



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

“EVALUACIÓN DEL GRADO DE
CONVERSIÓN DE UNA RESINA
COMPUESTA FOTOACTIVADA A
BAJAS TEMPERATURAS EN
DIFERENTES PROTOCOLOS DE
POLIMERIZACIÓN”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRO EN ESTOMATOLOGÍA

RICARDO ANDRE ALARCON CRUZADO

LIMA – PERÚ

2024

ASESOR

Mg. Leyla Antoinette Delgado Cotrina

CO ASESOR

Mg. José Alberto Castañeda Vía

JURADO DE TESIS

DRA. LIDIA YILENG TAY CHU JON

PRESIDENTA

MG. PABLO ARMANDO CHAVEZ ALAYO

VOCAL

MG. JOHANNA LIZBETH CUADROS SANCHEZ

SECRETARIA

DEDICATORIA.

A mis padres Joel y Betty por darme la vida y acompañarme en este largo camino como profesional y a mi mamita Amabilia por educarme y enseñarme a ir siempre para adelante.

AGRADECIMIENTOS.

A mi asesora la Dra. Leyla Delgado por guiarme en este trabajo.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Tesis Autofinanciada.

EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONVERSIÓN DE UNA RESINA COMPUESTA FOTOACTIVADA A BAJAS TEMPERATURAS EN DIFERENTES PROTOCOLOS DE POLIMERIZACIÓN

ORIGINALITY REPORT

17% SIMILARITY INDEX	16% INTERNET SOURCES	4% PUBLICATIONS	5% STUDENT PAPERS
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------	-----------------------------

PRIMARY SOURCES

1	repositorio.upch.edu.pe Internet Source	6%
2	Submitted to Universidad Peruana Cayetano Heredia Student Paper	2%
3	hdl.handle.net Internet Source	1%
4	cybertesis.unmsm.edu.pe Internet Source	1%
5	docplayer.es Internet Source	1%
6	Submitted to Unviersidad de Granada Student Paper	1%
7	Soh, M.S.. "Influence of curing modes on crosslink density in polymer structures", Journal of Dentistry, 200405 Publication	<1%

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	4
III.	MARCO TEÓRICO	5
IV.	METODOLOGÍA	12
	4.1. Diseño del estudio	12
	4.2. Grupo experimental	12
	4.3. Criterios de selección	14
	4.4. Definición operacional de variables	14
	4.5. Procedimientos y técnicas	15
	4.6. Consideraciones éticas	17
	4.7. Plan de análisis	17
V.	RESULTADOS	18
VI.	DISCUSIÓN	20
VII.	CONCLUSIONES	29
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
IX.	ANEXOS	

RESUMEN

Antecedentes: El rendimiento clínico de las resinas compuestas está directamente relacionado con el grado de conversión de monómeros a polímeros después de su fotopolimerización. Es conocido que a bajas temperaturas disminuye el grado de conversión, por lo que es importante encontrar alternativas que optimicen la fotopolimerización. **Objetivo:** Evaluar el grado de conversión de resinas compuestas fotoactivadas a bajas temperaturas con diferentes protocolos de fotopolimerización. **Materiales y métodos:** Se confeccionaron 75 especímenes de resina compuesta de 5mm x 2mm. La resina se fotoactivó según 15 protocolos de fotopolimerización. Luego de 24 h, se registraron valores de grado de conversión mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Los datos se analizaron estadísticamente mediante pruebas descriptivos (media y D.E) y pruebas inferenciales (ANOVA/ Duncan) con nivel de confianza del 95%. **Resultados:** Los valores más bajos de grado de conversión se obtuvieron cuando la resina compuesta se fotoactivó a 0 °C, independientemente de la intensidad y el tiempo. Para el grupo de 10 °C, 1000 mW/cm² los valores de grado conversión no presentaron diferencias estadísticamente significativas del grupo control en ninguno de los tiempos evaluados (p<0.05). **Conclusión:** Los valores más bajos de grado de conversión fueron a 0 °C y 10 °C, los cuales fueron más críticos cuando se incrementó la intensidad en cortos períodos de tiempo. A 10 °C, polimerizar en 40 s generó un grado de conversión estable.

PALABRAS CLAVES: TEMPERATURA, GRADO DE CONVERSIÓN, FOTOPOLIMERIZACIÓN, RESINAS COMPUESTAS (DeCS).

ABSTRACT

Background: The clinical performance of composite resins is directly related to the degree of conversion of monomers to polymers after their photopolymerization. It is known that at low temperatures the degree of conversion decreases, so it is important to find alternatives that optimize photopolymerization. **Objective:** To evaluate the degree of conversion of photoactivated composite resins at low temperatures with different photopolymerization protocols. **Materials and methods:** Seventy five composite resin specimens were made, 5mm x 2mm. The resin was photoactivated according to 15 photopolymerization protocols. After 24 h, conversion degree values were recorded using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The data were statistically analyzed using descriptive tests (mean and S.D.) and inferential tests (ANOVA/Duncan) with a 95% confidence level. **Results:** The lowest conversion degree values were obtained when the composite resin was photoactivated at a temperature of 0 °C, regardless of intensity and time. For the 10 °C, 1000 mW/cm² group, the conversion degree values did not show statistically significant differences from the control group at any of the evaluated times (p<0.05). **Conclusion:** The lowest values of degree of conversion were at temperatures 0 °C and 10 °C, which were more critical when the intensity was increased in short periods of time. At a temperature of 10 °C, polymerizing in 40s generated a stable degree of conversion.

KEY WORDS: TEMPERATURE, CONVERSION DEGREE, PHOTOPOLYMERIZATION, COMPOSITE RESINS (MeSH).

I. INTRODUCCIÓN

La resina compuesta es un material indispensable y utilizado con mucha frecuencia en la práctica odontológica diaria. El objetivo de colocar una resina, es reemplazar el tejido dental perdido de manera estética y funcional, además garantizar su longevidad a través del tiempo.^{1,2}

El éxito de las resinas compuestas proviene de sus buenas propiedades estéticas y durabilidad, y su rendimiento clínico está directamente relacionado con el grado de conversión de monómeros a polímeros después de su fotopolimerización.³ Idealmente, cuanto más sea la conversión de dobles enlaces de carbono en enlaces simples, conlleva a mejores propiedades de la resina, como: dureza, módulo de elasticidad, tenacidad a la fractura, resistencia a la tracción y resistencia al desgaste. Sin embargo, las propiedades mecánicas de la resina dependen más de la cadena de polímero y de los enlaces cruzados que se forman luego de iniciar el proceso de fotopolimerización.⁴

La irradiancia de luz hace que los fotoiniciadores se activen y a su vez liberen radicales libres; la colisión de estos últimos activan los monómeros formando enlaces covalentes entre átomos de carbono, dando origen a una larga cadena de polímeros.⁴ Un parámetro importante para medir el rendimiento de la polimerización es el grado de conversión, el cual presenta valores normales en el rango de 40% y 70%; dichos porcentajes varían de acuerdo al tipo de matriz que posee la resina y a la técnica de polimerización usada;⁵ un decrecimiento en estos valores, genera una menor densidad de polímeros, propiciando a una mayor decoloración y degradación en el compuesto, disminuyendo consecuentemente su

resistencia al desgaste y estabilidad del color. Por lo tanto, el grado de conversión, obtenido a través de una adecuada fotopolimerización, permite conseguir resultados óptimos en las restauraciones, mejorando sus propiedades físicas y disminuyendo su citotoxicidad.⁶

