



**Universidad  
Norbert Wiener**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE ODONTOLOGÍA**

**Tesis**

“Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de  
termocurado asociada con nanopartículas de circonio”

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

**Autor:** Apomayta Hinojosa, Michael

**Asesora:** Mg. CD. Vilchez Bellido, Dina  
**Código ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2675-5084>

**Lima – Perú**

**2023**

 Universidad Norbert Wiener	<b>DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA Y DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</b>		
	<b>CÓDIGO: UPNW-GRA-PDR-033</b>	<b>VERSIÓN: 01</b> REVISIÓN: 01	<b>FECHA: 08/11/2022</b>

Yo, **Apomayta Hinojosa Michael** egresado de la Facultad de ciencias de la salud y  Escuela Académica Profesional de Odontología de la Universidad privada Norbert Wiener declaro que el trabajo académico titulado: "MICRODUREZA SUPERFICIAL MECÁNICA DE UNA RESINA ACRÍLICA DE TERCOCURADO ASOCIADA CON NANOPARTÍCULAS DE CIRCONIO" Asesorado por el docente: Mg; CD. VILCHEZ BELLIDO DINA **DNI 09937740 ORCID 0000-0003-2675-5084** tiene un índice de similitud de 9 (nueve) % con código verificable **ID: oid:14912228980053** 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 de autor

Nombres y apellidos del Egresado: **MICHAEL APOMAYTA HINOJOSA**  
 DNI: **43169305**



.....  
 Firma

Nombres y apellidos del Asesor: **Mg. CD. VILCHEZ BELLIDO DINA**  
 DNI: **09937740**

Lima, 02 de noviembre del 2023

**Tesis**

**“Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado asociada con nanopartículas de circonio”**

**Linea de investigación**

**Salud y bienestar**

**Sub-línea de investigación**

**Salud oral**

**Asesora**

**Mg. CD. Dina Vilchez Bellido**

**Código ORCID: 0000-0003-2675-5084**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a Dios, ya que gracias a él he concluido mi carrera y a toda mi familia que es lo mejor y lo más valioso que Dios me ha dado, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo para hacer de mí una mejor persona.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mi familia, a mis profesores, a mi asesora Mg. Vilchez Bellido Dina y a todas aquellas personas que siempre estuvieron a mi lado apoyándome y dándome las ganas de seguir adelante para concluir mi tesis.

## MIEMBROS DEL JURADO

Presidente: Dra. Morante Maturana, Sara Angelica

Secretario: Dr. Minaya Rondón, Omar

Vocal: Dra. Muñoz Reyes, Miriam

# ÍNDICE

PORTADA .....	i
CONTRAPORTADA .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2. Formulación del problema .....	3
1.2.1 Problema General.....	3
1.2.2 Problemas Específicos .....	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4
1.4. Justificación .....	4
1.4.1 Teórica .....	4
1.4.2 Metodología.....	5
1.4.3 Práctica.....	5
1.5. Limitaciones de la investigación.....	5
1.5.1 Temporal .....	5

1.5.2 Espacial .....	5
1.5.3 Recursos .....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes .....	8
2.2. Base teórica.....	13
2.3. Formulación de hipótesis .....	19
2.3.1. Hipótesis general.....	19
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	20
3.1. Método de la investigación.....	21
3.2. Enfoque de la investigación.....	21
3.3. Tipo de investigación .....	21
3.4. Diseño de la investigación.....	21
3.5. Población, muestra y muestreo, Criterios de Selección .....	21
3.5.2 Muestra .....	21
3.6 Variables y operacionalización .....	24
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	24
3.7.1. Técnica.....	24
3.7.2. Descripción de los instrumentos.....	27
3.7.3. Validación:.....	27
3.7.4. Calibración:.....	27
3.8. Procesamiento y análisis de datos.....	27
3.9. Aspectos éticos.....	28
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	29
4.1 Resultados.....	30
4.1.1 Prueba de Hipótesis.....	35
4.1.2 Discusión de los resultados .....	36
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40
5.1 Conclusiones .....	41

5.2 Recomendaciones .....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
ANEXOS .....	47
Anexo N° 01. Solicitud de carta de presentación dirigido a la EAP de odontología1	
Anexo N° 02 : Ficha de recolección de datos	
Anexo N° 03 Matriz de consistencia	
Anexo N° 04: Prueba de campo de ensayos mecánicos en laboratorio HTL	
Anexo N° 05: Resultados de los ensayos mecánicos emitidos del laboratorio HIGH TECHNOLOGY	
Anexo N°06: Certificado de ejecución	
Anexo N°07: Exoneración del comité de ética	
Anexo N°08: Reporte de originalidad	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado a las 24 y 48 horas .....	30
Tabla 02: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado asociado a nanopartículas de circonio al 1% a las 24 y 48 horas.....	31
Tabla 03: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado asociado a nanopartículas de circonio al 3% a las 24 y 48 horas.....	32
Tabla 04: Comparación de la microdureza superficial mecánica de la resina acrílica de termocurado, resina acrílica de termocurado asociado a nanopartículas de circonio al 1% y 3% a las 24 y 48 horas .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado a las 24 y 48 horas .....	30
Figura 02: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado asociado a nanopartículas de circonio al 1% a las 24 y 48 horas.....	31
Figura 03: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado asociado a nanopartículas de circonio al 3% a las 24 y 48 horas.....	32
Figura 04: Comparación de la microdureza superficial mecánica de la resina acrílica de termocurado, resina acrílica de termocurado asociado a nanopartículas de circonio al 1% y 3% a las 24 y 48 horas .....	34

## RESUMEN

**Objetivo:** Determinar la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado asociado con nanopartículas de circonio, Lima - Perú. **Materiales y métodos:** El presente trabajo de investigación es de tipo experimental in-vitro, transversal, prospectivo. La muestra fue conformada por 03 grupos de estudio, el cual serán divididos en 06 subgrupos, medidos a las 24 y 48 horas, que cumplieron criterios de inclusión y exclusión. El equipo utilizado para la medición de la microdureza mecánica superficial fue el microdurómetro Vickers, y el registro fue en una ficha de recolección de datos. Luego se procedió a realizar el análisis estadístico de Shapiro-Wilk y para el análisis bivariado de los valores resultantes de la microdureza mecánica superficial entre los materiales de estudio se utilizó la prueba estadística de ANOVA-Tukey (24 horas) y Kruskall Wallis con post hoc de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pairwise comparisons (48 horas); asimismo las comparaciones entre los resultados 24 h vs 48h se realizaron con la prueba U de Mann Whitney y T de Student. Todas las pruebas fueron analizadas con un nivel de confianza del 95%. **Resultados:** La resina acrílica asociado a nanopartículas de circonio al 3% presentó el mayor valor de resistencia de unión ( $p < 0.05$ ) seguido de la resina acrílica comercial, considerada grupo control. **Conclusión:** El uso de nanopartículas ZrO<sub>2</sub> al 3% asociado a PPMA presentó la mayor microdureza mecánica superficial a las 24 horas y 48 horas en comparación a la resina acrílica comercial.

**Palabras clave:** Microdureza superficial, resistencia compresiva, resina acrílica, prótesis dental.

## ABSTRACT

**Objective:** To determine the mechanical surface microhardness of a thermocuring acrylic resin associated with zirconium nanoparticles, Lima - Peru. **Materials and methods:** This research work is of an in-vitro, cross-sectional, prospective experimental type. The sample was made up of 03 study groups, which will be divided into 06 subgroups of 24 hours and 48 hours that met the inclusion and exclusion criteria. The equipment used to register the superficial mechanical microhardness was by means of a Vickers microdurometer and registered by a data collection sheet. Then the Shapiro-Wilk statistical analysis was carried out and for the bivariate analysis of the values resulting from the superficial mechanical microhardness between the study materials, the statistical test of ANOVA-Tukey (24 hours) and Kruskal Wallis with post hoc was used. Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pairwise comparisons (48 hours). Likewise, the comparisons between the results 24 h vs 48 h were compared with the Mann Whitney U and Student's T tests. All tests were analyzed with a confidence level of 95%. **Results:** The acrylic resin associated with 3% zirconium nanoparticles presented the highest bond strength value ( $p < 0.05$ ) followed by the commercial acrylic resin considered as a control group. **Conclusion:** The use of 3% ZrO<sub>2</sub> nanoparticles associated with PPMA presented the highest superficial mechanical microhardness at 24 hours and 48 hours compared to commercial acrylic resin.

**Keywords:** Superficial microhardness, compressive strength, acrylic resin, dental prosthesis.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tuvo como objetivo: “Evaluar la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado asociado con nanopartículas de circonio”. Los resultados buscan mejorar las propiedades mecánicas de las resinas acrílicas convencionales a fin de contribuir con el éxito clínico de los procedimientos protésicos. La investigación consta de 5 capítulos delimitados, los cuales son:

Capítulo I: El problema, identifica la necesidad de la resolución de un problema identificado en la realidad, se manifiesta la realidad problemática, la formulación del planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y las limitaciones del estudio.

Capítulo II: Marco teórico, incluye a los antecedentes, las bases teóricas que le brindan fundamento a la investigación y la formulación de la hipótesis del estudio, el cual corresponde a una afirmación tentativa, para una posterior prueba de hipótesis mediante herramientas estadísticas.

Capítulo III: Metodología, donde se detalla los procedimientos y el método del estudio, el enfoque, tipo y diseño, población, muestra, variables, la técnica e instrumentos de recolección de datos.

Capítulo IV: Presentación y discusión de los resultados, el cual incluye el desarrollo de los resultados y una redacción crítica y analítica de los resultados propios del estudio con los antecedentes y la teoría existente.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones, se manifiestan los resultados finales resumidos en conclusiones además de ofrecer recomendaciones en base al análisis realizado. Por último,

se anexan las referencias y registro fotográfico de los procedimientos, así como los documentos que constituyen una evidencia de la ejecución de la investigación.

## **CAPÍTULO I: EL PROBLEMA**

## 1.1. Planteamiento del problema

El uso de la prótesis dental removible permite abordar los problemas causados por piezas ausentes, principalmente en extremos libres, donde existe necesidad de la restauración por estética, función, soporte labial y habla; está compuesta por una estructura metálica colada recubierta por resina acrílica y que a su vez soporta dientes fijos artificiales <sup>1,2</sup>.

La mayoría de las resinas acrílicas protésicas de polimetilmetacrilato (PMMA) empleadas para la fabricación de prótesis dentales están compuestas de metacrilato de polimetilo (PEMA) y copolímeros adicionales; combinación que aporta características favorables, como la facilidad de manipulación de laboratorio, peso ligero, fabricación económica, estabilidad en el entorno oral, capacidad estética y combinación de colores adecuada y falta de toxicidad <sup>3,4</sup>. Sin embargo, presenta desventajas como bajo rendimiento mecánico, bajo impacto y resistencia y falla por fatiga <sup>5</sup>.

Las dentaduras acrílicas frecuentemente se fracturan del 15 al 20% en los primeros 10 años de uso debido a sus características de baja resistencia física. En una situación clínica, varios factores pueden causar falla de PMMA que incluyen desarmonías oclusales, sobrecarga, fatiga, mal manejo e impactos accidentales <sup>6,7</sup>.

Se han empleado varios métodos para mejorar las propiedades mecánicas del PMMA, incluida la corrección química de su estructura polimérica con aditivos, como el dimetacrilato de polietilenglicol; otro método útil para mejorar las propiedades mecánicas es la adición de diferentes de materiales a escala nanométrica <sup>7</sup>.

En diversos estudios se ha asociado el PMMA con otros materiales, como fibra de vidrio, polietileno y fibras de polipropileno, alúmina, plata y circonio ( $ZrO_2$ ). Este último es un metal óxido se ha utilizado recientemente debido a una variedad de propiedades beneficiosas tales

como una excelente tenacidad, alta resistencia a la flexión, dureza, resistencia a la fractura y la abrasión, resistencia a la corrosión, estética por su color blanco y biocompatibilidad, que lo convierte en una alternativa conveniente para el reforzamiento estructural del polímero, que puede extender la vida funcional de la prótesis <sup>8-10</sup>

La adición de partículas de circonio muestra un efecto positivo en su uso en el campo médico y dental, especialmente cuando ciertas áreas anatómicas requieren una mayor resistencia de los materiales, proporcionando longevidad para la rehabilitación. <sup>10-13</sup> Al incorporar nanopartículas de  $ZrO_2$  en las prótesis dentales se está buscando optimizar sus propiedades mecánicas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas <sup>10,11</sup>.

