



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**

Facultad de  
**ESTOMATOLOGÍA**

**EFEECTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y TIEMPO DE ESPERA  
POSREFRIGERACIÓN EN LA POLIMERIZACIÓN DE UNA RESINA  
COMPUESTA UNIVERSAL Y UNA *BULK FILL***

**EFFECT OF ENVIRONMENTAL TEMPERATURE AND POST-  
REFRIGERATION BENCH TIME ON POLYMERIZATION OF A  
UNIVERSAL AND A BULK-FILL RESIN COMPOSITE**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE SEGUNDA ESPECIALIDAD  
PROFESIONAL EN ODONTOLOGÍA RESTAURADORA Y ESTÉTICA

**AUTOR:**

C.D DIEGO ALONSO MELENDEZ MURILLO

**ASESORA:**

MG. LEYLA ANTOINETTE DELGADO COTRINA

**CO-ASESORA**

DR. LIDIA YILENG TAY CHU JON

LIMA - PERÚ

2021



## **JURADO**

Presidente: Mg. Janett Mas López

Vocal: Mg. Natalia Henostroza Quintans

Secretario: Mg. Andrés Kenichi Noborikawa Kohatsu

Fecha de Sustentación: 01 de setiembre de 2021

Calificación: Aprobado con Honores

## **ASESORAS DE TESIS**

### **ASESORA**

Mg. Leyla Antoinette Delgado Cotrina

Departamento Académico de Clínica del Adulto

ORCID: [0000-0002-3027-178X](https://orcid.org/0000-0002-3027-178X)

### **CO-ASESORA**

Dr. Lidia Yileng Tay Chu Jon

Departamento Académico de Clínica del Adulto

ORCID: [0000-0002-1656-2804](https://orcid.org/0000-0002-1656-2804)

## **DECLARACIONES Y CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran no tener conflictos de interés

## RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

### EFFECTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y TIEMPO DE ESPERA POSREFRIGERACIÓN EN LA POLIMERIZACIÓN DE UNA RESINA COMPUESTA UNIVERSAL Y UNA BULK FILL

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>4%</b>	<b>1%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>www.scielo.org.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>pesquisa.bvsalud.org</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>www.researchgate.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Peruana Cayetano Heredia</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.unab.cl</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>www.rodyb.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>patents.google.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.unfv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

## TABLA DE CONTENIDOS

	<b>Pág.</b>
I. Introducción	1
II. Objetivos	4
III. Materiales y Métodos	5
IV. Resultados	9
V. Discusión	11
VI. Conclusiones	17
VII. Referencias bibliográficas	18
VIII. Tablas	24
Anexos	27

## RESUMEN

**Antecedentes:** La temperatura influye directamente en las propiedades mecánicas de una restauración, sobre todo en ambientes clínicos donde ésta se aleja de los 20°C o en el proceso de almacenamiento bajo refrigeración. **Objetivo:** Evaluar la influencia de la temperatura ambiental y el tiempo de espera posrefrigeración en la microdureza superficial de una resina compuesta universal y una *bulk fill*.

**Materiales y métodos:** Se confeccionaron 105 discos de 5x5x4 mm de una resina compuesta *bulk fill* y discos de 5x5x2 mm de una resina universal y nanoparticulada. Para evaluar la temperatura de la resina, ésta se polimerizó a 4°C, 20°C y 30°C y para evaluar el tiempo de espera posrefrigeración se esperó 0, 10, 20 y 30 min antes de la fotoactivación. Luego de 24 h, se registró la microdureza de Vickers en las superficies superior e inferior de los discos. Los datos se analizaron mediante test descriptivos (media y desviación estándar) y test analíticos (ANOVA/Tukey) con un nivel de confianza del 0.5%. **Resultados:** Las diferentes temperaturas ambientales y los diferentes tiempos de espera posrefrigeración no presentaron diferencias estadísticamente significativas en los grupos de resina universal y *bulk fill* ( $p > 0,05$ ). Los valores de microdureza en todos los grupos presentaron una proporción de superficies inferior/superior mayor al 80%. **Conclusión:** La temperatura ambiental y el tiempo de espera posrefrigeración no influyeron en los valores de microdureza de la resina compuesta universal y *bulk fill*, sin embargo, una temperatura ambiental de 30°C afectó positivamente la microdureza de las resina compuesta nanoparticulada.

**Palabras claves:** Resinas compuestas, dureza, temperatura, refrigeración (DeCS).

## ABSTRACT

**Background:** The temperature has a direct influence on the mechanical properties of a restoration and is especially important in clinical settings where the environmental temperature drifts away from 20°C or in the refrigerated storage process. **Objective:** To evaluate the influence of environmental temperature and post-refrigeration bench time on the surface microhardness of a universal and a bulk-fill resin composite. **Materials and methods:** Discs of 5x5x4 mm of a bulk-fill resin composite and discs of 5x5x2 mm of a universal and nanofilled resin composite were made. To evaluate the environmental temperature, the resin composite was cured at 4°C, 20°C and 30°C; and to evaluate the post-refrigeration bench time, 0, 10, 20 and 30 min were monitored before curing. After 24 h, the Vickers microhardness was recorded at the top and bottom surfaces of the discs. The data were analyzed by descriptive tests (mean and standard deviation) and analytical tests (ANOVA/Tukey) with a confidence level of 0.5%. **Results:** Different environmental temperatures and post-refrigeration bench times did not result in statistically different microhardness values in the universal and bulk-fill resin composite groups ( $p>0.05$ ). Moreover, bottom surface microhardness values in all groups presented a >80% bottom/top ratio. **Conclusions:** Environmental temperature and bench time after refrigeration did not influence the microhardness values for the universal and bulk-fill resin composites, however, an environmental temperature of 30°C positively affected the microhardness of the nanofilled resin composites.