Por otro lado, existen distintos factores que influyen en el grado de polimerización de las resinas compuestas, tales como: composición, color y translucidez, características de la unidad de fotocurado, distancia entre la punta de la unidad de polimerización y la superficie de la restauración, tiempo de polimerización y la temperatura de la resina compuesta.³

Es conocido que la temperatura tiene un efecto directo sobre la tasa de polimerización y en el grado de conversión de las resinas compuestas, alterando sus propiedades físicas y químicas.⁷ A medida que aumenta la temperatura, existe mayor movilidad de monómeros para ser convertidos en polímeros y menor viscosidad, lo que conlleva a un buen grado de conversión, demostrando resultados favorables.^{8,9,10} No obstante, son muy pocos los estudios realizados con respecto a las bajas temperaturas y su impacto en las características y propiedades de los materiales a base de resina; se ha demostrado que resinas compuestas almacenadas a bajas temperaturas (0 °C, 4 °C y 10 °C), no alcanzan valores adecuados de microdureza, por lo que es recomendable tener un tiempo de espera de 20 minutos después de haber retirado el material del refrigerador, para que alcance una temperatura ambiental ideal (≥ 20 °C) para ser fotopolimerizada y así alcanzar buenas propiedades físicas y químicas del material.^{11,12} Por otro lado, de acuerdo a la zona geográfica de diferentes ciudades, existen distintas condiciones climáticas entre ellas, sumado a que los consultorios no siempre se encuentran climatizados,

por lo que el odontólogo debe conocer la influencia de la temperatura para almacenar y utilizar correctamente sus resinas en estas situaciones, con el fin de optimizar las propiedades de la resina compuesta antes y después de aplicarla en la cavidad oral, además conservar y prolongar el tiempo de vida del producto.^{13,14}

Siendo que, a bajas temperaturas disminuye el grado de conversión^{15,16}, es importante encontrar métodos o recursos que garanticen propiedades óptimas en casos donde la climatización no es posible; factores como tiempo e intensidad de luz, tienen una influencia directa en el grado de conversión, por lo que el propósito del presente estudio es evaluar el grado de conversión de una resina compuesta fotoactivada a bajas temperaturas con diferentes protocolos de polimerización.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el grado de conversión de una resina compuesta fotoactivada a bajas temperaturas con diferentes protocolos de fotopolimerización.

2.2 Objetivos específicos

1. Comparar el grado de conversión de una resina compuesta nanoparticulada fotoactivada a 0 °C, 10 °C y 20 °C.
2. Comparar el grado de conversión de una resina compuesta nanoparticulada fotoactivada con los diferentes protocolos de fotopolimerización.

III. MARCO TEÓRICO

La polimerización es un proceso físico-químico que tiene como objetivo la creación de una matriz de polímeros altamente enlazados, en el que su inicio se produce al exponer monómeros fotosensibles a una fuente de luz de alta intensidad.

Decker¹⁷ menciona las características significativas de una buena fotopolimerización, tales como: formulación de compuestos libres de solventes, capacidad de polimerizar en condiciones de temperatura ambiental (importante para materiales sensibles al calor), controlar el aumento de temperatura resultante de la naturaleza exotérmica de la reacción, cambiando la irradiancia y la longitud de onda.

Antonucci y Toth¹⁸ mencionan que el calor de la polimerización es directamente proporcional al porcentaje de monómeros que reaccionan. Si no hubiera otras fuentes térmicas en la reacción, como la unidad de fotopolimerización, no se obtendría la energía necesaria para completar el proceso de conversión de monómeros a polímeros y por consecuencia, habría alteraciones en el rendimiento clínico de las resinas compuestas. Esto revela que, es de gran importancia considerar la fuente de calor producido durante los procedimientos de restauración de diferentes tipos para su éxito y longevidad.

El grado de conversión está definido como la medida en que los monómeros reaccionan para a formar polímeros o como la proporción de enlaces dobles C=C que se convierten en enlaces simples C-C. Un alto grado de conversión de doble enlace de las resinas a base de metacrilato, produce propiedades mecánicas favorables y una degradación menor de polímeros.¹⁹

Calheiros y col.⁹ evaluaron el grado de conversión incrementando la temperatura de la resina compuesta y ensayaron si el precalentando de las resinas generaba similar conversión en comparación a la temperatura de ambiente. Empleando muestras de 5 mm x 2mm a 22 °C (control), 40 °C y 60 °C, en tiempos de exposición de 5 s y 20 s, concluyendo que el grado de conversión aumenta significativamente cuando las resinas son sometidas a un precalentamiento previo a su fotopolimerización y disminuye con un menor tiempo de exposición. Otro hallazgo importante fue el grado de conversión obtenido a temperaturas de 40 °C y 60 °C a 5 segundos fue similar o incluso mayor a 20 segundos a 22 °C, lo que indica que las resinas compuestas precalentadas mejorar su dureza superficial. No obstante, trabajar en un tiempo corto de exposición genera menor aparición de radicales libres en el momento de la reacción de fotopolimerización. Por otro lado, precalentar las resinas es una técnica bastante sensible y requiere mucha destreza y rapidez de parte del clínico, dado que, desde el momento que se retira del dispositivo de precalentamiento, la temperatura del material desciende rápidamente, por lo que el tiempo de trabajo es menor.

Lovell y col.²⁰ investigaron el efecto del grado de polimerización sobre las propiedades mecánicas de una resina compuesta, utilizando las temperaturas de 10, 20, 37, 50 y 70 °C (esta última no tuvo irradiación para evitar alteraciones térmicas) en tiempos de 39, 85, 110 y 150 segundos respectivamente en una intensidad de 1000 mW/cm². Resultando que al incrementar la temperatura, aumenta el grado de conversión de la resina y eleva la conversión de un 42% a 69% al término de la fotopolimerización. Los autores concluyeron que el grado de conversión es un parámetro importante para determinar las propiedades físicas, mecánicas y

biológicas de la resina compuesta, dejando menos monómeros sin reaccionar, lo cual hace que una restauración sea más biocompatible.

A pesar del alto grado de conversión lograda en resinas compuestas, no se logra una conversión completa de los dobles enlaces alifáticos de carbono a carbono¹⁹, esto se podría explicar por dos situaciones: monómeros sin reaccionar o dobles enlaces que sobran en los extremos de las cadenas poliméricas. Cuando estos monómeros se quedan sin reaccionar pueden irritar a los tejidos circundantes dentro de la cavidad oral y tejidos pulpares, además con un bajo grado de conversión el polímero es más propenso a la oxidación y a la degradación con el tiempo, lo que da a lugar a restauraciones con poca resistencia al desgaste y poca estabilidad de color, reduciendo el éxito de los procedimientos con resinas compuestas.¹⁹

Otro punto importante a considerar dentro de estos materiales es la dureza. Esta propiedad está definida como la oposición que ofrece el material a distintas alteraciones como: la penetración, deformación plástica, abrasión, el rayado, cortaduras, entre otras². Consecuentemente, existe una correlación positiva entre el grado de conversión y los valores de microdureza superficial.

