



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Odontología Escuela Profesional de Odontología

Efecto de la interacción de tiempo e intensidad de polimerización sobre la dureza superficial de dos marcas de resinas nanohíbridas. Arequipa, 2026

Tesis presentada por:

Pinto Esquiche, Rodrigo del Piero Lorenzo

ORCID: 0009-0007-9621-6269

para optar el Título Profesional de Cirujano Dentista

Asesor (a):

Dra. Salas Rojas, Monica Hilda Cleofe

ORCID: 0000-0003-2704-7880

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ODONTOLOGIA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 15 de Mayo del 2026

Dictamen: 018584-C-EPO-2026

Visto el borrador del expediente 018584, presentado por:

2021245781 - PINTO ESQUICHE RODRIGO DEL PIERO LORENZO

Titulado:

EFFECTO DE LA INTERACCIÓN DE TIEMPO E INTENSIDAD DE POLIMERIZACIÓN SOBRE LA DUREZA SUPERFICIAL DE DOS MARCAS DE RESINAS NANOHÍBRIDAS. AREQUIPA, 2026

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

CIRUJANO DENTISTA

**29716878 - PORTILLA MIRANDA SEREY DORIS
DICTAMINADOR**



**04641311 - TEJADA TEJADA RENAN FERNANDO
DICTAMINADOR**



**30862017 - FIGUEROA BANDA RUFO ALBERTO
DICTAMINADOR**



Efecto de la interacción de tiempo e intensidad de polimerización sobre la dureza superficial de dos marcas de resinas nanohíbridas. Arequipa, 2026

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	12%	1%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	6%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.ucsm.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
3	www.medigraphic.com	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.undac.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.upch.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA

A Dios y a mi Señor de los Milagros, fuente inagotable de fe, fortaleza y esperanza, por iluminar cada paso de mi camino, sostenerme en los momentos de incertidumbre y concederme la sabiduría, perseverancia y convicción necesarias para culminar esta importante etapa de mi vida profesional.

A mis padres, Henry y Sayda, pilares fundamentales de mi vida, por su amor incondicional, su entrega incansable, sacrificios silenciosos y la confianza absoluta que siempre depositaron en mí. Gracias por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, humildad y perseverancia.

A mis queridos abuelos, mis queridos papitos, Lorenzo y Soledad, quienes hoy me acompañan desde la eternidad. Aunque su presencia física ya no me acompaña, su amor, enseñanzas y los recuerdos compartidos permanecen vivos en mi corazón, guiando mis pasos y fortaleciendo mi espíritu en cada desafío.

A mis hermanos, Jhordan y Michael, por su cariño, compañía y apoyo constante a lo largo de este camino, por acompañarme tanto en los momentos difíciles como en cada logro alcanzado. A mis queridos sobrinos, por ser una motivación permanente para seguir creciendo, superándome y construyendo un futuro que pueda servirles de ejemplo. De igual manera, a mi prima Belén, quien llegó a mi vida en uno de los momentos más difíciles; gracias por tu compañía sincera y apoyo incondicional.

Finalmente, dedico este logro a todas aquellas personas que, de una u otra manera, formaron parte de mi crecimiento personal y profesional, dejando enseñanzas, experiencias y muestras de apoyo que contribuyeron significativamente a la persona y profesional que soy hoy.

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero y especial agradecimiento a la Universidad Católica de Santa María, quien me abrió sus puertas y me brindó no solo la oportunidad de acceder a una formación académica de excelencia, sino también de fortalecer en mí valores fundamentales.

A mis padres, mi familia y a cada uno de mis seres queridos, quienes han representado el soporte inquebrantable a lo largo de este camino. Gracias por su amor incondicional.

Mi reconocimiento y profundo agradecimiento al Dr. Alberto Armando Alvarado Aco, por su generosa disposición, confianza, orientación académica y valiosos consejos, los cuales fueron fundamentales durante el desarrollo de mi formación.

Expreso asimismo mi más sincera gratitud a mi asesora y a mis distinguidos dictaminadores, quienes, con rigurosidad académica, criterio científico y permanente disposición, contribuyeron significativamente al fortalecimiento y calidad del presente trabajo de investigación.

De manera muy especial, agradezco a todos mis docentes, quienes, a través de su vocación de servicio, disciplina, ética profesional y ejemplo de vida, aportaron de manera trascendental al desarrollo de mi identidad profesional.

Finalmente, expreso mi gratitud a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, formaron parte de este recorrido académico, brindándome conocimientos, experiencias, apoyo y motivación en momentos decisivos de este proceso. A todos ustedes, mi más profundo respeto, admiración y eterna gratitud.

EPÍGRAFE



“La dedicación, perseverancia y esfuerzo son la esencia del éxito. Estudia con pasión y lograrás tus metas.”

Rodrigo Pinto E.

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue determinar el efecto de la interacción entre el tiempo de exposición y la intensidad de polimerización sobre la microdureza superficial de dos marcas comerciales de resinas nanohíbridas: Filtek P60 (3M) y Estelite Posterior (Tokuyama Dental). El estudio se centró en evaluar cómo la variación de energía influye en el comportamiento mecánico del material, buscando identificar la combinación óptima de factores que garantice el máximo endurecimiento del polímero en condiciones controladas.

La metodología empleada consistió en un estudio experimental *in vitro*, de tipo transversal y prospectivo. Se confeccionaron 72 especímenes cilíndricos de 8 mm de diámetro y 4 mm de espesor siguiendo los parámetros internacionales de la norma ISO 4049, distribuidos equitativamente en 12 grupos experimentales definidos por la marca de resina, dos niveles de intensidad lumínica (800 mW/cm² y 1200 mW/cm²) y tres intervalos de tiempo (10, 20 y 30 segundos). La microdureza superficial se cuantificó mediante un microdurómetro digital, realizando tres indentaciones por muestra. Los datos fueron validados estadísticamente a través de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y un análisis de varianza (ANOVA).

Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre la marca, el tiempo y la intensidad de luz. Se observó que tanto el tiempo como la intensidad actúan como predictores críticos del grado de endurecimiento, registrando un incremento progresivo. En condiciones iniciales de 10 segundos a 800 mW/cm², la resina Filtek P60 mostró valores superiores de microdureza en comparación con Estelite Posterior; sin embargo, al alcanzar la condición máxima de 30 segundos a 1200 mW/cm², la resina Estelite Posterior registró el promedio más alto de todo el estudio con 139.33 HV, superando significativamente a la Filtek P60, que alcanzó 131.33 HV bajo el mismo protocolo.

Las conclusiones de la investigación determinan que la microdureza superficial es el resultado de un efecto entre las variables operativas de polimerización y el material restaurador. Se establece que la resina Estelite Posterior presenta un potencial de endurecimiento superior bajo protocolos de alta potencia, mientras que la Filtek P60 demuestra un comportamiento mecánico más estable en condiciones de menor exposición lumínica.

Palabras clave: Tiempo e intensidad de polimerización, microdureza superficial.

SUMMARY

The main objective of this research was to determine the effect of the interaction between exposure time and polymerization intensity on the surface microhardness of two commercial brands of nanohybrid resins: Filtek P60 (3M) and Estelite Posterior (Tokuyama Dental). The study focused on evaluating how energy variation influences the mechanical behavior of the material, seeking to identify the optimal combination of factors that guarantees maximum polymer hardening under controlled conditions.

The methodology employed consisted of an in vitro, cross-sectional, prospective experimental study. Seventy-two cylindrical specimens, 8 mm in diameter and 4 mm thick, were prepared following the international parameters of ISO 4049. These specimens were equally distributed into 12 experimental groups defined by resin brand, two light intensity levels (800 mW/cm² and 1200 mW/cm²), and three time intervals (10, 20, and 30 seconds). Surface microhardness was quantified using a digital microhardness tester, performing three indentations per sample. The data were statistically validated through the Shapiro-Wilk normality test and an analysis of variance (ANOVA).

The results showed statistically significant differences between the brand, exposure time, and light intensity. Both exposure time and intensity were observed to be critical predictors of the degree of hardening, registering a progressive increase. Under initial conditions of 10 seconds at 800 mW/cm², Filtek P60 resin showed higher microhardness values compared to Estelite Posterior; however, at the maximum exposure time of 30 seconds at 1200 mW/cm², Estelite Posterior resin registered the highest average value of the entire study at 139.33 HV, significantly surpassing Filtek P60, which reached 131.33 HV under the same protocol.

The research findings indicate that surface microhardness results from the interaction between polymerization operating variables and the restorative material. It was established that Estelite Posterior resin exhibits superior hardening potential under high-power protocols, while Filtek P60 demonstrates more stable mechanical behavior under lower light exposure conditions.

Keywords: Polymerization time and intensity, surface microhardness.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

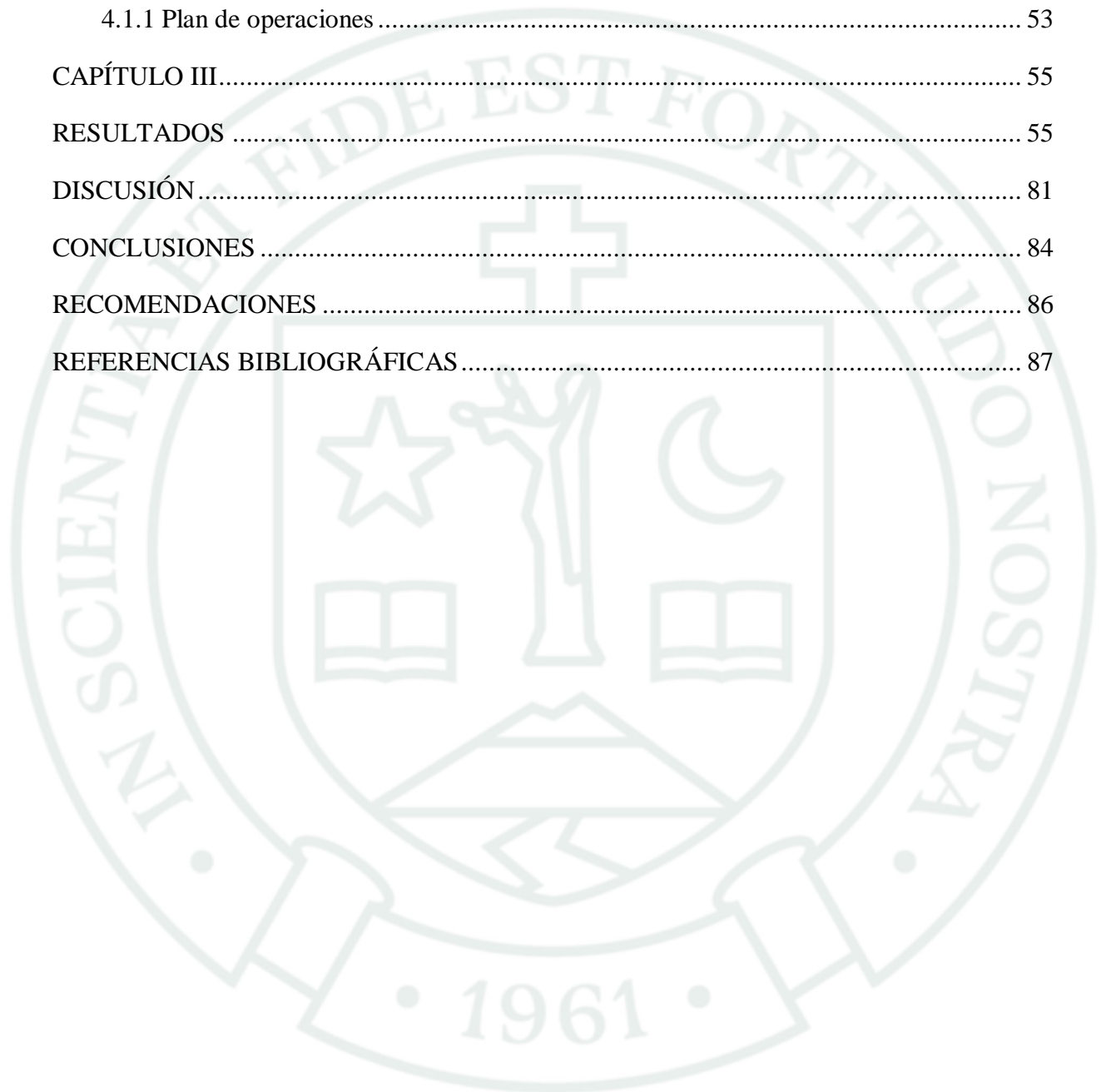
SUMMARY

EPÍGRAFE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Determinación del problema	3
1.2. Descripción del problema.....	3
a) Áreas del conocimiento.....	3
1.3. Interrogantes de la Investigación.....	4
1.4. Justificación del problema.....	4
1.4.1. Viabilidad	4
1.4.2. Relevancia científica.....	5
1.4.3. Relevancia Social.....	5
1.4.4. Originalidad.....	6
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. Objetivo General.....	7
2.2. Objetivos Específicos.....	7
3. MARCO TEÓRICO.....	8
3.1. Resinas Compuestas.....	8
3.1.1. Definición y evolución de las resinas	8
3.1.2. Clasificación.....	10
3.1.3. Composición de las resinas compuestas	14

3.2.	Propiedades mecánicas de las resinas	18
3.2.1.	Microdureza superficial	19
3.2.2.	Otras propiedades	21
3.2.3.	Fotopolimerización	23
3.2.4.	Tiempo de Polimerización.....	28
3.2.5.	Intensidad de polimerización.....	33
3.3.	Antecedentes investigativos	38
3.3.1.	Locales:	38
3.3.2.	Nacionales:	39
3.3.3.	Internacionales:.....	41
4.	HIPÓTESIS	44
CAPÍTULO II.....		45
1.	METODOLOGÍA.....	46
1.1.	Diseño Metodológico	46
1.2.	Análisis de Variables	47
1.3.	Técnica de investigación	47
1.4.	Técnica de ejecución de investigación.....	48
1.4.1	Selección y preparación de muestras.....	48
1.4.2	Elaboración de las Muestras (Protocolo Experimental)	48
1.4.3	Estructura del Diseño Experimental:.....	49
1.4.4	Validación de la Muestra:.....	49
1.4.5	Medición de la Variable de Respuesta:	51
1.4.6	Instrumento Documental	51
1.5.	Materiales:	51
2.	CAMPO DE VERIFICACIÓN.....	51
2.1.	Ubicación Espacial.....	51
2.2.	Ubicación Temporal.....	52

3. ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN.....	52
3.1. Organización.....	52
3.2. Recursos	53
4. ESTRATEGIA PARA MANEJAR LOS RESULTADOS	53
4.1.1 Plan de operaciones.....	53
CAPÍTULO III.....	55
RESULTADOS	55
DISCUSIÓN.....	81
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	Taxonomía de la investigación.....	46
TABLA 2	Matriz de consistencia	47
TABLA 3	Distribución de grupos.....	50
TABLA 4	Ficha de observación	51
TABLA 5	Cronograma.....	52
TABLA 2	Análisis Estadístico	54
TABLA 7	Prueba de Normalidad	56
TABLA 8	Microdureza. Filtek P60. 10 segundos a 800 mW/cm ²	57
TABLA 9	Microdureza. Filtek P60. 10 segundos a 1200 mW/cm ²	58
TABLA 10	Microdureza. Filtek P60. 20 segundos a 800 mW/cm ²	59
TABLA 11	Microdureza. Filtek P60. 20 segundos a 1200 mW/cm ²	60
TABLA 12	Microdureza. Filtek P60. 30 segundos a 800 mW/cm ²	61
TABLA 13	Microdureza. Filtek P60. 30 segundos a 1200 mW/cm ²	62
TABLA 14	Microdureza. Estelite Posterior. 10 segundos a 800 mW/cm ²	63
TABLA 15	Microdureza. Estelite Posterior. 10 segundos a 1200 mW/cm ²	64
TABLA 16	Microdureza. Estelite Posterior. 20 segundos a 800 mW/cm ²	65
TABLA 17	Microdureza. Estelite Posterior. 20 segundos a 1200 mW/cm ²	66
TABLA 18	Microdureza. Estelite Posterior. 30 segundos a 800 mW/cm ²	67
TABLA 19	Microdureza. Estelite Posterior. 30 segundos a 1200 mW/cm ²	68
TABLA 20	Comparación dureza. Filtek P60. Según tiempo. 800 mW/cm ²	69
TABLA 21	Comparación dureza. Filtek P60. Según tiempo. 1200 mW/cm ²	71
TABLA 22	Comparación dureza. Estelite Posterior. Según tiempo. 800 mW/cm ²	73
TABLA 23	Comparación dureza. Estelite Posterior. Según tiempo. 1200 mW/cm ²	75
TABLA 24	Comparación dureza entre las dos marcas de resinas	77
TABLA 25	Efecto de la interacción entre resina, tiempo e intensidad de la polimerización	79