En ese sentido, el objetivo del presente estudio es evaluar la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado asociado con diversas concentraciones al 1% y 3% nanopartículas de circonio.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema General**

¿Cuál será la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado asociado con nanopartículas de circonio?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

- ¿Cuál será la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) a las 24 y 48 horas?
- ¿Cuál será la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado asociado a nanopartículas de circonio ( $ZrO_2$ ) al 1% a las 24 y 48 horas?

- ¿Cuál será la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 3% (PPMA+ZrO<sub>2</sub> 3%) a las 24 y 48 horas?
- ¿Cuál de las asociaciones de nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% o al 3% a la resina acrílica de termocurado (PMMA) presentará una mayor microdureza superficial mecánica?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado con nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>).

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Evaluar la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) a las 24 y 48 horas.
2. Evaluar la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% a las 24 y 48 horas.
3. Evaluar la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 3% a las 24 y 48 horas.
4. Comparar la microdureza superficial mecánica de la resina acrílica de termocurado (PMMA), resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% y 3% a las 24 y 48 horas.

### **1.4. Justificación**

#### **1.4.1 Teórica**

La investigación presentó una relevancia teórica debido a que estudió una propuesta asociativa de prótesis dental asociado con agentes nano-particulados que ofrece bondades físicas y mecánicas, llegando a obtener buenos resultados experimentales y clínicos.

#### **1.4.2 Metodología**

Presentó una relevancia metodológica debido a que propuso encontrar un material experimental asociado con nanopartículas de circonio, la cual indujo a una mejora de las propiedades mecánicas en comparación a las resinas acrílicas comerciales, generando nuevas líneas de investigación en el área de los materiales dentales.

#### **1.4.3 Práctica**

El estudio contó con relevancia práctica por su contribución a la par de otros estudios para la evaluación de nuevas propuestas asociativas de bases protésicas alternativas para el beneficio de la comunidad odontológica, al poder contar con un tratamiento con mejores propiedades para el bienestar y éxito clínico en los pacientes rehabilitados.

### **1.5. Limitaciones de la investigación**

#### **1.5.1 Temporal**

El proyecto de tesis fue llevado a cabo durante los meses establecidos de Septiembre a Diciembre del año 2022. Al ser una investigación de tipo experimental *In-Vitro*, la evaluación fue realizada en el tiempo programado en el laboratorio, en 24 y 48 horas, que puede diferir a la acción en vivo.

#### **1.5.2 Espacial**

El proyecto de tesis fue realizado en el laboratorio de High Technology S.A.C ubicado en Lima Metropolitana, en un área conocida y accesible para el investigador del estudio. Este estudio experimental fue in vitro se llevó a cabo bajo modelos observacionales mediante el análisis de

la microdureza superficial mecánica de resinas acrílicas de termocurado, divididos en diferentes grupos muestrales de acuerdo a los tiempos de evaluación.

### **1.5.3 Recursos:**

El estudio contó con un equipo de profesionales para cumplir los objetivos planteados en el documento de tesis y se tuvo acceso a la base de datos de revistas científicas actuales indexadas. Además, la ejecución de la tesis fue económicamente viable y fue autofinanciado por el investigador.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

## 2.1. Antecedentes

**Alrahlah A, et al., (2022)** en su investigación tuvieron como objetivo “modificar un material de restauración temporal a base de PMMA disponible en el mercado mediante la adición de nanopartículas de TiO<sub>2</sub> y ZrO<sub>2</sub> en diferentes porcentajes como rellenos e investigar sus propiedades físico-mecánicas.” Se utilizaron en diferentes porcentajes (0, 0,5, 1,5 y 3,0 % en peso) de TiO<sub>2</sub> y ZrO<sub>2</sub> se mezclaron con la resina de PMMA (proporción de polvo a líquido: 1: 1) y se homogeneizaron con un mezclador de alta velocidad y se analizaron en cuanto a su resistencia a la flexión (FS), módulo elástico (EM), dureza Vickers (HV), rugosidad superficial Ra, morfología y ángulo de contacto con el agua (WCA). Encontrando en los resultados infirieron que la adición de una pequeña cantidad (0,5 % en peso) de nanopartículas (NP) de TiO<sub>2</sub> y ZrO<sub>2</sub> podría mejorar significativamente las características físico-mecánicas y morfológicas de las restauraciones provisionales de PMMA. La dureza EM y superficial aumentó con el aumento del contenido de relleno, con 3,0 % en peso de ZrO<sub>2</sub> exhibiendo el EM más alto, seguido por 3.0% en peso de TiO<sub>2</sub>. Concluyendo las NP de TiO<sub>2</sub> y ZrO<sub>2</sub> podrían utilizarse potencialmente como rellenos para mejorar el rendimiento de PMMA <sup>11</sup>.

**Alhotan A, et al., (2021)** en su investigación tuvieron como objetivo “evaluar la resistencia a la flexión y la microdureza mecánica superficial de resinas acrílicas de Polimetilmetacrilato (PMMA) termocurado modificado mediante la adición de nanopartículas de ZrO<sub>2</sub>, nanopartículas de TiO<sub>2</sub> y nanopartículas de fibra de vidrio” en diferentes concentraciones (1,5 %, 3 %, 5 % y 7 %). Se realizó una prueba de flexión de tres puntos para determinar la resistencia a la flexión, mientras que la microdureza de la superficie se midió utilizando la dureza Vickers. Encontrando que la resistencia a la flexión mejoró significativamente en los grupos de 3% en

peso de ZrO<sub>2</sub> y 5% en peso de fibra de vidrio. Todos los grupos mostraron una dureza superficial significativamente mayor en los grupos con 1% de TiO<sub>2</sub> y 1,5% de ZrO<sub>2</sub>. Concluyendo en todos los compuestos, una concentración de relleno del 3% en peso y superior mejoraría significativamente la microdureza <sup>12</sup>.

**Begum SS, et al., (2019)** realizaron un estudio para evaluar la “resistencia al impacto, resistencia a la compresión y la precisión dimensional del polimetacrilato de metilo (PMMA) termocurado asociado con nanopartículas de ZrO<sub>2</sub> al 3, 5 y 7% en peso.” Se realizaron pruebas al impacto utilizando el probador de impacto tipo Charpy, pruebas de resistencia a la compresión por medio del equipo de ensayo universal y se verificó su precisión dimensional midiendo la distancia entre la base de la prótesis y el modelo en dos secciones diferentes utilizando el microscopio móvil. Encontrando que la resistencia al impacto disminuyó con el aumento de la concentración de ZrO<sub>2</sub>, mayor resistencia a la concentración del 5% y en la precisión dimensional se halló la distancia entre la base de la dentadura y el modelo disminuyó significativamente con el refuerzo de nanopartículas de ZrO<sub>2</sub> del 7% de concentración. Concluyendo el refuerzo de PMMA termocurado con nanopartículas de ZrO<sub>2</sub> aumentó significativamente la precisión dimensional y disminuyó la resistencia a la compresión <sup>13</sup>.

**Zidan S, et al., (2019)** realizaron un estudio para evaluar la “propiedades mecánicas (resistencia a la flexión, tenacidad a la fractura, resistencia al impacto y dureza) y el comportamiento a la fractura de una resina acrílica base de termocurado asociado con diferentes concentraciones de nanopartículas de zirconia (ZrO<sub>2</sub>) al 1,5%, 3%, 5%, 7% y 10%. Se evaluaron la resistencia a la flexión y el módulo de flexión se midieron usando una prueba de flexión de tres puntos y la microdureza de la superficie se evaluó usando la prueba de dureza Vickers. La tenacidad a la

fractura y la resistencia al impacto se evaluaron utilizando una prueba de flexión de un solo borde y un instrumento de impacto Charpy. Encontrando que la resistencia media a la flexión, tenacidad a la fractura de los nanocompuestos de ZrO<sub>2</sub>/PMMA al 3 % en peso de zirconia fue significativamente mayor. En los valores de dureza Vickers (HV) aumentaron significativamente con un aumento en el contenido de ZrO<sub>2</sub>, con los valores más altos obtenidos al 10 % en peso, en condiciones secas. Concluyendo la incorporación de nanopartículas de ZrO<sub>2</sub> en resina de PMMA mejoró significativamente la resistencia a la flexión, el módulo de flexión, la tenacidad a la fractura y la microdureza de la superficie, con una concentración óptima de 3-5% en peso de zirconia <sup>14</sup>.

**Ergun G, et al., (2018)** en su investigación tuvieron como objetivo “evaluar la resistencia transversal, el módulo de elasticidad, la rugosidad de la superficie, la microdureza superficial y la solubilidad en agua de nanopartículas de óxido de circonio al 5, 10, 20% (nano-ZrO<sub>2</sub>) añadidas a polimetacrilato de metilo (PMMA) termocurado.” Se realizó pruebas de elasticidad por medio la máquina de ensayo universal, medición de la rugosidad por medio del rugosímetro, la microdureza por medio del microdurómetro Vickers y la solubilidad de acuerdo al % peso inicial y % peso final por medio de la balanza analítica de precisión. Encontrando una disminución estadísticamente significativa en la fuerza transversal, microdureza superficial por todas las tasas adicionales de 10% y 20% de nano-ZrO<sub>2</sub> en comparación al 5%. Concluyendo la adición de nano-ZrO<sub>2</sub> tuvo un efecto adverso en algunas propiedades mecánicas y físicas del PMMA termocurado, incrementó los valores de microdureza, lo que implica que la adición de nano-ZrO<sub>2</sub> contribuiría positivamente a algunas propiedades mecánicas del material base de dentadura de PMMA cuando se usa al 5% de nano ZrO<sub>2</sub> en PMMA <sup>15</sup>.

**Ahmed M, et al., (2017)** en su investigación tuvieron como objetivo “evaluar la resistencia a la flexión, la tenacidad a la fractura y la dureza de la resina acrílica termopolimerizable reforzada con nanopartículas de óxido de circonio ( $ZrO_2$ ), dióxido de titanio ( $TiO_2$ ) y dióxido de silicón ( $SiO_2$ ) añadidas a la matriz de resina con dos concentraciones (0,5 % y 1 %).” Se realizaron la integración de nanopartículas de  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$  y  $SiO_2$  con concentraciones de 0,5 % y 1 % en la resina acrílica termopolimerizable (PMMA) y se procesaron de acuerdo con la fabricación de muestras de prueba de PMMA para la medición de la resistencia a la flexión en MPa, la tenacidad a la fractura MPa por medio de la máquina de ensayo universal Instron y la evaluación de la microdureza se realizó por el microdurómetro de Vickers (VHN). Encontrando en los resultados indican que las partículas de nanorelleno añadidas al PMMA tienen propiedades mecánicas aumentadas de resistencia a la flexión, tenacidad a la fractura y dureza con 0,5 %; por otro lado, la concentración al 1 % tuvo un efecto negativo en las propiedades probadas. Concluyendo la adición de óxido de circonio ( $ZrO_2$ ), dióxido de titanio ( $TiO_2$ ) y dióxido de silicón  $SiO_2$  aumenta las propiedades mecánicas de resistencia a la flexión, tenacidad a la fractura y dureza con concentraciones de 0,5%. Mientras que con una concentración del 1% se observó un aumento significativo en la resistencia a la flexión, la tenacidad a la fractura y los valores de dureza en las nanopartículas de  $ZrO_2$ -resina acrílica que contenía un 1% en peso de  $ZrO_2$  <sup>16</sup>.

**Alwan S, et al., (2015)** realizaron un estudio para evaluar la “incorporación de nanopartículas de dióxido de titanio en polimetilmetacrilato (PMMA) aumenta la resistencia a la flexión y comparar las diferentes concentraciones de nanopartículas de dióxido de titanio y su relación con la resistencia a la flexión.” Se realizaron especímenes de resina acrílica polimerizable por calor transparente de dimensiones según la norma ISO 1567 se fabricaron y se agruparon en

grupos de 0.5, 2 y 2.5% sin nanopartículas de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), B con 0, 5 g de TiO<sub>2</sub> nanopartículas, de nanopartículas de TiO<sub>2</sub> en porcentaje y peso, por medio de la máquina de ensayo universal INSTRON. Encontrando que existe una diferencia significativa entre los grupos con respecto a la resistencia media a la flexión. en los grupos con aditivos al 0.5% y 2%. Concluyendo que el polimetilmetacrilato reforzado con diferentes concentraciones de nanopartículas de dióxido de titanio mostró una resistencia a la flexión superior a la del PMMA normal <sup>17</sup>.