Price y col.¹⁵ determinaron el efecto de la temperatura y el grado de polimerización de la resina compuesta, mediante espectroscopía infrarroja de escaneo rápido y microdureza. Utilizando muestras de 2 mm de espesor del color A2 Tetric EvoCeram (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichstenstein) a temperaturas de 22, 26, 30 y 35 °C en un tiempo de 20 segundos. El grado de conversión y la microdureza de las muestras se evaluaron a los 5 minutos y 2 horas después de la fotopolimerización. Los autores concluyeron que existe una correlación lineal

positiva entre el grado de conversión y la microdureza superficial ($R^2= 0.93$), lo cual indica que, el uso de la microdureza superficial es un parámetro útil para evaluar el grado de polimerización de las resinas compuestas.

Alshaafi¹⁰ evaluó el efecto de la temperatura sobre el grado de conversión y microdureza superficial. El autor fotopolimerizó dos tipos de resina compuesta; Filtek Supreme Ultra (3M ESPE, St Paul, MN) color A2B y Tetric EvoCeram Bulk Fill (Ivoclar-Vivadent, Amherst, NY) color IVA. Las muestras fueron evaluadas mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada, calentadas a temperaturas de 23 °C y 33 °C. El grado de conversión de las resinas fueron calculadas después de 120 s, seguido a ello, se retiraron las muestras y se procedió a evaluar la microdureza en el fondo de las muestras de manera inmediata, a las 24 horas y los 7 días. El autor concluyó que incrementando la temperatura, tuvo un efecto significativo y positivo sobre el grado de conversión y microdureza de las resinas compuestas. Además, se evidenció una correlación lineal entre el grado de conversión y microdureza en ambas temperaturas $R^2 = 0.86$ (23 °C), $R^2 = 0.82$ (33 °C).

Es preciso mencionar que, durante el proceso de polimerización, intervienen diferentes factores que van a permitir alcanzar una adecuada conversión; como la composición de la resina, tiempo de exposición, intensidad o irradiancia, densidad de energía y la temperatura.²¹

Theobaldo y col.²² evaluaron el efecto del precalentamiento de una resina compuesta sobre el grado de conversión y microdureza. Utilizaron una resina Bulk Fill (Surefil SDR, Dentsply Caulk, Milford, DE, EE.UU) color universal y

confeccionaron 200 discos de 5 mm x 4 mm de diámetro, utilizando una lámpara halógena y una lámpara LED, se precalentaron a 23 °C y 54 °C, para el grupo control se utilizó una resina fluida Filtek Z350 XT (3M ESPE, St. Paul, MN, EE.UU) color A3. Los autores concluyeron que, el precalentamiento de las resinas compuestas aumentó el grado de conversión de la superficie del fondo del disco, independientemente de la unidad de fotopolimerización, por lo tanto, precalentar las resinas es un buen método para mejorar los valores de grado de conversión.

El factor intensidad y el tiempo de exposición son dos variables que desempeñan un rol importante en el rendimiento clínico de las resinas compuestas, el producto de estos dos factores es lo que se conoce como densidad de energía.²³ Las propiedades de las resinas compuestas, se afectan de manera directa, por la cantidad de energía entregada durante la irradiación. A través del tiempo, los avances en la tecnología está impulsada a satisfacer las demandas del clínico y reducir el tiempo de trabajo, por ejemplo; las unidades de fotopolimerización LED con alta potencia, fueron diseñadas para reducir significativamente el tiempo de exposición para fotopolimerizar las resinas compuestas, sin embargo, los clínicos deben manejar los protocolos adecuados y no tener fallas en el proceso.^{24,25}

Price y col.²⁶ comparó la eficacia de diferentes unidades de fotopolimerización con cinco resinas compuestas, Heliomolar (Ivoclar-Vivadent, AG, Schaan, Liechtenstein), Virtuoso Sculptable (Den-Mat, Santa Maria CA, EE.UU), Herculite (Kerr Corp., Orange, CA, EE.UU), Virtuoso Flowable (Den-Mat, Santa Maria, CA, EE.UU), Esthet-X (Dentsply, Milford, DE, EE.UU) todos en color A2. Se utilizaron tres tipos de unidades de fotopolimerización: Tres Halógenas (QTH) Optilux 401 (Kerr EE.UU, Orange, CA) en los tiempos de exposición de 20, 30, 40 y 60 s, Tres

Halógenas de alta potencia (QTH+) Fase II (Den-Mat, Santa María, CA) en los tiempos de 5, 10, 15 y 20 s y Tres Luces de arco de plasma (PAC) Sapphire (Den-Mat, Santa María, CA) en los tiempos de 3, 5, 10 y 15 s. Encontrando que los valores de dureza más altos (55 Kgf/mm²) fueron del sistema PAC a los 15 segundos, entregando una densidad de energía de 22.4 J/cm², mientras que en el tiempo de 3 segundos obtuvieron los valores más bajos (18 Kgf/mm²) y una densidad de energía menor 4.5 J/cm². El autor concluyó que, para lograr mayores valores de dureza, utilizando unidades de fotopolimerización con una salida espectral similar pero con diferentes intensidades, se deben ajustar los tiempos, para proporcionar una densidad de energía adecuada. Fotopolimerizar en altas intensidades, en tiempos cortos de 3 y 5 segundos, no entrega energía suficiente para polimerizar las resinas compuestas utilizadas en este estudio.

Calheiros y col.⁹ evaluaron el grado de conversión, disminuyendo el tiempo de exposición en las resinas compuestas precalentadas en comparación con las que estuvieron a temperatura de ambiente, empleando muestras de 5 mm x 2 mm a 22 °C (control), 40 °C y 60 °C, en tiempos de exposición de 5 s y 20 s. Encontraron que, en el grupo control los valores más bajos de grado de conversión fueron a los 5 s (33%), en relación al tiempo de 20 s (45.4%), mientras que aumentando la temperatura a 60 °C los valores de grado de conversión en el tiempo de 5 s (53.7%), sigue siendo menor en relación a los valores de grado de conversión cuando el tiempo aumenta a 20 s (63.4%). Concluyendo que, a pesar del aumento de la temperatura, los mayores valores de grado de conversión se obtuvieron en tiempo de exposición más prolongado (20 s).

Finalmente, la temperatura ambiental es un factor crítico, que desempeña un rol importante en las propiedades de la resina compuesta; es preciso mencionar que varias de las investigaciones previamente descritas fueron realizadas en un ambiente de laboratorio donde el efecto de la temperatura, si bien es cierto es regulada de acuerdo a las condiciones ambientales, esto no está controlado por completo, dado que la resina va adquiriendo la temperatura del medio ambiente al momento de ser trasladada. Por tal motivo, el propósito de nuestro estudio es evaluar el grado de conversión de una resina compuesta fotoactivada a bajas temperaturas con diferentes protocolos de fotopolimerización, desarrollando todo el experimento dentro de un medio específico para tener un mayor control de la temperatura y valores con mayor precisión.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Diseño del estudio

Experimental, *in vitro*.

