.
37. 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. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.04.051>.

38. Larrea I. Resistencia Flexural del Acrilico de Termocurado Reforzado con Nanoplacas de Grafeno. Trabajo de Titulación Tresentado como Requisito Previo a la Obtención del Título de Odontólogo. Quito, febrero 2018.
39. Guazzo R, Gardin C, Bellin G, Sbricoli L, Ferroni L, Ludovichetti FS, Piattelli A, Antoniac I, Bressan E, Zavan B. Nanomateriales basados en grafeno para la ingeniería de tejidos en el campo dental. *Nanomateriales*. 2018; 8(5):349. <https://doi.org/10.3390/nano8050349>
40. IV Tudose, E Koudoumas, C Pachiou, F Comanescu, V Dinca, L Rusen, et al. Graphene-based materials and their biomedical and environmental applications: Recent advances. En: *Functional Nanostructured Interfaces for Environmental and Biomedical Applications*. Eds. V Dinca y MP Sucheai. Chapter 9. Elsevier Inc. (2019).
41. B. Gadgil, P. Damlin y C. Kvarnström, "Grafeno frente a óxido de grafeno reducido: un estudio comparativo de nanoplateformas basadas en grafeno sobre cinética de conmutación electrocrómica", *Carbon*, vol. 96, págs. 377–381, 2016.
42. Lee J-H, et al. "Nano-graphene oxide incorporated into PMMA resin to prevent microbial adhesion", *Dent Mater.*, 34(4): e63-e72, Apr 2018.
43. Zhao, H.; Ding, R.; Zhao, X.; Li, Y.; Qu, L.; Pei, H.; Yildirimer, L.; Wu, Z.; Zhang, W. Nanomateriales basados en grafeno para administración de fármacos y/o genes, bioimagen e ingeniería de tejidos. *Descubrimiento de drogas Hoy* 2017, 22, 1302–1317.
44. Alejandro Nestor Rodríguez, Mariano H. Curto, Federico Sario, José D. Sánchez, Iván Panaino, Analía Garrofe. El grafeno en la rehabilitación bucal y su comportamiento biológico. Caso clínico. *Rev. Ateneo Argent. Odontol* .2020.

45. García A. Evaluación de las propiedades mecánicas de flexión de materiales CAD/CAM de polímero con grafeno y circona Estudio experimental in vitro. Departamento de Estomatología I Máster Oficial en Ciencias Odontológicas. Madrid 2021.
46. Jiménez JA, Arana V, Franco A. Síntesis de nanotubos de carbono multicapa sobre sustratos metálicos por el método de depósito químico de vapores: no todos los nanotubos son iguales. Mundo nano [revista en la Internet]. 2017 Dic [citado 2022 Jun 24]; 10(19): 93-108. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S244856912017000200093&lng=es. Epub 21-Ago-2020. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2017.19.57211>.
47. García A. Evaluación de las propiedades mecánicas de flexión de materiales CAD/CAM de polímero con grafeno y circona Estudio experimental in vitro. Departamento de Estomatología I Máster Oficial en Ciencias Odontológicas. Madrid 2021.
48. Bonilla-Represa V, Abalos-Labruzzo C, Herrera-Martinez M, Guerrero-Pérez MO. Nanomaterials in Dentistry: State of the Art and Future Challenges. Nanomaterials (Basel). 2020 Sep 7;10(9):1770. doi: 10.3390/nano10091770. PMID: 32906829; PMCID: PMC7557393.
49. Azevedo L, Antonaya-Martin JL, Molinero-Mourelle 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-e674. doi: 10.4317/jced.55883. PMID: 31516667; PMCID: PMC6730997.,