**Harini P, et al., (2014)** en su investigación tuvieron como objetivo “evaluar si la incorporación de nanopartículas de dióxido de titanio en polimetilmetacrilato (PMMA) aumenta la resistencia a la flexión y comparar las diferentes concentraciones de nanopartículas de dióxido de titanio y su relación con la resistencia a la flexión / resistencia a la compresión”. Se evaluaron las concentraciones de dióxido de titanio en cada grupo fueron 1 % en peso, 2 % en peso y 5 % en peso. Se usó la máquina de ensayo universal INSTRON para la evaluación de las propiedades mecánicas de los grupos experimentales. Encontrando que existe una diferencia significativa en la resistencia a la flexión y resistencia a la compresión entre los grupos de PMMA utilizando los aditivos al 1 y 2% con respecto a los grupos del 5%. Concluyendo el polimetilmetacrilato reforzado con diferentes concentraciones de nanopartículas de dióxido de titanio mostró una resistencia a la flexión superior y resistencia a la compresión a la del PMMA normal <sup>18</sup>.

## **2.2. Base teórica**

### **Polimetilmetacrilato (PMMA)**

El polimetilmetacrilato (PMMA) se utiliza ampliamente en la rehabilitación protésica de individuos desdentados parcial y totalmente debido a su estética aceptable, facilidad de uso, bajo costo y estabilidad en la boca del paciente. Sin embargo, las propiedades mecánicas insuficientes y la menor resistencia a la fractura se consideran sus principales inconvenientes, ya que se descubrió que alrededor del 68 % de las dentaduras postizas completas podrían romperse durante los primeros 3 años, lo que puede haber ocurrido ya sea por la fuerza masticatoria o por la caída de la dentadura. Se llevaron a cabo muchos intentos para superar las deficiencias del PMMA y mejorar sus propiedades biomecánicas y su uso clínico, incluidas modificaciones con placas o alambres metálicos, caucho, óxidos metálicos y fibras. Recientemente, las evoluciones en el campo de la nanotecnología como nanopartículas, nanofibras y nanotubos se emplearon para el refuerzo de PMMA <sup>18,19</sup>.

Se ha planteado una preocupación importante sobre la adición de nanopartículas de óxido de metal inorgánico al PMMA para mejorar sus características, los estudios anteriores informaron que las propiedades del nanocompuesto polimérico dependen del tipo de nanorrelleno incorporado; sus formas y tamaños, así como su concentración e interacción con la matriz orgánica polimérica. Las nanopartículas se caracterizan por su diminuto tamaño, gran área de superficie específica, así como una fuerte interacción interfacial con la resina orgánica que conduce a definir sus características mecánicas, químicas, eléctricas, ópticas y magnéticas únicas en comparación con las de su volumen <sup>20</sup>.

Entre las nanopartículas comúnmente utilizadas se encuentran el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) y el dióxido de circonio ( $\text{ZrO}_2$ ). Las nanopartículas de  $\text{ZrO}_2$  son materiales cerámicos que tienen muchas ventajas, como alta resistencia, biocompatibilidad y aceptabilidad estética en comparación con otras nanopartículas de óxido metálico. Muchos estudios de investigación previos han informado que la incorporación de nanopartículas de  $\text{ZrO}_2$  en la resina base para dentaduras postizas de PMMA mejoró sus propiedades mecánicas dependiendo de las concentraciones de  $\text{ZrO}_2$ . Además, otro estudio demostró que el 5% en peso de  $\text{ZrO}_2$  las nanopartículas podrían mejorar las propiedades mecánicas y físicas; la tenacidad a la fractura y la resistencia al impacto mejoraron significativamente, así como una disminución notable en la sorción de agua y la solubilidad <sup>21-23</sup>.

Las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  ganaron importancia debido a su biocompatibilidad, bajo costo, resistencia a la corrosión y estabilidad química con alta resistencia. Se informó que la adición de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  a un polímero podría afectar sus propiedades ópticas, químicas y físicas. Además, su capacidad fotocatalítica y su efecto antimicrobiano fomentan su adición a biomateriales <sup>24,25</sup>.

### **Nanopartículas de titanio ( $\text{TiO}_2$ )**

El uso de las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  ha demostrado tener propiedades antimicrobianas. Además, es un material biocompatible barato, químicamente estable, libre de toxicidad, resistente a la corrosión con alta resistencia y alto índice de refracción. Además, la literatura mostró que incluso la ligera adición de agente de refuerzo  $\text{TiO}_2$  NP a un material polimérico afecta las propiedades eléctricas, ópticas, químicas y físicas del material híbrido resultante <sup>19,26</sup>.

Su capacidad fotocatalítica promovió su reconocimiento como agente antimicrobiano fomentando su incorporación a biomateriales. Se ha encontrado que las NP de TiO<sub>2</sub> son eficaces contra una amplia gama de microorganismos, incluidas bacterias grampositivas y gram negativas, hongos y virus. El efecto antimicrobiano podría atribuirse a las propiedades de la superficie y la estructura de las nanopartículas, que incluyen; TiO<sub>2</sub> nanocristalino, efecto de superficie hidrófila, reflectividad infrarroja y actividad antimicrobiana sin contacto. Por lo tanto, TiO<sub>2</sub>-NP se ha recomendado como relleno en materiales poliméricos <sup>26,27</sup>.

### **Asociación de compuestos (PMMA/TiO<sub>2</sub>)**

Las propiedades resultantes del material híbrido (PMMA/TiO<sub>2</sub>) dependerán de la dispersión de las nanopartículas dentro de la matriz, que está directamente relacionada con la cantidad añadida. Para lograr una buena dispersión de las nanopartículas dentro de los polímeros, se sugirieron diferentes métodos de adición de TiO<sub>2</sub> NP. Se agrega al polvo acrílico o al monómero. Se sugirió la adición de TiO<sub>2</sub> NP al polvo acrílico donde se pesaron los porcentajes requeridos y se mezclaron completamente con el polvo acrílico. Para lograr una mezcla uniforme y distribución homogénea de TiO<sub>2</sub>. Se emplearon NP, mezclador ultrasónico, mortero y mano, molienda de bolas de alta energía y silanización de partículas en las que la molienda de bolas parecía ser el método más efectivo <sup>20,21</sup>.

La adición de TiO<sub>2</sub> NP al monómero líquido es otro método de incorporación de relleno dentro de la resina acrílica. Los investigadores agregaron nanopartículas al monómero acrílico para preparar monómero/TiO<sub>2</sub> NP en diferentes concentraciones. Para asegurar la uniformidad, se realizó una dispersión ultrasónica. El monómero que contiene NP se sonicó durante 60 minutos

antes de mezclarlo con polvo de PMMA. Otros fueron sonicados usando una sonda a 120 W y 60 KHz durante 3 min para evitar la aglomeración de nanopartículas y asegurar la homogeneidad de la mezcla <sup>20,26</sup>.

Se desarrolló un método adicional llamado proceso de extracción de doble tornillo para dispersar las partículas en el PMMA. El TiO<sub>2</sub> NP se mezcló con el acrílico y se extruye usando una extrusora de doble tornillo ZSK-25 a 210 °C y una velocidad de tornillo de 250 rpm. Luego, los gránulos de nanocompuestos se secaron a 80 °C durante 2 h utilizando una unidad secadora de una máquina de moldeo por inyección <sup>22,27</sup>.

Por lo tanto, las propiedades de los nanocompuestos dependen de las interacciones entre la matriz polimérica y el relleno, lo que sugiere la importancia de las NP de TiO<sub>2</sub> funcionalizadas. Como reveló un estudio anterior, el nanocompuesto de PMMA basado en TiO<sub>2</sub> NP funcionalizado demostró mejores propiedades mecánicas y físicas. Siendo el otro método más utilizado, las nanopartículas de TiO<sub>2</sub> se mezclaron con el polvo acrílico hasta 20 min en un amalgamador para obtener una mezcla homogénea. Otros mezclaron las nanopartículas con polvo de resina a mano para crear la proporción deseada de relleno/polvo <sup>27</sup>.

### **Comportamiento del TiO<sub>2</sub> al PMMA**

Además del tamaño y la forma de la NP, su interacción con la matriz de PMMA se considera un factor principal de la efectividad del refuerzo, que depende de la caracterización de la superficie de la NP. Chatterjee (2010) estudió la interacción entre PMMA y TiO<sub>2</sub> NP y descubrió que interactúan química y físicamente. El TiO<sub>2</sub> puede reaccionar con el grupo -COOR del polímero PMMA de dos maneras diferentes. Una forma es la formación de enlaces de H

entre el grupo carbonilo ( $-C=O$ ) y el grupo hidroxilo superficial ( $-OH$ ) de  $TiO_2$  NP. La otra forma es la unión de  $TiO_2$  NP con dos átomos de oxígeno de  $-COOR$  mediante una coordinación bidentada al catión  $Ti^{4+}$ . Cuando  $TiO_2$  sale a la superficie, forman enlaces cruzados con PMMA. A medida que aumenta la cantidad de carga de NP de  $TiO_2$  dentro del PMMA, también aumenta esta unión. Todo esto es posible gracias al grupo hidroxilo en la superficie de  $TiO_2$  NP y los grupos  $-C=O$  (carbonilo),  $-OH$  (hidroxilo),  $-COOH$  (carboxilo) y  $-COOR$  (éster) en la matriz polimérica. La reticulación ha sido confirmada por espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) <sup>24,28,29</sup>.

La dispersión del  $TiO_2$  NP dentro de la matriz dificulta los movimientos de la cadena del polímero debido a la fuerte adhesión entre el  $TiO_2$  NP y el PMMA. Como resultado, se observa un mejor módulo con los materiales compuestos de  $TiO_2$  NP-PMMA. Otros investigadores informaron una mayor rigidez del material compuesto y una menor movilidad del PMMA. Esto puede deberse a la gran interfaz de  $TiO_2$  cuando está envuelto en PMMA, que posee un coeficiente dieléctrico más pequeño. Habrá una fuerte interacción eléctrica entre ellos que dará como resultado una capa de dipolo eléctrico en la superficie de la nanopartícula. En términos de enlace atómico, el origen del índice de refracción no lineal puede deberse a la hiperpolarizabilidad de los pares de  $Ti-O_2$ . Además, la adición de partículas esféricas a nanoescala es capaz de llenar los espacios interpoliméricos, lo que se descubrió que mejora la capacidad de pulido del material <sup>29-31</sup>.

### **Propiedades del $TiO_2$ EN PMMA**

Como se mencionó anteriormente, el PMMA es el material basado en polímeros más predominante para dentaduras postizas. Sin embargo, sus propiedades mecánicas y superficiales son bajas. La adición de cualquier material para mejorar las propiedades antimicrobianas del PMMA no debería tener un efecto adverso sobre las propiedades mecánicas. A la inversa, es muy preferible agregar un material que mejore las propiedades tanto biológicas como mecánicas. TiO<sub>2</sub> NP se usa comúnmente como agente colorante y relleno. Es capaz de aumentar la tenacidad de los polímeros produciendo un material compuesto con propiedades superiores. Con la propiedad antimicrobiana añadida, su incorporación a las resinas de PMMA se usa ampliamente en aparatos orales removibles. Por lo tanto, las propiedades del nanocompuesto se analizaron en esta revisión para evaluar la confiabilidad de TiO<sub>2</sub> como aditivo para mejorar el rendimiento del material base de dentadura postiza del nanocompuesto de PMMA/TiO<sub>2</sub> <sup>31,32</sup>.