4.2 Grupo Experimental

La muestra estuvo conformada por especímenes de resina compuesta color A2 Body (Filtek Z350 XT, 3M ESPE St. Paul, EE.UU.) de 5 mm de diámetro x 2 mm de alto. En el estudio piloto se trabajó con 3 muestras por cada grupo experimental de acuerdo al estudio base de Calheiros.⁹ El estudio piloto permitió determinar el tamaño de muestra y los protocolos de polimerización a emplear.

Para el cálculo del tamaño muestral se utilizó la fórmula de comparación de medias, con un nivel de significancia del 5% y nivel de confianza del 95%, con el programa estadístico EPIDAT versión 4.2. (Consellería de Sanidade, Xunta de Galicia, España).

Se estableció el tamaño muestral $n=5$ y los grupos experimentales se conformaron en función al análisis de los diferentes factores de variación: Temperatura 0, 10 y 20 °C (control), Intensidad de luz 1000 y 1400 mW/cm² y tiempo de exposición 4, 8, 12, 20, 30, 40 y 60 s, obteniendo un total de 15 grupos experimentales:

Grupo experimental	Temperatura (°C)	Intensidad (mW/cm ²)	Tiempo (s)
1	0	1000	20
2			30
3			40
4			60
5			4
6	10	1400	8
7			12
8			20
9			30
10			40
11	10	1000	60
12			4
13			8
14			12
15 (control)	20	1000	20

4.3 Criterios de selección

Se seleccionaron especímenes que estén libres de irregularidades o burbujas en las superficies y muestras confeccionadas con resinas compuestas vigentes que presenten al menos 6 meses antes de fecha de expiración.

4.4 Definición operacional de variables

Grado de conversión: Es la medida en porcentaje de enlaces dobles de carbono-carbono que se convierten en simples al polimerizar el material. Variable cuantitativa, continua y de razón. Unidad de medida porcentaje (%)

Temperatura de trabajo: Es el grado de calor o frío presente en un ambiente medido por un termómetro. Variable tipo cualitativa ordinal, indicador grado Celsius, sus dimensiones son 0 °C, 10 °C, 20 °C.

Protocolo de fotopolimerización: Cantidad de energía lumínica emitida por la unidad de fotopolimerización en un período específico de tiempo de activación. Variable tipo cualitativa, nominal y politómica. Indicado por mW/cm^2 y seg, sus categorías son: 0 °C/ 1000 mW/cm^2 / 20 s, 0 °C/ 1000 mW/cm^2 / 30 s, 0 °C/ 1000 mW/cm^2 / 40 s, 0 °C/ 1000 mW/cm^2 / 60 s, 0 °C/ 1400 mW/cm^2 / 4 s, 0 °C/ 1400 mW/cm^2 / 8s, 0 °C/ 1400 mW/cm^2 / 12s, 10 °C/ 1000 mW/cm^2 / 20 s, 10 °C/ 1000 mW/cm^2 / 30 s, 10 °C/ 1000 mW/cm^2 / 40 s, 10 °C/ 1000 mW/cm^2 / 60 s, 10 °C/ 1400 mW/cm^2 / 4 s, 10 °C/ 1400 mW/cm^2 / 8 s, 10 °C/ 1400 mW/cm^2 / 12 s y 20 °C/ 1000 mW/cm^2 / 20 s (control).

Ver cuadro de operacionalización de variables (ANEXO 1).

4.5 Procedimientos y técnicas

Preparación de especímenes: Previamente a la elaboración de los especímenes, los tubos de resina compuesta permanecieron, uno almacenado a 0 °C y otro a 10 °C por una semana. Transcurrido este tiempo, se confeccionaron 75 especímenes de resina compuesta (Filtek Z350 XT, 3M ESPE St. Paul, USA), de 5 mm de diámetro x 2 mm de alto, dentro de una cámara de frío en una procesadora de alimentos (Packing Maito S.A.C – Huaral, Perú), reproduciendo las temperaturas de 0 °C y 10 °C, mientras que la de 20 °C (control) se realizó mediante un sistema de aire acondicionado en un ambiente cerrado.

Para la confección de especímenes, se colocó una película fina de vaselina líquida en la superficie interna de las matrices para evitar la adhesión del espécimen a la matriz; para iniciar la confección se colocó sobre una cartulina Canson negra y sobre esta una placa de vidrio y una cinta celuloide Airon (Maquira Indústria de Produtos Odontológicos S.A., Maringá, Brasil); la matriz se posicionó sobre la cinta celuloide seguidamente se conformó la resina en un solo incremento con una espátula de resina TNCIGFFT2 (Hu Friedy, Chicago, EE.UU.). Inmediatamente se colocó una segunda cinta celuloide y placa de vidrio con un peso de 1 kg durante 20 s con la finalidad de adaptar el material, eliminar los excesos y evitar burbujas. Una vez obtenida una superficie plana, se retiró la segunda placa vidrio para fotoactivar la resina a distancia de 0 mm, con una lámpara LED Valo Cordless (Ultradent, South Jordan, EE.UU.) según

los 15 protocolos de polimerización. La unidad de fotopolimerización fue calibrada mediante un radiómetro LM – 1 (Woodpecker, Guilin, China.)

Almacenamiento de las resinas: Luego de realizar la fotopolimerización de todas las muestras se asignaron a cada grupo del 1 al 15, previamente se envolvieron en papel aluminio como cegamiento y se codificaron para no conocer el grupo al que fue asignada cada muestra, con el fin de que las mediciones de las muestras se trabajen a un ciego para disminuir sesgos. Posteriormente se almacenaron en un contenedor oscuro para evitar la exposición a la luz, la medición del grado de conversión se realizó después de 24 horas de almacenamiento dentro de una caja de tecnopor N° 12, para completar la polimerización en fase oscura.

Grado de conversión: Los análisis de grado de conversión se realizaron mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, con un espectrofotómetro infrarrojo Nicolet iS10 (ThermoFisher Inc., Massachusetts, EE.UU.) en el Laboratorio de Micología y Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria La Molina, equipado con un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR). La muestra se colocó en la cara horizontal del cristal de la celda de ATR y se obtuvieron 32 escaneos por muestra, con una resolución de 4cm^{-1} en el rango de longitud de onda entre 1600 y 1800 cm^{-1} . El porcentaje de grado conversión de las muestras experimentales fue calculado por el método estándar que consiste en determinar una proporción entre picos alifáticos C=C

(1638 cm⁻¹) y aromáticos C=C (1609 cm⁻¹) en estados fotocurados y no fotocurados: Se utilizó la siguiente fórmula:

$$DC = \left(1 - \frac{\left(\frac{I_{1638\text{ cm}^{-1}}}{I_{1609\text{ cm}^{-1}}} \right)^{\text{Polímero}}}{\left(\frac{I_{1638\text{ cm}^{-1}}}{I_{1609\text{ cm}^{-1}}} \right)^{\text{Monómero}}} \right) \times 100\%$$

4.6 Consideraciones éticas

Por ser un estudio experimental *in vitro* que no involucra humanos ni animales, se presentó a la DUICT (Dirección Universitaria de Investigación, ciencia y tecnología) y después de ser revisado fue aprobado. Se realizó una carta de Autorización Liso para el uso del Laboratorio de Biomateriales de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y otra carta de presentación y solicitud para el uso de las instalaciones y del laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Universidad Agraria La Molina.