50. Zafar MS. Prosthodontic Applications of Polymethyl Methacrylate (PMMA): An Update. *Polymers (Basel)*. 2020 Oct 8;12 (10):2299. doi: 10.3390/polym12102299. PMID: 33049984; PMCID: PMC7599472.
51. Universidad Privada Norbert Wiener. Reglamento de Ética de la Investigación de la Universidad Privada Norbert Wiener. Reglamento. Lima: Universidad Privada Norbert Wiener; 2020.
52. Zafar MS. Prosthodontic Applications of Polymethyl Methacrylate (PMMA): An Update. *Polymers (Basel)*. 2020 Oct 8;12(10):2299. doi: 10.3390/polym12102299. PMID: 33049984; PMCID: PMC7599472.
53. Somani MV, Khandelwal M, Punia V, Sharma V. The effect of incorporating various reinforcement materials on flexural strength and impact strength of polymethylmethacrylate: A meta-analysis. *J Indian Prosthodont Soc*. 2019;19(2):101-112. doi:10.4103/jips.jips_313_18
54. Alqahtani, M. Efecto de los métodos de mezcla y refuerzo con nanopolvo de nitruro de boro hexagonal sobre las propiedades físicas y mecánicas del PMMA autopolimerizable para aplicaciones dentales. *Materiales* 2020 , 13 , 2323. <https://doi.org/10.3390/ma1310232>
55. Somani, M. V., Khandelwal, M., Punia, V., & Sharma, V. (2019). The effect of incorporating various reinforcement materials on flexural strength and impact strength of polymethylmethacrylate: A meta-analysis. *Journal of Indian Prosthodontic Society*, 19(2), 101–112. https://doi.org/10.4103/jips.jips_313_18
56. Wang G, Dai Z, Liu L, Hu H, Dai Q, Zhang Z. Tuning the Interfacial Mechanical Behaviors of Monolayer Graphene/PMMA Nanocomposites. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2016;8(34):22554-22562. doi:10.1021/acsami.6b03069

57. Lin, F.; Yang, C.; Zeng, Q.; Xiang, Y. Morphological and mechanical properties of graphene-reinforced pmma nanocomposites using a multiscale analysis. *Comput. Mater. Sci.* **2018**, *150*, 107–120.
58. Cristina Vallés, Ian A. Kinloch, Robert J. Young, Neil R. Wilson, Jonathan P. Rourke, Graphene oxide and base-washed graphene oxide as reinforcements in PMMA nanocomposites, *Composites Science and Technology*, Volume 88, 2013, Pages 158-164, ISSN 0266-3538, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2013.08.030>.
59. Rosentritt, M.; Behr, M.; Preis, V. A critical evaluation of fatigue studies for restorative materials in dentistry. *Curr. Oral Health Rep.* **2016**, *3*, 221–228.
60. Shah, Y.; Shiraguppi, V.; Deosarkar, B.; Shelke, U. Long-term survival and reasons for failure in direct anterior composite restorations: A systematic review. *J. Conserv. Dent.* **2021**, *24*, 415–420.

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título de proyecto: “COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE UNA RESINA PARA PRÓTESIS DE POLIMETILMETACRILATO VERSUS UNA MEJORADA CON ÓXIDO DE GRAFENO, LIMA – PERÚ, 2023”

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Diseño metodológico
<p>Problema general:</p> <p>¿Cuál es la diferencia de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno?</p> <p>Problemas específicos:</p> <p>¿Cuál es el valor de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato?</p> <p>¿Cuál es el valor de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Comparar los valores de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>Determinar los valores de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato.</p> <p>Determinar los valores de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>HI. Existe diferencia en la media de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno.</p> <p>Ho. No existe diferencia en la media de la resistencia a la flexión de una resina para prótesis de polimetilmetacrilato versus una mejorada con grafeno.</p>	<p>Variable 1</p> <p>Resistencia a la flexión</p> <p>Variable 2</p> <p>Resinas acrílicas</p> <p>Variable 3</p> <p>Carbonos</p>	<p>Metodología:</p> <p>Método: Hipotético – Deductivo.</p> <p>Enfoque: Cuantitativo.</p> <p>Tipo: Observacional, descriptivo, prospectivo, transversal.</p> <p>Diseño: Experimental de pos-prueba.</p> <p>Población y muestra:</p> <p>Unidad de análisis: Modelo de resina, forma rectangular de dimensiones 62 mm de longitud, 10 mm de ancho y 2,5 mm de espesor de la marca Vitalloy.</p> <p>Población diana: Personas que se van a beneficiar con los resultados del trabajo de investigación.</p> <p>Tamaño de muestra: 30 modelos.</p> <p>Muestreo no probabilístico, intencional por conveniencia.</p> <p>Instrumento: ficha de recolección de datos.</p> <p>Procesamiento de datos:</p> <p>Estadísticos descriptivos de media, desviación estándar, valores mínimo y máximo. Análisis inferencial: prueba de normalidad de Shapiro Wilk, prueba paramétrica de T-Student para muestras independientes, prueba de Levene. La base de datos se analizaro en el software estadístico SPSS 26.</p>

ANEXO 2

APROBACIÓN DEL COMITÉ DE ÉTICA



COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA PARA LA INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA DE EXONERACIÓN DE REVISIÓN

Lima, 19 de junio de 2023.