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Microdureza. Filtek P60. 10 segundos a 800 mW/cm ²	57
FIGURA 2	Microdureza. Filtek P60. 10 segundos a 1200 mW/cm ²	58
FIGURA 3	Microdureza. Filtek P60. 20 segundos a 800 mW/cm ²	59
FIGURA 4	Microdureza. Filtek P60. 20 segundos a 1200 mW/cm ²	60
FIGURA 5	Microdureza. Filtek P60. 30 segundos a 800 mW/cm ²	61
FIGURA 6	Microdureza. Filtek P60. 30 segundos a 1200 mW/cm ²	62
FIGURA 7	Microdureza. Estelite Posterior. 10 segundos a 800 mW/cm ²	63
FIGURA 8	Microdureza. Estelite Posterior. 10 segundos a 1200 mW/cm ²	64
FIGURA 9	Microdureza. Estelite Posterior. 20 segundos a 800 mW/cm ²	65
FIGURA 10	Microdureza. Estelite Posterior. 20 segundos a 1200 mW/cm ²	66
FIGURA 11	Microdureza. Estelite Posterior. 30 segundos a 800 mW/cm ²	67
FIGURA 12	Microdureza. Estelite Posterior. 30 segundos a 1200 mW/cm ²	68
FIGURA 13	Comparación dureza. Filtek P60. Según tiempo. 800 mW/cm ²	70
FIGURA 14	Comparación dureza. Filtek P60. Según tiempo. 1200 mW/cm ²	72
FIGURA 15	Comparación dureza. Estelite Posterior. Según tiempo. 800 mW/cm ²	74
FIGURA 16	Comparación dureza. Estelite Posterior. Según tiempo. 1200 mW/cm ²	76
FIGURA 17	Comparación dureza entre las dos marcas de resinas	78
FIGURA 18	Efecto de la interacción resina - tiempo - intensidad de la polimerización.....	80

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: FICHAS

FICHA 1 Resina Filtek P60.....	95
FICHA 2 Resina Estelite Posterior	96
FICHA 3 Constancia de dureza resina Filtek P60	97
FICHA 4 Constancia de dureza resina Estelite Posterior.....	98
FICHA 5 Dictamen comité de ética.....	99

ANEXO 2: IMÁGENES

IMAGEN 1 Resina Filtek P60.....	101
IMAGEN 2 Resina Estelite Posterior	101
IMAGEN 3 Elaboración de muestras.....	102
IMAGEN 4 Elaboración de muestras.....	102
IMAGEN 5 Elaboración de muestras.....	103
IMAGEN 6 Elaboración de muestras.....	103
IMAGEN 7 Elaboración de muestras.....	104
IMAGEN 8 Elaboración de muestras.....	104
IMAGEN 9 Elaboración de muestras.....	105
IMAGEN 10 Elaboración de muestras.....	105
IMAGEN 11 Elaboración de muestras.....	106
IMAGEN 12 Elaboración de muestras.....	106
IMAGEN 13 Elaboración de muestras.....	107

INTRODUCCIÓN

Las resinas compuestas son el material que más utilizamos para devolver la función y la estética a los dientes de nuestros pacientes. Entre estas, las resinas nanohíbridas han ganado mucha popularidad porque combinan partículas de diferentes tamaños que permiten un mejor pulido y una resistencia adecuada para soportar las fuerzas de la masticación. Para que estos tratamientos sean exitosos, es fundamental que el material se comporte de la mejor manera una vez colocado en la cavidad oral (1).

Para que estas resinas pasen de un estado blando a uno sólido y resistente, necesitamos aplicar una luz especial mediante un proceso llamado fotopolimerización. Este paso es crítico en la consulta, ya que el resultado final depende de factores como la intensidad de la lámpara que usamos y el tiempo que aplicamos la luz sobre el material (2).

Uno de los indicadores más importantes para saber si una resina ha polimerizado correctamente es su dureza superficial. Una buena dureza garantiza que el material soporte el desgaste diario y no se fracture o se raye fácilmente con el paso del tiempo. Sin embargo, en la práctica clínica a veces surge la duda de si un mayor tiempo de exposición puede compensar una intensidad de luz diferente, o cómo estas dos variables se afectan entre sí dependiendo de la tecnología de cada marca comercial de lámpara que usamos (3).

Por esta razón, este proyecto de investigación busca analizar cómo influye la interacción entre el tiempo y la intensidad de polimerización específicamente en la dureza de dos marcas distintas de resinas nanohíbridas. Al comparar estos materiales, esperamos entender mejor cuál es el protocolo ideal para trabajar con ellas en la clínica, ayudándonos a tomar mejores decisiones para ofrecer tratamientos más duraderos y seguros para los pacientes.



CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Determinación del problema

Durante las prácticas clínicas de la facultad, empecé a notar que no todos los compañeros, ni yo mismo, seguíamos el mismo protocolo al usar la lámpara de fotopolimerización. A veces, por la prisa de terminar un procedimiento o porque alguna lámpara se sentía con menos potencia que otra, surgía la duda de si la resina realmente estaba quedando lo suficientemente dura. Me llamó mucho la atención ver cómo, algunas restauraciones parecían desgastarse más rápido que otras o cambiaban de color en poco tiempo, y me pregunté si el error estaba en la marca de la resina o dependía de la fuente de luz. Fue esa curiosidad por entender si realmente estamos "fotocurando" bien nuestros materiales lo que me motivó a elegir este tema para mi investigación.

Sin embargo, el problema real es que en la práctica diaria solemos dar por sentado que cualquier lámpara y cualquier tiempo de exposición funcionan igual para todas las resinas, sin considerar que la intensidad de la luz y el tiempo de aplicación interactúan de forma compleja. No sabemos con certeza si un tiempo breve con alta intensidad produce la misma dureza superficial que un tiempo prolongado con baja intensidad, especialmente cuando comparamos diferentes marcas de resinas. Esta falta de claridad en la literatura, me impulsó a realizar la investigación para poder crear un antecedente científico.

1.2. Descripción del problema

a) Áreas del conocimiento

- Área general : Ciencias de la Salud
- Área específica : Odontología
- Especialidad : Odontología Restauradora
- Tópico : Biomateriales Odontológicos

1.3. Interrogantes de la Investigación

a. Principal

- ¿Cuál es el efecto de la interacción entre el tiempo y la intensidad de polimerización sobre la microdureza superficial de dos marcas de resinas nanohíbridas?

b. Específicas

- ¿Cuál es la microdureza superficial de la resina Filtek P60 según el tiempo de polimerización?
- ¿Cuál es la microdureza superficial de la resina Filtek P60 según la intensidad de polimerización?
- ¿Cuál es la microdureza superficial de la resina Estelite Posterior según el tiempo de polimerización?
- ¿Cuál es la microdureza superficial de la resina Estelite Posterior según la intensidad de polimerización?
- ¿Existirán diferencias significativas en la microdureza superficial entre las marcas de resina nanohíbrida evaluadas?

1.4. Justificación del problema

1.4.1. Viabilidad

La presente investigación es viable debido a que se desarrollará bajo condiciones *in vitro*, lo cual permite trabajar en un ambiente controlado y reducir la influencia de factores externos que podrían alterar los resultados obtenidos. Este tipo de metodología facilita que variables importantes, como el tiempo de exposición a la luz y la intensidad de polimerización, puedan mantenerse constantes y evaluarse de manera precisa durante todo el procedimiento experimental. De esta forma, se garantiza una mejor organización y confiabilidad en la obtención de los datos.

Asimismo, la ejecución del estudio resulta factible porque los materiales y equipos necesarios para el desarrollo experimental son de acceso relativamente simple dentro del área odontológica y académica. Entre estos se incluyen las resinas compuestas nanohíbridas, las unidades de fotopolimerización y los equipos destinados a la evaluación de la microdureza superficial. La disponibilidad de estos

recursos permite desarrollar la investigación sin mayores limitaciones técnicas y asegura la adecuada aplicación de la metodología planteada.

1.4.2. Relevancia científica

El presente estudio aporta evidencia científica acerca de la interacción existente entre variables fundamentales del proceso de fotopolimerización, específicamente el tiempo de exposición y la intensidad lumínica aplicada durante la activación de las resinas compuestas, factores que desempeñan un papel determinante en el comportamiento final del material restaurador debido a que influyen directamente en el grado de conversión de la resina y, por consiguiente, en sus propiedades físicas y mecánicas. Dentro de estas propiedades, la microdureza superficial constituye uno de los indicadores más importantes para evaluar la calidad de la polimerización alcanzada, ya que una adecuada dureza permite que el material presente mayor resistencia al desgaste, menor susceptibilidad a fracturas y una mejor estabilidad frente a las fuerzas masticatorias que actúan constantemente en la cavidad oral. Asimismo, este estudio permite comprender cómo las variaciones en el tiempo de fotopolimerización y en la intensidad de la luz pueden modificar el desempeño clínico de diferentes resinas nanohíbridas, aspecto de gran relevancia en la práctica odontológica actual. En ese sentido, la investigación contribuye al fortalecimiento del conocimiento científico en el área de biomateriales dentales y proporciona información útil para la optimización de protocolos restauradores, permitiendo al cirujano dentista tomar decisiones clínicas más seguras y eficientes con el propósito de mejorar la calidad, resistencia y durabilidad de las restauraciones realizadas con resinas compuestas.

1.4.3. Relevancia Social

La investigación posee relevancia social debido a que busca contribuir al mejoramiento de la calidad de los tratamientos restauradores realizados con resinas compuestas, materiales ampliamente utilizados en la práctica odontológica actual para devolver función y estética a las piezas dentarias. La optimización del proceso de fotopolimerización permite obtener restauraciones con mejores propiedades físicas y mecánicas, favoreciendo una mayor resistencia al desgaste, estabilidad y

durabilidad. Como consecuencia, se espera reducir la aparición de fallas tempranas, fracturas, desgastes o filtraciones marginales que puedan comprometer el éxito del tratamiento restaurador. Asimismo, restauraciones más duraderas disminuyen la necesidad de retratamientos, lo cual no solo beneficia la salud bucal del paciente al preservar por mayor tiempo la estructura dentaria, sino que también representa un impacto positivo en el aspecto económico, al reducir gastos adicionales asociados a nuevas consultas, reemplazos restauradores y procedimientos complementarios. De esta manera, el estudio aporta información útil que puede contribuir a mejorar la calidad de atención odontológica y favorecer el bienestar general de la población.

1.4.4. Originalidad

El estudio presenta un enfoque original e innovador debido a que analiza de manera conjunta la interacción entre dos variables fundamentales del proceso de fotopolimerización, como son el tiempo de exposición y la intensidad lumínica, evaluando además su comportamiento en diferentes marcas de resinas compuestas nanohíbridas. Este abordaje resulta importante porque, aunque existen investigaciones relacionadas con la fotopolimerización de resinas compuestas, en muchos casos las variables suelen ser estudiadas de forma aislada y no de manera integrada, limitando así la comprensión completa del comportamiento del material restaurador frente a las distintas condiciones clínicas. Asimismo, la comparación entre diferentes marcas comerciales permite identificar posibles variaciones en la respuesta de cada material ante cambios en los protocolos de fotocurado. En ese sentido, esta investigación busca ampliar la evidencia científica disponible en el área de materiales dentales, aportando información útil para optimizar los procedimientos y contribuir al desarrollo de protocolos de fotopolimerización más eficientes y adecuados para cada tipo de resina utilizada en la práctica odontológica.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Determinar la interacción entre el tiempo y la intensidad de polimerización sobre la microdureza superficial de dos marcas de resinas nanohíbridas.

2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la microdureza superficial de la resina Filtek P60 según el tiempo de polimerización.
- Evaluar la microdureza superficial de la resina Filtek P60 según la intensidad de polimerización.
- Evaluar la microdureza superficial de la resina Estelite Posterior según el tiempo de polimerización.
- Evaluar la microdureza superficial de la resina Estelite Posterior según la intensidad de polimerización.
- Determinar si existen diferencias significativas en la microdureza superficial entre las marcas de resina nanohíbrida evaluadas.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Resinas Compuestas

3.1.1. Definición y evolución de las resinas

Las resinas compuestas se encuentran entre los biomateriales más importantes y utilizados en la odontología restauradora contemporánea, debido a sus excepcionales características cosméticas, adhesivas y mecánicas. Estos materiales incluyen una matriz de resina orgánica, partículas de relleno inorgánicas y un agente de acoplamiento de silano que mejora la adhesión entre ambas fases. Su objetivo principal es rehabilitar la forma, la función y el aspecto visual de los dientes afectados por caries, fracturas u otras modificaciones estructurales. Desde su introducción en la odontología, las resinas compuestas han evolucionado progresivamente para mejorar la resistencia mecánica, disminuir la contracción por polimerización y optimizar sus características ópticas y de manipulación (4).

El desarrollo de las resinas compuestas contemporáneas comenzó en 1962, gracias a la introducción por parte de Ray Bowen de la molécula Bis-GMA (metacrilato de glicidilo de bisfenol A), considerada el componente esencial de las resinas actuales. Antes de este importante avance, los materiales restauradores predominantes eran los silicatos y la amalgama dental, que presentaban inconvenientes estéticos y requerían preparaciones de cavidad más extensas. La aparición de los composites permitió restauraciones más conservadoras, priorizando la preservación de una mayor cantidad de estructura dental sana y mejorando la adhesión al sustrato dental. A lo largo de los años, la composición química de estos materiales se ha perfeccionado mediante la integración de numerosos monómeros, como UDMA y TEGDMA, junto con partículas de relleno de diversos tamaños y composiciones (4).

Inicialmente, las resinas compuestas incorporaban partículas de macrofiller, que proporcionaban suficiente resistencia. Sin embargo, estas resinas presentaban superficies más rugosas y una pulibilidad limitada. Posteriormente, se desarrollaron resinas microparticuladas. Estas resinas se distinguían por sus mejores características estéticas y una limpieza superficial más eficaz, aunque con menor resistencia mecánica. Más tarde, surgieron las resinas híbridas y microhíbridas. Estas resinas se desarrollaron con la intención de combinar resistencia y estética en una sola sustancia. Con el tiempo, se convirtieron en el

estándar clínico para restauraciones anteriores y posteriores durante un periodo considerable. El desarrollo de estos biomateriales continúa con la introducción de resinas nanoparticuladas y nanohíbridas. Estas resinas incluyen partículas de tamaño nanométrico y tienen la capacidad de mejorar considerablemente el brillo, la suavidad superficial, la resistencia al desgaste y la estabilidad del color (5).

El desarrollo de resinas compuestas con características biomiméticas, capaces de imitar las propiedades ópticas y mecánicas del tejido dental natural, es actualmente el principal foco de estudio. En esta misma línea, han evolucionado las resinas de relleno masivo, diseñadas para aplicarse en incrementos más gruesos, lo que reduce el tiempo de tratamiento clínico y aumenta la profundidad de polimerización. Se han modificado los sistemas fotoiniciadores y la translucidez de la resina de estos materiales, lo que resulta en una mayor eficiencia de polimerización y una reducción de la tensión inducida por la contracción de polimerización. Además, los avances en nanotecnología y los innovadores sistemas de relleno han contribuido significativamente a la optimización de la durabilidad clínica y el comportamiento biomecánico de las restauraciones (6).

A pesar de los grandes avances en este campo, las resinas compuestas aún presentan limitaciones en muchos aspectos, como la contracción por polimerización, la degradación hidrolítica y la susceptibilidad a la tinción extrínseca. Por ello, la investigación científica sigue centrándose en el desarrollo de materiales con características adhesivas superiores, mayor estabilidad química y capacidad para inhibir el crecimiento de gérmenes. Actualmente, las resinas compuestas son el material de restauración estética más popular en odontología. Esto se debe a que, además de sus constantes avances técnicos, satisfacen tanto las necesidades funcionales como estéticas de los pacientes (7).

Los materiales compuestos, antes conocidos como "resinas reforzadas" o "resinas compuestas", son ahora los más utilizados en las restauraciones de resina compuesta. Además, en los últimos años han cobrado mayor relevancia en el campo de las restauraciones rígidas.

Mediante la unión de dos materiales distintos, se puede formar una nueva estructura. Las propiedades de la sustancia están influenciadas por diversos

criterios, como el volumen y las características de cada componente, su distribución y la fuerza del enlace entre ellos (8).

3.1.2. Clasificación

Las resinas compuestas que se utilizan en odontología estética restauradora constituyen el avance más importante en este campo. Se describen estructuralmente como un sistema de dos fases que consta de una matriz de polímero orgánico (la fase dispersante) y una fase de relleno inorgánico (la fase dispersa), unidas entre sí por un agente de acoplamiento, que suele ser silano (9).

a) Clasificación según el Tamaño y Distribución de la Partícula:

- **Macrorelleno (10 a 50 μm):** Estas resinas son consideradas materiales de primera generación dentro de la evolución de las resinas compuestas. Se caracterizaban por poseer partículas de relleno de gran tamaño, lo que les proporcionaba una elevada dureza y adecuada resistencia mecánica frente a las fuerzas masticatorias. Sin embargo, el gran diámetro de sus partículas ocasionaba superficies más rugosas y poco lisas después del desgaste clínico. Esta condición favorecía la acumulación de placa bacteriana y la aparición de pigmentaciones o tinciones con mayor facilidad. Además, presentaban una limitada capacidad de pulido y mantenimiento del brillo superficial con el paso del tiempo. Clínicamente, también se observaba un desgaste acelerado debido a la pérdida de partículas completas de la matriz resinosa, afectando negativamente la longevidad y estética de las restauraciones (10).
- **Microrelleno (0.01 a 0.05 μm):** Estas resinas fueron desarrolladas con el propósito de superar las limitaciones estéticas que presentaban las resinas de macropartículas. Su composición incorpora partículas muy pequeñas de sílice coloidal, lo que permite obtener superficies con un acabado mucho más liso, uniforme y brillante, favoreciendo excelentes resultados estéticos. Gracias a estas características, demostraban una gran capacidad de pulido y una mejor conservación del brillo superficial a lo largo del tiempo. No obstante, debido a que poseen una menor cantidad de carga de relleno inorgánico, presentan ciertas desventajas mecánicas en

comparación con otros tipos de resinas compuestas. Entre ellas destacan una mayor contracción de polimerización, menor resistencia a la fractura y menor capacidad para soportar fuerzas masticatorias intensas. Por esta razón, su aplicación clínica se limita principalmente a restauraciones en zonas de baja carga oclusal, especialmente en dientes anteriores donde la estética tiene mayor importancia (11).