4.7 Plan de análisis

Los datos referentes al grado de conversión se analizaron con el programa SPSS v24.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, EE.UU.). Se realizó un análisis descriptivo (media y desviación estándar), para el análisis de normalidad de datos se utilizó la prueba estadística de Shapiro Wilk. Para la estadística inferencial se utilizó el Test de Anova y para la comparación de medias se utilizó el Test de Duncann. Se consideró un nivel de significancia del 95% (p<0.05).

V. RESULTADOS

En la Tabla 1 podemos observar los valores promedio de grado de conversión y desviación estándar de los especímenes de resina. Se observa que los valores más bajos de grado de conversión se obtuvieron cuando la resina compuesta se fotoactivó a temperatura de 0 °C con una intensidad de 1400 mW/cm² con tiempo de exposición de 4 y 8 segundos, seguido de 0 °C con intensidad de 1000 mW/cm² e intensidad de 1400 mW/cm² con tiempo de exposición de 12 segundos ($p < 0.05$).

Para el grupo de 10 °C, los valores más bajos de grado de conversión se obtuvieron con la intensidad de 1400 mW/cm². Sin embargo, para la intensidad de 1000 mW/cm² los valores de grado conversión fueron similares al grupo control ($p > 0.05$). Finalmente, en el grupo de 10 °C, 1400 mW/cm² se observan valores bajos de grado de conversión, a excepción del tiempo de exposición de 12 segundos, el cual no presenta diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Tabla 1: Media y desviación estándar de los valores de grado de conversión

Temperatura	Intensidad	Tiempo(seg)	Promedio (DE)
0°C	1000	20	26.88 (9.46)b
0°C	1000	30	26.76 (6.02)b
0°C	1000	40	30.07 (5.53)b
0°C	1000	60	27.79 (7.54)b
0°C	1400	4	11.83 (16.30)a
0°C	1400	8	12.29 (13.62)a
0°C	1400	12	19.06 (38.04)b
10°C	1000	20	42.83 (19.50)d
10°C	1000	30	54.02 (10.99)d
10°C	1000	40	52.52 (2.38)d
10°C	1000	60	51.34 (9.08)d
10°C	1400	4	31.07 (15.24)b
10°C	1400	8	25.11 (6.22) ab
10°C	1400	12	36.44 (8.73)bc
20°C	1000	20	47.37 (1.23)cd

ANOVA/Tukey

Letras diferentes implican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$)

VI. DISCUSIÓN

La temperatura es un factor que influye en el grado de conversión de las resinas compuestas. Se conoce que aumentando la temperatura de las resinas, es posible aumentar la movilidad molecular y generar un mayor grado de conversión, por consecuencia, mayor dureza superficial, mayor resistencia a la flexión, mejor tenacidad a la fractura y mayor resistencia al desgaste.²⁷ Sin embargo, existen situaciones clínicas en las que los dentistas trabajan en ciudades con altitudes de diferentes promedios, en las cuales las temperaturas son bajas, presentando dificultad al manipular los materiales en especial la resina compuesta al momento de restaurar; seguidamente, si no utilizamos un protocolo de polimerización adecuado, obtendremos complicaciones como: tendencia a la fractura, microfiltración, disminución a la fuerza de adhesión, cambios de color, sensibilidad postoperatoria, e incluso liberación de sustancias químicas nocivas en la cavidad oral.²⁸

Siendo que en muchos lugares la climatización de los ambientes no es habitual, el objetivo del presente estudio fue evaluar el grado de conversión de una resina compuesta fotoactivada a bajas temperaturas con diferentes protocolos de polimerización.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, se observó que los valores más bajos de grado de conversión (11-19%) se obtuvieron cuando la resina compuesta se fotopolimerizó a temperatura de 0 °C, con pequeños tiempos de exposición, al igual que con la temperatura de 10 °C e intensidades de 1400 mW/cm², excepto en el tiempo de exposición de 12 segundos. Los valores de grado

de conversión con intensidad de 1400 mW/cm² fueron menores que cuando se empleó a 1000 mW/cm², porque los tiempos de exposición fueron muy cortos, incluso aumentando la temperatura de 0 °C a 10 °C, fotopolimerizar en tiempos muy cortos, resultaron con valores de conversión bajos. Aumentar el tiempo o la intensidad de luz fueron dos mecanismos utilizados para tratar de compensar los efectos de las bajas temperaturas y poder ofrecer a la práctica clínica una herramienta para optimizar el desempeño de las restauraciones. Estos resultados concuerdan con el estudio de Daronch y col.²⁹ en el que evaluaron el grado de conversión de una resina compuesta híbrida a temperatura de 3 °C, obteniendo como porcentaje de polimerización 35.4% (superficie), 31.6 % (2 mm profundidad) a 20 segundos de exposición y 35.6 % (superficie), 34.3 % (2 mm profundidad) a 40 segundos de exposición. A temperatura de 10 °C, en los mismos tiempos de exposición, 20 y 40 segundos, se obtuvieron como resultados 40.3 % (superficie), 36.9 % (2 mm profundidad) y 40.8% (superficie), 39.7 % (2 mm profundidad) respectivamente. Con un tiempo de exposición de 20 segundos (en la superficie), el grado de conversión varió de 35.4 % a 66.3 % de 3 °C a 60 °C, respectivamente, por ende los autores concluyeron que la conversión de los monómeros aumenta significativamente con la temperatura a la que la resina se fotoactiva.²⁹

En el estudio de Quintanilla¹¹, se comparó la microdureza superficial de una resina compuesta nanoparticulada, fotoactivada a temperaturas de 0, 10, 20, 30 y 40 °C, encontrando que a medida que la temperatura de las resinas es mayor durante la fotopolimerización, la microdureza superficial aumenta. A partir de 20 °C las resinas compuestas presentaron los mayores valores de microdureza superficial (92.34HV) en comparación con las temperaturas de 0 y 10 °C (83.62HV - 85.18

HV). Cuando la resina compuesta fue refrigerada a 0 minutos y 10 minutos, los valores de microdureza fueron menores cuando se comparó con 20 y 30 minutos. Por lo tanto, el autor concluyó que: las resinas compuestas deben polimerizar cuando la resina presente una temperatura igual o mayor a 20 °C, asimismo, es indispensable esperar 20 minutos luego de retirar la resina de un almacenamiento refrigerados para realizar la fotoactivación.