**Key words:** Composite resins, hardness, temperature, refrigeration (DeCS).

## I. INTRODUCCIÓN

Las restauraciones con resina compuesta son ampliamente utilizadas debido a su versatilidad y adecuadas propiedades físicas (1-3). En el sector anterior, la mimetización con el diente natural, adecuada adaptación marginal y pulido son de suma importancia para realizar restauraciones imperceptibles; mientras que, en el sector posterior, es necesario un adecuado manejo de preparaciones profundas para evitar la contracción de polimerización del material. Consecuentemente, el desarrollo de nuevas formulaciones de resinas compuestas como la resina universal, con la capacidad de lograr un adecuado enmascaramiento de color con un menor número de tonalidades, por ende incrementos estratificados, y la resina *bulk fill*, con la ventaja de colocar incrementos de hasta 5 mm con una técnica monoincremental han logrado simplificar protocolos clínicos (4, 5).

Idealmente, para obtener los mejores resultados de una resina compuesta es necesaria una adecuada polimerización. Una restauración de resina compuesta presenta óptimas propiedades mecánicas, resistencia al desgaste y baja contracción volumétrica; las cuales se reflejan en un alto grado de conversión (6-8). A temperatura ambiente, alrededor de los 20°C, estos valores varían de 30% a 70% en diferentes resinas basadas en dimetracrilatos (9, 10) y muestran el porcentaje de dobles enlaces de carbono y carbono que se han convertido en enlaces simples para formar tales resinas compuestas (11). Desafortunadamente, un porcentaje de monómeros incapaces de reaccionar quedan atrapados dentro de la resina endurecida, lo cual podría modificar sus propiedades físicas (12, 13).

Factores extrínsecos como la temperatura influyen directamente en el proceso de polimerización. Cuando esta aumenta, la viscosidad del material disminuye,

brindando mayor libertad a los radicales libres para poder reaccionar con los monómeros de la matriz y formar polímeros. Asimismo, estos monómeros también presentan mayor movilidad, aumentando la reactividad de la polimerización. Consecuentemente, se obtiene mayor grado de conversión y valores altos de microdureza superficial (14-17). Asimismo, existen mejoras en la adaptación del material sobre las paredes internas de la preparación cavitaria, reduciendo potencialmente los microespacios (18).

Naturalmente, existe una diversidad de climas a nivel mundial de acuerdo con la variabilidad geográfica; sin embargo, en muchas regiones no se utilizan sistemas de climatización dentro de los consultorios dentales y las temperaturas pueden variar de valores bajo cero a valores mayores de 40 °C. Cómo estas variaciones influyen en el desempeño de una restauración y cómo brindan opciones a los profesionales en contextos extremos no ha sido estudiado.

Disminuir la temperatura influye en las propiedades reológicas de las resinas, en donde el manejo y colocación del material se ve afectado por su baja viscosidad (19, 20). Además, el proceso de polimerización también puede perjudicarse y, por ende, las propiedades mecánicas del material (17, 21). En la práctica clínica, el proceso de refrigeración está recomendado en materiales dentales debido a que aumenta el tiempo de vida del producto para su almacenamiento y transporte (21). A pesar de ello, se recomienda que la utilización de resinas compuestas refrigeradas sea a temperatura ambiente, esperando como mínimo 20 minutos para iniciar el proceso de polimerización si queremos conseguir adecuadas propiedades (22). Sin embargo, el tiempo de espera recomendado no está estandarizado debido a la variabilidad de resultados encontrados en diferentes estudios (23, 24).

Teniendo en cuenta que la temperatura a la cual una resina compuesta es polimerizada influye directamente en sus propiedades mecánicas, el propósito de este estudio es determinar la temperatura ambiental y tiempo de espera posrefrigeración de una resina compuesta universal y una *bulk fill* para una óptima polimerización.

## **II. OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar la influencia de la temperatura ambiental y el tiempo de espera posrefrigeración en la microdureza superficial de una resina compuesta universal y una *bulk fill*.

### **Objetivos específicos:**

1. Determinar la influencia de la temperatura ambiental de 4°C, 20°C y 30°C sobre la microdureza superficial de una resina compuesta universal y una *bulk fill*.
2. Comparar la microdureza superficial de una resina compuesta universal y una *bulk fill* fotoactivadas según el tiempo de espera posrefrigeración de 0 min, 10 min, 20 min y 30 min.

### **III. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **Diseño del estudio**

Experimental *in vitro*, comparativo y transversal.

#### **Muestra**

Se evaluaron una resina compuesta universal (Filtek Universal, 3M ESPE St. Paul, EE.UU.), una *bulk fill* (Filtek One Bulk Fill, 3M ESPE St. Paul, EE.UU.) y una nanoparticulada (Filtek Z350 XT, 3M ESPE St. Paul, EE.UU.) utilizada como grupo de control. La información del fabricante se muestra en la Tabla 1. Las muestras se dividieron en 9 grupos para evaluar la influencia de la temperatura ambiental y en 12 grupos para el tiempo de espera post-refrigeración. Se prepararon 5 especímenes para cada grupo, lo que dio como resultado un total de 105 especímenes.

#### **Definición operacional de variables**

- a) Temperatura ambiental: Estado del ambiente que se manifiesta en el aire y en los cuerpos en forma de calor. Variable cualitativa, nominal y politómica. Los valores son 4°C, 20°C y 30°C.
- b) Tiempo de espera posrefrigeración: Tiempo en el que un material alcanza la temperatura del medio ambiente. Variable cuantitativa, continua y de razón. Los valores son 0, 10, 20, 30 min.
- c) Microdureza superficial: Resistencia de un objeto a la deformación plástica después de someterse a una fuerza. Variable cuantitativa, continua y de razón. Los valores se obtendrán en  $\text{kgf/mm}^2$  (Microdureza de Vickers) generados por el microdurómetro.