- **Híbridas y Microhíbridas (0.4 a 5 μm):** Estas resinas compuestas se caracterizan por combinar partículas de relleno de diferentes tamaños con el objetivo de incrementar al máximo la carga inorgánica del material. Gracias a esta composición, logran mejorar significativamente sus propiedades físicas y mecánicas, especialmente la resistencia al desgaste y a las fuerzas masticatorias. Dentro de este grupo, las resinas microhíbridas destacan por ofrecer un adecuado equilibrio entre resistencia y estética, convirtiéndose durante muchos años en uno de los materiales restauradores más utilizados en la práctica clínica. Presentan propiedades mecánicas suficientes para ser empleadas en el sector posterior, donde las cargas oclusales son mayores, y al mismo tiempo poseen características estéticas aceptables para restauraciones en dientes anteriores. Además, permiten obtener un pulido relativamente satisfactorio y una adecuada estabilidad clínica, lo que favorece la durabilidad y funcionalidad de las restauraciones a largo plazo (12).
- **Nanohíbridas:** Las resinas nanohíbridas son el resultado de la incorporación de nanopartículas y nanoclústeres dentro de una matriz compuesta también por micropartículas convencionales. Esta combinación estructural permite optimizar la distribución del relleno inorgánico y mejorar considerablemente las propiedades del material restaurador. Gracias a esta configuración, estas resinas pueden alcanzar una elevada carga inorgánica, llegando incluso hasta aproximadamente un 80 % en peso, lo que contribuye a disminuir la contracción de polimerización y aumentar la estabilidad dimensional de la restauración. Asimismo, presentan una mayor resistencia al desgaste y mejores propiedades mecánicas frente a las fuerzas funcionales de la cavidad oral. Otra de sus ventajas más importantes es su excelente capacidad de pulido y mantenimiento del brillo superficial, superando en muchos casos a las

resinas híbridas tradicionales. Debido a estas características, las resinas nanohíbridas son ampliamente utilizadas tanto en el sector anterior como posterior, ya que ofrecen una adecuada combinación entre estética, resistencia y durabilidad clínica (13).

- **Nanoparticuladas (Nanocomposites):** Estas resinas emplean exclusivamente tecnología de nanorrelleno, utilizando partículas extremadamente pequeñas que oscilan aproximadamente entre 5 y 75 nm. A diferencia de las resinas nanohíbridas, cuya composición combina nanopartículas con partículas de mayor tamaño, las nanoparticuladas están constituidas únicamente por partículas nanométricas distribuidas de manera uniforme en la matriz resinosa. Esta característica permite obtener una superficie mucho más homogénea y con excelentes propiedades ópticas. Además, el desgaste de estas resinas ocurre a nivel molecular, evitando la pérdida evidente de partículas y favoreciendo la conservación del brillo y la lisura superficial durante un periodo prolongado. Gracias a ello, las restauraciones mantienen una apariencia estética más estable con el paso del tiempo, logrando una mayor similitud con el esmalte dental natural. Asimismo, presentan una adecuada resistencia mecánica y excelente capacidad de pulido, razón por la cual son ampliamente utilizadas en restauraciones donde se busca un alto nivel estético y una óptima estabilidad cromática (14).

b) Clasificación según el Mecanismo de Polimerización

- **Fotopolimerizables:** Estas resinas compuestas son activadas mediante energía lumínica, generalmente a través de luz azul con una longitud de onda cercana a los 470 nm, emitida por lámparas de fotopolimerización. Su principal ventaja radica en que el proceso de endurecimiento comienza únicamente cuando el material es expuesto a la luz, permitiendo al operador disponer de un mayor tiempo de trabajo para manipular, adaptar y modelar la restauración con precisión. Esto favorece una mejor anatomía dental y una adecuada adaptación marginal antes de iniciar la polimerización. Además, las resinas fotopolimerizables ofrecen un mayor control clínico en comparación con las resinas de autocurado, ya que el

odontólogo puede decidir el momento exacto de activación. Actualmente, son las más utilizadas en odontología restauradora debido a sus buenas propiedades estéticas, adecuada estabilidad de color y facilidad de manejo clínico (9).

- **Autopolimerizables:** En este tipo de resinas compuestas, la reacción de polimerización se inicia mediante la mezcla de dos componentes: una pasta base y una pasta catalizadora. Al entrar en contacto ambos materiales, se desencadena una reacción química que produce el endurecimiento progresivo de la resina sin necesidad de utilizar una fuente de luz. Estas resinas, conocidas como autopolimerizables o de curado químico, fueron ampliamente utilizadas antes de la aparición de las resinas fotopolimerizables. Una de sus principales ventajas es que pueden emplearse en situaciones clínicas donde el acceso de la luz resulta limitado o insuficiente, permitiendo una adecuada polimerización incluso en zonas profundas o de difícil acceso. Sin embargo, presentan un tiempo de trabajo más restringido, ya que la reacción comienza inmediatamente después de la mezcla, lo que reduce el control del operador durante la manipulación del material. Además, suelen tener menor estabilidad cromática y propiedades estéticas más limitadas en comparación con las resinas activadas por luz (11).
- **Duales:** Las resinas de curado dual combinan dos mecanismos de polimerización: la activación química y la activación mediante luz. Gracias a esta doble modalidad, el material puede iniciar su endurecimiento con la fotopolimerización y continuar el proceso mediante reacción química en aquellas zonas donde la luz no logra penetrar adecuadamente. Esta característica garantiza una polimerización más completa y uniforme, incluso en las áreas más profundas de la cavidad o en restauraciones de gran espesor. Además, ofrecen una mayor seguridad clínica en procedimientos donde el acceso de la lámpara de fotocurado es limitado, como en restauraciones indirectas, postes intrarradiculares o cementaciones adhesivas. Otra ventaja importante es que permiten conservar cierto control del tiempo de trabajo gracias a la activación lumínica inicial, mientras que el componente químico asegura el endurecimiento final del material. Debido a estas propiedades, las resinas

de curado dual son ampliamente utilizadas en procedimientos restauradores y protésicos que requieren una adecuada resistencia mecánica y una polimerización confiable en profundidad (9).

3.1.3. Composición de las resinas compuestas

Las resinas compuestas ofrecen las características mecánicas, físicas y estéticas ideales para las restauraciones dentales. Estas resinas están compuestas por diversos componentes que interactúan entre sí. La alta resistencia al desgaste, la estabilidad del color y la capacidad adhesiva son cruciales para la eficacia clínica y la durabilidad de las restauraciones. Sin embargo, la combinación precisa de estas características permite crear materiales con dichas cualidades. En las resinas compuestas, la matriz orgánica, el relleno inorgánico, el agente de unión o acoplamiento y el iniciador de polimerización son los componentes principales que las conforman (15).

a) Matriz orgánica

La matriz orgánica conforma la sección continua de la resina compuesta, constituyendo la fase resinosa de la sustancia. Generalmente, está compuesta por monómeros de dimetacrilato, entre los que destacan el Bis-GMA (metacrilato de glicidilo de bisfenol A), el UDMA (dimetacrilato de uretano) y el TEGDMA (dimetacrilato de trietilenglicol). El Bis-GMA proporciona rigidez y resistencia al material, mientras que el TEGDMA reduce la viscosidad de la resina, facilitando su manipulación en entornos clínicos. Algunas de las propiedades más importantes, como la contracción por polimerización, la absorción de agua y la resistencia mecánica, se ven directamente influenciadas por la cantidad y la mezcla de estos monómeros. La reducción de la contracción y la mejora de la estabilidad química de la matriz de resina son los objetivos principales de las nuevas formulaciones que se están desarrollando actualmente (16).

b) Relleno inorgánico

El relleno inorgánico se compone de partículas minerales que se introducen en la matriz orgánica para mejorar las propiedades mecánicas del material y disminuir la contracción durante la polimerización. El cuarzo, la sílice

coloidal, el vidrio de bario, el circonio o las nanopartículas cerámicas son algunos de los muchos componentes químicos que pueden formar estas partículas. Las características importantes de la resina compuesta, como su resistencia al desgaste, dureza, pulibilidad y translucidez, se ven directamente influenciadas por el tamaño, la forma y la cantidad del relleno. La incorporación de nanopartículas y nanoclústeres en las resinas modernas ha permitido crear superficies más lisas y con una estética más similar a la del esmalte dental natural. Además, estas resinas promueven una mayor durabilidad clínica de las restauraciones (7).

c) Agente de acoplamiento

La sustancia química conocida como agente de acoplamiento es la responsable de la formación de enlaces entre la matriz orgánica y las partículas de relleno inorgánico. Es práctica común utilizar un silano orgánico funcional, cuyo propósito principal es favorecer la unión química entre ambos componentes, permitiendo así la transmisión adecuada de la tensión y evitando que las partículas de relleno se desprendan durante la masticación. La correcta silanización de las partículas contribuye a mejorar la resistencia mecánica del material, reducir la absorción de agua y aumentar la estabilidad estructural de la resina restauradora. La microfiltración, el desgaste prematuro y las fallas adhesivas son posibles consecuencias que pueden ocurrir cuando el silano se deteriora o pierde su eficacia. Estas consecuencias pueden comprometer la durabilidad de la reparación (6).

d) Sistema iniciador

La activación del proceso de polimerización de la resina compuesta es responsabilidad del sistema iniciador presente en ella. La canforquinona es el iniciador más utilizado en resinas fotopolimerizables. Se activa mediante la aplicación de luz azul con una longitud de onda específica, generalmente entre 450 y 500 nm. Este proceso genera radicales libres que, a su vez, impulsan la transformación de los monómeros en una red polimérica estructuralmente estable y resistente al daño. Además de la canforquinona, se utilizan co-iniciadores de amina para mejorar la reacción química y promover una polimerización más eficaz. Los recientes avances tecnológicos han dado lugar a la creación de nuevos fotoiniciadores capaces de aumentar

la profundidad de polimerización, reducir el tiempo necesario para las pruebas clínicas y minimizar los cambios de color asociados al proceso de polimerización (4).

e) Resina 3M™ Filtek™ P60

Filtek P60 Restaurador Posterior es una resina estética fotopolimerizable y radiopaca, diseñada especialmente para la realización de restauraciones posteriores directas e indirectas mediante la técnica incremental de 2 a 2,5 mm. La adhesión a la estructura dentaria se consigue utilizando sistemas adhesivos dentales, como Single Bond 2 o Single Bond Universal. Este material se caracteriza por presentar una excelente capacidad de compactación, baja contracción de polimerización y una elevada resistencia al desgaste, propiedades que favorecen la durabilidad y el buen comportamiento clínico de las restauraciones posteriores (17).

- **Ventajas:**

- Excelentes características de manipulación que facilita su condensación, manteniéndose en su sitio hasta ser polimerizado, logrando una buena adaptación marginal, ofreciendo la fluidez y viscosidad ideal para restauraciones Clase I y Clase II.
- Su rápida técnica de colocación ahorra tiempo: solo son necesarios 20 segundos para foto polimerizar una capa de 2.5mm.
- Sus notorias propiedades físicas le conceden una excelente resistencia al desgaste, fuerza elevada, baja contracción y una excelente resistencia a la fractura, para brindarle la confianza de restauraciones de larga duración (17).

- **Indicaciones:**

- Restauraciones directas clase I y II en posteriores
- Técnica de sándwich
- Reconstrucción de muñones
- Reconstrucción de cúspides.
- Técnica de sándwich con resina de ionómero de vidrio.
- Ferulización.

- Restauraciones posteriores indirectas incluyendo inlays y onlays (17).

f) Resina Estelite Posterior de Tokuyama

ESTELITE POSTERIOR es un material restaurador desarrollado para realizar restauraciones posteriores de alta calidad, permitiendo una aplicación clínica confiable gracias a su excelente manipulación, resistencia física constante y capacidad de fotocurado rápido de aproximadamente 10 segundos. Este material incorpora la exclusiva tecnología de iniciación de Tokuyama denominada “Tecnología de Fotopolimerización Amplificada Radical” (RAP), la cual permite reducir significativamente el tiempo de curado sin afectar el tiempo de trabajo necesario para la correcta manipulación y adaptación de la resina. Además, esta tecnología contribuye a obtener restauraciones con adecuadas propiedades mecánicas y estabilidad clínica, favoreciendo un mejor desempeño en restauraciones sometidas a cargas oclusales elevadas (18).

Características:

- Manejo ideal
- Rigidez óptima, fácil de moldear, no pegajoso
- Fuerza física prominente
- Alta resistencia a la flexión y compresión
- Disponibilidad exclusiva de tonos posteriores
- PA1, PA2, PA3, PCE (esmalte transparente)
- Tiempo de curado rápido
- 10 segundos con una luz halógena (≥ 400 mW/cm²)
- Amplio tiempo de trabajo
- 50 segundos bajo una luz ambiental (10 000 lx)

Indicaciones:

- Restauraciones posteriores directas (incluida la superficie oclusal)
- Reparación de porcelana/composite

Tiempo de irradiación de polimerización:

- Halógeno 800 mW/cm²: 5-10 s.

- Plasma 950 mW/cm²: 3 s.
- LED 900 mW/cm²: 5-10 s (18).

3.2. Propiedades mecánicas de las resinas

Cuando un material se somete a cargas o fuerzas externas, su respuesta viene determinada por sus características mecánicas. Para predecir el comportamiento clínico de las restauraciones, estas propiedades son esenciales en el caso de las resinas compuestas dentales. Esto se debe a que el material debe ser capaz de soportar las fuerzas masticatorias, resistir la deformación y mantener su integridad estructural en la cavidad bucal, un entorno complejo y húmedo. Además, las características mecánicas de la resina compuesta y su rendimiento clínico a largo plazo se ven fuertemente influenciadas por diversos parámetros, como el tipo de relleno inorgánico, el proceso de fabricación y la cantidad de partículas integradas en la resina (19).

En el caso de las resinas compuestas, las propiedades mecánicas más importantes que se analizan son la dureza superficial, la resistencia a la flexión, el módulo de elasticidad, la resistencia al desgaste y la resistencia a la compresión. Existe una estrecha relación entre estas propiedades y la composición del material, en particular la cantidad, el tamaño y la distribución de las partículas de relleno inorgánico. Además, las características de la matriz orgánica y la eficiencia obtenida durante el proceso de polimerización también son factores importantes para determinar estas propiedades (19).

En la actualidad, las resinas compuestas deben estar diseñadas para minimizar la contracción de polimerización, ya que este fenómeno genera tensiones en la interfase diente-restauración que pueden comprometer la adhesión y la integridad marginal (20). El continuo desarrollo de nuevos materiales, como las resinas bioactivas y las resinas bulk-fill, ha introducido variaciones significativas en sus propiedades mecánicas, lo que exige una evaluación comparativa rigurosa para orientar su indicación clínica adecuada (21).

3.2.1. Microdureza superficial

a) Definición

La microdureza superficial se define como la resistencia que ofrece un material a ser penetrado o rayado en su superficie, evaluada mediante indentadores de pequeño tamaño que aplican cargas reducidas. Es una propiedad física que refleja la dureza del material a nivel microscópico y está directamente relacionada con el grado de conversión de la resina y con la integridad de su superficie (22). Esta propiedad está determinada por la cantidad de relleno que presente la resina; por ende, a mayor cantidad de relleno, mayor será su dureza y menores los cambios dimensionales (23).

La microdureza es un indicador sensible de la calidad de la polimerización en las diferentes profundidades de la restauración. En las resinas dentales, la microdureza está determinada por diversos factores, como la composición del material, el tamaño de sus partículas, su contenido de relleno y la eficiencia de la fotopolimerización (22). La prueba de microdureza Vickers es una de las más utilizadas para este fin; consiste en aplicar un indentador de diamante en forma de pirámide de base cuadrada sobre la superficie del material, midiendo posteriormente la diagonal de la huella resultante (23).

b) Importancia clínica

Las resinas compuestas son el principal material de restauración directa utilizado por los odontólogos, y entre sus propiedades, la microdureza resulta fundamental para su éxito clínico (24). Una adecuada microdureza superficial es esencial para que la restauración resista el cepillado dental, la abrasión por alimentos y las fuerzas oclusales, manteniendo su integridad y estética a lo largo del tiempo. La microdureza también influye en el brillo superficial y en la resistencia al depósito de placa bacteriana (25).