En el estudio de Meléndez¹², se evaluó cómo influye la temperatura ambiental y el tiempo de espera postrefrigeración en la microdureza superficial de dos resinas compuestas: universal y bulk fill. Se evaluó los valores de microdureza en diferentes temperaturas 4, 20 y 30 °C y diferentes tiempos de espera postrefrigeración 0, 10, 20 y 30 min, encontrando que no hubo diferencias estadísticamente significativas en los valores de microdureza dentro de los grupos estudiados a 0,10, 20 y 30 min de espera en las superficies superiores e inferiores. Por otro lado, se encontró que los valores más bajos de microdureza, tanto en la superficie superior cuando se utilizó resina compuesta universal como en la superficie inferior cuando se utilizó resina bulk fill, fueron a 4 °C.¹²

Para compensar las bajas temperaturas de polimerización, en el presente estudio se optó por aumentar la intensidad de luz y el tiempo de exposición, estos dos factores son importantes porque intervienen directamente con el número de fotones llevados hacia la resina compuesta.³³

Lovell y col.³⁵ demostraron que, la intensidad de luz tiene un efecto significativo en la tasa máxima de polimerización, mientras que, la temperatura en el cual es fotopolimerizada la resina compuesta influye en el inicio de la desaceleración del

proceso. Sabiendo que, a bajas temperaturas los monómeros tienen una menor movilidad, fotopolimerizar la resina en estas condiciones, resultaría con valores de conversión muy por debajo de lo esperado, ya que, si a una temperatura ideal, los monómeros van perdiendo movilidad con el transcurrir del proceso químico, a bajas temperaturas, perderían aún más de lo habitual.

Kwasny y col.³⁶ encontraron que la irradiancia de 1000 mW/cm^2 es el límite para alcanzar los mayores valores de grado de conversión en un tiempo de 10 s. Asimismo, no encontraron diferencia estadísticamente significativa aumentando la irradiancia de 1000 a 1600 mW/cm^2 en los valores de grado conversión, porque la conversión de los monómeros es más notoria en las etapas iniciales de la polimerización, sin embargo, con el transcurrir del tiempo, estas diferencias se hacen más pequeñas. Asimismo, compararon las irradiancias de 400 mW/cm^2 y 1600 mW/cm^2 , encontrando que la diferencia en los valores de conversión entre estas dos fueron alrededor de 5%. Para tiempos más largos, después del inicio de la polimerización, por ejemplo, horas o días, estas diferencias se vuelven aún más bajas. Después de los 20 minutos de haber polimerizado la muestra, los cambios en el que, después de 5 días, los valores encontrados fueron de 55%, siendo este punto donde prácticamente terminan los cambios en los valores de conversión.³⁶

En el presente estudio no se encontró mayor valor de grado de conversión con el incremento de la intensidad. Esto puede explicarse por los bajos tiempos de exposición, aplicado con una intensidad de 1400 mW/cm^2 . Se optó por no utilizar tiempos prolongados de exposición a dicha intensidad ya que en un escenario real clínico se debe cuidar la salud oral del paciente, y una fotopolimerización con

tiempos altos a intensidades altas generarían un sobrecalentamiento de la zona a restaurar, y una posible lesión pulpar.³⁷

Es conocido que la mínima intensidad de luz para fotopolimerizar un compuesto de 2 mm de grosor es de 400 mW/cm² por un tiempo de 40 s, utilizando una unidad de polimerización de tipo halógena y un tiempo de 20 s para una LED.³⁴ La compensación de la baja temperatura con alta intensidad de luz, al parecer no es efectiva, debido a los bajos tiempos de exposición cuando la temperatura es de 0°, es más efectiva cuando tenemos una temperatura de 10 °C. Polimerizar con alta intensidad, en intervalos de tiempos cortos podría significar ahorro de trabajo para muchos odontólogos, sin embargo, según Moradas y Alvarez³⁸ el tiempo adecuado de fotopolimerización, con alta intensidad, debe ser mayor a los 10 segundos por cada capa de resina que sea colocada.

Par y col.³⁹ compararon el efecto de la polimerización de alta intensidad (3 s con 3440 mW/cm²) y una intensidad convencional (10 s con 1340 mW/cm²) sobre el grado de conversión de resinas compuestas convencionales y bulk fill. Ellos encontraron que con fotopolimerización a 3 s se obtuvieron valores más bajos de grado conversión en los compuestos Tetric Evo Flow (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichstenstein), Filtek One Fill (3M Espe, St. Paul MN, USA) y X-tra base (Voco, Cuxhaven, Alemania), en relación a los que fueron polimerizados en la intensidad convencional (45.8% - 60.1%). Los autores encontraron que, el efecto de la temperatura sobre el grado de conversión, depende del sistema fotoiniciador; por lo que las resinas compuestas con fotoiniciadores tipo I (Lucerin-TPO) son más efectivos para la fotopolimerización de alta intensidad que las resinas que contienen

fotoiniciadores tipo II (alcanforquinona /aminas), ya que todos las resinas que contenían estos fotoiniciadores, presentaron los valores de grado de conversión significativamente más bajos cuando se fotopolimerizaron a los 3 s. En comparación con nuestro estudio, donde se utilizó resina compuesta (Filtek Z350 XT, 3M ESPE St. Paul, USA), su sistema fotoiniciador es de tipo II, lo que resulta con poca cantidad de valores de conversión cuando son sometidas a alta intensidad de luz y en un tiempo de exposición muy corto.

Palin y col.⁴⁰ demostraron que los fotoiniciadores Norrish tipo I fueron más eficaces para la fotopolimerización de alta intensidad en comparación al sistema fotoiniciador tradicional alcanforquinona/amina. En dicho estudio, es importante resaltar que todos los compuestos que tenían fotoiniciadores (tipo I), alcanzaron valores de grado de conversión estadísticamente similares, independientemente de los protocolos de fotopolimerización. Por otra parte, todos los compuestos que contienen exclusivamente el sistema alcanforquinona/amina (tipo II) presentaron valores de grado de conversión significativamente más bajos cuando se fotopolimerizaron en el tiempo de 3 s. Esto se debe a que la resina compuesta recibe una densidad de energía total inadecuada, es decir; si la unidad de fotopolimerización tiene una intensidad de 2000 mW/cm² durante 3 s, el compuesto solo recibiría una exposición radiante de 6 J/cm². Por el contrario, si una unidad de fotopolimerización de tipo halógena, a una intensidad de 400 mW/cm² con 40 s, el compuesto recibiría 16 J/cm². Al tener compuestos que no llegan a ser correctamente polimerizados, se obtendrá un bajo porcentaje de monómeros convertidos, por lo tanto, un mayor potencial de sustancias citotóxicas filtradas en el medio oral.

Con respecto a los resultados obtenidos en el grupo de 10 °C del presente estudio, se observó que a intensidad de 1400 mW/cm² en tiempo de exposición 12 s, mostró valor de grado de conversión similar al del grupo control. Para los grupos de 1000 mW/cm², independientemente del tiempo, los valores de grado de conversión fueron estadísticamente equivalentes que el grupo control. Nuevamente se evidencia que, aumentar la intensidad no proporciona valores adecuados de grado de conversión cuando se trata de tiempos muy cortos, pero cuando aumentamos el tiempo de exposición a 40 s tenemos valores más aceptables.