Investigador(a)
Cunya Criollo, Cencida
Exp. N°: 0635-2023

De mi consideración:

Es grato expresarle mi cordial saludo y a la vez informarle que el Comité Institucional de Ética para la investigación de la Universidad Privada Norbert Wiener (CIEI-UPNW) acuerda la **Exoneración de revisión** del siguiente protocolo de estudio:

- Protocolo titulado: **“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE UNA RESINA PARA PRÓTESIS DE POLIMETILMETACRILATO VERSUS UNA MEJORADA CON ÓXIDO DE GRAFENO, LIMA – PERÚ, 2023”**. Versión 01 con fecha 25/05/2023.

El cual tiene como investigador principal al Sr(a) **Cunya Criollo, Cencida**.

Es cuanto informo a usted para su conocimiento y fines pertinentes.

Atentamente,



Yenny Marisol Bellido Fuentes
Presidenta del CIEI-UPNW

Avenida Arequipa 440
Universidad Privada Norbert Wiener
Teléfono: 706-5555 anexo 3286-3287 Cel. 981000698
Correo: comite.etica@uwieneredu.pe

ANEXO 3

CARTA DE ACEPTACIÓN DEL LABORATORIO HIGH TECHNOLOGY LABORATORY S.A.C



- LABORATORIO ESPECIALIZADO EN ENSAYOS MECÁNICOS DE MATERIALES
- LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CALIBRACIONES

CONSTANCIA DE EJECUCIÓN

N°004-2023

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL LABORATORIO HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C. DEJA CONSTANCIA:

Es grato dirigirme a Ud. para saludarlo a nombre del laboratorio HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C; así mismo comunicarle la ejecución del proyecto de tesis "EFECTIVIDAD DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE UNA RESINA PARA PROTESIS DE POLIMETILMETACRILATO MEJORADA CON GRAFENO, LIMA – PERÚ, 2023" donde se realizó los ensayos de Flexión en tres puntos en resinas para prótesis dental, que se encuentra realizando la tesista Ceneida Cunya Criollo DNI:48051255; Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Norbert Wiener.

Se expide la presente a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Lima, 14 de Febrero del 2023



ROBERT NICK EUSEBIO TEHERAN
Jefe de Ensayo Mecánicos
Laboratorio HTL Certificate



ANEXO 4

DATOS RECOPIADOS POR EL SOFTWARE DE LABORATORIO



HTL
HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE

LABORATORIO ESPECIALIZADO EN ENSAYOS MECÁNICOS DE MATERIALES
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CALIBRACIONES