La profundidad y calidad de la fotopolimerización en las resinas compuestas juega un papel fundamental, ya que el brillo, la dureza y la longevidad clínica dependen en gran medida de una correcta polimerización en toda la masa del material (25). Resinas con baja microdureza superficial son más susceptibles al desgaste prematuro, a la pérdida de anatomía y al deterioro estético, pudiendo también favorecer la microfiltración y el fracaso de la restauración (26).

Estudios recientes han demostrado que las resinas bioactivas pueden presentar una microdureza superior en comparación con las resinas compuestas convencionales y fluidas. La resina bioactiva Beautiful® Bulk registró la mayor microdureza, alcanzando un valor medio de 55,1 VH, en comparación con otras resinas bulk-fill que alcanzaron valores de 44,9 VH y 28,8 VH respectivamente (21). Asimismo, se ha observado que la exposición a bebidas ácidas puede disminuir significativamente la microdureza superficial de la mayoría de las resinas comerciales (27).

c) Factores que afectan la microdureza

La microdureza superficial de las resinas compuestas se ve afectada por múltiples factores relacionados con la composición del material, las condiciones de fotopolimerización y el entorno oral.

En cuanto a la composición, el contenido de relleno inorgánico es el principal determinante: las resinas con mayor porcentaje de carga presentan valores de microdureza más elevados. El tamaño de las partículas de relleno también influye; las resinas de nanorrelleno pueden ofrecer mejores propiedades debido a la mayor superficie de contacto y a la homogeneidad de la estructura. La naturaleza de la matriz orgánica y el tipo de monómeros empleados (Bis-GMA, UDMA, TEGDMA) también afectan la capacidad del material para polimerizarse adecuadamente (28).

Respecto a las condiciones de fotopolimerización, factores como la intensidad de la fuente de luz, el tiempo de exposición y la distancia de la lámpara son críticos. La profundidad de curado y la microdureza superficial se ven comprometidas cuando no se logra una polimerización completa en todas las capas de la restauración. Se ha observado que a 4 mm de profundidad, diferentes resinas pueden alcanzar una profundidad de curado media homogénea, aunque con diferencias en los valores de microdureza (29).

Los factores ambientales también son relevantes; la exposición a bebidas ácidas, alimentos y agentes químicos presentes en la cavidad oral produce un efecto erosivo que puede disminuir la microdureza superficial de las resinas compuestas. La inmersión en soluciones ácidas provoca una reducción en la microdureza

superficial, aunque este efecto varía según la composición específica de cada resina. Además, el propio envejecimiento del material y los ciclos térmicos a los que se somete en la cavidad oral también afectan progresivamente esta propiedad (27).

3.2.2. Otras propiedades

a) Resistencia flexural

La resistencia flexural (también denominada resistencia a la flexión) es una propiedad mecánica que mide la capacidad de un material para resistir la deformación bajo una carga aplicada en sus extremos, sin llegar a fracturarse. Esta propiedad es especialmente relevante para las restauraciones de resina compuesta, ya que los dientes y las restauraciones están sometidos constantemente a fuerzas de flexión durante la masticación.

La resistencia flexural se evalúa mediante el ensayo de flexión en tres puntos, descrito en la norma ISO 4049, que consiste en apoyar una probeta del material sobre dos soportes y aplicar una carga en su punto medio hasta que se produce la fractura. Los valores obtenidos permiten determinar la capacidad del material para soportar tensiones de tracción y compresión simultáneamente (30).

Investigaciones recientes han demostrado que la resina fluida de alta carga presenta mejor resistencia flexural en comparación con las resinas fluidas convencionales y las resinas fluidas bulk-fill, mientras que estas dos últimas no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí. La resistencia flexural de las resinas compuestas está influenciada principalmente por el contenido de relleno inorgánico, la calidad de la unión entre la matriz y las partículas de relleno, y la presencia de defectos internos como burbujas o zonas con polimerización incompleta (30).

b) Módulo de elasticidad:

El módulo de elasticidad, también conocido como módulo de Young, es una propiedad mecánica que cuantifica la rigidez de un material, es decir, la relación entre la tensión aplicada y la deformación unitaria que se produce en la zona de comportamiento elástico. Un material con alto módulo de elasticidad es más

rígido y se deforma menos ante una carga determinada; por el contrario, un material con bajo módulo de elasticidad es más flexible.

En las resinas compuestas, el módulo de elasticidad tiene importantes implicaciones clínicas. Las resinas con bajo módulo de elasticidad actúan como amortiguadores de tensiones, disipando la energía generada durante la masticación y protegiendo la interfase diente-restauración. Esta propiedad es especialmente relevante en las restauraciones cervicales y en aquellas que requieren una mayor adaptación a las paredes cavitarias (30).

El módulo de elasticidad se determina conjuntamente con la resistencia flexural mediante el ensayo de flexión en tres puntos, midiendo la pendiente de la porción lineal de la curva tensión-deformación. Este valor está influenciado por el contenido de relleno inorgánico; a mayor cantidad de partículas de relleno, mayor es el módulo de elasticidad del material compuesto. Las resinas fluidas, desarrolladas para mejorar la adaptación a las cavidades, presentan un módulo de elasticidad más bajo que las resinas de alta viscosidad, lo que les confiere un efecto de alivio de tensiones (31).

c) Resistencia al desgaste:

La resistencia al desgaste es una propiedad mecánica fundamental que determina la durabilidad clínica de las restauraciones de resina compuesta. Esta propiedad se define como la capacidad del material para soportar la pérdida progresiva de sustancia superficial causada por el contacto con agentes abrasivos, ya sean alimentos, cepillado dental o el contacto antagonista con otros dientes o restauraciones.

La resistencia al desgaste depende principalmente del tamaño, la forma y el contenido de las partículas de relleno, así como de la localización de la restauración en la cavidad oral. Las partículas de relleno actúan como barreras que protegen la matriz orgánica del desgaste. Las resinas con partículas de relleno más pequeñas y uniformes presentan una mayor resistencia al desgaste y permiten un mejor acabado superficial (23).

Clínicamente, la falta de resistencia al desgaste se manifiesta como pérdida de anatomía oclusal, desnivel de las restauraciones, pérdida del brillo superficial y acumulación de placa bacteriana, lo que puede conducir al fracaso de la restauración a mediano o largo plazo. Las resinas condensables o empacables se desarrollaron como una alternativa a la amalgama precisamente para mejorar la resistencia al desgaste y la longevidad de las restauraciones posteriores (23).

El desgaste es un fenómeno complejo que involucra múltiples mecanismos, incluyendo la abrasión (causada por partículas duras), la adhesión (por contacto con superficies antagonistas) y la fatiga superficial (debida a ciclos repetidos de carga). Las resinas compuestas modernas han logrado avances significativos en la resistencia al desgaste gracias a la optimización del contenido y la distribución de las partículas de relleno, así como a la incorporación de tecnologías como los nanorrellenos y las resinas bioactivas (21).

3.2.3. Fotopolimerización

a) Conceptos, Definición e Historia:

La instalación de unidades de fotopolimerización intraorales ha permitido un control significativo del inicio del proceso de polimerización en composites y resinas utilizados en diversos materiales dentales. Este control está disponible desde la década de 1970. Si bien este mayor control ofrece múltiples beneficios terapéuticos, también requiere una monitorización cuidadosa para garantizar que todo el espesor del material expuesto reciba la cantidad y calidad de energía necesarias. Esto asegura que el estado sólido final presente las características adecuadas. Aunque existen diversos mecanismos capaces de generar suficiente emisión de luz, estas características varían con el tiempo y dependen de la calidad del equipo utilizado, así como de su mantenimiento (32).

Los fabricantes de equipos dentales han creado dispositivos complejos diseñados específicamente para satisfacer las necesidades de diversas situaciones clínicas y para abordar la amplia gama de tratamientos que requieren una fuente de luz. Sin embargo, estos dispositivos no garantizan la eficacia ni la seguridad de todas las técnicas de fotopolimerización, ni pueden asegurar su compatibilidad universal con todos los materiales. Un conocimiento exhaustivo de las propiedades fisicoquímicas y las características de manipulación de los materiales dentales

permite a los profesionales mejorar la seguridad de la aplicación y reducir las tasas de fallo en los procedimientos clínicos que dependen de la fotopolimerización. Además, es fundamental comprender a fondo las unidades de fotoactivación, incluyendo su función principal, las indicaciones de uso, los aspectos ergonómicos y las propiedades físicas de la luz que emiten (33).

En la década de 1970, se inició la práctica de utilizar la activación física para facilitar la polimerización de los materiales restauradores. Buonocore, uno de los pioneros en la aplicación de radiación UV a la superficie dental durante un periodo de entre veinte y treinta segundos, utilizó un reflector intraoral conectado a una fuente de luz. Tras analizar esta información, llegó a la conclusión de que la intensidad de esta radiación era suficiente para polimerizar un adhesivo que se utilizaba como sellador para fosas y fisuras.

Los fotoiniciadores activados por luz ultravioleta se emplearon en el desarrollo de los primeros composites fotopolimerizables introducidos en la industria dental. El primer fotoactivador disponible en el mercado mundial fue Nuva-Lite, fabricado por Caulk y comercializado inicialmente en Estados Unidos. Fue el primer fotoactivador que utilizaba una bombilla de luz ultravioleta para funcionar (33).

Se produjo un cambio sustancial en la forma de realizar el tratamiento restaurador como resultado de la aplicación de estos conceptos. Gracias a estos enfoques, ya no era necesario combinar pastas para iniciar la polimerización química. Esto permitió eliminar los radicales amina presentes en las composiciones de resina compuesta. Anteriormente, el uso de restauraciones estéticas directas generalmente se limitaba a la zona anterior debido a problemas relacionados con la inestabilidad del color y la porosidad. Las limitaciones asociadas a dichas restauraciones se abordaron considerablemente gracias a estos avances. Además, la capacidad de regular completamente el tiempo de trabajo clínico fue una de las ventajas más significativas que contribuyeron al éxito del método de fotopolimerización. A pesar de estos avances, diversas investigaciones científicas han demostrado que la limitada penetración de la luz UV ha provocado una polimerización inadecuada. En consecuencia, las restauraciones presentaban malas propiedades mecánicas y eran más propensas a fallos de retención, mala

adaptación marginal y decoloración hacia tonos opacos, amarillentos y antiestéticos. Además, las restauraciones tenían mayor probabilidad de fallar en la retención. Además, los tejidos gingivales y la pulpa dental mostraron una alta sensibilidad a la irritación causada por esta forma particular de radiación (33).

El sistema de activación en cuestión tuvo una corta trayectoria en las clínicas dentales debido a estas restricciones, así como a los posibles efectos perjudiciales de la luz ultravioleta en pacientes, profesionales y personal de apoyo. En consecuencia, los dispositivos de fotoactivación basados en lámparas halógenas rápidamente se convirtieron en su reemplazo. Gracias a la mayor capacidad de concentración de este tipo de luz, las resinas compuestas se podían convertir con mayor eficacia, lo que resultaba en restauraciones con mejores cualidades estructurales, menor absorción de agua y menor riesgo de tinción. Por estas razones, el método de fotopolimerización con lámparas halógenas se consideró durante mucho tiempo uno de los más seguros y efectivos en el campo de la odontología restauradora (33).

Como consecuencia de los avances en materiales restauradores y adhesivos dentales, así como de la utilización de diversas terapias restauradoras directas e indirectas que requieren fotoactivación, los dispositivos emisores de luz se han convertido en un componente importante de la práctica clínica de la odontología restauradora. Si bien se han logrado avances considerables tanto en los materiales como en los equipos utilizados para la fotoactivación, aún existen algunos problemas relacionados con los materiales fotoactivados y los procedimientos clínicos asociados. Diversos estudios han demostrado que la energía liberada por las fuentes de luz, al combinarse con diversas resinas compuestas y otros materiales fotosensibles disponibles comercialmente, puede alcanzar una tasa de conversión de monómero de aproximadamente el cincuenta por ciento. Esta conversión limitada da lugar a restauraciones con peores cualidades mecánicas, menor durabilidad y una cantidad significativa de monómero residual, lo que puede afectar negativamente la biocompatibilidad del material.

La alternativa más vanguardista a las lámparas de fotopolimerización tradicionales son ahora los dispositivos de fotoactivación. Estos dispositivos utilizan diodos emisores de luz que operan dentro de ciertas bandas de longitud

de onda. Estos aparatos, conocidos como unidades de fotoactivación LED, se distinguen por ser más ligeros, robustos y duraderos que sus predecesores. Funcionan con baterías recargables y se caracterizan por su gran durabilidad. Actualmente existe una amplia selección de marcas y modelos en el mercado, y los profesionales dentales los encuentran muy atractivos debido a sus precios asequibles y su diseño ergonómico (33).

Tras la finalización del proceso de polimerización, se produce el curado de diversos materiales restauradores. Este proceso puede acelerarse, lo que aumenta la eficiencia del curado del material. Esto se debe a que la etapa de iniciación de la polimerización por adición requiere energía para su activación. El campo de investigación conocido como fotoquímica abarca el estudio de la creación de compuestos mediante la activación de procesos químicos con luz fluorescente. Para que el proceso de fotocurado sea exitoso, es necesario que el material absorba la radiación lumínica emitida de forma adecuada. Además, para comprender completamente el proceso de absorción, es fundamental tener en cuenta no solo la longitud de onda de la radiación incidente, sino también las características de la estructura o sustancia con la que entra en contacto (34).

La fotoactivación de resinas compuestas ha experimentado diversas etapas de desarrollo a lo largo del tiempo. Las lámparas LED, que generan luz mediante diodos emisores de luz, las lámparas halógenas, las lámparas de arco de plasma y los láseres son algunas de las tecnologías de iluminación disponibles actualmente. El progreso de las lámparas de fotopolimerización también se vio impulsado por el descubrimiento de nuevos materiales idóneos para restauraciones. Las clínicas dentales han utilizado ampliamente bombillas halógenas, disponibles desde hace mucho tiempo. Por otro lado, unos diez años después de su aparición, las tecnologías de plasma y láser comenzaron a integrarse en la práctica odontológica contemporánea. En conclusión, la introducción de las luces LED permitió a la comunidad odontológica mundial acceder a un método más eficaz para los procedimientos restauradores con resina compuesta. Esta tecnología se ha generalizado y se sigue utilizando en la actualidad (34).

La polimerización del vinilo es un proceso químico que tiene lugar entre moléculas insaturadas que contienen enlaces dobles carbono-carbono. Este

proceso tiene su origen en el estudio de la química de los alquenos. La clasificación de los grupos químicos que incluyen enlaces dobles, denominados grupos vinilo, es el origen del nombre "polimerización del vinilo". En este proceso, la creación de moléculas de polímero requiere la presencia de monómeros con enlaces dobles, especialmente monómeros vinilo. El eteno, también conocido como etileno, es uno de los ejemplos más típicos. A pesar de tener estructuras más complejas, las moléculas pueden formar polímeros mediante el mismo método incluso si contienen uno o más enlaces dobles o grupos químicos adicionales. En condiciones básicas, los enlaces dobles pueden disolverse y activar moléculas con valencias libres. Esto se debe a que los enlaces dobles constituyen un tipo de inestabilidad química. Estas valencias libres no pueden permanecer aisladas y, en consecuencia, tienden a formar enlaces entre sí. Esto conduce a la fusión gradual de las moléculas, lo que finalmente resulta en la producción del polímero deseado. Es práctica común denominar al polímero producido añadiendo el prefijo "poli" al nombre del monómero resultante de la reacción. Un ejemplo de esto es el caso del polietileno (35).

En el ámbito odontológico, la fotopolimerización constituye una técnica fundamental utilizada para asegurar que las restauraciones dentales presenten propiedades funcionales y estéticas adecuadas. El éxito de este procedimiento clínico depende de múltiples factores, entre los cuales se incluyen:

- **Tipo de lámpara de fotopolimerización:** En los procesos de fotopolimerización, dos de las fuentes de luz más comunes son las lámparas halógenas y las luces LED. En los últimos años, las unidades LED han experimentado un progreso técnico sustancial, lo que ha generado diversas ventajas en comparación con otros sistemas de iluminación. Su mayor vida útil, menor consumo energético y la ausencia de ventiladores internos son sus principales ventajas. Además, son capaces de mantener una intensidad lumínica suficiente sin disminuir la cantidad de luz emitida (36).
- **Duración e intensidad de la exposición:** Para que se produzca una polimerización suficiente, es necesario exponer el material a la fuente de luz de la manera adecuada. Es posible que una exposición de unos treinta segundos sea suficiente para garantizar un curado efectivo. Esto es importante si se tienen en cuenta las ventajas que ofrecen las unidades LED.

Además, existe un periodo denominado fase oscura, durante el cual el proceso de fotopolimerización puede continuar hasta veinticuatro horas después de haber retirado la fuente de luz (36).