### **Microdureza superficial mecánica en PMMA**

Los informes han confirmado que TiO<sub>2</sub> mejoró la dureza del PMMA de curado por calor. Xiao et al. (2008) atribuyeron el aumento de la dureza de la superficie a dos factores: el contenido de relleno adecuado y el uso de un agente de acoplamiento de silano que aumenta la unión entre el relleno y la matriz de resina. El efecto sobre la dureza de la superficie se detectó con adiciones de TiO<sub>2</sub> NP tan bajas como 1%. En otro estudio que investigaba la adición de 0,5%, 1% y 2%, se encontró que los valores de dureza aumentaban con la adición y los valores más altos se observaron con 2% en peso de TiO<sub>2</sub>. Mosalman et al. (2017) relacionan esto con un mayor número de enlaces entre la matriz y los rellenos, lo que requiere más energía para romper estos enlaces. Hashem et al. (2017) reportaron un aumento en los valores de dureza que alcanzó un

20%, 30% y 34% más que el PMMA puro con 1%, 2% y 3% de TiO<sub>2</sub> NP, respectivamente. Esto se explica por el aumento de la rigidez del material debido a la presencia de partículas rígidas dentro de la matriz, además de la reducción de la movilidad de la matriz <sup>33-35</sup>.

## **2.3. Formulación de hipótesis**

### **2.3.1. Hipótesis general**

- H1: La resina acrílica de termocurado asociado a nanopartículas de circonio al 1% tendrá mayor microdureza superficial mecánica a la resina acrílica de termocurado en los periodos de 24 y 48 horas.
- H0: La resina acrílica de termocurado asociado a nanopartículas de circonio al 1% no tendrá mayor microdureza superficial mecánica a la resina acrílica de termocurado en los periodos de 24 y 48 horas.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Método de la investigación**

El presente estudio es de tipo hipotético deductivo debido a que se realizó contrastación de hipótesis

### **3.2. Enfoque de la investigación**

Es de tipo cuantitativo debido a que se recolectó y analizó los datos obtenidos para realizar la prueba de hipótesis.

### **3.3. Tipo de investigación**

Es de tipo aplicada debido a que se buscó consolidar un nuevo conocimiento para la comunidad científica y plasmada en la odontología.

### **3.4. Diseño de la investigación**

Es tipo experimental debido a que hay un factor de intervención por parte del investigador, longitudinal porque se midió la variable de estudio en dos momentos de tiempo diferente, y analítico por la constatación de hipótesis.

### **3.5. Población, muestra y muestreo, Criterios de Selección**

#### **3.5.1 Población**

La población está conformada por discos experimentales

#### **3.5.2 Muestra**

El tamaño muestral que se empleó fue la fórmula de comparación de medias utilizando el programa Fistera, aplicado a la microdureza superficial de los grupos de las resinas acrílicas experimentales.

Donde:

$$n = \frac{2(Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2 * S^2}{d^2}$$

$Z_{\alpha}$  : Nivel de confianza del 95% ----- (1.96)

$Z_{\beta}$  : Nivel de potencia de la prueba del 80% ----- (0.842)

$S^2$  : Varianza del grupo de referencia (normal =  $x^2$ ) ----- (316)

$d^2$  : Diferencia esperada entre los grupos a comparar ----- (16)

$n$  : Es el tamaño de muestra para el grupo de comparación : 17

**Tamaño muestral ajustado a pérdidas:** 20 por grupo

Utilizando el tamaño muestral ajustado a pérdidas serán 20 unidades por grupo, con una muestra total constituida por 60 discos experimentales.

La muestra fue distribuida para los 03 grupos de estudio, los cuales fueron divididos en 06 subgrupos de 24 horas y 48 horas.

**Sub-Grupo 1:** 10 discos de resina acrílica que serán evaluados a las 24 horas.

**Sub-Grupo 2:** 10 discos de resina acrílica que serán evaluados a las 48 horas.

**Sub-Grupo 3:** 10 discos de resina acrílica asociado con nanopartículas de circonio al 1% que serán evaluados a las 24 horas.

**Sub-Grupo 4:** 10 discos de resina acrílica asociado con nanopartículas de circonio al 1% que serán evaluados a las 48 horas.

**Sub-Grupo 5:** 10 discos de resina acrílica asociado con nanopartículas de circonio al 3% que serán evaluados a las 24 horas.

**Sub-Grupo 6:** 10 discos de resina acrílica asociado con nanopartículas de circonio al 3% que serán evaluados a las 48 horas.

**Criterios de inclusión:**

- Discos de resinas acrílicas experimentales elaborados con un mismo diámetro y ancho de preparación.

**Criterios de exclusión**

- Discos de resinas acrílicas experimentales que presenten esquirlas y una superficie rugosa.

### 3.6 Variables y operacionalización

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	INDICADOR	CATEGORÍA O VALOR	TIPO	ESCALA
<b>Resinas acrílicas experimentales</b>	Variable independiente	Discos de resinas acrílicas experimentales en contacto con el equipo de ensayo universal	Grupo 1: Resina acrílica de termocurado Grupo 2: Resina acrílica de termocurado asociado con nanopartículas de circonio al 1% Grupo 3: Resina acrílica de termocurado asociado con nanopartículas de circonio al 3%	Cualitativa Politómica	Nominal
<b>Microdureza Superficial mecánica</b>	Variable dependiente	Microdurómetro, punta de Vickers	Microdurómetro en Kg/mm <sup>2</sup> 1°carga: 10 gr 2°carga: 25gr 3°carga: 50gr	Cuantitativa Continua	Razón
<b>Tiempo</b>	Covariable	Horas	T1: 24 horas T2: 48 horas	Cualitativa	Nominal

### 3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A través de una solicitud se tramitó una carta de presentación (Anexo 1) por parte de la EAP de Odontología de la Universidad Norbert Wiener, a fin de acceder a las instalaciones del laboratorio High Technology. Los datos fueron registrados en una ficha de recolección, conteniendo las variables de estudio (Anexo 2). Asimismo, se identificó y resumió la estructura

y diseño de la investigación mediante una matriz de consistencia (Anexo 3). El detalle de los procedimientos realizados fueron registrados fotográficamente (Anexo 4). Por otro lado, los resultados de los ensayos mecánicos fueron consignados a través de un informe generado por el laboratorio (Anexo 5), incluyendo la certificación que evidencia la ejecución del trabajo de campo (Anexo 6)

### **3.7.1. Técnica:**

La técnica que se empleó para el presente proyecto de investigación fue la técnica experimental in vitro que consiste en la elaboración de discos de resinas acrílicas experimentales que serán sometidos a fuerzas mecánicas de compresión.

#### **Elaboración de discos experimentales**

La elaboración de discos de resinas acrílicas experimentales, se prepararon respetando las normas internacionales de preparación de muestras ISO 9917/ 2013. En la elaboración de los discos experimentales presentaron las dimensiones de altura 06 mm y diámetro 04 mm <sup>12,14</sup>.

En la confección de los discos resinas acrílicas experimentales se prepararon según las normas del fabricante respetando las proporciones polvo/ líquido. Luego fueron retiradas de la matriz de polietileno después de 01 hora de fraguado del material y posteriormente se verificaron las dimensiones de los discos experimentales por medio de un pie de rey digital <sup>15</sup>.

#### **Pulidos de discos experimentales**

Las resinas acrílicas experimentales fueron pulidas de manera superficial por medio de lijas de grano fino 600, para retirar la presencia de esquirlas y rugosidades. Luego fueron almacenadas y rotuladas en placas petri de vidrio hasta el momento de su evaluación <sup>16</sup>.

### **Almacenamiento de muestras**

Se almacenaron los discos de resinas acrílicas experimentales en una incubadora (Medical Expo) a una temperatura de 26 °C para mantener el proceso de fraguado en condiciones homogéneas hasta los periodos de evaluación de 24 horas y 48 horas <sup>16</sup>.

### **Microdureza Vickers**

La evaluación de los discos de resinas acrílicas experimentales se realizó a las 24 horas y 48 horas, por lo que se colocaron las muestras individualmente por cada grupo en la máquina Vickers perteneciente al laboratorio High Technology Laboratory Certificate S.A.C. Previamente medidas las áreas y dimensiones de los discos de resinas acrílicas experimentales, se colocaran en posición vertical, para la aplicación de fuerzas compresivas, se realizó inicialmente cargas de manera incremental a una velocidad de 1 mm por cada 05 segundos hasta impregnación de cargas mecánicas por medio de la indentación de los especímenes. La medida de la microdureza Vickers será promediada por el programa del microdurómetro por las indentaciones para poder determinar la variación existente entre los diferentes fragmentos registrados en la superficie de los discos en los tiempos de 24 horas y 48 horas. Los datos fueron registrados en una base de datos del programa Microsoft. Excel, especificando cada grupo de estudio, nro. de especímenes, fuerza compresiva y tiempo de evaluación <sup>16,17</sup>.

### **Calibración y capacitación**

Se realizó una prueba piloto con el 10% de la muestra para calibrar al investigador en la preparación y manipulación de los discos experimentales a utilizar, sobre 03 discos por cada grupo experimental, siendo el 10% de 20 discos <sup>11,14</sup>.

Además, se contó con una capacitación de un Ingeniero Mecánico para la evaluación de la microdureza mecánica superficial de las resinas acrílicas por el método de concordancia del índice de Kappa, para la determinación de aciertos entre el investigador y los especialistas, para evitar futuros errores de medición y viabilidad en la ejecución del proyecto de investigación.

### **3.7.2. Descripción de los instrumentos**

Se utilizó la ficha de recolección de datos (Anexo 2), para el registro de los datos obtenidos de los discos de las resinas acrílicas experimentales obtenidos en los diferentes periodos de tiempo.

### **3.7.3. Validación:**

El instrumento empleado “ficha de recolección de datos” registra los resultados obtenidos con el microdurómetro debidamente calibrado.

### **3.7.4 Confiabilidad:**

Las investigaciones anteriores le brindan la confiabilidad sobre la microdureza de los discos de las resinas acrílicas experimentales, reproduciendo dicha metodología en este estudio.

### **3.8. Procesamiento y análisis de datos**

Se realizó el análisis estadístico con el paquete estadístico SPSS versión 22.0. Los datos se analizaron mediante la prueba estadística ANOVA y Kruskall Wallis, previo análisis de normalidad con la prueba de Shapiro Willk, además las pruebas post hoc empleadas para realizar las comparaciones entre cada uno de los materiales de estudio fueron Tukey y Dwass-Steel-

Critchlow-Fligner pairwise comparisons. Para comparar los tiempos (24 horas vs 48 horas) de cada material se emplearon las pruebas U de Mann Whitney y T de Student, según el análisis de normalidad de los datos. Todas las pruebas estadísticas fueron analizadas con un nivel de confianza de 95%.

### **3.9. Aspectos éticos**

Debido a que el presente estudio fue de diseño experimental in vitro en muestras inertes se exoneró su gestión ante el comité de ética (anexo 7). Por otro lado, la investigación cumple con los procesos de integridad en investigación al ser evaluado mediante el programa antiplagio Turnitin (Anexo 8). Además, la ejecución de la investigación fue certificada por un laboratorio externo a través del documento respectivo que acredita su ejecución bajo estándares de calidad (Anexo 6).

## **CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### 4.1 Resultados

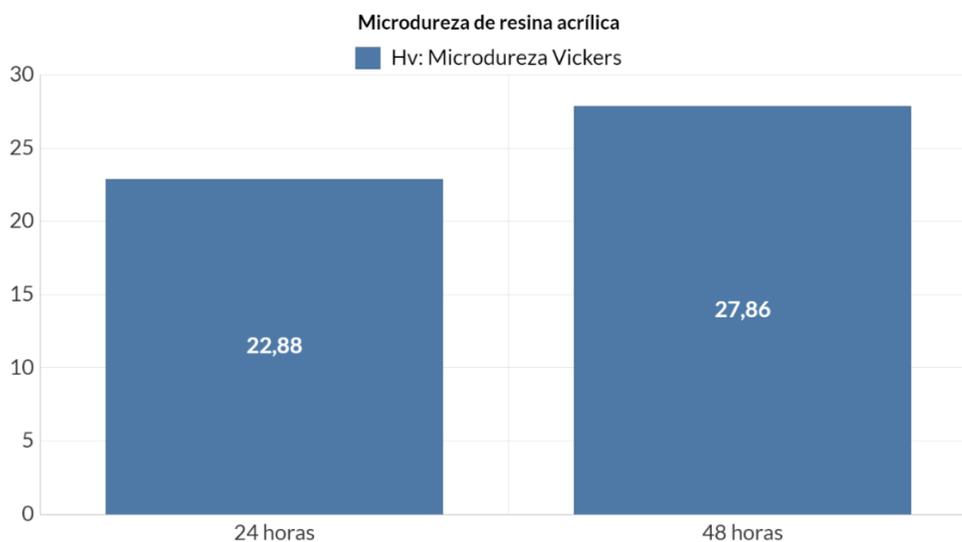
Tabla 01: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) a las 24 y 48 horas.