Hadis y col.⁴¹ evaluaron el efecto de polimerización de alta intensidad en el grado de conversión de resinas fluidas y resinas compuestas de alta viscosidad (resinas nano-híbridas), encontrando que para los compuestos fluidos el grado de conversión disminuyó significativamente cuando se fotopolimeriza en el protocolo de alta intensidad, por el contrario, para los compuestos de alta viscosidad no se registraron diferencias significativas en el grado de conversión independientemente del protocolo de polimerización. La explicación recae en la viscosidad de la matriz; se conoce que la tasa máxima de polimerización es alcanzada por compuestos que contienen 50-75% de peso de Bis-GMA, aumentando la movilidad de los radicales libres para lograr una conversión adecuada, independientemente de la intensidad y el tiempo de exposición. Caso contrario en las resinas fluidas, cuando existe alta movilidad de los radicales, aumenta la probabilidad de una terminación bimolecular (radical-radical) durante las primeras etapas de la polimerización, lo cual resulta una pérdida de centros de crecimiento de radical por terminación temprana.⁴²

Según Lovell y col.⁴³ conforme aumenta el tiempo de exposición a la fuente de luz, la conversión de dobles enlaces a simples aumenta hasta un 62%, además, la mayor parte de esta reacción química ocurre dentro de los primeros minutos, alcanzando hasta un 55% de conversión en los primeros 10 segundos. Por otro lado, también evaluaron el factor intensidad en relación a valores finales de grado de conversión, encontrando que, aumentar la intensidad de 400 mW/cm² a 1500 mW/cm² y luego a 2900 mW/cm², aumentan los valores de conversión de 49.8%, 57.5% y 62.1% respectivamente, acelerando el proceso de fotopolimerización, sin embargo, es importante conocer que, incluso a una alta intensidad 2900 mW/cm² la conversión final se limitó a valores inferiores al 70%. Finalmente, concluyó que la intensidad de luz tiene un efecto significativo en la máxima tasa de conversión en las resinas compuestas que contienen los monómeros de BisGMA/TEGDMA.

Los hallazgos encontrados, en la presente investigación demuestran que, para el grupo de 0 °C con intensidad de fotopolimerización de 1400 mW/cm² todos los valores de desviación estándar fueron heterogéneos, mientras que para los de intensidad de fotopolimerización de 1000 mW/cm², casi todos los valores fueron homogéneos, sin embargo, con desviación estándar mayor al grupo control. Seguidamente para el grupo de 10 °C en intensidad de 1400 mW/cm² también se obtuvieron valores homogéneos, excepto en el tiempo de 4 s. Finalmente, se demostró que fotopolimerizar resinas compuestas a 10 °C de temperatura con 1000 mW/cm² en tiempos de 20, 30, 40 y 60 s no presentan diferencias significativas, sin embargo, es importante resaltar que para tiempos de 20 y 30 s, la desviación estándar es mayor, lo que significa que algunas muestras podrían tener bajos valores que en un contexto de salud, puede representar bajo desempeño clínico de las

restauraciones en algunos casos, por lo que un tiempo de 40 s, sería el recomendado en dichas situaciones clínicas.

Dentro de las dificultades de este estudio, cabe mencionar que fue una investigación *in vitro*, generando dificultad para recrear un ambiente a bajas temperaturas.

Aumentar el tiempo o la intensidad de fotopolimerización no es suficiente para alcanzar los valores óptimos del grado de conversión, por lo que propiciar diversas estrategias para mantener la temperatura en torno de 20 °C sería indispensable con el objetivo de mantener las propiedades de las restauraciones y garantizar un adecuado desempeño clínico. Por otro lado, cuando se fotopolimerizan las resinas compuestas a una temperatura de 10° C, aumentar el tiempo de trabajo clínico a 40 s, generaría una conversión más estable.

Futuras investigaciones se derivan de este estudio, como evaluar el grado de conversión a temperaturas bajas con resinas compuestas que contengan un sistema fotoiniciador tipo I. Además, evaluar el grado de conversión, pero con diferente unidad de fotopolimerización y protocolos de polimerización.

VII. CONCLUSIONES

1. Las resinas compuestas fotopolimerizadas a 0° C presentaron bajos valores de grado de conversión, los cuales fueron más críticos en cortos períodos de tiempo.
2. Aumentar la intensidad o el tiempo de exposición no mejora el grado de conversión cuando la resina es fotopolimerizada a 0 °C.
3. Cuando las resinas compuestas se fotopolimerizaron a 10° C, aumentar el tiempo de polimerización a 40 s generó un valor de grado de conversión estable.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Yoshihara K. Dental Resin. En: Yoshiro Ito. Editor. Photochemistry for Biomedical Applications. Singapore: Springer; 2018. p.179-194.
2. Marovic D, et al. Degree of conversión and microhardness of dental composite resin materials. *J Mol Struct.* 2013; 1044: 299-302.
3. 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; 18(2): 114-117.
4. Alves de Castro F, Barbosa B, Firmino K, Viera R. Temperature and curing time affect composite sorption and solubility. *J Appl Oral Sci.* 2013; 21(2): 157-162.
5. Frauscher K, Ilie N. Degree of conversion of nano-hybrid resin-based composites with novel and conventional matrix formulation. *Clin Oral Investig.* 2013; 17: 635–642.
6. Tong Xu et al. Polymerization shrinkages and degree conversion of resins composites. *J Oral Sci.* 2020; 3(62): 275-280.
7. Stansbury J, Dickens S. Determination of double bond conversion in dental resins by near infrared spectroscopy. *Dent Mater J.* 2001; 17(1): 71-79.
8. Areco I et al. Surface Hardness of Dental Composite Photopolymerized with different light sources and polymerization time. *J Dent Res.* 2014; 2(1): 31-36.

9. Calheiros FC, Daronch M, Rueggeberg FA, Braga RR. Effect of temperature on composite polymerization stress and degree of conversion. *Dent Mater J.* 2014; 30(6): 613-618.
10. AlShaafi M. Effects of Different Temperatures and Storage Time on the Degree of Conversion and Microhardness of Resin-based Composites. *J Contemp Dent Pract.* 2016; 17(3): 217-223.
11. Quintanilla C. Comparación de la microdureza superficial in vitro de una resina compuesta fotoactivada a diferentes temperaturas y tiempos de climatización [Tesis Maestría]. Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2016.
12. Melendez D. Efecto de la temperatura ambiental y tiempo de espera posrefrigeración en la polimerización de una resina compuesta universal y una Bulk fill. [Especialidad]. Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2020.
13. Osternack F, Caldas D, Rached R, Vieira S, Platt J, Almeida J. Impact of refrigeration on the surface hardness of hybrid and microfilled composite resins. *J Braz Dent.* 2009; 20: 42–47.
14. AlShaafi M. Factors affecting polymerization of resin- based composites: A literatura review. *J Saudi Dent.* 2017; 29: 48-58.
15. Price R, Whalen J, Price T, Felix C, Fahey J, The effect of specimen temperature on the polymerization of a resin-composite, *J Dent Mater.* 2011; 10 (27): 983-989.
16. Karatas O, Yilmaz M, Gul P, Sagsoz O, Yapar M. The effect of different curing units on the degree of polymerization of different composite resins. *J Oral Res.* 2021; 13: 31-36.