- **Profundidad de curado:** Para lograr una polimerización uniforme, es fundamental que la luz penetre en la resina compuesta de manera adecuada. Debido a la mayor concentración de fotoiniciadores activos en la zona más cercana a la fuente de luz, la polimerización tiende a ser más completa en esa región que en las zonas más profundas del material (36).

Una fotopolimerización insuficiente puede dar lugar a restauraciones defectuosas, lo que puede ocasionar problemas como decoloración, irritación pulpar, sensibilidad postoperatoria e incluso el fracaso de la restauración. Es fundamental seleccionar adecuadamente la fuente de luz, establecer el tiempo de exposición apropiado y tener en cuenta las características únicas del material utilizado en las restauraciones dentales para garantizar un rendimiento clínico óptimo (36).

3.2.4. Tiempo de Polimerización

a) Definición:

El tiempo de polimerización se define como el período durante el cual una resina compuesta es expuesta a una fuente de energía luminosa (generalmente una lámpara de fotopolimerización) con el objetivo de iniciar y completar la reacción de polimerización por radicales libres que transforma la pasta monomérica en una estructura sólida y reticulada. Este parámetro es uno de los factores más críticos en el procedimiento clínico de restauración con resinas compuestas, ya que determina directamente la calidad y la profundidad del curado del material (37).

En el contexto de los materiales dentales fotopolimerizables, el tiempo de polimerización debe distinguirse del concepto de tiempo de exposición o tiempo de irradiación. Mientras que el tiempo de exposición se refiere estrictamente a los segundos en que la luz incide sobre la resina, el tiempo de polimerización efectivo considera también el tiempo necesario para que la reacción química se complete después del cese de la irradiación, ya que la polimerización por radicales libres continúa durante un período adicional (38).

Los tiempos de polimerización recomendados por los fabricantes suelen oscilar entre 10 y 40 segundos por incremento de material, dependiendo de la composición de la resina, el tipo de lámpara empleada y la intensidad luminosa generada. Con la introducción de las lámparas LED de alta intensidad (≥ 1000 mW/cm²), se han establecido protocolos más cortos (10-20 segundos), mientras que con lámparas halógenas convencionales se requerían tiempos de 40 a 60 segundos (39).

El tiempo de polimerización está estrechamente relacionado con otros parámetros operativos, como la distancia de la lámpara a la superficie de la resina, el ángulo de incidencia de la luz, la temperatura del material y la presencia de barreras o atenuadores que puedan reducir la energía efectiva que alcanza el material. La energía total (densidad de energía) administrada a la resina compuesta se calcula como el producto de la intensidad luminosa (mW/cm²) por el tiempo de exposición (segundos), expresándose en J/cm² (40).

b) Influencia en el grado de conversión:

El grado de conversión (GC) es el porcentaje de dobles enlaces carbono-carbono (C=C) de los monómeros que se transforman en enlaces simples (C-C) durante la polimerización, y constituye el parámetro más importante para determinar la calidad de la polimerización de una resina compuesta. El tiempo de polimerización influye de manera decisiva sobre el grado de conversión alcanzado, especialmente en las capas más profundas de la restauración (41).

Cuando el tiempo de irradiación es insuficiente, la reacción de polimerización se detiene prematuramente, dejando un elevado número de monómeros sin reaccionar y una estructura reticulada incompleta. Esto se traduce en un bajo grado de conversión, generalmente inferior al 55-60%, que es el umbral considerado clínicamente aceptable para la mayoría de las resinas compuestas. Por el contrario, un tiempo de polimerización adecuado permite alcanzar grados de conversión superiores al 70% en la superficie y valores cercanos al 60% a profundidades de 2 mm (42).

La relación entre el tiempo de polimerización y el grado de conversión no es lineal. Existe un tiempo mínimo por debajo del cual el GC es inaceptable, y un

tiempo óptimo a partir del cual incrementos adicionales no producen mejoras significativas. Este fenómeno se debe al agotamiento de los fotoiniciadores (canforoquinona principalmente) y a la limitación por movilidad de los radicales en una matriz cada vez más rígida (43).

Estudios recientes han demostrado que la aplicación de tiempos de polimerización más prolongados (40 segundos frente a 20 segundos) produce mejoras significativas en el grado de conversión, especialmente en resinas compuestas de alto contenido de relleno y en materiales bulk-fill cuando se fotopolimerizan en incrementos superiores a 4 mm. Sin embargo, tiempos excesivamente largos (superiores a 60 segundos) pueden incrementar la temperatura de la resina y del diente, con riesgo de daño pulpar, sin ofrecer beneficios adicionales en el GC (44).

La profundidad de curado es otro aspecto crítico influenciado por el tiempo de polimerización. Se define como la máxima profundidad a la cual el material alcanza un grado de conversión mínimamente aceptable (usualmente el 80% de la dureza superficial). Un tiempo de exposición insuficiente reduce drásticamente la profundidad de curado, especialmente en resinas de tonos oscuros o con alta opacidad, que atenúan la transmisión de la luz (45).

c) Relación con propiedades mecánicas:

El tiempo de polimerización ejerce una influencia directa y significativa sobre las propiedades mecánicas de las resinas compuestas, ya que estas dependen fundamentalmente del grado de conversión alcanzado y de la calidad de la red polimérica formada (46).

La **microdureza superficial** es una de las propiedades más sensibles al tiempo de polimerización. Se ha demostrado que tiempos de irradiación insuficientes producen una capa superficial con baja dureza, más susceptible al rayado y al desgaste. Incrementar el tiempo de exposición desde 10 hasta 20 segundos puede aumentar la microdureza Vickers hasta en un 30% en algunas resinas, mientras que la prolongación a 40 segundos produce mejoras adicionales pero más modestas. En las capas subsuperficiales (1-2 mm de profundidad), la influencia

del tiempo es aún más crítica, requiriéndose tiempos más largos para alcanzar valores de microdureza equivalentes a la superficie (47).

La **resistencia flexural** también mejora con tiempos de polimerización más prolongados, aunque la relación es menos marcada que con la microdureza. Un tiempo insuficiente (10 segundos) puede reducir la resistencia flexural hasta en un 40% en comparación con el mismo material fotopolimerizado durante 40 segundos. Esta reducción se debe a la presencia de defectos internos, zonas insuficientemente polimerizadas y una interfase débil entre la matriz y las partículas de relleno (48).

El **módulo de elasticidad** (rigidez) se incrementa con mayores tiempos de polimerización, ya que una red polimérica más reticulada ofrece mayor resistencia a la deformación elástica. Resinas con polimerización incompleta presentan un comportamiento más plástico y menos elástico, lo que puede comprometer su desempeño clínico en zonas de alta sollicitación masticatoria (49).

La **resistencia al desgaste** se ve favorecida por tiempos de polimerización adecuados. Una baja conversión produce una matriz orgánica blanda y poco resistente, que es fácilmente erosionada por los agentes abrasivos, exponiendo las partículas de relleno y acelerando el proceso de desgaste. Estudios in vitro han demostrado que las resinas fotopolimerizadas durante 10 segundos presentan una pérdida volumétrica por desgaste hasta tres veces superior a las polimerizadas durante 40 segundos (50).

La **contracción de polimerización** también se ve afectada por el tiempo de exposición. Una polimerización insuficiente deja una mayor cantidad de monómeros sin reaccionar, lo que reduce la contracción aparente inmediata, pero puede provocar una contracción diferida y tensiones internas que eventualmente comprometen la adhesión. Por el contrario, una polimerización completa produce la contracción total esperada, pero concentrada en el momento del fotocurado, lo que puede generar tensiones en la interfase (51).

d) Protocolos clínicos recomendados:

Basándose en la evidencia científica actual, se han establecido protocolos clínicos para el tiempo de polimerización de las resinas compuestas, los cuales deben adaptarse al tipo de material, al espesor del incremento, a las características de la lámpara y a la localización de la restauración.

Protocolo general: Para la mayoría de las resinas compuestas convencionales (microhíbridas, nanohíbridas, nanorrelleno) con lámpara LED de intensidad ≥ 1000 mW/cm², se recomienda un tiempo mínimo de 20 segundos por incremento de hasta 2 mm de espesor. Para resinas de tonos oscuros (A3,5 y superiores) o altamente opacas, se debe aumentar el tiempo a 30-40 segundos por incremento debido a la menor transmisión de la luz (52).

Resinas bulk-fill: Estos materiales están diseñados para ser fotopolimerizados en incrementos únicos de 4 mm. Con lámparas LED de alta intensidad (≥ 1200 mW/cm²), se recomienda un tiempo de 20 segundos para resinas bulk-fill de tipo viscoso, y de 10-15 segundos para los bulk-fill fluidos. Sin embargo, algunos autores recomiendan tiempos de 40 segundos para garantizar un grado de conversión adecuado en la base del incremento (53).

Técnica de polimerización por capas: Para restauraciones profundas (>4 mm) o cavidades extensas, se debe utilizar la técnica incremental, polimerizando cada capa de 2 mm durante 20-40 segundos, según el material. Es importante que la fuente de luz se coloque a una distancia no mayor de 1-2 mm de la superficie de la resina y perpendicular a ella para maximizar la energía recibida (54).

Polimerización adicional: Después de la remoción de la capa de oxígeno inhibido (presente en la superficie de las resinas), se recomienda aplicar un segundo tiempo de polimerización de 10-20 segundos con la superficie ya expuesta y limpia, para asegurar la polimerización completa de la capa más superficial y optimizar las propiedades mecánicas de la interfase con la siguiente capa o con el acabado final (55).

3.2.5. Intensidad de polimerización

a) Definición (mW/cm²):

La intensidad de polimerización, también denominada irradiancia o densidad de potencia, se define como la potencia radiante por unidad de superficie que emite una fuente de luz fotopolimerizadora, expresada en milivatios por centímetro cuadrado (mW/cm²). Este parámetro cuantifica la cantidad de energía luminosa que incide sobre la superficie de la resina compuesta por unidad de tiempo y constituye uno de los factores más determinantes para el éxito de la polimerización de los materiales dentales fotopolimerizables (56).

La intensidad de polimerización es un valor crítico porque determina la velocidad a la que los fotoiniciadores (principalmente canforoquinona, con pico de absorción alrededor de 470 nm) se activan para generar los radicales libres que inician la reacción de polimerización. Junto con el tiempo de exposición, la intensidad define la energía total (densidad de energía) entregada al material, calculada como el producto de la intensidad (mW/cm²) por el tiempo (segundos), expresada en julios por centímetro cuadrado (J/cm²) (57).

Los rangos de intensidad clínicamente relevantes se clasifican convencionalmente de la siguiente manera: baja intensidad (<400 mW/cm²), intensidad media (400-800 mW/cm²), alta intensidad (800-1500 mW/cm²) y muy alta intensidad (>1500 mW/cm²). Las lámparas LED (diodo emisor de luz) modernas, que han reemplazado en gran medida a las antiguas lámparas halógenas y de plasma de xenón, suelen operar en rangos de 800 a 2000 mW/cm², aunque la intensidad real efectiva puede verse reducida por diversos factores clínicos (39).

Es importante distinguir entre la intensidad nominal declarada por el fabricante y la intensidad efectiva que realmente alcanza la superficie de la resina. Factores como el envejecimiento de la lámpara, el estado de carga de la batería (en equipos inalámbricos), la contaminación de la punta emisora, la distancia de trabajo, el ángulo de incidencia y la presencia de barreras intermedias (guías de luz desechables, protectores) pueden reducir drásticamente la intensidad efectiva, a menudo hasta un 50-70% del valor nominal (58).

b) Tipos de intensidad:

En el contexto clínico y experimental de la fotopolimerización dental, se pueden diferenciar varios tipos o regímenes de intensidad, cada uno con implicaciones específicas para el comportamiento de la resina compuesta.

- **Intensidad continua estándar:** Es el modo más común de fotopolimerización, en el cual la lámpara emite una potencia constante durante todo el tiempo de exposición (generalmente 10-40 segundos). La mayoría de los estudios y recomendaciones clínicas se basan en este régimen, con intensidades que oscilan entre 800 y 1200 mW/cm². Este modo proporciona un curado predecible siempre que la intensidad sea adecuada y el tiempo suficiente (59).
- **Intensidad en modo rampa (soft-start o gradual):** En este modo, la intensidad se incrementa progresivamente durante los primeros segundos de exposición (por ejemplo, comenzando con 200 mW/cm² y aumentando hasta 1000 mW/cm² en los primeros 5-10 segundos). El objetivo teórico de este modo es reducir las tensiones internas generadas por la contracción de polimerización, permitiendo que el material fluya ligeramente durante las fases iniciales del curado, lo que podría mejorar la adaptación marginal. Sin embargo, la evidencia actual sugiere que los beneficios del modo rampa son limitados y que puede comprometer el grado de conversión si la intensidad final o el tiempo total no son suficientes (60).
- **Intensidad pulsada (modo intermitente):** Consiste en aplicar breves pulsos de luz de alta intensidad seguidos de períodos de oscuridad, durante los cuales continúa la reacción de polimerización sin irradiación adicional. Este modo se ha propuesto para reducir la temperatura intrapulpar y modular el estrés de contracción. Algunos estudios han mostrado resultados favorables en términos de reducción del estrés, aunque el grado de conversión puede ser inferior al de la polimerización continua si la energía total no es equivalente (61).
- **Alta intensidad con tiempo corto:** Algunos protocolos clínicos utilizan intensidades muy elevadas (≥ 1500 mW/cm²) con tiempos muy cortos (3-6 segundos), especialmente para resinas bulk-fill o para la polimerización

de capas finas. Si bien esto puede ser eficiente en términos de tiempo clínico, existe el riesgo de polimerización incompleta en profundidad, así como un mayor calentamiento del tejido dental. Además, una polimerización extremadamente rápida puede generar un grado de conversión heterogéneo y mayores tensiones de contracción (62).

- **Intensidad efectiva o clínicamente relevante:** Más allá de los modos programados, el concepto más importante desde la perspectiva práctica es la intensidad que realmente llega a la resina en condiciones clínicas reales. Esta se ve afectada por la distancia (la intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia a la punta de la lámpara), por el ángulo (la desviación de la perpendicularidad puede reducir la intensidad hasta un 50%) y por la presencia de estructuras dentarias o matrices que obstruyen el paso de la luz (63).

c) Influencia en el grado de conversión:

El grado de conversión (GC) de una resina compuesta es altamente dependiente de la intensidad de polimerización, especialmente en las capas más profundas de la restauración. Existe una relación directa y positiva entre la intensidad luminosa y el GC alcanzado, aunque esta relación presenta una curva de saturación: incrementos de intensidad por debajo de un umbral crítico producen mejoras sustanciales en el GC, mientras que por encima de cierto valor (generalmente 800-1000 mW/cm²) los beneficios adicionales son marginales o incluso negativos (64).

Cuando la intensidad es insuficiente (<400 mW/cm²), la generación de radicales libres es demasiado lenta y escasa para convertir una proporción adecuada de dobles enlaces. Esto resulta en un GC típicamente inferior al 50%, con presencia abundante de monómeros residuales y una red polimérica deficiente. En el otro extremo, intensidades excesivamente altas (>2000 mW/cm²) pueden generar una concentración tan elevada y rápida de radicales que aumenta la probabilidad de terminación prematura de las cadenas poliméricas (recombinación bimolecular), lo que paradójicamente puede reducir el GC final en comparación con intensidades moderadas (65).

La influencia de la intensidad sobre el GC varía con la profundidad de la resina debido al fenómeno de atenuación de la luz. La intensidad disminuye exponencialmente a medida que la luz atraviesa el material compuesto, fenómeno descrito por la ley de Beer-Lambert. En una resina de 2 mm de espesor, la intensidad en la superficie inferior puede ser solo el 20-40% de la intensidad incidente, dependiendo del tono y la opacidad del material. Por ello, para una misma intensidad de la lámpara, el GC será significativamente menor en la base de un incremento de 2 mm que en la superficie (66).

Las resinas de tonos oscuros (A3,5-D4) y las resinas altamente opacas o con alta carga de relleno presentan una mayor atenuación luminosa, requiriendo intensidades más elevadas (≥ 1000 mW/cm²) y tiempos más prolongados para alcanzar un GC comparable al de resinas de tonos claros (A1-A2). En este contexto, algunos autores recomiendan intensidades mínimas de 800 mW/cm² para cualquier tipo de resina, y de al menos 1000 mW/cm² para resinas bulk-fill polimerizadas en incrementos de 4 mm (67).

Se ha establecido que para garantizar un GC clínicamente aceptable (≥ 55 -60% para la mayoría de las resinas a 2 mm de profundidad), se requiere una intensidad mínima efectiva de 500-600 mW/cm² durante al menos 20 segundos. Sin embargo, las resinas modernas de alta viscosidad y alto contenido de relleno pueden requerir intensidades superiores a 800 mW/cm² para alcanzar el mismo umbral de GC (68).

d) Relación con la microdureza:

La microdureza superficial y subsuperficial de las resinas compuestas está íntimamente relacionada con la intensidad de polimerización, ya que la microdureza es un excelente indicador indirecto del grado de conversión, especialmente en la práctica clínica donde la medición directa del GC mediante espectroscopía infrarroja no es factible (69).