- d) Resina Compuesta: Material compuesto utilizado para restaurar la estructura dental perdida. Variable tipo cualitativa, nominal y dicotómica según la marca son Filtek Universal y Filtek One Bulk Fill.

### **Procedimientos y técnicas**

- a) Acondicionamiento de la temperatura de la resina

Para evaluar la influencia de la temperatura ambiental, las jeringas de resina compuesta se expusieron a 3 temperaturas diferentes: 4°C, 20°C y 30°C. Cuando se realizaron las pruebas a 4°C, el material se almacenó en un refrigerador convencional (LG Top Mount LT51SGD, LG Corporation, Seúl, Corea del Sur) durante 7 días antes de realizar las muestras. La temperatura ambiental a 20°C estuvo representada por la temperatura ambiente en el momento del estudio ( $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ); y para 30°C, se utilizó una incubadora de temperatura constante (WP-25AB, Huanghua Faithful Instrument Co., Cangzhou, China) donde se mantuvo el material durante 7 días.

Para evaluar la influencia del tiempo de espera posrefrigeración, las resinas compuestas se almacenaron durante 7 días bajo refrigeración (LG Top Mount LT51SGD, LG Corporation, Seúl, Corea del Sur) a 4°C hasta el momento del experimento. Una vez sacado del refrigerador, se controló un tiempo de espera de 0 min, 10 min, 20 min o 30 min con un cronómetro digital a una temperatura ambiente de 20°C proporcionada mediante un sistema de aire acondicionado (SOLAIR009, Sole, Lima, Perú) antes de confeccionar los especímenes.

- b) Confección de los especímenes

Se prepararon 105 discos de resina compuesta con una matriz cilíndrica de acero inoxidable hecha a medida con un tamaño promedio de 5 x 5 x 2 mm para Filtek

Universal y Filtek Z350 XT (3M ESPE, St. Paul, EE.UU.) mientras que 5 x 5 x 4 mm para Filtek One Bulk Fill (3M ESPE, St. Paul, EE.UU.). Se colocó un cartón negro en una superficie plana y sobre esta, una placa de vidrio. A continuación, la placa de vidrio se cubrió con una cinta matriz sobre la que se apoyó la matriz metálica. Previamente se aplicó vaselina líquida con un hisopo para facilitar la extracción de los discos. Se colocó el material en un solo incremento con una espátula para resina (Hu-Friedy Mfg. Co., Chicago, EE.UU.); luego se cubrió con otra cinta matriz y una placa de vidrio. Se utilizó una pesa de 1 kg sobre el conjunto durante 30 s para eliminar los residuos y obtener una superficie lisa. Después, se retiró la placa de vidrio y se procedió al curado utilizando una lámpara de polimerización LED Valo Cordless (Ultradent, South Jordan, EE.UU.) con una irradiancia de  $1000 \text{ mW/cm}^2$  durante 20 s (modo de potencia estándar). En todos los procedimientos no hubo distancia entre la punta de la lámpara de polimerización LED y la cinta matriz situada sobre la superficie de la resina compuesta. Por último, las muestras se almacenaron en un recipiente oscuro y seco durante 24 horas para completar la polimerización post-irradiación.

c) Evaluación de la microdureza superficial

Se registraron cuatro indentaciones con una distancia de aproximadamente 0,5 mm en cada superficie (superior e inferior) y se calculó el valor promedio de microdureza de Vickers después de 24 horas. Se utilizó un microdurómetro (HV-100, Liangong Group, Qihe, China) con una carga de 0,1 kgf por 30 s.

### **Aspectos éticos del estudio**

Por ser un estudio experimental *in vitro* que no involucra humanos ni animales, se presentó a la DUICT para su aprobación y se solicitó una autorización para la evaluación de la microdureza superficial en laboratorio Hight Technology Certificate y al Laboratorio de Materiales dentales de la Facultad de Estomatología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

### **Plan de análisis**

Los datos de microdureza superficial se analizaron con el programa estadístico SPSS v24.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, EE.UU.). Se realizó un análisis descriptivo (media y desviación estándar). Se utilizó la prueba estadística de Shapiro-Wilk para determinar la distribución normal y una prueba de ANOVA/Tukey para comparar los valores promedio de la microdureza de Vickers entre los grupos. Se utilizó la prueba t de Student para comparar los valores promedio de las mediciones superiores e inferiores. Se consideró un nivel de confianza del 95% y  $p < 0,05$ .

#### IV. RESULTADOS

Los valores promedio y las desviaciones estándar de los valores de la microdureza de Vickers para los grupos que evaluaron diferentes temperaturas ambientales se muestran en la Tabla 2. En el caso de los grupos de resina compuesta universal, los resultados indicaron que existe una diferencia estadísticamente significativa en los valores de microdureza de la superficie superior a medida que la temperatura aumenta de 4° C a 30° C ( $p < 0,05$ ), sin embargo, los valores en las superficies inferiores no mostraron ninguna diferencia significativa ( $p > 0,05$ ). En el caso de los grupos de resina compuesta *bulk fill*, los valores de microdureza no presentaron una diferencia significativa en las superficies superiores ni en las inferiores ( $p > 0,05$ ). La resina compuesta nanoparticulada preparada a 30° C mostró diferencias significativas en ambas superficies ( $p < 0,05$ ).

Se puede observar que el grupo de resina compuesta nanoparticulada tenía valores de microdureza superiores a 4° C, 20° C y 30° C ( $p < 0,05$ ). Mientras que los valores más bajos en las superficies superior e inferior se encuentran a 4° C en los grupos de resina compuesta universal y *bulk fill*, respectivamente.