Agente	Media	D.E	Mínimo	Máximo	Normalidad*
PMMA (24 horas)	22,88	± 1,23	21,26	25,53	0.284
PMMA (48 horas)	27,86	± 6.82	23,50	46,80	0.000

PMMA: Resina acrílica polimetilmetacrilato, DE: Desviación estándar

\*Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

Figura 01: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) a las 24 y 48 horas.



Interpretación:

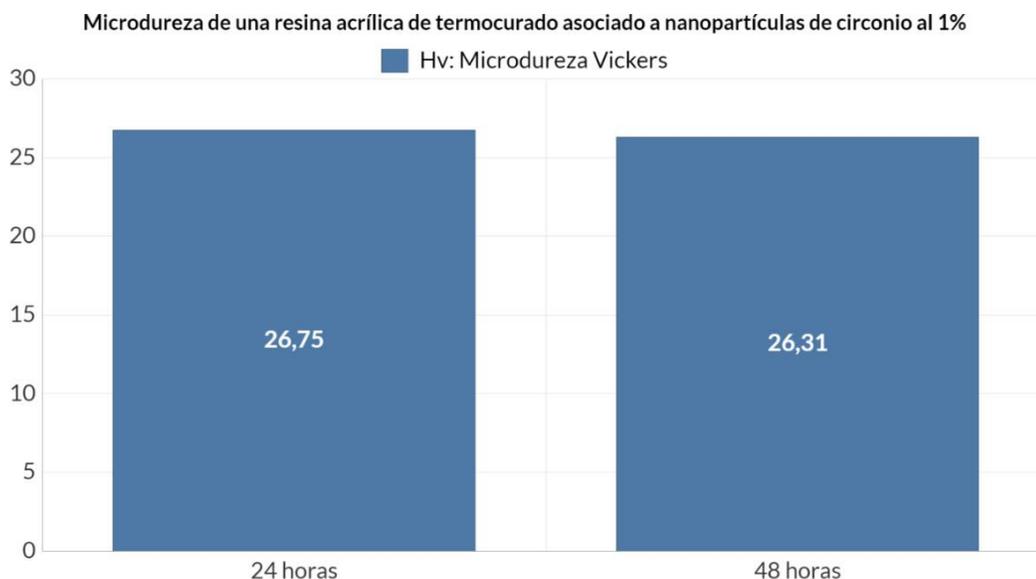
En la tabla 01 y figura 01 se evidencia que numéricamente el promedio de la microdureza superficial se incrementa conforme pasa el tiempo, pasando de 22,88 Hv a las 24 horas a 27,86 a las 48 horas.

Tabla 02: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% a las 24 y 48 horas

Agente	Media	D.E	Mínimo	Máximo	Normalidad*
PMMA + ZrO <sub>2</sub> 1% (24 horas)	26,75	± 1,19	24,91	28,95	0,994
PMMA + ZrO <sub>2</sub> 1% (48 horas)	26,31	± 1,85	23,57	29,15	0,870

PMMA + ZrO<sub>2</sub> 1%: Resina acrílica asociada a nanopartículas de circonio al 1%, DE: Desviación estándar  
\*Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

Figura 02: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% a las 24 y 48 horas



Interpretación:

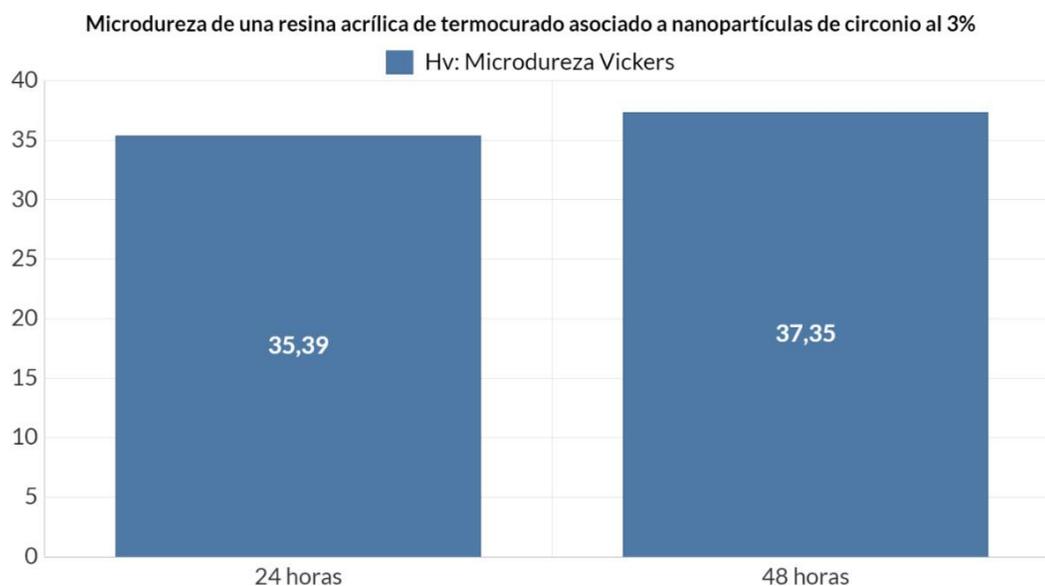
En la tabla 02 y figura 02 se evidencia que, numéricamente el promedio de la microdureza superficial de la resina acrílica asociada a las partículas de óxido de zirconio al 1% se mantiene constante en ambos tiempos evaluados permaneciendo en 26,75 Hv y 26,31 Hv a las 24 y 48 horas respectivamente.

Tabla 03: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 3% a las 24 y 48 horas

Agente	Media	D.E	Mínimo	Máximo	Normalidad*
PMMA + ZrO <sub>2</sub> 3% (24 horas)	35,39	± 4,61	25,77	39,76	0,051
PMMA + ZrO <sub>2</sub> 3% (48 horas)	37,35	± 4,97	26,76	43,75	0,416

PMMA + ZrO<sub>2</sub> 3%: Resina acrílica asociada a nanopartículas de circonio al 3%, DE: Desviación estándar  
\*Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

Figura 03: Microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 3% a las 24 y 48 horas.



**Interpretación:**

En la tabla 03 y figura 03 se evidencia que el promedio de la microdureza superficial de la resina acrílica asociada a las partículas de óxido de zirconio al 3% tuvo un ligero aumento cuando fue evaluado a las 48 horas (37,35 Hv), respecto al mismo material evaluado a las 24 horas (35,39 Hv).

Tabla 04: Comparación de la microdureza superficial mecánica de la resina acrílica de termocurado (PMMA), resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% y 3% a las 24 y 48 horas.

AGENTE	24 horas	Normalidad	p*	48 horas	Normalidad	p**
PMMA	22,88 ± 1,23	0,284		27,86 ± 6,82	0,000	
PMMA + ZrO <sub>2</sub> 1%	26,75 ± 1,19	0,994	0,000	26,31 ± 1,85	0,870	0,001
RA + ZrO <sub>2</sub> 3%	35,39 ± 4,97	0,416		37,35 ± 4,97	0,416	

RA: Resina acrílica; RA + ZrO<sub>2</sub> 1%: Resina acrílica asociada a nanopartículas de circonio al 1%; RA + ZrO<sub>2</sub> 3%: Resina acrílica asociada a nanopartículas de circonio al 3%.

\*Prueba de Anova. / \*\* Prueba de Kruskal Wallis. Nivel de significancia estadística p <0.05

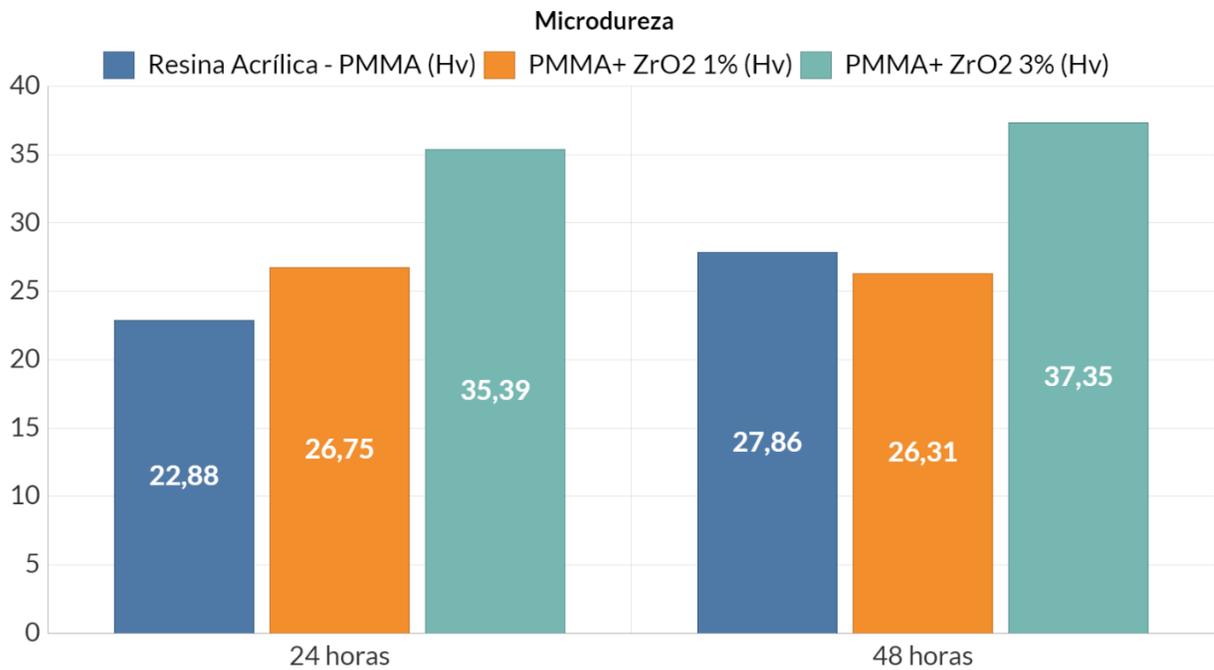
Pruebas de comparaciones múltiples:

	24 horas*	48 horas**
PMMA †	22,88 ± 1,23 a, A	27,86 ± 6,82 a, B
PMMA + ZrO <sub>2</sub> 1%°	26,75 ± 1,19 b, A	26,31 ± 1,85 b, A
PMMA + ZrO <sub>2</sub> 3%°	35,39 ± 4,97 c, A	37,35 ± 4,97 c, A

Las medias estadísticamente diferentes (p<0,05) se indican con letras minúsculas diferentes dentro de la misma columna (\* Post Hoc Tukey, \*\* Post Hoc Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pairwise comparisons) y letras mayúsculas diferentes dentro de la misma línea († U de Mann Whitney, ° T de Student).

RA: Resina acrílica; RA + ZrO<sub>2</sub> 1%: Resina acrílica asociada a nanopartículas de circonio al 1%; RA + ZrO<sub>2</sub> 3%: Resina acrílica asociada a nanopartículas de circonio al 3%.

Figura 04: Comparación de la microdureza superficial mecánica de la resina acrílica de termocurado (PMMA), resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% y 3% a las 24 y 48 horas.



**Interpretación:**

En la tabla 04 y figura 04 se evidencia que, el valor promedio de la microdureza superficial de la resina acrílica incrementa su valor cuando se le añade partículas de óxido de zirconio, siendo este incremento mayor conforme aumenta el porcentaje de óxido de zirconio.

#### 4.1.1 Prueba de Hipótesis

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** La resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% no tendrá mayor microdureza superficial mecánica a la resina acrílica de termocurado en los periodos de 24 y 48 horas.

**Hipótesis del investigador (H<sub>a</sub>):** La resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% tendrá mayor microdureza superficial mecánica a la resina acrílica de termocurado en los periodos de 24 y 48 horas.

1. Nivel de significancia: 0.05
2. Estadístico de prueba: Anova y Kruskal-Wallis
3. Lectura del error:  $p < 0.05$  (Tabla 4)
4. Toma de decisión: El valor p encontrado fue de 0.000 y 0,017, siendo este valor inferior al valor alfa, en base a esto se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>). A un nivel de confianza de 95% se puede mencionar que existen diferencias estadísticamente significativas entre las resinas y sus asociaciones con al menos un elemento.