La relación entre intensidad y microdureza sigue un patrón similar al observado con el GC: a mayor intensidad (dentro de un rango razonable), mayor microdureza, hasta alcanzar un valor de saturación. Estudios in vitro han demostrado que incrementar la intensidad de 200 mW/cm² a 600 mW/cm² puede

aumentar la microdureza Vickers superficial de una resina convencional en más del 100% (por ejemplo, de 25 VH a 55 VH), mientras que aumentar de 600 mW/cm² a 1200 mW/cm² produce solo un incremento adicional del 10-20% (70).

La profundidad a la cual se evalúa la microdureza es un factor crítico. En la superficie (0 mm de profundidad), intensidades tan bajas como 300 mW/cm² pueden producir una microdureza aceptable si el tiempo es suficiente, ya que la superficie recibe directamente la luz incidente. Sin embargo, a 1 mm de profundidad, la microdureza cae drásticamente si la intensidad es inferior a 500 mW/cm², y a 2 mm de profundidad se requieren intensidades ≥ 800 mW/cm² para mantener valores de microdureza superiores al 80% del valor superficial (71).

Se ha establecido clínicamente un valor umbral para la microdureza de la superficie inferior (base) de una restauración: debe ser al menos el 80% de la microdureza de la superficie superior para considerar que la polimerización ha sido adecuada en toda la profundidad del incremento. Para alcanzar este criterio, con intensidades de 600 mW/cm² se requieren espesores no mayores de 1,5 mm; con intensidades de 1000 mW/cm² se pueden polimerizar adecuadamente incrementos de 2 mm; y con intensidades de 1500 mW/cm² algunos materiales bulk-fill permiten incrementos de 4 mm (53).

La relación intensidad-microdureza también depende de la composición específica de la resina. Las resinas con sistemas fotoiniciadores alternativos (como TPO - óxido de fosfina de acilo, o Ivocerin) pueden alcanzar una microdureza óptima con intensidades más bajas (500-700 mW/cm²) en comparación con las resinas convencionales con canforoquinona que requieren >800 mW/cm². Esto se debe a que estos fotoiniciadores alternativos tienen una mayor eficiencia cuántica y una mejor respuesta en longitudes de onda específicas (72).

La degradación de la intensidad por el uso repetido de la lámpara tiene consecuencias clínicas directas sobre la microdureza. Se ha demostrado que lámparas LED con una intensidad inicial de 1200 mW/cm², después de 6 meses de uso clínico sin mantenimiento adecuado (sin limpieza de la punta óptica y sin verificación periódica con radiómetro), pueden reducir su intensidad efectiva a

600-800 mW/cm², lo que disminuye la microdureza superficial de las resinas en un 20-35%. Por ello, las guías clínicas recomiendan verificar la intensidad de la lámpara al menos semanalmente con un radiómetro calibrado y reemplazar o reparar las lámparas cuya intensidad descienda por debajo de 800 mW/cm² (73).

3.3. Antecedentes investigativos

3.3.1. Locales:

- **“Comparación de la microdureza superficial de resinas compuestas fotopolimerizables 3M FILTEK Z250 XT y FGM VITTRA APS estudio in vitro”. Arequipa. 2022**

Autor: Sharol Karyme Cacyavilca Hilari.

Objetivo: Evaluar la microdureza superficial de resinas compuestas fotopolimerizables. En 2022, se realizó una investigación in vitro en Arequipa sobre 3M Filtek Z250 XT y FGM Vittra APS.

Materiales y Métodos: Esta tesis es una investigación experimental, longitudinal y prospectiva de carácter aplicado y explicativo. Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, que incluyó 20 cilindros de resina divididos en dos grupos: uno con 3M Filtek Z250 XT y otro con FGM Vittra APS. Ambos grupos fueron sometidos a carga en tres puntos distintos con un microdurómetro, obteniéndose una fuerza cuantificada en Mv (kg/mm²). Resultados: Se encontró un grado óptimo de microdureza superficial en ambas resinas. Estadísticamente, no se observaron cambios significativos, excepto en el último punto de microperforación. Conclusión: No existe ninguna diferencia estadísticamente significativa entre las dos resinas, excepto en el último punto, lo que sugiere que, clínicamente, un mayor número de puntos de contacto se correlaciona con la mayor resistencia al colapso y la fractura de la resina FGM Vittra APS (74).

3.3.2. Nacionales:

- **“Dureza superficial de resinas compuestas polimerizadas con distintas irradiancias”. Cerro de Pasco. 2025**

Autor: Michael Jhonatan Ramos Loya.

OBJETIVO: Determinar los valores de dureza superficial de resinas compuestas polimerizadas bajo diferentes irradiancias (Laboratorio UNDAC-2025).

METODOLOGÍA: Esta investigación empleó un diseño correlacional cuantitativo, aplicado y experimental (cuasi-experimental) con un marco de grupo prospectivo y transversal. La población incluyó todas las resinas compuestas disponibles actualmente en el mercado. Se seleccionó una muestra no probabilística de tres resinas: Z-350, UltraDent y Llis de FGM. Se fabricaron sesenta discos (6 mm x 2 mm) y se sometieron a irradiación a 2 mm y 5 mm. Se realizó la prueba de homogeneidad, evaluando su distribución, obteniendo un valor p de 0,058 (que indica una distribución normal). La prueba de varianza produjo un valor p de 0,187, lo que indica homogeneidad de varianza. Realizamos una prueba paramétrica, concretamente un análisis de varianza (ANOVA), para evaluar las medias, obteniendo un valor $p < 0,001$, lo que indica variaciones significativas en la dureza superficial promedio. La prueba post-hoc de Tukey, que confirma la hipótesis, indicó que la resina Filtex Z-350 presentaba una dureza superficial superior.

RESULTADOS: La resina Z-350 mostró la mayor dureza, con 69 750 hv, seguida de la resina Llis con 55 410 hv y la resina UltraDent Forma, que demostró una dureza de 53 600 hv con una irradiancia de 2 mm. La irradiancia a 5 mm produjo una media de 63 930 hv para la resina Z-350, 62 920 hv para la resina UltraDent Forma y 58 660 hv para la resina Llis. Se observaron marcadas diferencias entre la resina Z-350 ($p < .001$) y las resinas Llis de ambas exposiciones, además de la resina Forma a 2 mm, demostrando la resina Z-350 una mayor dureza superficial (75).

- **“Microdureza superficial de resinas bulk fill según tiempo de fotopolimerización de diferentes lámparas LED”. Lima. 2024.**

Autor: Stephany Trujillo Flores.

La microdureza superficial de las resinas de relleno masivo puede verse afectada por muchos factores, incluyendo el tipo de luz de fotopolimerización, la formulación de la resina y la duración de la fotopolimerización. El objetivo de esta investigación fue evaluar la microdureza superficial de resinas de relleno masivo fotopolimerizadas con diversas lámparas de fotopolimerización LED durante 20 y 40 segundos. El diseño de la investigación fue un estudio experimental in vitro. Las muestras fueron especímenes de resina redondos de 5 mm de diámetro y 4 mm de altura (n=5). Las resinas evaluadas fueron Filtek Bulk Fill (3M) tono A2 y Tetric N Ceram Bulk Fill (Ivoclar) tono A2, polimerizadas utilizando las siguientes lámparas de fotopolimerización: Valo™ Grand (Ultradent), Elipar™ Deep Cure-L (3M), Woodpecker LED F (Woodpecker) y Bluephase N MC (Ivoclar) durante 20 y 40 segundos. La microdureza de todas las muestras se evaluó en las superficies superior e inferior utilizando un microdurómetro Vickers. Se utilizó la prueba ANOVA/Tukey para determinar diferencias significativas entre los datos derivados de las resinas, las lámparas de fotopolimerización y la duración. El nivel de confianza fue del 95%, con un valor p menor que 0,05. La resina Bulk Fill (3M) en el tono A2 presentó valores de microdureza superiores cuando se fotopolimerizó con la lámpara Woodpecker LED F, revelando una diferencia notable con respecto a las otras lámparas a una duración de 20 segundos. La resina Tetric N Ceram Bulk Fill (Ivoclar) en el tono A2 presentó los valores más altos cuando se fotopolimerizó con la lámpara de fotopolimerización Valo™ Grand (Ultradent), demostrando un cambio notable a los 20 segundos. Los valores de microdureza superficial fueron satisfactorios para ambas resinas; sin embargo, se observó que pueden fluctuar según el tipo de lámpara de fotopolimerización y la composición (co-iniciadores, monómeros) de cada resina (76).

3.3.3. Internacionales:

- “Estudio comparativo de profundidad de curado y dureza entre dos sistemas de resina “bulk-fill” con dos tiempos de polimerización usando una lámpara de alta intensidad”. México. 2016

Autor: Alejandro Kogan B. y cols

Introducción. En las restauraciones de resina, se recomienda aplicar incrementos que no superen los dos milímetros y polimerizar cada incremento antes de añadir los siguientes; sin embargo, los nuevos sistemas de relleno masivo afirman que pueden polimerizarse en una sola aplicación con un espesor máximo de cinco milímetros. Objetivo. Evaluar la profundidad de curado y la dureza de dos sistemas de resina de relleno masivo y su correlación con la duración de la polimerización utilizando una lámpara de curado de alta intensidad. Enfoques. Se utilizaron seis muestras de resina de dos sistemas de relleno masivo (cuatro grupos): SonicFill fotopolimerizable (Kerr®) y Fill-Up de doble curado (Coltène/Whaledent®), empaquetadas en cilindros prefabricados de acero inoxidable de 8x4 mm. Las muestras de ambos sistemas se sometieron a fotopolimerización durante tres segundos (3000 mW/cm²) y 15 segundos (1600 mW/cm²) utilizando una lámpara de curado LED SPEC3 (Coltène/Whaledent®), y luego se extrajeron de los moldes. La longitud de la resina polimerizada se midió con un calibrador digital. Las muestras se seccionaron longitudinalmente y se evaluó la profundidad de curado y la dureza a profundidades que oscilaban entre uno y seis milímetros. Se utilizó una prueba ANOVA para comparar los grupos. Resultados: El sistema Fill-Up demostró una profundidad de curado superior a los tres segundos (7,96 ± 0,03 mm) y a los 15 segundos (7,95 ± 0,03 mm) en comparación con el sistema SonicFill en ambos intervalos (6,28 ± 0,19 mm y 7,20 ± 0,41 mm, respectivamente), con diferencias estadísticamente significativas (p < 0,001). En el análisis comparativo de cada sistema a diferentes duraciones de curado, se observaron diferencias significativas entre las muestras de SonicFill (p < 0,001), sin embargo, no se observaron cambios con Fill-Up (p > 0,05). En términos de dureza, Fill-Up demostró resultados superiores a una profundidad de seis milímetros para tres y 15 segundos (78,52 ± 4,20 y 85,08 ± 4,00) en comparación con SonicFill (53,05 ± 2,24 y 69,20 ± 3,50) (p < 0,001). Conclusiones: El sistema Fill-Up a tres y 15 segundos presenta una profundidad

de curado superior y una mayor dureza, lo que permite incrementos de hasta seis milímetros en relación con el método SonicFill (77).

- **“Eficacia del tiempo de fotopolimerización de la lámpara (Valo® - Ultradent©) en resina compuesta”. Ecuador. 2022.**

Autor: Noboa Quintana Kevin Ricardo.

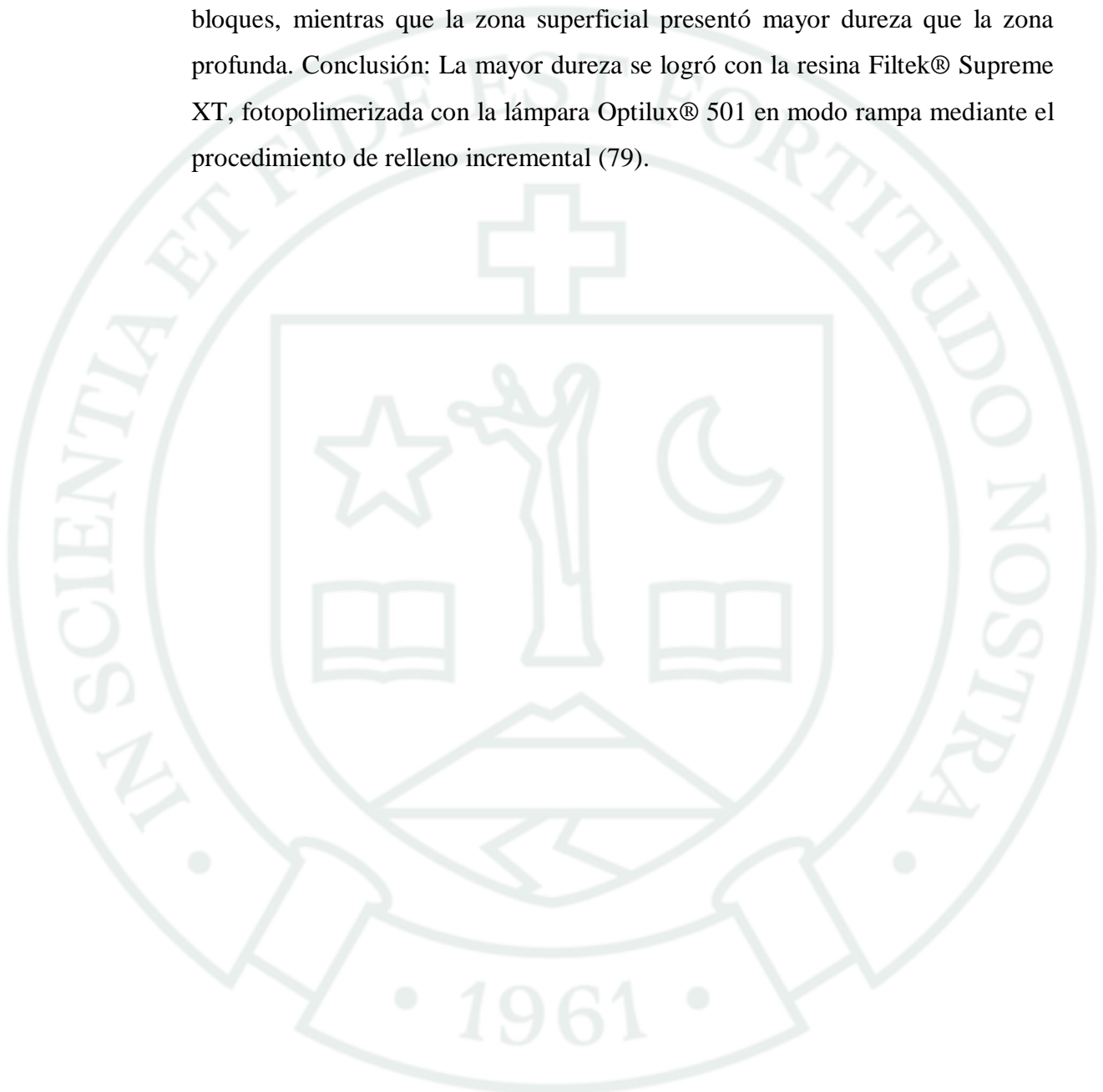
La eficacia de una lámpara de fotopolimerización, así como la fotopolimerización en sí, depende de la intensidad de la luz y de un amplio espectro de emisión, lo que garantiza la durabilidad de las restauraciones. Seleccionar la lámpara de fotopolimerización adecuada optimiza el tiempo y el trabajo del odontólogo. Este estudio busca evaluar la eficacia de la fotopolimerización de la lámpara Ultradent VALO mediante una revisión bibliográfica para validar los resultados en resina compuesta en 3 segundos. Esta publicación se elaboró utilizando una metodología cualitativa y cuantitativa, caracterizada por un marco descriptivo-explicativo y un diseño bibliográfico. La técnica empleada es tanto documental como inductivo-deductiva. Un análisis de la eficacia de la fotopolimerización de la lámpara Ultradent VALO, evaluando la duración de la polimerización en intervalos de tres segundos, confirmó que la intensidad de la luz emitida es de 3200 mW/cm², suficiente para polimerizar la resina compuesta sin dañar la pulpa (78).

- **“Diferencia en la dureza de resinas utilizadas convencionalmente al polimerizarse con diferentes tipos de luz”. Colombia. 2017**

Autor: Rafael Mauricio Naranjo-Pizano y cols.

Introducción y objetivo: Es esencial comprender las propiedades distintivas de las restauraciones de resina directa y las lámparas de fotopolimerización utilizadas. El objetivo fue obtener evidencia científica para elegir la resina óptima, la luz de fotopolimerización y el enfoque quirúrgico para proporcionar un resultado clínico confiable. Materiales y métodos: Se evaluaron veinticuatro grupos (10 cada grupo), fotopolimerizados utilizando tres tipos de lámparas de fotopolimerización: (Optilux® 501 - halógeno a máxima potencia), (Optilux® 501 - halógeno con rampa) y (Bluephase® - LED); y cuatro tipos de resinas: Filtek® Supreme XT, Filtek® Z350, Tetric® N Ceram y Esthet® X; utilizando dos metodologías de obturación: incremental y en bloque. La dureza de penetración Vickers se evaluó tanto en las regiones superficiales como profundas

de cada muestra. Resultados: Filtek® Supreme XT demostró la mayor dureza, seguido de Filtek® Z350, Esthet® X y Tetric® N Ceram. La dureza varió según la luz, registrándose los valores más altos con la Optilux® 501 en modo rampa, seguida de la Optilux® 501 a máxima potencia y, por último, la Bluephase® LED. El método incremental resultó en una mayor dureza que la técnica de bloques, mientras que la zona superficial presentó mayor dureza que la zona profunda. Conclusión: La mayor dureza se logró con la resina Filtek® Supreme XT, fotopolimerizada con la lámpara Optilux® 501 en modo rampa mediante el procedimiento de relleno incremental (79).