En la tabla 3 se muestran los valores promedio y las desviaciones estándar de las mediciones de la microdureza de Vickers para los grupos que evaluaron diferentes tiempos de espera posrefrigeración. Se encontró que no hubo diferencias estadísticamente significativas en los valores de microdureza dentro de los grupos de resina compuesta universal y *bulk fill* a 0, 10, 20 y 30 min de espera en las superficies superiores e inferiores ( $p > 0,05$ ). Mientras tanto, las muestras preparadas con un tiempo de espera de 0 y 30 min dentro del grupo de resina compuesta

nanoparticulada presentaron diferencias significativas en el valor de la microdureza de la superficie superior ( $p < 0,05$ ).

El grupo de la resina compuesta nanoparticulada presentó valores de microdureza en las superficies superior e inferior estadísticamente más altos a los 0, 10, 20 y 30 min de tiempo de espera ( $p < 0,05$ ), mientras que los valores más bajos en las superficies superior e inferior pertenecen a los 0 min de tiempo de espera en los grupos de resina compuesta universal y *bulk fill*, respectivamente.

Asimismo, existen diferencias estadísticamente significativas al comparar los valores de microdureza de las superficies superiores e inferiores de todos los grupos ( $p < 0,05$ ). Los valores de la superficie inferior en todos los grupos experimentales que evaluaron diferentes temperaturas ambientales y tiempos de espera posrefrigeración presentaron una proporción inferior/superior mayor al 80%, entre ellos, el grupo de resina *bulk fill* mostró los valores más bajos (Tabla 2 y 3).

## V. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue evaluar cómo la temperatura puede influir en el rendimiento de las resinas compuestas, ya sea por la diversidad climática o por los diferentes tiempos de espera tras el almacenamiento en refrigeración. Según los resultados, a pesar del aumento global de la microdureza con las tres temperaturas utilizadas, los valores de los grupos de resina compuesta *bulk fill* no presentaron diferencias significativas tanto en las superficies superiores como en las inferiores ( $p>0,05$ ), así como el grupo de resina compuesta universal en las superficies inferiores ( $p>0,05$ ), mientras que la resina nanoparticulada sí presentó una diferencia significativa a 30°C y los valores más altos de microdureza ( $p<0,05$ ). Muchos estudios que evaluaron las resinas compuestas nanoparticuladas concluyen que existe una diferencia estadísticamente significativa en los valores de microdureza a medida que aumenta la temperatura (15, 22, 25, 26), pero una extrapolación directa de esta relación a todas las resinas compuestas puede no ser válida debido a las diferencias en su composición y sus interacciones químicas resultantes. Las tres resinas compuestas utilizadas en este estudio tienen exactamente el mismo tamaño de partícula de relleno y la misma composición de sílice, circonio y un clúster agregado de circonio/sílice, sin embargo, la resina nanoparticulada presenta un mayor contenido de relleno (78,5% en peso y 63,3% en volumen) en comparación con la universal y *bulk fill* (76,5% en peso y 58,4% en volumen). Las partículas de relleno son 10 veces más duras que la matriz orgánica, por lo que el aumento de la dureza de una resina compuesta puede deberse a una mayor concentración de carga de relleno (27). Además, el trifluoruro de iterbio, que es un elemento de la serie de los lantánidos con un elevado número

atómico ( $z = 71$ ), se ha añadido a la resina universal y *bulk fill* para absorber y reflejar más rayos X, proporcionando un alto nivel de radiopacidad. Sin embargo, se demostró que la adición de trifluoruro de iterbio a los materiales resinosos no influía en sus propiedades mecánicas, como la microdureza (28).

Los resultados encontrados en este estudio podrían estar relacionados con las novedosas modificaciones en la química de la matriz de las resinas universales y *bulk fill* que se basan en la incorporación de monómeros como el dimetacrilato de uretano aromático (AUDMA), y los monómeros de adición-fragmentación (AFM) como sustituto del Bis-GMA, conocido por su alta viscosidad (1100 Pa/s a temperatura ambiente) y la potencial presencia de Bisfenol A (BPA) como producto de degradación (29). Los enlaces adaptables covalentes (EAC) alivian la tensión que se acumula progresivamente tras el curado, ya que permiten que la estructura se adapte cuando se somete a estímulos específicos. Una vez que se aplica un estímulo, los enlaces covalentes de la red se rompen, se relajan y se reorganizan para formar nuevos enlaces y liberar la tensión, proceso conocido como fotoplasticidad. El AFM adopta el enfoque de enlaces reversibles descrito en el mecanismo de los EAC para ayudar a aliviar la tensión durante la polimerización (30). Por otro lado, el AUDMA es un monómero alternativo en las resinas compuestas con una viscosidad 100 veces menor que el Bis-GMA (11 Pa/s a temperatura ambiente), carece de BPA y contribuye a una formación de enlaces más eficiente debido a su flexibilidad, ya que no establece el mismo enlace de hidrógeno intermolecular que el BisGMA (31). Szczesio-Wlodarczyk *et al.* evaluaron los valores de dureza de diferentes resinas basadas en AUDMA. El valor más alto fue demostrado por la matriz de UDMA/TEGDMA y el más bajo por la de Bis-

GMA/TEGDMA, dado que el UDMA tiene una viscosidad más baja y es más flexible que el Bis-GMA, conduce a una mayor conversión y a una red polimérica más densa (32). Sin embargo, Rizzante *et al.* evaluaron los valores de microdureza de una resina *bulk fill* que contenía AUDMA y una resina nanoparticulada. Los resultados presentaron valores estadísticamente más elevados para la resina nanoparticulada debido principalmente a la correlación entre la microdureza y el contenido de relleno, mostrando un aumento de la microdureza a medida que aumenta la cantidad de relleno (33).