Página 1 de 3

INFORME DE ENSAYO N°	IE-062-2023	EDICION N° 3	Fecha de emisión:	14-02-2023
ENSAYO DE FLEXIÓN EN TRES PUNTOS SIMPLEMENTE APOYADO EN BARRAS DE RESINAS PARA PRÓTESIS DENTALES				
1. DATOS DE LOS TESISITAS				
Nombre de tesis	"COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE UNA RESINA PARA PRÓTESIS DE POLIMETILMETACRILATO VERSUS UNA MEJORADA CON ÓXIDO DE GRAFENO, LIMA-PERÚ, 2023"			
Nombres y Apellidos	: Ceneida Cunya Criollo			
Dni	: 48051255			
Dirección	: Calle Alejandro Deustua 3751- San Martin de Porres - Lima			
2. EQUIPOS UTILIZADOS				
Instrumento	Marca	Aproximación	Los resultados del informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.	
Máquina de Ensayos Mecánicos	LG CMT- 5L	0.001N		
Vernier Digital	Mitutoyo - 200 mm	0.01mm		
3. IDENTIFICACION DE LA MUESTRA				
Muestras de barra de resinas para prótesis dental	Cantidad	: Treinta (30) muestras		HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este documento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados del informe aquí declarados.
	Material	: Barras de resinas de 2,5 x 10 x 63 mm		
	Grupo 1	: PMMA convencional (PMMA)		
	Grupo 2	: PMMA reforzado con grafeno (G-PMMA)		
4. RECEPCION DE MUESTRAS				
Fecha de recepción de muestras	13 de Febrero del 2023			El informe de ensayo sin firma y sello carece de validez.
Fecha de Ensayo	14 de Febrero del 2023			
Lugar de Ensayo	Jr. Nepentas 364 Urb San Silvestre, San Juan de Lurigancho-Lima			
5. REFERENCIA DE PROCEDIMIENTO				
El ensayo se realizó bajo el siguiente procedimiento:				
PROCEDIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CAPITULO/NUMERAL		
UNE-EN ISO 1567:2000	Odontología. Polímeros para base de prótesis dentales. (ISO 1567:1999)	5.2.7 Flexural strength 8.5.3.3 Procedure		
6. CONDICIONES DE ENSAYO				
	Inicial	Final		
Temperatura	20.0 °C	20.1 °C		
Humedad Relativa	59.0 %HR	59.1 %HR		



HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE

Jr. Nepentas 364 Urb. San Silvestre - San Juan de Lurigancho - Lima

+51 997 123 584 // 949 059 602

ventas@htlperu.com // calidad@htlperu.com // www.htlperu.com

INFORME DE ENSAYO N°	IE-062-2023	EDICION N° 3	Fecha de emisión:	14-02-2023
----------------------	-------------	--------------	-------------------	------------

7. RESULTADOS DE ENSAYOS DE FLEXIÓN

Grupo 1: PMMA convencional (PMMA)					
Espécimen	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Longitud entre apoyos (mm)	Fuerza Máxima (N)	Resistencia de flexión (Mpa)
1	2.51	10.00	50	74.09	88.20
2	2.50	10.01	50	64.53	77.36
3	2.50	10.02	50	63.99	76.64
4	2.51	10.01	50	74.80	88.96
5	2.49	10.00	50	61.53	74.43
6	2.50	10.01	50	72.86	87.34
7	2.51	10.10	50	68.89	81.20
8	2.51	10.02	50	73.27	87.05
9	2.51	10.01	50	72.94	86.75
10	2.50	10.01	50	74.78	89.64
11	2.50	10.02	50	64.33	77.04
12	2.51	10.00	50	72.44	86.24
13	2.50	10.04	50	65.60	78.40
14	2.51	9.99	50	69.42	82.73
15	2.50	9.99	50	70.93	85.20

Grupo 2: PMMA reforzado con grafeno (G-PMMA)					
Espécimen	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Longitud entre apoyos (mm)	Fuerza Máxima (N)	Resistencia de flexión (Mpa)
1	2.50	10.01	50	80.17	96.11
2	2.50	10.00	50	76.15	91.38
3	2.49	10.00	50	78.06	94.43
4	2.49	10.02	50	81.98	98.98
5	2.51	9.99	50	84.82	101.08
6	2.50	9.99	50	76.30	91.65
7	2.50	9.99	50	79.39	95.37
8	2.49	10.01	50	78.24	94.55
9	2.50	10.01	50	76.59	91.82
10	2.51	10.01	50	78.00	92.76
11	2.51	10.00	50	77.88	92.72
12	2.50	10.00	50	73.59	88.31
13	2.51	10.00	50	78.40	93.33
14	2.49	10.01	50	77.59	93.77
15	2.49	10.01	50	74.76	90.35

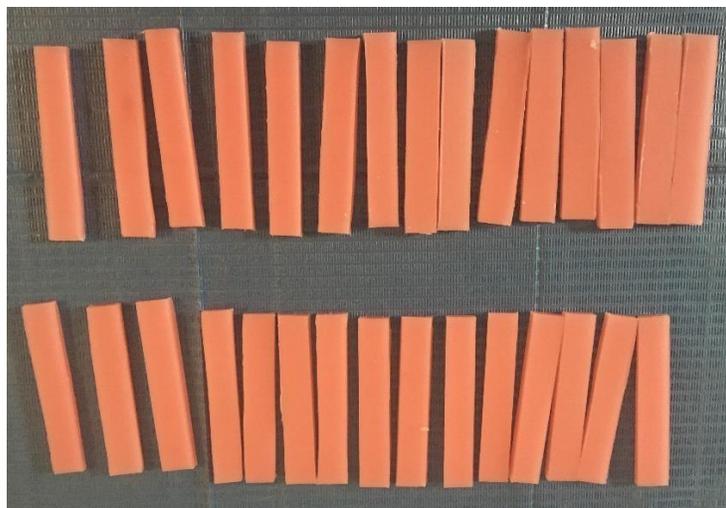
Observaciones:

Velocidad de ensayo 5 mm/min



ANEXO 5

FOTOS DE LA PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS



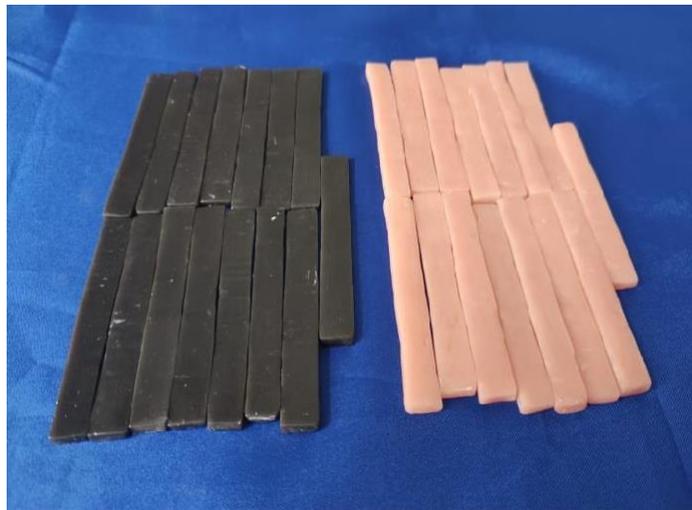
Confección de las barras de cera



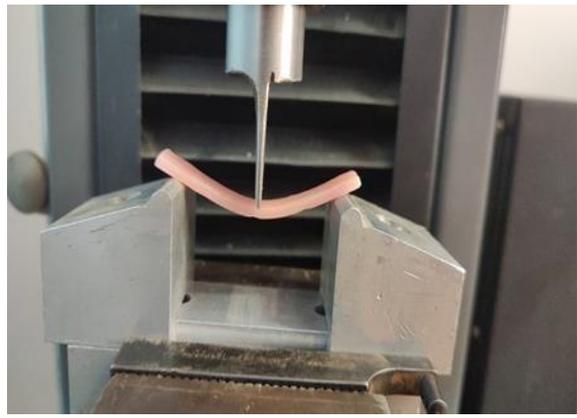
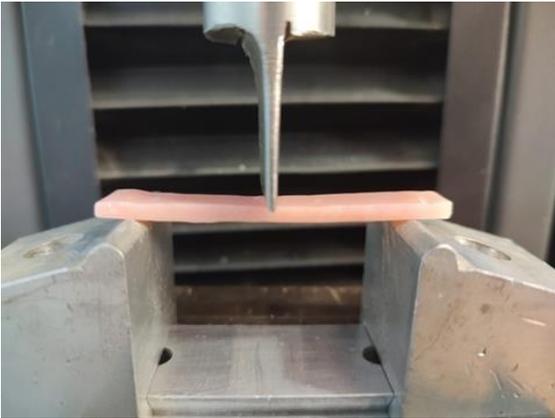
Enmuflado de las barras de cera



Resina acrílica de termocurado lento y óxido de grafeno



Barras de resina acrílicas formadas



Determinación del módulo de resistencia de las resinas acrílicas sin óxido de grafeno empleadas.



Determinación del módulo de resistencia de las resinas acrílicas con óxido de grafeno empleadas.

Reporte de similitud TURNITIN

● 18% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	repositorio.uwiener.edu.pe Internet	4%
2	dspace.uce.edu.ec Internet	4%
3	core.ac.uk Internet	1%
4	researchgate.net Internet	1%
5	hdl.handle.net Internet	1%
6	studocu.com Internet	<1%
7	eprints.ucm.es Internet	<1%
8	repositorio.unfv.edu.pe Internet	<1%