#### 4.1.2 Discusión de los resultados

Las propiedades mecánicas de las prótesis dentales juegan un papel vital en la comprensión de qué tan bien funcionará una resina bajo el estrés de la masticación <sup>1,3</sup>. Se han empleado varios métodos para mejorar las propiedades mecánicas del PMMA, incluida la corrección química de su estructura polimérica con aditivos, como el dimetacrilato de polietilenglicol; otro método útil para mejorar las propiedades mecánicas es la adición de diferentes de materiales a escala nanométrica <sup>4-6</sup>.

Estudios previos han encontrado que las variaciones en la proporción de nanopartículas/fibras pueden tener impactos positivos o negativos en la microdureza de la superficie y la resistencia a la flexión de las resinas acrílicas <sup>7</sup>. Se ha asociado el PMMA con otros materiales, como fibra de vidrio, polietileno y fibras de polipropileno, alúmina, plata y circonio ( $ZrO_2$ ). Este último es un metal óxido se ha utilizado recientemente debido a una variedad de propiedades beneficiosas tales como una excelente tenacidad, alta resistencia a la flexión, dureza, resistencia a la fractura y la abrasión, resistencia a la corrosión, estética por su color blanco y biocompatibilidad, que lo convierte en una alternativa conveniente para el reforzamiento estructural del polímero, que puede extender la vida funcional de la prótesis <sup>8-10</sup>.

El estudio actual tuvo como objetivo investigar el efecto de la adición de nanopartículas de  $ZrO_2$  en la microdureza superficial del material base de prótesis de PMMA. Los resultados encontraron que todos los grupos experimentales mostraron una mayor dureza en proporción directa a las concentraciones de  $ZrO_2$ .

Encontramos que la incorporación de nanopartículas de  $ZrO_2$  en la matriz de PMMA mejoró la microdureza del PMMA en comparación con las muestras del grupo de control. Se observó que

la adición de ZrO<sub>2</sub> al 1% a PMMA condujo a una mejora estadísticamente significativa en la dureza en comparación al grupo control. Como se puede observar en la Tabla 4, los valores de microdureza superficial del PMMA aumentaron un 16,9% cuando se añadió un 1% en peso de ZrO<sub>2</sub> a la resina de PMMA, y aumentó significativamente a un 54% cuando se incorporó un 3% en peso de ZrO<sub>2</sub>.

En este estudio, utilizamos tamaños de aproximadamente 50 nm ZrO<sub>2</sub> de ZrO<sub>2</sub> que se combinaron con polvo acrílico de 90 µm. Esto evitó que se formara una mezcla heterogénea y permitió que las nanopartículas llenaran los poros que se habían formado entre las partículas de polímero; como tal, se inhibió el movimiento de la cadena de polímeros del PMMA.

Los resultados de nuestro estudio son similares a lo investigado por Alrahlah et al. <sup>11</sup>, quien al evaluar la adición de ZrO<sub>2</sub> a diversos porcentajes encontró que la microdureza aumentaba conforme aumentaba el porcentaje añadido, nuestro estudio tuvo similar comportamiento puesto que los valores de microdureza fueron aumentando conforme se incrementaba la proporción del ZrO<sub>2</sub> añadido. En el mismo sentido cuando Alhotan A, et al. <sup>12</sup> estudió un porcentaje incremental desde 1.5% de ZrO<sub>2</sub>, evidenció que la microdureza mejoró significativamente cuando la concentración de relleno fue de 3% en peso, similar a nuestra investigación donde este porcentaje de peso alcanzó mayor valor de incremento de microdureza. La cantidad de relleno utilizado para reforzar la resina acrílica es otro factor importante que afecta las propiedades mecánicas. El porcentaje de relleno utilizado para el refuerzo debe ser tal que se disperse uniformemente en la matriz de resina sin interrumpir su continuidad <sup>13</sup>.

Se han realizado investigaciones que evalúan el impacto de diversos porcentajes de pesos del ZrO<sub>2</sub> en la microdureza, así por ejemplo Zidan S, et al. <sup>14</sup> evidenció que tras estudiar porcentajes

de 1,5%, 3%, 5%, 7% y 10%., encontró que la microdureza superficial óptima se encontró en porcentajes entre 3 – 5% en peso de Zirconia, lo que concuerda con nuestro estudio, pues el mayor incremento de microdureza se encontró en un porcentaje de 3%. Sin embargo, el incremento en peso de ZrO<sub>2</sub>, no siempre produce efectos favorables en las propiedades mecánicas del PMMA, tal como lo evidencia Ergun G, et al <sup>15</sup> en su estudio, ya que un incremento de 10% y 20% de ZrO<sub>2</sub> nanoparticulado reportó una disminución de las propiedades de microdureza, siendo un porcentaje de 5% una proporción óptima para los valores de microdureza alcanzado; nuestro estudio no incluyó este porcentaje en su diseño, pues se incluyó un porcentaje en peso de hasta 3%, con resultados que indicaron que el valor de microdureza tuvo un incremento significativo respecto al control. Cuando Ahmed M, et al. <sup>16</sup> incluyó en su estudio la adición de ZrO<sub>2</sub> al 0.5 y 1 %, evidenció que el primero produjo efectos favorables en diversas propiedades mecánicas de las resinas acrílicas, sin embargo, la incorporación de un porcentaje de 1% produjo efectos negativos, no así en la propiedad de microdureza, donde evidenció que la adición del nanocompuesto indujo a un incremento de la microdureza superficial. Estos resultados son similares a los encontrados en nuestro estudio, ya que la incorporación de 1% de ZrO<sub>2</sub> en peso, incrementó la microdureza del material en contraste con el grupo que no tuvo ninguna adición.

En nuestro estudio se evaluó el ZrO<sub>2</sub> en su forma nanoparticulada, debido a las propiedades que esta presenta, asimismo otras investigaciones han incorporado a las resinas acrílicas compuestos de TiO<sub>2</sub> de estas mismas dimensiones, así, Alwan S, et al. <sup>17</sup>, evidenció que se mejoraron las propiedades mecánicas de resistencia a la flexión, similar a los resultados encontrados por Harini P, et al <sup>18</sup>, quien también reportó un incremento de los valores de esta propiedad.

Es necesario mencionar que, estudios previos han informado que cualquier espacio hueco entre la matriz interrumpe la distribución de tensiones y puede contribuir al rendimiento mecánico inferior del PMMA reforzado con partículas de ZrO<sub>2</sub><sup>21,22</sup>.

El aumento de la microdureza se puede atribuir a la buena dispersión de los rellenos de nano-ZrO<sub>2</sub> que mejoran la resistencia debido a su tamaño nanométrico, lo que ayuda a llenar la matriz intersticialmente. Además, la fuerte adhesión formada entre el agente de acoplamiento en la superficie de la matriz de nanopartículas ZrO<sub>2</sub> y PMMA mejora las propiedades mecánicas de los nanocompuestos<sup>27,28</sup>.

Se recomienda estudiar otras propiedades físicas, químicas y biológicas, así como otros compuestos aceleradores que permitan mejorar el desempeño clínico de estos materiales.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

- La microdureza superficial mecánica de la resina acrílica de termocurado (PMMA) a las 24 y 48 horas fue respectivamente 22,88 y 27,86 Hv, siendo mayor a las 48 horas.
- La microdureza superficial mecánica de la resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio ( $ZrO_2$ ) al 1% a las 24 y 48 horas fue respectivamente 26,75 y 26,31 Hv, siendo numéricamente similares independientemente del tiempo evaluado.
- La microdureza superficial mecánica de la resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio ( $ZrO_2$ ) al 3% a las 24 y 48 horas fue respectivamente 35,39 y 37,35 Hv, siendo numéricamente mayor a las 48 horas
- La resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado al Óxido de Circonio ( $ZrO_2$ ) al 3% presentó la mayor microdureza mecánica superficial a las 24 horas y 48 horas.
- El grupo control PMMA obtuvo los valores más bajos de microdureza mecánica superficial a las 24 horas y 48 horas en comparación a la resina acrílica modificada con los agentes nanoparticulados  $ZrO_2$ .

## 5.2 Recomendaciones

- Realizar nuevas líneas de investigación de resinas acrílicas de PMMA asociado con nanopartículas de circonio con otras marcas comerciales para comparar sus propiedades físico-mecánicas.
- Plantear estudios considerando las variables temperatura, tiempo de evaluación y tiempo de polimerización para determinar los factores que pueden alterar la composición y condición pudiendo generar variaciones en relación a su respuesta físico-mecánica.
- Estudiar el uso de nuevos aditivos nano-particulados para mejorar las propiedades físicas, mecánicas y biológicas para plantear nuevas formulaciones de un posible PMMA.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Murakami N., Wakabayashi N., Matsushima R., Kishida A., Igarashi Y. Effect of high-pressure polymerization on mechanical properties of PMMA denture base resin. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2013;20:98–104.
2. Navidfar A., Azdast T., Karimzad Ghavidel A. Influence of processing condition and carbon nanotube on mechanical properties of injection molded multi-walled carbon nanotube/poly (methyl methacrylate) nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2016;133(31):1–9.
3. Chaijareenont P., Takahashi H., Nishiyama N., Arksornnukit M. Effect of different amounts of 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane on the flexural properties and wear resistance of alumina reinforced PMMA. *Dental Materials*. 2012;31(4):623–628.
4. Gad M. M., Fouda S. M., Al-Harbi F. A., Nöpänkangas R., Raustia A. PMMA denture base material enhancement: A review of fiber, filler, and nanofiller addition. *International Journal of Nanomedicine*. 2017;12:3801–3812.
5. Harini P., Mohamed K., Padmanabhan T. V. Effect of Titanium dioxide nanoparticles on the flexural strength of polymethylmethacrylate: An in vitro study. *Indian Journal of Dental Research*. 2014;25(4):459–463.
6. Venkatesh Anehosur G., Kulkarni R. D., Naik M. G., et al. Synthesis and Determination of Antimicrobial Activity of Visible Light Activated TiO<sub>2</sub> Nanoparticles with Polymethyl Methacrylate Denture Base Resin Against Staphylococcus Aureus. *Journal of Gerontology & Geriatric Research*. 2012;01(01):103–111.
7. Sodagar A., Bahador A., Khalil S., Saffar Shahroudi A., Zaman Kassae M. The effect of TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> nanoparticles on flexural strength of poly (methyl methacrylate) acrylic resins. *Journal of Prosthodontic Research*. 2013;57(1):15–19.
8. Hamouda I. M., Beyari M. M. Addition of glass fibers and titanium dioxide nanoparticles to the acrylic resin denture base material: comparative study with the conventional and high impact types. *Oral Health and Dental Management*. 2014;13:107–112.
9. Totu E. E., Cristache C. M., Voicila E., et al. On physical and chemical characteristics of Poly(methylmethacrylate) nanocomposites for dental applications. I. *Materiale Plastice*. 2017;54(4):666–672.
10. Shirkavand S., Moslehifard E. Effect of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on tensile strength of dental acrylic resins. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*. 2014;8(4):197–203.

11. Alrahlah A, Khan R, Vohra F, Alqahtani IM, Alruhaymi AA, Haider S, Al-Odayni AB, Saeed WS, Murthy HCA, Bautista LS. Influence of the Physical Inclusion of ZrO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> Nanoparticles on Physical, Mechanical, and Morphological Characteristics of PMMA-Based Interim Restorative Material. *Biomed Res Int*. 2022 Aug 19; 20:17-30.
12. Alhotan A, Yates J, Zidan S, Haider J, Silikas N. Flexural Strength and Hardness of Filler-Reinforced PMMA Targeted for Denture Base Application. *Materials (Basel)*. 2021 May 19;14(10):26-59.
13. Begum SS, Ajay R, Devaki V, Divya K, Balu K, Kumar PA. Impact Strength and Dimensional Accuracy of Heat-Cure Denture Base Resin Reinforced With ZrO<sub>2</sub> Nanoparticles: An *In Vitro* Study. *J Pharm Bioallied Sci*. 2019;11(Suppl 2):S365-S370.
14. Zidan S, Silikas N, Alhotan A, Haider J, Yates J. Investigating the Mechanical Properties of ZrO<sub>2</sub>-Impregnated PMMA Nanocomposite for Denture-Based Applications. *Materials (Basel)*. 2019;12(8):1344.
15. Ergun G, Sahin Z, Ataol AS. The effects of adding various ratios of zirconium oxide nanoparticles to poly (methyl methacrylate) on physical and mechanical properties. *J Oral Sci*. 2018;60(2):304-315.
16. Ahmed M. A., Omar A. A., El-Shennawy M., Ebrahim M. I., Althomali Y. M. Influence of addition of different types of nano-fillers on the microstructure and mechanical properties of PMMA based denture resin. *Kasmera Journal*. 2017; 45:48–59.
17. Alwan S. A., Alameer S. S. The Effect of the Addition of Silanized Nano Titania Fillers on Some Physical and Mechanical Properties of Heat Cured Acrylic Denture Base Materials. *Journal of Baghdad College of Dentistry*. 2015;27(1):86–91.
18. Harini P, Mohamed K, Padmanabhan TV. Effect of Titanium dioxide nanoparticles on the flexural strength of polymethylmethacrylate: an in vitro study. *Indian J Dent Res*. 2014;25(4):459-463.
19. Hargreaves A. S. The prevalence of fractured dentures: a survey. *British Dental Journal*. 2007; 126:451–455.