Aunque la mayoría de los estudios que evalúan la microdureza coinciden con nuestros resultados, Fugolin *et al.* encontraron que la combinación de UDMA-TEGDMA mostraba un mayor grado de conversión que el BisGMA-TEGDMA, ya que el sistema UDMA-TEGDMA carece del núcleo central rígido y del fuerte enlace de hidrógeno intermolecular que se encuentra en el BisGMA, lo que permite una mayor movilidad molecular y, en consecuencia, promueve el movimiento de los radicales incluso en etapas tardías de la conversión (29). Por otro lado, Shah *et al.* llegaron a la conclusión de que la adición de AFM da lugar a la reducción de la tasa de polimerización y de la conversión final de dobles enlaces debido a la producción de especies radicales con mayor estabilidad (34). Elshazly *et al.* y Goncalves *et al.* evaluaron el grado de conversión de una resina *bulk fill* que contenía AUDMA y AFM, y lo compararon con una resina nanoparticulada con un sistema de relleno similar, resultando en un mayor grado de conversión para la resina *bulk fill* (35, 36).

Aparentemente, las especies alternativas de monómeros como el AUDMA y el AFM pueden no verse afectadas por la temperatura y son capaces de reaccionar

ampliamente con otros monómeros y producir un mayor grado de conversión, sin embargo, nuestros resultados muestran que el aumento del contenido de relleno en las resinas nanoparticuladas dio lugar a mayores valores de microdureza, lo que coincide con la literatura. Además, el efecto de la temperatura sobre el Bis-GMA parece ser lo suficientemente fuerte como para disminuir su viscosidad y producir valores más altos de microdureza. El grado de conversión y, en consecuencia, las propiedades mecánicas, como la microdureza superficial, mejoran a temperaturas más elevadas, ya que se produce un aumento de la movilidad molecular y una menor viscosidad del material (37). Las reacciones fotoquímicas de las resinas compuestas se producen al reaccionar la luz azul incluso a bajas temperaturas; sin embargo, a medida que ésta aumenta, las moléculas ganan suficiente energía para incrementar la frecuencia de colisión de los radicales libres y los monómeros sin reaccionar. Además, se produce un aumento en las dimensiones del espacio disponible, lo que da a los radicales atrapados una movilidad adicional en un entorno menos rígido (38).

En cuanto al efecto de la refrigeración en función del tiempo sobre los valores de la microdureza, se observó que no hubo diferencias estadísticamente significativas dentro de los grupos de resina universal y *bulk fill* a 0, 10, 20 y 30 min de espera en las superficies superiores e inferiores ( $p > 0,05$ ), mientras que las muestras de resina nanoparticulada preparadas en un tiempo de espera de 0 y 30 min presentaron diferencias significativas solo en el valor de microdureza de la superficie superior ( $p < 0,05$ ). Este hallazgo puede explicarse por la diferencia de viscosidad causada por el proceso de refrigeración. La consistencia de las resinas compuestas almacenadas en frigoríficos es más rígida, disminuyendo el movimiento de los

monómeros y alterando el proceso de polimerización. Sin embargo, con el paso del tiempo, el ajuste de la temperatura a la temperatura ambiente proporcionará una consistencia más suave y mejores propiedades mecánicas debido al mencionado aumento de la energía de la frecuencia de colisión de los radicales libres y los grupos sin reaccionar (22, 25, 26, 36). En este sentido, Harahap *et al.* también evaluaron el efecto de un tiempo de espera de 0, 15, 30, 45 y 60 min sobre los valores de microdureza de una resina nanoparticulada y no encontraron diferencias significativas entre los grupos ( $p > 0,05$ ) (23). Aunque la tendencia de mayores valores de microdureza a tiempos de espera más largos sigue siendo similar en el estudio de Harahap *et al.*, la diferencia estadísticamente significativa en el valor de microdureza de la superficie superior presentadas en nuestro estudio por la resina nanoparticulada podría ser el resultado de una irradiación proporcionada por la lámpara Valo, que conduce a valores de temperatura más altos en la punta, estos podrían haber ayudado a acelerar la polimerización de la superficie superior. Otro factor es el proceso de estabilización de la temperatura durante la preparación de la muestra. Daronch *et al.* evaluaron el cambio de temperatura en resinas compuestas y concluyeron que un retraso de 4,5 segundos después de retirar la jeringa del dispositivo de calentamiento podría causar una diferencia de 3°C (39). Aunque la temperatura ambiente se estandarizó estrictamente en este estudio a 20°C mediante un sistema de aire acondicionado, el tiempo de preparación de los discos de resina compuesta y el tiempo de exposición pueden haber cambiado la temperatura final. Estos resultados refuerzan la idea de que la resina nanoparticulada mejora sus propiedades mecánicas a temperaturas más altas.

Las superficies superiores de los grupos que evaluaron diferentes temperaturas y tiempos de espera mostraron valores de microdureza significativamente mayores en comparación con las superficies inferiores ( $p < 0,05$ ), lo que puede explicarse por la atenuación de la luz a medida que viaja a través de la resina (39). Este fenómeno se basa en la ley de Lambert-Beer, que establece que la energía luminosa que incide en la superficie de un material se ve afectada por un coeficiente de atenuación al intentar atravesarlo, el cual es proporcional a las características físicas del propio material (40). Además, las proporciones de microdureza entre la superficie inferior y la superior resultaron en valores superiores al 80% en todos los grupos. Esta relación porcentual entre las dos superficies indica un valor fiable para la profundidad de curado cuando la microdureza de la superficie inferior es igual al 80-90% de la microdureza de la superficie superior de la restauración (41). De tal modo, el grupo de resinas compuestas universal y nanoparticulada mostraron las proporciones de las superficies inferior/superior más altas comparadas con el grupo de la resina *bulk fill*. Si bien el tiempo de exposición recomendado por el fabricante para una resina *bulk fill*, y el usado en este estudio, es de 20 segundos; el tiempo recomendado para una resina universal y nanoparticulada es solo de 10 segundos. Así, se consiguió una mayor densidad de energía radiante para estas dos resinas y, como consecuencia, las moléculas de alcanforquinona no excitadas pueden reaccionar en las capas más profundas de la resina, aumentando el grado de conversión y, por tanto, la microdureza y las proporciones de las superficies inferior/superior (42). A pesar de los resultados encontrados en este estudio, algunos autores consideran que un valor de microdureza superior a 50 HV se considera ideal para las resinas compuestas (43, 44).