17. Decker C. The use of UV irradiation in polymerization. *Int Polym.* 1998; 45: 133–141.
18. Antonucci J, Toth E. Extent of polymerization of dental resins by differential scanning calorimetry. *J Dent Res.* 1983; 62: 121-135.
19. Ferracane J. Current trends in dental composites. *Crit rev oral boil med.* 1995; 6: 302–318.
20. Lovell L, et al. The effect of cure rate on the mechanical properties of dental resins. *J Dent Mater.* 2001; 17: 504-511.
21. Galvão M, Caldas S, Bagnato V, De Souza Rastelli A, De Andrade M. Evaluation of degree of conversion and hardness of dental composites photo-activated with different light guide tips. *J Eur Dent.* 2013; 7(1): 86–93.
22. Theobaldo J, Aguiar F, Pini N, Lima D, Liporoni P, Catelan A. Effect of preheating and light-curing unit on physicochemical properties of a bulk fill composite. *Clin Cosmet Investig Dent.* 2017; 9: 39-43.
23. Yap A, Seneviratne C. Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. *Oper Dent.* 2001; 26: 460–466.
24. Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. Energy dependent polymerization of resin-based composite. *J Dent Mater.* 2002; 18:463–469.
25. Peutzfeldt A, Asmussen E. Resin composite properties and energy density of light cure. *J Dent Res.* 2005; 84: 659–662.
26. Price R, Felix C, Andreou P. Effects of resin composite composition and irradiation distance on the performance of curing lights. *J Biomaterials.* 2005; 25(18): 4465-4477.

27. Miletic V. Development of Dental Composite. En: Miletic V. Editor. Dental Composite Materials for Direct Restorations. Belgrado: Springer; 2018. p. 3-5.
28. Randolph L, Palin W, Leprince J. Composition of Dental Resin Based Composites for Direct Restorations. En: Miletic V. Editor. Dental Composite Materials for Direct Restorations. Belgrado: Springer; 2018. p. 12-15.
29. Daronch M, Rueggeberg F, De Goes M. Monomer conversion of pre-heated composite. J Dent Res. 2005; 84(7): 663-667.
30. Bajaj P, Gupta D, Babu G. The temperature dependence of the monomer reactivity ratios in the copolymerization of styrene with vinyl methyldiacetoxysilane. J Eur Polym. 1977; 13: 623-624.
31. Frauscher K, Ilie N. Degree of conversion of nano-hybrid resin-based composites with novel and conventional matrix formulation. Clin Oral Investig. 2013; 17: 635–642.
32. Santini A, Gallegos I, Felix C. Photoinitiators in dentistry: A review. J Prim. Dent. 2013; 2: 30–33.
33. Chen M. Update on dental nanocomposites. J Restor Dent. 2010; 89: 549–560.
34. Delgado L. Avaliação da microdureza superficial de resinas compostas extraclaras fotopolimerizadas por luz halógena e LEDs. Descrição das características dos aparelhos fotopolimerizadores. [Tesis de maestría]. Ponta Grossa. Universidade Estadual de Ponta Grossa. 2004.

35. Lovell L, Newman S, Bowman C. The effects of light intensity, temperature, and comonomer composition on the polymerization behavior of dimethacrylate dental resins. *J Restor Dent.* 1999; 78(8): 1469-1476.
36. Kwasny M, Polkowsky J, Bombalska A. A Study on the Photopolymerization Kinetics of Selected Dental Resins Using Fourier Infrared Spectroscopy (FTIR). *J Mater.* 2022; 15: 2-12.
37. Trujillo M, Newman S, Stansbury J. Use of near-IR to monitor the influence of external heating on dental composite photopolymerization. *Dent. Mater. J.* 2004; 20: 766-777
38. Moradas M, Alvarez B. Dinámica de polimerización enfocada a reducir o prevenir el estrés de contracción de las resinas compuestas actuales. *Revision Bibliográfica. Av. Odontoestomatol.* 2017; 33(6): 261-272.
39. Par M et al. Effect of rapid high-intensity light curing on polymerization shrinkage properties of conventional and bulk-fill composites. *J Dent.* 2020; 101: 2 – 10
40. Palin W, et al. Reduced polymerization stress of MAPO-containing resin composites with increased curing speed, degree of conversion and mechanical properties. *J Dent Mater.* 2014; 30(5): 507-516.
41. Hadis M, Leprince J, Shortall A, Devaux J, Leloup G, Palin W.M. High Irradiance curing and anomalies of exposure reciprocity law in resin-based materials. *J Dent.* 2011; 39: 549-557.
42. Price R, Shortall A, Palin W. Contemporary Issues in Light Curing. *Oper Dent.* 2014; 39: 4-14.

43. Lovell L, Newman S, Bowman C. The effects of Light Intensity, temperature, and comonomer composition on the polymerization behavior of dimethacrylate dental resins. *J Restor Dent.* 1999; 78(8): 1469-1476.

IX. ANEXOS

ANEXO 1. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	TIPO	ESCALA DE MEDICION	CATEGORÍAS
Temperatura ambiental	Grado de calor o frío presente en un ambiente medido por un termómetro.	Temperatura programada por el equipo digital.	Termocupla	Cualitativa	Ordinal.	0° 10° 20°
Grado de conversión	Es el porcentaje de monómeros que se transforman en polímeros.	Porcentaje de enlaces dobles de carbono-carbono que se convierten en simples al polimerizar el material	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier	Cuantitativa Continua	Razón.	%
Protocolos de polimerización	Cantidad de energía lumínica emitida por la unidad de fotopolimerización en un período de tiempo.	Potencia de luz y tiempos de exposición emitidas por la unidad de fotopolimerización.	Modo de la lámpara de fotopolimerización.	Cualitativa	Nominal Politómica.	0° C/ 1000 mW/cm ² / 20 s 0° C/ 1000 mW/cm ² / 30 s 0° C/ 1000 mW/cm ² / 40 s 0° C/ 1000 mW/cm ² / 60 s 0° C/ 1400 mW/cm ² / 4 s 0° C/ 1400 mW/cm ² / 8s 0° C/ 1400 mW/cm ² / 12s 10° C/ 1000 mW/cm ² / 20 s, 10° C/ 1000 mW/cm ² / 30 s, 10° C/ 1000 mW/cm ² / 40 s, 10°C/ 1000 mW/cm ² / 60 s

						10° C/ 1400 mW/cm ² / 4 s 10° C/ 1400 mW/cm ² / 8 s 10° C/ 1400 mW/cm ² / 12 s 20° C/ 1000 mW/cm ² / 20 s
--	--	--	--	--	--	--

ANEXO 2. INSTRUMENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Muestra	Temperatura	Intensidad	Tiempo	Grado de conversión
M1	T°1	I1	t1	
M2				
M3				
M4			t2	
M5				
M6				
M7			t3	
M8				
M9				
M10			t4	
M11				
M12				
M13		I2	t5	
M14				
M15				
M16			t6	
M17				
M18				
M19			t7	
M20				
M21				
M22	T°2	I1	t1	
M23				
M24				
M25			t2	
M26				
M27				
M28			t3	
M29				
M30				
M31			t4	
M32				
M33				
M34		I2	t5	
M35				
M36				
M37			t6	
M38				
M39				
M40			t7	
M41				
M42				
M43		T°3	I1	t1
M44				