20. Gad M., Fouda S., Al-Harbi F., Napankangas R., Raustia A. PMMA denture base material enhancement: a review of fiber, filler, and nanofiller addition. *International Journal of Nanomedicine*. 2017; 12:3801–3812.
21. Torres L. S. A., Marin L. M. L., Anita R. E. N. Biocompatible metal-oxide nanoparticles: nanotechnology improvement of conventional prosthetic acrylic resins. *Journal of Nanomaterials*. 2010; 2011:1–8.
22. Ayad N. M., Dawi M. F., Fatah A. A. Effect of reinforcement of high impact acrylic resin with micro-zirconia on some physical and mechanical properties. *Revista de Clinica e Pesquisa Odontologica*. 2008; 4:145–151.
23. Gad M. M., Al-Thobity A. M., Rahoma A., Abualsaud R., Al-Harbi F. A., Akhtar S. Reinforcement of PMMA denture base material with a mixture of ZrO<sub>2</sub> nanoparticles and glass fibers. *International Journal of Dentistry*. 2019; 2019:1–11.
24. Neset V. A., Hamdi A., Turan K., Turkyilmaz I. Influence of various metal oxides on mechanical and physical properties of heat-cured polymethylmethacrylate denture base resins. *Journal of Advanced Prosthodontics*. 2013; 5:241–247.
25. Gad M. M., Abualsaud R. Behavior of PMMA denture base materials containing titanium dioxide nanoparticles: a literature review. *International Journal of Biomaterials*. 2019;2019.
26. Aziz H. K. TiO-Nanofillers Effects on Some Properties of Highly- Impact Resin Using Different Processing Techniques. *The Open Dentistry Journal*. 2018;12(1):202–212.
27. Tsuji M., Ueda T., Sawaki K., Kawaguchi M., Sakurai K. Biocompatibility of a titanium dioxide-coating method for denture base acrylic resin. *Gerodontology*. 2016;33(4):539–544.
28. Podzimek S., Tomka M., Sommerova P., Lyuya-Mi Y., Bartova J., Prochazkova J. Immune markers in oral discomfort patients before and after elimination of oral galvanism. *Neuroendocrinology Letters*. 2013;34(8):802–808.
29. Kiat-amnuay S., Beerbower M., Powers J. M., Paravina R. D. Influence of pigments and opacifiers on color stability of silicone maxillofacial elastomer. *Journal of Dentistry*. 2009;37(1):45–50.
30. Nazirkar G., Bhanushali S., Singh S., Pattanaik B., Raj N. Effect of Anatase Titanium Dioxide Nanoparticles on the Flexural Strength of Heat Cured Poly Methyl Methacrylate Resins: An In-Vitro Study. *Journal of Indian Prosthodontist Society*. 2014; 14:144–149.
31. Patras M., Naka O., Doukoudakis S., Pissiotis A. Management of provisional restorations' deficiencies: a literature review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2012;24(1):26–38.

32. Solomonov M., Levy D. H., Yaya A., Ben Itzhak J., Polak D. Antimicrobial evaluation of polytetrafluoroethylene used as part of temporary restorations: an ex vivo study. *Australian Endodontic Journal*. 2022;48(1):98–104.
33. Kadiyala K. K., Badisa M. K., Anne G., et al. Evaluation of flexural strength of thermocycled interim resin materials used in prosthetic rehabilitation-an in-vitro study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR* . 2016;10(9):85-91.
34. Shirkavand S., Moslehifard E. Effect of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on tensile strength of dental acrylic resins. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*. 2014;8(4):197–203.
35. Alt V., Hannig M., Wöstmann B., Balkenhol M. Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CAM versus directly fabricated restorations. *Dental Materials*. 2011;27(4):339–347.
36. Asopa V., Suresh S., Khandelwal M., Sharma V., Asopa S. S., Kaira L. S. A comparative evaluation of properties of zirconia reinforced high impact acrylic resin with that of high impact acrylic resin. *The Saudi Journal for Dental Research*. 2015;6(2):146–151.

## **ANEXOS**

**Anexo N° 01. Solicitud de carta de presentación dirigido a la EAP de odontología**

Lima, 01 de noviembre del 2022

Solicito: Carta de presentación para recolectar datos para tesis de pregrado.

Dra.

Brenda Vergara Pinto

Directora de la E.A.P de odontología

Universidad Norbert Wiener

Presente. -

De mi mayor consideración:

Yo, Apomayta Hinojosa Michael, bachiller egresado de la Escuela Académico Profesional de Odontología de la Universidad Norbert Wiener, solicitó una carta de presentación dirigida al **Ing. Roberto Nick Eusebio Teherán** para acceder al LABORATORY CERTIFICATE HIGH TECHNOLOGY S.A.C (HTL) y recolectar datos para la investigación de mi tesis, para obtener el título de Cirujano Dentista titulado “microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado asociada con nanopartículas de circonio”

La asesora de la respectiva investigación es la Mg. Dina Vílchez Bellido.

Atentamente.



---

Apomayta Hinojosa Michael  
Bachiller egresado de la E.A.P. de Odontología

**Anexo N° 02 : Ficha de recolección de datos**

**TESISTA:**

**TITULO DE PROYECTO:** “MICRODUREZA SUPERFICIAL MECÁNICA DE UNA RESINA ACRÍLICA DE TERMOCURADO ASOCIADA CON NANOPARTÍCULAS DE CIRCONIO”

**Realizado en:** Laboratorio High Technology S.A.C

**Fecha:** 09 diciembre, 2022

**Operador:** Michael Apomayta Hinojosa

**Tiempo de medición:** 24 horas ( ) 48 horas ( )

N° de muestras	Resina acrílica	Resina acrílica asociada con nanopartículas de ZrO2 al 1%	Resina acrílica asociada con nanopartículas de ZrO2 al 3%
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Tiempo de medición: \_\_\_\_\_

## Anexo N° 03 Matriz de consistencia

### Título: MICRODUREZA SUPERFICIAL MECÁNICA DE UNA RESINA ACRÍLICA DE TERCURADO ASOCIADA CON NANOPARTÍCULAS DE CIRCONIO

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Diseño metodológico
<p><b>Problema general</b> ¿Cuál será la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado con nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>)?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <p>¿Cuál será la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) a las 24 y 48 horas?</p> <p>¿Cuál será la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% a las 24 y 48 horas?</p> <p>¿Cuál será la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 3% a las 24 y 48 horas?</p> <p>¿Cuál de las asociaciones de nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% o al 3% a la resina acrílica de termocurado (PMMA) presentará una mayor microdureza superficial mecánica?</p>	<p><b>Objetivos General</b> Evaluar la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado con nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>).</p> <p><b>Objetivos Específico</b> Evaluar la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) a las 24 y 48 horas. Evaluar la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% a las 24 y 48 horas. Evaluar la microdureza superficial mecánica de una resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 3% a las 24 y 48 horas. Comparar la microdureza superficial mecánica de la resina acrílica de termocurado (PMMA), resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% y 3% a las 24 y 48 horas.</p>	<p>H1: La resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% tendrá mayor microdureza superficial mecánica a la resina acrílica de termocurado (PMMA) en los periodos de 24 y 48 horas.</p> <p>H0: La resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% no tendrá mayor microdureza superficial mecánica a la resina acrílica de termocurado (PMMA) en los periodos de 24 y 48 horas.</p> <p>H2: La resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 3% tendrá mayor microdureza superficial mecánica a la resina acrílica de termocurado (PMMA) en los periodos de 24 y 48 horas. H0: La resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 3% no tendrá mayor microdureza superficial mecánica a la resina acrílica de termocurado (PMMA) en los periodos de 24 y 48 horas.</p> <p>H3: La resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 3% tendrá mayor microdureza superficial mecánica que a la resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1% H0: La resina acrílica de termocurado (PMMA) asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 3% no tendrá mayor microdureza superficial mecánica a la resina acrílica de termocurado asociado a nanopartículas de circonio (ZrO<sub>2</sub>) al 1%</p>	<p><b>Variable 1:</b> Resinas acrílicas experimentales</p> <p><b>Variable 2:</b> Microdureza Superficial mecánica</p>	<p><b>Tipo de investigación</b> experimental in vitro y prospectivo.</p> <p><b>método y diseño de la investigación</b> analítico</p> <p><b>Población y muestra</b> muestra total constituida por 60 discos experimentales.</p>

## Anexo N° 04: Prueba de campo de ensayos mecánicos en laboratorio HTL

### Anexo 4.1: Mesa de trabajo / Grupos de estudio



### Anexo 4.2: Pesaje de Resinas acrílicas experimentales



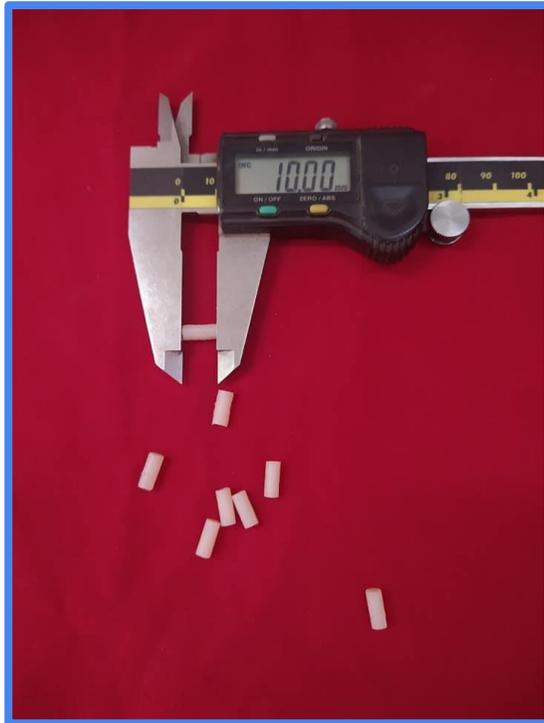
Anexo 4.2: Preparación de Resinas acrílicas experimentales / Máquina Vortex



Anexo 4.4: Elaboración de muestras por la técnica de monobloque por medio de las matrices metálicas



Anexo 4.5: Retiro de las resinas acrílicas experimentales de las matrices metálicas



Anexo 4.6: Agrupación y pulido de resinas acrílicas experimentales para su posterior análisis mecánicos



Anexo 4.7: Verificación de tamaño y dimensiones de las resinas acrílicas experimentales.  
(4mm - 6mm)



Anexo 4.8: Inicio de las pruebas de mecánicas de microdureza superficial

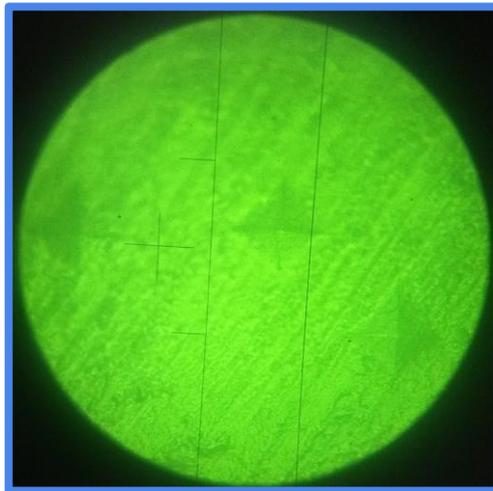


Anexo 4.9: Registro de punto máximo valor de microdureza mecánica superficial



Equipo: Microdurometro Vickers - Ozark - China.