De acuerdo con los resultados, y dentro de las limitaciones de este estudio *in vitro*, la temperatura puede influir en las propiedades físicas de una restauración de resina compuesta nanoparticulada. Se requieren más estudios para correlacionar la microdureza de la superficie y el grado de conversión de las resinas compuestas que contienen AUDMA y AFM y el efecto potencial de la temperatura en la cinética de polimerización de esos materiales.

## **VI. CONCLUSIONES**

La temperatura ambiental y el tiempo de espera posrefrigeración no influyeron en los valores de microdureza de la resina compuesta universal y *bulk fill*, sin embargo, una temperatura ambiental de 30°C afectó positivamente la microdureza de las resina compuesta nanoparticulada.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Yadav R, Kumar M. Dental restorative composite materials: A review. *J Oral Biosci.* 2019 Jun;61(2):78-83.
- 2) Opdam NJ, van de Sande FH, Bronkhorst E, Cenci MS, Bottenberg P, Pallesen U, et al. Longevity of posterior composite restorations: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res.* 2014 Oct;93(10):943-9.
- 3) Ástvaldsdóttir Á, Dagerhamn J, van Dijken JW, Naimi-Akbar A, Sandborgh-Englund G, Tranæus S, et al. Longevity of posterior resin composite restorations in adults – A systematic review. *J Dent.* 2015 Aug;43(8):934-54.
- 4) Sulaiman TA, Rodgers B, Suliman AA, Johnston WM. Color and translucency stability of contemporary resin-based restorative materials. *J Esthet Restor Dent.* 2020 Aug 14.
- 5) Tardem C, Albuquerque EG, Lopes LS, Marins SS, Calazans FS, Poubel LA, et al. Clinical time and postoperative sensitivity after use of bulk-fill (syringe and capsule) vs. incremental filling composites: a randomized clinical trial. *Braz Oral Res.* 2019 Sep 16;33(0):089.
- 6) Rasines Alcaraz MG, Veitz-Keenan A, Sahrman P, Schmidlin PR, Davis D, Iheozor-Ejiofor Z. Direct composite resin fillings versus amalgam fillings for permanent or adult posterior teeth. *Cochrane Database Syst Rev.* 2014 Mar 31;(3):CD005620.
- 7) Dewaele M, Truffier-Boutry D, Devaux J, Leloup G. Volume contraction in photocured dental resins: the shrinkage–conversion relationship revisited. *Dental Materials* 2006;22:359–65.

- 8) Jang YS, Nguyen TT, Ko YH, Lee DW, Baik BJ, Lee MH et al. In vitro wear behavior between enamel cusp and three aesthetic restorative materials: Zirconia, porcelain, and composite resin. *J Adv Prosthodont*. 2019 Feb;11(1):7-15.
- 9) Tauböck TT, Tarle Z, Marovic D, Attin T. Pre-heating of high-viscosity bulk-fill resin composites: effects on shrinkage force and monomer conversion. *J Dent*. 2015 Nov;43(11):1358-64.
- 10) Calheiros FC, Daronch M, Rueggeberg FA, Braga RR. Effect of temperature on composite polymerization stress and degree of conversion. *Dent Mater*. 2014 Jun;30(6):613-8.
- 11) Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. Resin-based composites. En: Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. *Phillips's Science of Dental Materials*. 12a ed. St. Louis (MI): Elsevier Saunders; 2013. p. 275-306.
- 12) Haenel T, Hausnerová B, Steinhaus J, Price RB, Sullivan B, Moeginger B. Effect of the irradiance distribution from light curing units on the local micro-hardness of the surface of dental resins. *Dent Mater*. 2015 Feb;31(2):93-104.
- 13) Pongprueksa P, De Munck J, Duca RC, Poels K, Covaci A, Hoet P et al. Monomer elution in relation to degree of conversion for different types of composite. *J Dent*. 2015 Dec;43(12):1448-55.
- 14) Elkaffas AA, Eltoukhy RI, Elnegoly SA, Mahmoud SH. The effect of preheating resin composites on surface hardness: a systematic review and meta-analysis. *Restor Dent Endod*. 2019 Oct 29;44(4):41.

- 15) AlShaafi MM. Effects of Different Temperatures and Storage Time on the Degree of Conversion and Microhardness of Resin-based Composites. *J Contemp Dent Pract.* 2016 Mar 1;17(3):217-23.
- 16) Price RB, Whalen JM, Price TB, Felix CM, Fahey J. The effect of specimen temperature on the polymerization of a resin-composite. *Dent Mater.* 2011 Oct;27(10):983-9.
- 17) Palin WM, Hadis MA, Leprince JG, Leloup G, Boland L, Fleming GJ et al. Reduced polymerization stress of MAPO-containing resin composites with increased curing speed, degree of conversion and mechanical properties. *Dent Mater.* 2014 May;30(5):507-16.
- 18) Deb S, Di Silvio L, Mackler HE, Millar BJ. Pre-warming of dental composites. *Dent Mater.* 2011 Apr;27(4):51-9.
- 19) Kaleem M, Satterthwaite JD, Watts DC. A method for assessing force/work parameters for stickiness of unset resin-composites. *Dent Mater.* 2011;27(8):805-10.
- 20) Lee JH, Um CM, Lee IB. Rheological properties of resin composites according to variations in monomer and filler composition. *Dent Mater.* 2006;22(6):515-26.
- 21) Chaves FO, Farias NC, Medeiros LM, Alonso RC, Di Hipólito V, D'Alpino PH. Mechanical properties of composites as functions of the syringe storage temperature and energy dose. *J Appl Oral Sci.* 2015 Mar-Apr;23(2):120-8.
- 22) Quintanilla R. Comparación de la microdureza superficial in vitro de una resina compuesta fotoactivada a diferentes temperaturas y tiempos de climatización [Maestría]. Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2016.