4. HIPÓTESIS

Dado que las resinas utilizadas (Filtek P60 y Estelite Posterior) difieren en cuanto a su composición en términos de matriz orgánica y tecnología,

Es probable que existan diferencias significativas en la microdureza superficial en la interacción entre tiempo e intensidad de polimerización entre las marcas de resina.





CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO OPERACIONAL (METODOLOGÍA)

1. METODOLOGÍA

1.1. Diseño Metodológico

TABLA 1 Taxonomía de la investigación

Categoría Taxonómica	Descripción	Justificación
Propósito	Aplicada	La investigación busca generar conocimiento útil para mejorar los procedimientos clínicos de fotopolimerización en resinas compuestas.
Enfoque	Cuantitativo	Se basa en la medición numérica de la microdureza superficial mediante pruebas instrumentales y análisis estadístico.
Diseño de la Investigación	Experimental (In vitro)	Se manipulan las variables independientes (tiempo e intensidad de polimerización) y se evalúa su efecto sobre la variable dependiente.
Alcance	Explicativo / Correlacional	Se pretende determinar la relación causa-efecto entre las variables independientes y la microdureza superficial.
Temporalidad	Transversal	Los datos se recolectan en un solo momento, luego de realizar las pruebas y experimentos

1.2. Análisis de Variables

TABLA 2 Matriz de consistencia

VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADORES	SUBINDICADORES	VALORES
Tiempo de polimerización	Tiempo de exposición a la luz	- 10 segundos - 20 segundos - 30 segundos	
Intensidad de polimerización	Nivel de intensidad de la luz	- Baja (800 mW/cm ²) - Alta (1200 mW/cm ²)	
Marca de resina nanohíbrida	Tipo de resina utilizada	- Filtek P60 - Estelite Posterior	
VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	SUBINDICADORES	
Microdureza superficial	Grados de dureza	- Baja - Media baja - Media alta - Alta	70–90 HV 91–110 HV 111–130 HV 131–150 HV

1.3. Técnica de investigación

En la presente investigación se utilizó una técnica de carácter cuantitativo ejecutada en un Laboratorio de Ingeniería de Materiales y debidamente certificado por el ingeniero encargado. Se aplicará la observación de tipo experimental para recolectar los datos y resultados.

El procedimiento técnico consiste en el análisis de la microdureza superficial mediante el método de indentación. Para ello, se empleó un durómetro marca Goyojo (Dureza Vickers), el cual aplica una carga controlada sobre la superficie de las resinas (Filtek P60 y Estelite Posterior). Con el fin de garantizar la fiabilidad de los datos, se realizaron tres indentaciones (disparos) en diferentes puntos de la cara superficial de cada muestra; el

promedio de estos tres valores constituye la dureza final del cilindro. Toda la información obtenida fue registrada de forma sistemática para su posterior tratamiento estadístico.

1.4. Técnica de ejecución de investigación

1.4.1 Selección y preparación de muestras

La muestra total está constituida por 72 muestras de resina compuesta. El tamaño muestral se justifica mediante un diseño experimental balanceado, permitiendo una distribución equitativa para un análisis estadístico de interacción.

Para garantizar la repetibilidad y disminuir el sesgo, se seguirán los siguientes criterios:

- Molde: Se utilizó un molde de aluminio especialmente elaborado para la ocasión.
- Dimensiones: Cada cilindro tiene un diámetro de 8 mm y un espesor de 4 mm, proporcionando una superficie estandarizada para las pruebas de dureza.
- El procedimiento se alinea con las recomendaciones de la Norma ISO 4049, así como de normativas internacionales de investigación científica.

1.4.2 Elaboración de las Muestras (Protocolo Experimental)

La confección de los cilindros se realizó bajo el siguiente protocolo:

- El molde de aluminio se coloca sobre una platina de vidrio. Se aplica la resina (Filtek P60 o Estelite Posterior) en incrementos de no más de 2 mm de espesor y se fotocuró con la lámpara LED elegida para el estudio.
- Se coloca una tira de celuloide y otra platina de vidrio sobre el molde, aplicando una presión constante para eliminar excesos de material y obtener una superficie plana y lisa, libre de burbujas de aire.
- Se retira la platina superior y se posiciona la guía de luz de la lámpara LED en contacto directo con la tira de celuloide (distancia 0 mm). Se aplica el protocolo de luz según el grupo asignado (combinación de tiempo e intensidad).
- Tras la polimerización, las muestras se rotularon y almacenaron en suero fisiológico durante 24 horas para permitir la polimerización residual antes de las pruebas de dureza.

1.4.3 Estructura del Diseño Experimental:

La investigación sigue un Diseño Factorial de $2 \times 2 \times 3$, lo que determina el número de grupos:

- Factor A (Resina): 2 niveles (Filtek P60 y Estelite Posterior).
- Factor B (Intensidad): 2 niveles (800 mW/cm² y 1200 mW/cm²).
- Factor C (Tiempo): 3 niveles (10s, 20s y 30s).
- Total de grupos experimentales: $2 \times 2 \times 3 = 12$ grupos.

1.4.4 Validación de la Muestra:

Se utilizó la fórmula de comparación de dos medias independientes. Esta fórmula permite calcular cuántas unidades por grupo (n) se necesitan para detectar una diferencia significativa:

$$n = \frac{2 \cdot \sigma^2 \cdot (Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2}{\delta^2}$$

Donde:

- n : Tamaño de la muestra por cada grupo.
- σ : Desviación estándar estimada (basada en antecedentes de estudios de microdureza Vickers).
- Z_{α} : Nivel de confianza (Para 95%, $Z = 1.96$).
- Z_{β} : Poder estadístico (Para 80%, $Z = 0.84$).
- δ : Diferencia mínima que el investigador desea detectar entre los grupos.

Aplicación y Cálculo:

Asumiendo valores estándar para pruebas de microdureza en resinas (donde la relación entre la variabilidad σ y el efecto deseado δ suele requerir una precisión del 80%):

- Sustitución de constantes: $(1.96 + 0.84)^2 = 7.84$

- Cálculo del tamaño por grupo: Al aplicar un tamaño de efecto (Cohen's δ) de aproximadamente 1.6 (efecto grande, típico en pruebas de materiales controladas), la fórmula arroja:

$$n = \frac{2 \cdot 7.84}{(1.6)^2} \approx 6.12$$

Redondeando al entero inmediato inferior para asegurar el poder estadístico, obtenemos $n = 6$ unidades por grupo.

Con 12 grupos experimentales y 6 especímenes por grupo, el tamaño de muestra total (N) resulta en 72.

Unidades de Estudio:

TABLA 3 Distribución de grupos

Grupo	Resina	Tiempo (s)	Intensidad (mW/cm²)	Cantidad (N)
G1	Filtek P60	10	800	6
G2	Filtek P60	10	1200	6
G3	Filtek P60	20	800	6
G4	Filtek P60	20	1200	6
G5	Filtek P60	30	800	6
G6	Filtek P60	30	1200	6
G7	Estelite Posterior	10	800	6
G8	Estelite Posterior	10	1200	6
G9	Estelite Posterior	20	800	6
G10	Estelite Posterior	20	1200	6
G11	Estelite Posterior	30	800	6
G12	Estelite Posterior	30	1200	6

1.4.5 Medición de la Variable de Respuesta:

Para evaluar el efecto de la interacción, se realizó la prueba de Microdureza Superficial (Vickers) con el instrumento durómetro GOYOJO. Se recomendó realizar al menos tres indentaciones en la superficie superior de cada muestra y promediarlas para obtener un valor representativo por unidad de análisis

1.4.6 Instrumento Documental

TABLA 4 Ficha de observación

Grupo Resina – Tiempo – Intensidad	
Muestra	Microdureza
1	
2	
3	
4	
5	
6	

1.5. Materiales:

- Resinas nanohíbridas Filtek™ P60 3M, Estelite Posterior Tokuyama.
- Suero fisiológico.

2. CAMPO DE VERIFICACIÓN

2.1. Ubicación Espacial

Ámbito general: Arequipa.

Ámbito específico: Laboratorios UNSA

2.2. Ubicación Temporal

TABLA 5 Cronograma

Abril			Mayo			Junio			Julio		
<input type="checkbox"/>											
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
									<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Leyenda:

- Inicio del proyecto
- Organización académica
- Desarrollo experimental
- Procesamiento de resultados
- Presentación final

3. ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Organización

Todos los datos recolectados una vez concluida la etapa de experimentación serán considerados y tratados exclusivamente como valores o cifras numéricas, con el propósito de emplearlos en los cálculos, procedimientos estadísticos o cualquier tipo de operaciones que resulten pertinentes y necesarias de acuerdo con los objetivos del estudio

3.2. Recursos

Recursos Humanos

- Investigador: Rodrigo del Piero Lorenzo Pinto Esquiche
- Asesor: Dra. Mónica Hilda Cleofe Salas Rojas
- Ingeniero: Ing. Guido Quispe Ampuero

Recursos Físicos

Se dispuso de equipo especializado para llevar a cabo las pruebas experimentales necesarias, entre las que se incluyen, por ejemplo, la medición de microdureza. Asimismo, se contará con acceso a internet y con medios computacionales (como software y hardware adecuados) para realizar los análisis estadísticos correspondientes.

Recursos económicos

Se emplearon recursos propios pertenecientes al tesista que está a cargo de la investigación, es decir, aquellos medios materiales, económicos, tecnológicos o de cualquier otra índole que este mismo aporta de manera personal para el desarrollo del estudio.

Recursos institucionales

Universidad Católica de Santa María

Universidad Nacional de San Agustín

4. ESTRATEGIA PARA MANEJAR LOS RESULTADOS

4.1.A nivel de procesamiento o sistematización

4.1.1 Plan de operaciones

a. Clasificación de datos

Toda la información que sea recolectada o generada durante el proceso de investigación se organizó de manera sistemática y estructurada en forma de matriz de datos, dispuesta fila por fila y columna por columna dentro de un programa de hojas de cálculo computacional, como por ejemplo Microsoft

Excel, con el fin de permitir su procesamiento automático, facilitando así operaciones, cálculos y análisis posteriores.

b. Análisis

TABLA 6 Análisis Estadístico

Variable	Tipo	Escala de Medición	Medidas Estadísticas	Pruebas estadísticas
Microdureza superficial	Cuantitativa	De Razón	Media aritmética, desviación estándar, valores mínimo/máximo	Anova T de Student Tukey

c. Tabulación

Todos los datos de naturaleza numérica obtenidos durante el estudio, así como la totalidad de los resultados derivados de los análisis realizados, fueron organizados de manera sistemática y presentados en cuadros o tablas de estadística, eligiendo el formato que mejor corresponda en cada caso según las características de los datos, los requerimientos del análisis o los fines de la investigación.

d. Graficación

El tipo de gráficas que se emplearon para la representación y el análisis visual de los datos podrá incluir, entre otras opciones, gráficas de tendencias (como líneas de evolución o series temporales), gráficas de columnas (o barras) para comparar categorías o grupos, así como cualquier otro tipo de representación gráfica que se defina o determine una vez que se hayan aplicado y concluido las pruebas estadísticas correspondientes, en función de los resultados obtenidos y de los requerimientos del análisis.



CAPÍTULO III
RESULTADOS

TABLA 7 Prueba de Normalidad

GRUPO	SHAPIRO – WILK	Muestras
	Valor (W)	P
RESINA FILTEK P60		
10s - 800 mW/cm ²	0.989	0.987
10s - 1200 mW/cm ²	0.892	0.331
20s - 800 mW/cm ²	0.999	1.000
20s - 1200 mW/cm ²	0.875	0.245
30s - 800 mW/cm ²	0.956	0.790
30s - 1200 mW/cm ²	0.945	0.696
RESINA ESTELITE POSTERIOR		
10s - 800 mW/cm ²	0.977	0.938
10s - 1200 mW/cm ²	0.895	0.343
20s - 800 mW/cm ²	0.934	0.614
20s - 1200 mW/cm ²	0.808	0.069
30s - 800 mW/cm ²	0.976	0.932
30s - 1200 mW/cm ²	0.939	0.647

*Estructura de datos

Al aplicar la prueba de Shapiro-Wilk en los 12 grupos experimentales, se obtuvo que todos los valores de P son superiores a 0.05. Esto demuestra que los datos de microdureza superficial siguen una distribución normal, validando así el uso de pruebas estadísticas paramétricas como el ANOVA para el análisis de los resultados.

TABLA 8 Microdureza. Filtek P60. 10 segundos a 800 mW/cm²

RESINA FILTEK P60	10s - 800 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		112.83
Desviación Estándar		2.86
Valor Mínimo		109.00
Valor Máximo		117.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

Bajo la condición mínima de tiempo e intensidad, la resina Filtek P60 de 3M alcanzó un promedio de microdureza de 112.83 HV. La baja desviación estándar (2.86) indica que los valores obtenidos son consistentes y cercanos a la media entre los especímenes evaluados.

FIGURA 1 Microdureza. Filtek P60. 10 segundos a 800 mW/cm²

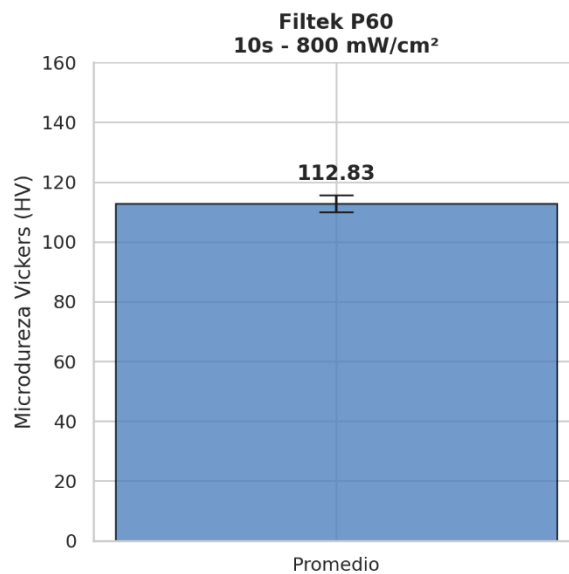


TABLA 9 Microdureza. Filtek P60. 10 segundos a 1200 mW/cm²

RESINA FILTEK P60	10s - 1200 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		117.17
Desviación Estándar		2.48
Valor Mínimo		114.00
Valor Máximo		120.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

Al incrementar la intensidad de luz a 1200 mW/cm² manteniendo el tiempo mínimo, la dureza de la misma marca de resina ascendió a 117.17 HV. Esto sugiere que una mayor irradiancia inicial favorece una red de polimerización más densa y por ende un aumento de la dureza.

FIGURA 2 Microdureza. Filtek P60. 10 segundos a 1200 mW/cm²

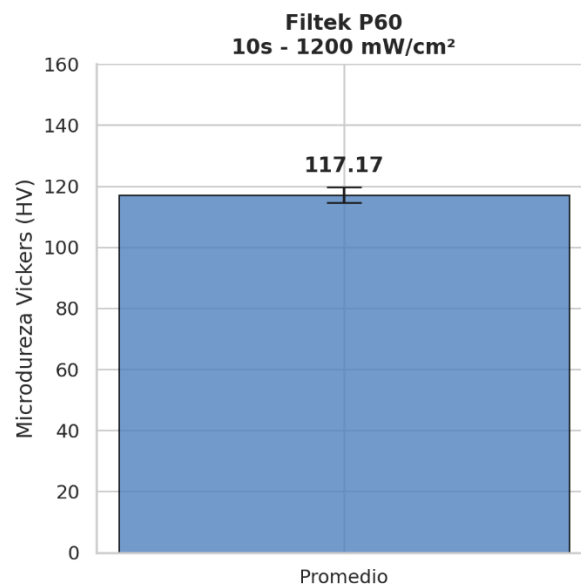


TABLA 10 Microdureza. Filtek P60. 20 segundos a 800 mW/cm²

RESINA FILTEK P60	20s - 800 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		119.50
Desviación Estándar		2.43
Valor Mínimo		116.00
Valor Máximo		123.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

Con un tiempo intermedio de 20 segundos a baja intensidad (800 mW/cm²), la resina obtuvo un promedio de 119.50 HV. Se observa que el aumento del tiempo de exposición compensa la menor intensidad de luz, elevando los valores de dureza superficial.