Anexo 4.10: Registro de indentaciones de las resinas acrílicas experimentales por medio del microdurómetro Vickers



Anexo N° 05: Resultados de los ensayos mecánicos emitidos del laboratorio HIGH TECHNOLOGY



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

HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE

INFORME DE ENSAYO N°	IE-0143-2022	EDICIÓN N° 2	Página 1 de 4
<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN CEMENTOS ODONTOLÓGICOS</b>			
<b>1. TESIS</b>	<b>"MICRODUREZA SUPERFICIAL MECÁNICA DE UNA RESINA ACRÍLICA DE TERCURADO ASOCIADA CON NANOPARTÍCULAS DE CIRCONIO"</b>		
<b>2. DATOS DEL SOLICITANTE</b>			
<b>NOMBRE Y APELLIDOS</b>	APOMAYTA HINOJOSA, MICHAEL		
<b>DNI</b>	43169305		
<b>DIRECCIÓN</b>	Miraflores - Lima		
<b>DISTRITO</b>	Miraflores		
<b>3. EQUIPOS UTILIZADOS</b>			
<b>INSTRUMENTO</b>	Microdurometro Vickers – Venner Digital		
<b>MARCA</b>	LG- HV-1000		
<b>APROXIMACIÓN</b>	0.001 N		
<b>INSTRUMENTO</b>	Vernier digital de 200mm		
<b>MARCA</b>	Mitutoyo		
<b>APROXIMACIÓN</b>	0.01mm		
<b>4. RECEPCIÓN DE MUESTRAS</b>			
<b>FECHA DE INGRESO</b>	18	Noviembre	2022
<b>LUGAR DE ENSAYO</b>	Boulevard Los Mirables Nro. 1319 Lote 48 Mz. M Urb. los Jardines Segunda Etapa San Juan de Lurigancho.		
<b>CANTIDAD</b>	03 Grupos		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Muestras de Resinas acrílicas con dimensiones: 4 mm de diámetro y 6 mm de altura		
<b>IDENTIFICACIÓN</b>	Grupo 1	Resinas acrílicas asociada a nanoparticulas ZrO2 al 3%	
	Grupo 2	Resinas acrílicas asociada a nanoparticulas ZrO2 al 3%	
	Grupo 3	Resinas acrílicas comercial (Grupo control)	
<b>5. REPORTE DE RESULTADOS</b>			
<b>FECHA DE EMISIÓN DE INFORME</b>	09	Diciembre	2022

Act  
ve a



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

HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE

INFORME DE ENSAYO N°		IE-0143-2022	EDICIÓN N° 2	Página 2 de 4	
<b>6. RESULTADOS GENERADOS</b>					
Grupo 1		Resina acrílica asociada con nanopartículas ZrO <sub>2</sub> al 3% - 24 Horas			
Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo Compresión (Mpa)
1	3.99	6.00	12.50	416.66	33.33
2	3.96	6.08	12.32	414.24	35.07
3	3.97	5.98	12.38	417.59	36.43
4	4.00	6.00	12.57	427.19	31.32
5	4.03	6.00	12.76	512.85	34.35
6	4.00	5.98	12.57	421.17	39.76
7	4.01	5.97	12.63	519.04	25.77
8	4.00	6.00	12.57	514.95	38.95
9	3.99	6.03	12.50	512.27	34.91
10	4.00	6.05	12.57	428.96	33.49
Grupo 2		Resina acrílica asociada con nanopartículas ZrO <sub>2</sub> al 3% - 48 Horas			
Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo Compresión (Mpa)
11	3.94	5.97	12.19	642.75	39.78
12	4.01	6.08	12.63	536.49	33.57
13	4.00	6.00	12.57	532.58	26.76
14	3.98	6.00	12.44	568.82	37.17
15	4.00	6.00	12.57	652.51	43.75
16	4.08	6.00	13.07	651.51	39.05
17	4.03	5.98	12.76	653.12	32.69
18	3.96	6.01	12.32	511.21	33.54
19	4.00	6.01	12.57	579.52	39.39
20	3.98	5.98	12.44	610.52	34.51

HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE SAC Boulevard Los Mirables Nro. 1319 Lote 48 Mz. M Urb. Los Jardines 2da Etapa San Juan de Lurigancho Telf.: +51(01) 4065 215 - 997 123 584 Lunes a Viernes de 08:00 am - 07:00 pm - Sábados de 09:00 am - 5:00 pm E-mail: [Robet.etmec@gmail.com](mailto:Robet.etmec@gmail.com)

Acti



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

HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE

INFORME DE ENSAYO N°		IE-0143-2022		EDICIÓN N° 2		Página 3 de 4	
Grupo 3		Resina acrílica asociada con nanopartículas ZrO <sub>2</sub> al 1% - 24 Horas					
Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo Compresión (Mpa)		
1	4.01	6.00	12.63	569.50	27.86		
2	3.98	6.03	12.44	569.57	27.07		
3	3.99	5.98	12.50	584.28	26.84		
4	3.98	6.01	12.44	728.44	27.32		
5	3.98	6.00	12.44	756.50	28.35		
6	3.97	6.08	12.38	487.51	26.06		
7	4.00	5.98	12.57	689.68	25.77		
8	4.00	6.00	12.57	709.77	28.95		
9	4.01	6.03	12.63	738.41	24.91		
10	3.98	6.01	12.44	580.33	28.24		
Grupo 4		Resina acrílica asociada con nanopartículas ZrO <sub>2</sub> al 3% - 48 Horas					
Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo Compresión (Mpa)		
11	4.00	6.01	12.57	528.16	29.28		
12	3.98	5.98	12.44	533.47	23.57		
13	4.01	5.99	12.63	520.96	31.31		
14	4.03	5.97	12.76	676.24	29.14		
15	4.01	6.01	12.63	612.75	28.75		
16	4.00	6.01	12.57	611.11	29.05		
17	3.98	5.99	12.44	504.63	28.14		
18	3.98	5.98	12.44	513.43	27.05		
19	3.99	6.01	12.50	644.33	28.93		
20	4.00	5.98	12.57	640.41	29.15		

HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE SAC Boulevard Los Mirables Nro. 1319 Lote 48 Mz. M Urb. Los Jardines 2da Etapa San Juan de Lurigancho Telf.: +51(01) 4065 215 - 997 123 584 Lunes a Viernes de 08:00 am - 07:00 pm - Sábados de 09:00 am - 5:00 pm E-mail.: [Robet.etmec@gmail.com](mailto:Robet.etmec@gmail.com)

Acti



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

HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE

INFORME DE ENSAYO N°		IE-0143-2022		EDICIÓN N° 2		Página 4 de 4	
Grupo 5		Resina acrílica comercial - 24 Horas					
Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo Compresión (Mpa)		
1	4.01	6.00	12.63	569.50	21.26		
2	3.98	6.03	12.44	569.57	25.53		
3	3.99	5.98	12.50	584.28	24.49		
4	3.98	6.01	12.44	728.44	23.01		
5	3.98	6.00	12.44	756.50	22.54		
6	3.97	6.08	12.38	487.51	23.41		
7	4.00	5.98	12.57	589.68	24.36		
8	4.00	6.00	12.57	709.77	24.94		
9	4.01	6.03	12.63	638.41	23.35		
10	3.98	6.01	12.44	580.33	22.92		
Grupo 6		Resina acrílica comercial - 48 Horas					
Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo Compresión (Mpa)		
11	4.00	6.01	12.57	828.16	26.46		
12	3.98	5.98	12.44	833.47	28.42		
13	4.01	5.99	12.63	820.96	26.12		
14	4.03	5.97	12.76	876.24	25.32		
15	4.01	6.01	12.63	912.75	24.22		
16	4.00	6.01	12.57	911.11	27.40		
17	3.98	5.99	12.44	804.63	16.80		
18	3.98	5.98	12.44	813.43	24.65		
19	3.99	6.01	12.50	844.33	23.50		
20	4.00	5.98	12.57	840.41	28.38		

Velocidad de ensayo 1 mm/min / TEMPERATURA : 19 °C HUMEDAD RELATIVA : 68 %

#### 8. VALIDEZ DE INFORME

VÁLIDO SOLO PARA LA MUESTRA Y CONDICIONES INDICADAS EN EL INFORME



ROBERT NICK EUSEBIO TEHERAN  
ING. MECANICO  
LABORATORIO HTL CERTIFICATE



Ar  
Ve

## Anexo N°06: Certificado de ejecución

Folio: 057-2022



LABORATORY HIGH TECHNOLOGY (HTL)

### CERTIFICACIÓN DE EJECUCIÓN

Lima 09 de Diciembre del 2022

El que suscribe, Director del laboratorio de HIGH TECHNOLOGY LABORATORY S.A.C (HTL) deja constancia:

Es grato dirigirme a Ud. para saludarlo a nombre del LABORATORY CERTIFICATE S.A.C (HTL) y al mismo tiempo para comunicarle que la Bachiller APOMAYTA HINOJOSA, MICHAEL **identificado con el DNI 43169305** y registrado en la Universidad Privada Norbert Wiener ha ejecutado su proyecto de investigación titulado: **"MICRODUREZA SUPERFICIAL MECÁNICA DE UNA RESINA ACRÍLICA DE TERMOCURADO ASOCIADA CON NANOPARTÍCULAS DE CIRCONIO"**, durante el periodo 18 de Noviembre al 27 de Noviembre del 2022, en las instalaciones la cual represento.

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

Atte.



**Ing. Roberto Nick Eusebio Teherán**  
Director del Laboratorio  
LABORATORY CERTIFICATE HIGH TECHNOLOGY S.A.C (HTL)

## Anexo N°07: Exoneración del comité de ética

 Universidad Norbert Wiener	DECLARACIÓN JURADA (EXONERACIÓN DE REVISIÓN)	
	CÓDIGO: UPNW-EES-FOR-084	FECHA: 28/09/2022

### DECLARACIÓN JURADA (Exoneración de revisión)

Señores:

**Comité Institucional de Ética para la investigación de la Universidad Privada Norbert Wiener (UPNW)**

Presente. -

Yo, Dina Vilchez Bellido con documento de identidad N° 09937740, de Profesión cirujano dentista de la Escuela Profesional de Odontología de la Universidad Privada Norbert Wiener (UPNW), me dirijo a ustedes para hacer de su conocimiento que luego de haber revisado a profundidad el proyecto de investigación titulado "MICRODUREZA SUPERFICIAL MECÁNICA DE UNA RESINA ACRÍLICA DE TERCURADO ASOCIADA CON NANOPARTÍCULAS DE CIRCONIO", y sus respectivos anexos, del autor Apomayta Hinojosa, Michael, declaro que el presente protocolo cumple con las características para la exoneración de revisión por parte del CIEI-UPNW.

**Tipo de estudio para exoneración de revisión:** Estudios in vitro: Investigación con materiales dentales

- Se adjunta Protocolo de investigación.

#### Declaro bajo juramento:

- Tener conocimiento y aceptar los "Procedimientos para la revisión y evaluación de proyectos de investigación" del Manual de Procedimientos del Comité Institucional de ética para la investigación de la Universidad Privada Norbert Wiener (UPNW).
- Ser responsable de la veracidad de la información y documentación que se presenta.
- Ser objetivo en la revisión de los proyectos de investigación.
- Conocer las sanciones contenidas en el Reglamento del Código de ética para la investigación de la Universidad Privada Norbert Wiener (UPNW).



Nombre del asesor: **Mg. Dina Vilchez Bellido**  
DNI: 09937740  
Fecha: 5-1-2023

## Anexo N°08: Reporte de originalidad

### ● 9% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 1% 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	<b>repositorio.uwiener.edu.pe</b> Internet	4%
2	<b>repositorio.uap.edu.pe</b> Internet	<1%
3	<b>es.slideshare.net</b> Internet	<1%
4	<b>patents.google.com</b> Internet	<1%
5	<b>repositorio.usmp.edu.pe</b> Internet	<1%
6	<b>Universidad Wiener on 2022-09-15</b> Submitted works	<1%
7	<b>files.eric.ed.gov</b> Internet	<1%
8	<b>oak.ulsan.ac.kr</b> Internet	<1%