- 23) Harahap KI, Yudhit A, Sari, FR. Effect of Bench Time on Surface Hardness of Nanofiller Composite Resin. *International Journal of Dental Sciences and Research*. 2019; 7(1), 18-20.
- 24) Osternack FH, Caldas DB, Rached RN, Vieira S, Platt JA, Almeida JB. Impact of refrigeration on the surface hardness of hybrid and microfilled composite resins. *Braz Dent J*. 2009;20(1):42-7.
- 25) Dionysopoulos D, Papadopoulos C, Koliniotou-Koumpia E. Effect of temperature, curing time, and filler composition on surface microhardness of composite resins. *J Conserv Dent*. 2015 Mar-Apr;18(2):114-8.
- 26) Ayub KV, Santos GC Jr, Rizkalla AS, Bohay R, Pegoraro LF, Rubo JH, Santos MJ. Effect of preheating on microhardness and viscosity of 4 resin composites. *J Can Dent Assoc*. 2014;80:12.
- 27) Lawson NC, Burgess JO. Wear of nanofilled dental composites at varying filler concentrations. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2015;103(2):424-9.
- 28) Collares FM, Ogliari FA, Lima GS, Fontanella VR, Piva E, Samuel SM. Ytterbium trifluoride as a radiopaque agent for dental cements. *Int Endod J*. 2010 Sep;43(9):792-7.
- 29) Fugolin AP, de Paula AB, Dobson A, Huynh V, Consani R, Ferracane JL et al. Alternative monomer for BisGMA-free resin composites formulations. *Dent Mater*. 2020 Jul;36(7):884-92.
- 30) Kloxin CJ, Bowman CN. Covalent adaptable networks: smart, reconfigurable and responsive network systems. *Chem Soc Rev*. 2013 Sep 7;42(17):7161-73.

- 31) Lemon MT, Jones MS, Stansbury JW. Hydrogen bonding interactions in methacrylate monomers and polymers. *J Biomed Mater Res Part A*. 2007;83(3):734–46.
- 32) Szczesio-Włodarczyk A, Domarecka M, Kopacz K, Sokolowski J, Bociog K. An Evaluation of the Properties of Urethane Dimethacrylate-Based Dental Resins. *Materials (Basel)*. 2021 May 21;14(11):2727.
- 33) Rizzante FAP, Duque JA, Duarte MAH, Mondelli RFL, Mendonça G, Ishikiriama SK. Polymerization shrinkage, microhardness and depth of cure of bulk fill resin composites. *Dent Mater J*. 2019 Jun 1;38(3):403-10.
- 34) Shah PK, Stansbury JW, Bowman CN. Application of an Addition-Fragmentation-Chain Transfer Monomer in Di(meth)acrylate Network Formation to Reduce Polymerization Shrinkage Stress. *Polym Chem*. 2017 Aug 14;8(30):4339-51.
- 35) Elshazly TM, Bourauel C, Aboushelib MN, Sherief DI, El-Korashy DI. The polymerization efficiency of a bulk-fill composite based on matrix-modification technology. *Restor Dent Endod*. 2020 May 29;45(3):32.
- 36) Gonçalves F, Campos LMP, Rodrigues-Júnior EC, Costa FV, Marques PA, Francci CE, Braga RR, Boaro LCC. A comparative study of bulk-fill composites: degree of conversion, post-gel shrinkage and cytotoxicity. *Braz Oral Res*. 2018 Mar 8;32:17.
- 37) Elkaffas AA, Eltoukhy RI, Elnegoly SA, Mahmoud SH. The effect of preheating resin composites on surface hardness: a systematic review and meta-analysis. *Restor Dent Endod*. 2019 Oct 29;44(4):41.

- 38) Daronch M, Rueggeberg FA, De Goes MF. Monomer conversion of pre-heated composite. *J Dent Res*. 2005 Jul;84(7):663-7.
- 39) Daronch M, Rueggeberg FA, Moss L, de Goes MF. Clinically relevant issues related to preheating composites. *J Esthet Restor Dent*. 2006;18(6):340-50.
- 40) Steinhaus J, Moeginger B, Grossgarten M, Rosentritt M, Hausnerova B. Dielectric analysis of depth dependent curing behavior of dental resin composites. *Dent Mater*. 2014 Jun;30(6):679-87.
- 41) Bouschlicher MA, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent* 2004;29:698- 704.
- 42) Chaves LVF, Oliveira SN, Özcan M, Acchar W, Caldas MRGR, Assunção IV, Souza ROAE, Borges BCD. Interfacial Properties and Bottom/Top Hardness Ratio Produced by Bulk Fill Composites in Dentin Cavities. *Braz Dent J*. 2019 Oct 7;30(5):476-83.
- 43) Galvão MR, Caldas SGFR, Bagnato VS, De Souza Rastelli AN, De Andrade MF. Evaluation of Degree of Conversion and Hardness of Dental Composites Photo-Activated with Different Light Guide Tips. *Eur J Dent*. 2013;7(1):86-93.
- 44) Sharkey S, Ray N, Burke F, Ziada H, Hannigan A. Surface hardness of light-activated resin composites cured by two different visible-light sources: an in vitro study. *Quintessence Int* 2001;32:401-5.

## VIII. TABLAS

Tabla 1: Información del fabricante de las resinas compuestas evaluadas.

Material	Classificación	Tono	Composición	Fabricante	Lote
Filtek Universal	Resina compuesta universal	A2	Matriz: AUDMA, AFM, diuretano-DMA y 1,12-dodecano-DMA. Relleno: Sílice de 20 nm, zirconio de 4 a 11 nm, relleno agrupado de sílice/zirconio, trifluoruro de iterbio de 100 nm (76,5% por peso y 58,4% por volumen). Fotoiniciador: Alcanforquinona	3M ESPE St. Paul, EE.UU.	NE05659
Filtek One Bulk Fill	Resina compuesta <i>bulk fill</i>	A2	Matriz: AUDMA, AFM, diuretano-DMA y 1,12-dodecano-DMA. Relleno: Sílice de 20 nm, zirconio de 4 a 11 nm, relleno agrupado de sílice/zirconio, trifluoruro de iterbio de 100 nm (76,5% por peso y 58,4% por volumen). Fotoiniciador: Alcanforquinona	3M ESPE St. Paul, EE.UU.	NC75409
Filtek Z350 XT	Resina compuesta nanoparticulada	A2	Matriz: bis-GMA, UDMA, TEGDMA, PEGDMA y bis-EMA. Relleno: Sílice de 20 nm, zirconio de 4 a 11 nm. Partículas agrupadas promedio de 0,6 a 10 micras (78,5% por peso y 63,3% por volumen). Fotoiniciador: Alcanforquinona	3M ESPE St. Paul, EE.UU.	NE03548

Tabla 2. Media y desviación estándar de los valores de microdureza de Vickers para los grupos que evaluaron diferentes temperaturas ambientales.

Resina compuesta	Temperatura ambiental	Superior	Inferior	Proporción Inf/Sup
		Media (DE)	Media (DE)	
Resina compuesta universal	4° C	54.30 (1.01) <sup>a</sup>	51.30 (2.20) <sup>abc</sup>	94.48 %
	20° C	55.15 (0.78) <sup>b</sup>	52.94 (1.14) <sup>bc</sup>	95.99 %
	30° C	59.23 (1.22) <sup>c</sup>	53.12 (0.76) <sup>c</sup>	89.68 %
Resina compuesta <i>bulk fill</i>	4° C	57.30 (0.67) <sup>bc</sup>	47.10 (1.18) <sup>a</sup>	82.2 %
	20° C	58.20 (1.18) <sup>c</sup>	47.50 (3.41) <sup>a</sup>	81.62 %
	30° C	58.88 (0.98) <sup>c</sup>	48.76 (1.83) <sup>ab</sup>	82.81 %
Resina compuesta nanoparticulada	4° C	74.54 (0.21) <sup>d</sup>	69.64 (3.45) <sup>d</sup>	93.43 %
	20° C	75.92 (2.54) <sup>d</sup>	70.02 (1.76) <sup>d</sup>	92.23 %
	30° C	79.19 (1.94) <sup>e</sup>	74.42 (0.78) <sup>e</sup>	93.98 %

\*Diferentes superíndices indican diferencias estadísticamente significativas.

Table 3. Media y desviación estándar de los valores de microdureza de Vickers para los grupos que evaluaron diferentes tiempos de espera posrefrigeración.

Resina compuesta	Tiempo de espera	Superior	Inferior	Proporción Inf/Sup
		Media (DE)	Media (DE)	
Resina compuesta universal	0 min	54.48 (1.03) <sup>a</sup>	51.36 (1.17) <sup>a</sup>	94.27 %
	10 min	54.77 (0.72) <sup>ab</sup>	52.85 (0.81) <sup>a</sup>	96.49 %
	20 min	56.19 (0.82) <sup>abc</sup>	52.92 (1.65) <sup>a</sup>	94.18 %
	30 min	57.12 (0.99) <sup>abc</sup>	53.51 (2.87) <sup>a</sup>	93.68 %
Resina compuesta <i>bulk fill</i>	0 min	57.20 (1.23) <sup>abc</sup>	51.30 (2.05) <sup>a</sup>	89.69 %
	10 min	57.50 (0.61) <sup>abc</sup>	51.80 (0.59) <sup>a</sup>	90.09 %
	20 min	58.10 (1.11) <sup>bc</sup>	52.00 (1.26) <sup>a</sup>	89.50 %
	30 min	58.70 (1.93) <sup>c</sup>	53.40 (1.28) <sup>a</sup>	90.97 %
Resina compuesta nanoparticulada	0 min	73.22 (2.10) <sup>d</sup>	68.41(4.53) <sup>b</sup>	93.43 %
	10 min	74.62 (3.46) <sup>de</sup>	68.60 (2.98) <sup>b</sup>	91.93 %
	20 min	76.60 (2.03) <sup>de</sup>	69.44 (1.57) <sup>b</sup>	90.65 %
	30 min	77.58 (1.55) <sup>e</sup>	71.00 (3.15) <sup>b</sup>	91.52 %

\*Diferentes superíndices indican diferencias estadísticamente significativas.

## ANEXOS

Cuadro de operacionalización de variables.

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Tipo / escala</b>	<b>Valores</b>
Temperatura ambiental	Estado del ambiente que se manifiesta en el aire y en los cuerpos en forma de calor	Temperatura programada por la estufa	Medio empleado para la variación de temperatura	Cualitativa politómica nominal	4°, 20°, 30°
Tiempo de espera posrefrigeración	Tiempo en el que un material alcanza la temperatura del medio ambiente	Temperatura medida por el termómetro	Cronómetro expresado en minutos	Cuantitativa Continua De razón	0, 10, 20, 30 min
Microdureza superficial	Resistencia de un objeto a la deformación plástica después de someterse a una fuerza	Medición de la indentación dejada en un cuerpo de prueba por el microdurómetro de Vickers	Microdurómetro que genera valores de Microdureza de Vickers (HV)	Cuantitativa Continua De razón	kgf/mm <sup>2</sup>
Resina Compuesta	Material restaurador compuesto utilizado para restaurar la estructura dental perdida.	Resinas compuestas modificadas para disminuir el tiempo de trabajo clínico	Tipo de resina seleccionada	Cualitativa Politómica Nominal	Filtek Universal Filtek One Bulk Fill Filtek Z350 XT