FIGURA 3 Microdureza. Filtek P60. 20 segundos a 800 mW/cm²

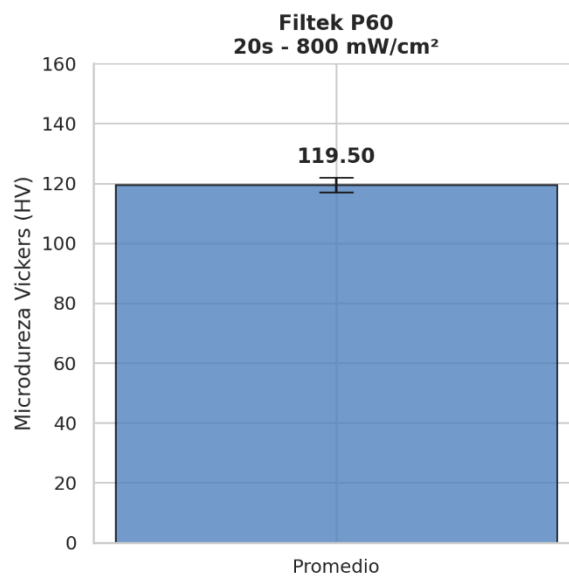


TABLA 11 Microdureza. Filtek P60. 20 segundos a 1200 mW/cm²

RESINA FILTEK P60	20s - 1200 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		121.33
Desviación Estándar		4.23
Valor Mínimo		117.00
Valor Máximo		129.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

En esta tabla se observa que el promedio de dureza fue de 121.33 HV al aumentar la potencia hasta los 1200 mW/cm². La variabilidad de los datos (desviación de 4.23) se mantiene dentro de los márgenes esperables para pruebas de microdureza in vitro.

FIGURA 4 Microdureza. Filtek P60. 20 segundos a 1200 mW/cm²

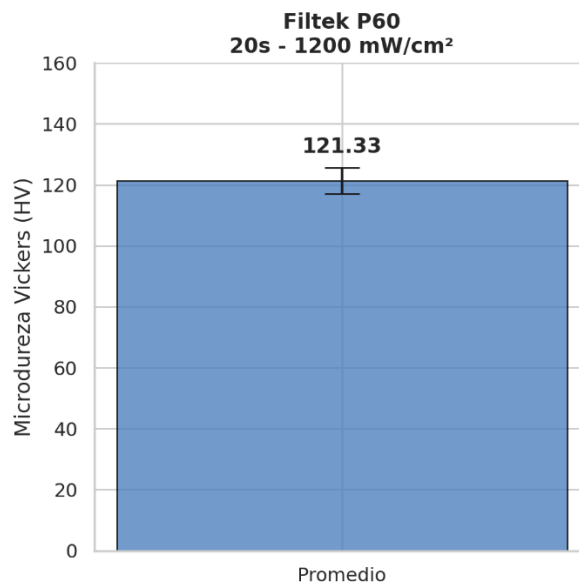


TABLA 12 Microdureza. Filtek P60. 30 segundos a 800 mW/cm²

RESINA FILTEK P60	30s - 800 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		124.17
Desviación Estándar		3.92
Valor Mínimo		119.00
Valor Máximo		129.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

Al alcanzar el tiempo máximo con baja intensidad (800 mW/cm²), la dureza se situó en 124.17 HV en promedio. Esto confirma que el tiempo es un factor acumulativo positivo para la formación del polímero en la marca Filtek P60.

FIGURA 5 Microdureza. Filtek P60. 30 segundos a 800 mW/cm²

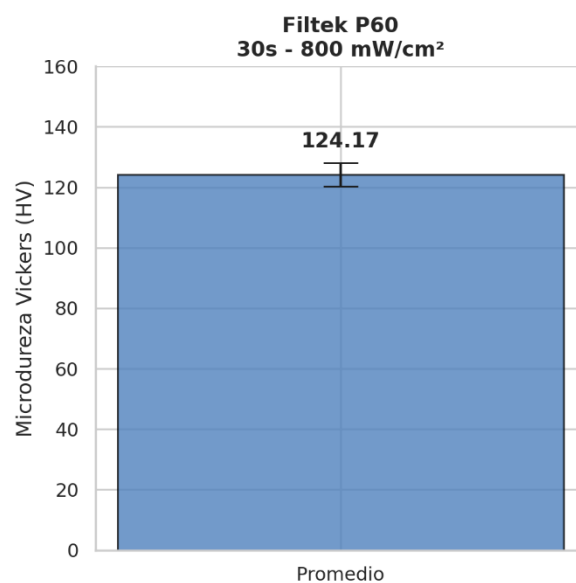


TABLA 13 Microdureza. Filtek P60. 30 segundos a 1200 mW/cm²

RESINA FILTEK P60	30s - 1200 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		131.33
Desviación Estándar		5.50
Valor Mínimo		122.00
Valor Máximo		138.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

Esta condición representa el rendimiento óptimo para esta resina, logrando 131.33 HV cuando se irradió con una potencia de 1200 mW/cm². Se demuestra que la combinación de tiempo e intensidad máxima produce el mayor grado de endurecimiento superficial para este material en particular.

FIGURA 6 Microdureza. Filtek P60. 30 segundos a 1200 mW/cm²

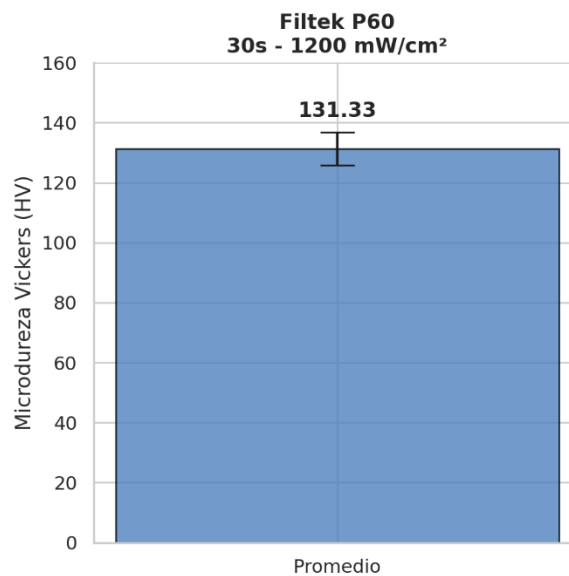


TABLA 14 Microdureza. Estelite Posterior. 10 segundos a 800 mW/cm²

RESINA ESTELITE POSTERIOR	10s - 800 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		108.17
Desviación Estándar		3.71
Valor Mínimo		103.00
Valor Máximo		113.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

En la configuración mínima, la resina Estelite Posterior presentó un promedio de 108.17 HV. Este valor inicial es ligeramente inferior al de su contraparte, sugiriendo una respuesta inicial más lenta ante bajas dosis de energía.

FIGURA 7 Microdureza. Estelite Posterior. 10 segundos a 800 mW/cm²

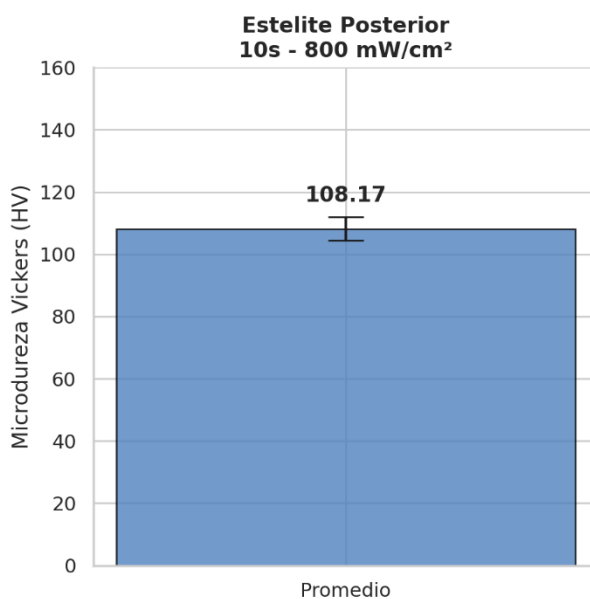


TABLA 15 Microdureza. Estelite Posterior. 10 segundos a 1200 mW/cm²

RESINA ESTELITE POSTERIOR	10s - 1200 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		109.50
Desviación Estándar		6.41
Valor Mínimo		101.00
Valor Máximo		116.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

A pesar de subir la intensidad (1200 mW/cm²), el promedio se mantuvo estable en 109.50 HV. Esto indica que a tiempos muy cortos (10s), el material aún no logra una conversión completa de monómeros a pesar de la alta potencia de luz.

FIGURA 8 Microdureza. Estelite Posterior. 10 segundos a 1200 mW/cm²

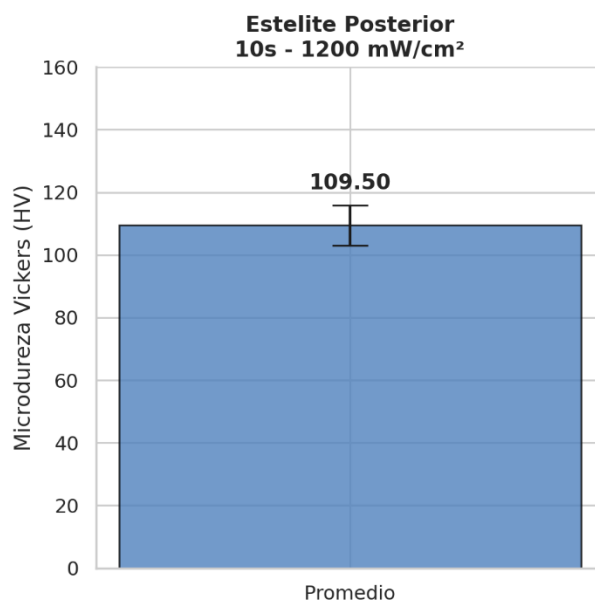


TABLA 16 Microdureza. Estelite Posterior. 20 segundos a 800 mW/cm²

RESINA ESTELITE POSTERIOR	20s - 800 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		113.33
Desviación Estándar		3.33
Valor Mínimo		109.00
Valor Máximo		118.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

Con 20 segundos de exposición a 800 mW/cm², la dureza de la resina Estelite Posterior se incrementó en promedio hasta los 113.33 HV, demostrando que este material responde de manera más significativa al factor tiempo que al factor intensidad en etapas tempranas.

FIGURA 9 Microdureza. Estelite Posterior. 20 segundos a 800 mW/cm²

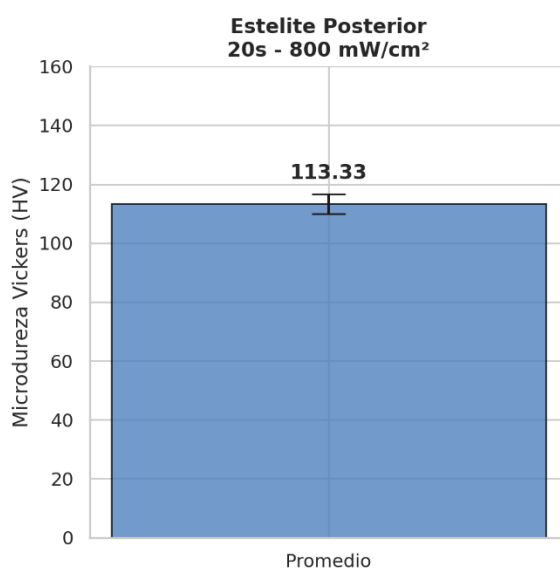


TABLA 17 Microdureza. Estelite Posterior. 20 segundos a 1200 mW/cm²

RESINA ESTELITE POSTERIOR	20s - 1200 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		126.50
Desviación Estándar		5.54
Valor Mínimo		116.00
Valor Máximo		131.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

En esta tabla se observa un salto cuantitativo importante en el promedio de la dureza hasta los 126.50 HV. Aquí se evidencia que la resina comienza a reaccionar de forma más eficiente cuando se aplica una alta densidad de energía.

FIGURA 10 Microdureza. Estelite Posterior. 20 segundos a 1200 mW/cm²

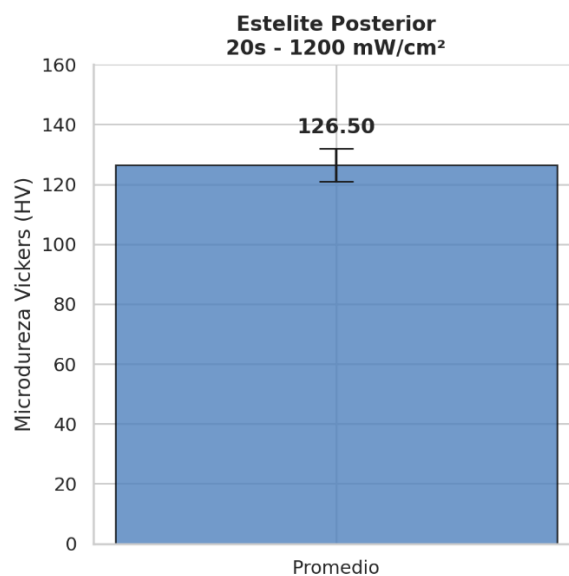


TABLA 18 Microdureza. Estelite Posterior. 30 segundos a 800 mW/cm²

RESINA ESTELITE POSTERIOR	30s - 800 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		122.17
Desviación Estándar		4.62
Valor Mínimo		115.00
Valor Máximo		129.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

Al tiempo máximo con baja intensidad (800 mW/cm²), el promedio de dureza llegó a 122.17 HV. Los valores muestran una tendencia ascendente constante conforme se prolonga la exposición con el caso particular de la resina Estelite.

FIGURA 11 Microdureza. Estelite Posterior. 30 segundos a 800 mW/cm²

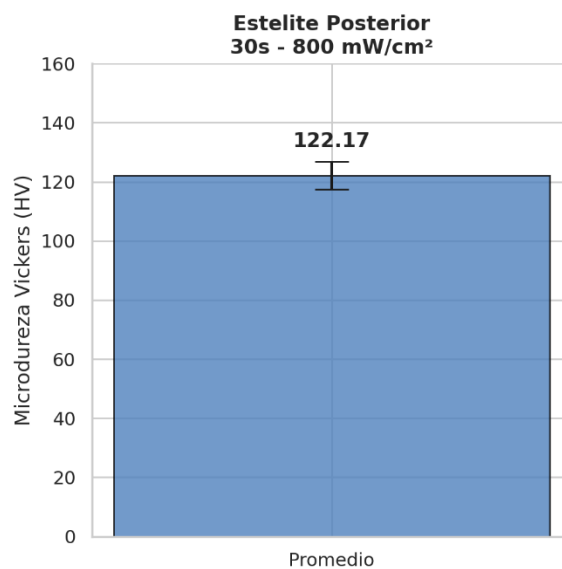


TABLA 19 Microdureza. Estelite Posterior. 30 segundos a 1200 mW/cm²

RESINA ESTELITE POSTERIOR	30s - 1200 mW/cm²	Dureza Superficial
Media Aritmética (Promedio)		139.33
Desviación Estándar		4.84
Valor Mínimo		131.00
Valor Máximo		145.00
Total Muestras		6

*Estructura de datos

La resina Estelite Posterior alcanzó su valor más alto de todo el estudio con 139.33 HV. Este resultado es crucial, ya que posiciona a esta resina como el material con mayor capacidad de endurecimiento bajo condiciones de energía máxima en combinación con el máximo tiempo de exposición.

FIGURA 12 Microdureza. Estelite Posterior. 30 segundos a 1200 mW/cm²

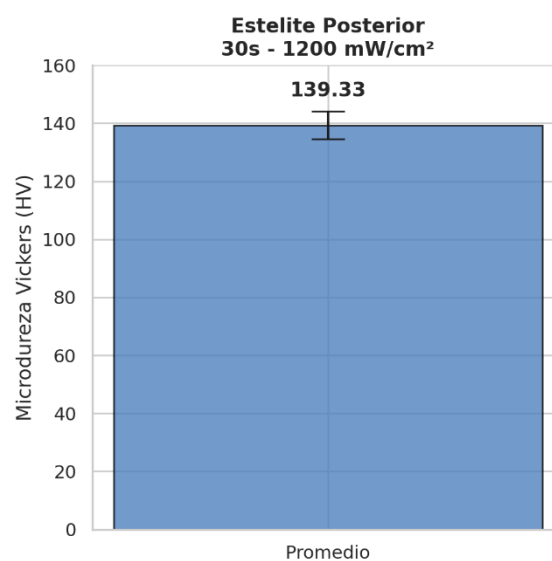


TABLA 20 Comparación dureza. Filtek P60. Según tiempo. 800 mW/cm²

FILTEK P60 (800 mW/cm²)	10 segundos (A)	20 segundos (B)	30 segundos (C)
Media Aritmética (Promedio)	112.83	119.50	124.17
Desviación Estándar	2.86	2.43	3.92
Valor Mínimo	109.00	116.00	119.00
Valor Máximo	117.00	123.00	129.00
Total Muestras	6	6	6

*Estructura de datos

P = 0.000 (P < 0.05) S.S.

A < B < C

Según el análisis de varianza (ANOVA), el valor de $P = 0.000$ indica que existen diferencias estadísticas significativas entre los tiempos de 10, 20 y 30 segundos. La prueba post hoc de Tukey nos mostró la dureza es mayor a los 30 segundos que a los 20, y ambas son más duras que a los 10 segundos. Se concluye que prolongar el tiempo de polimerización a baja intensidad aumenta directamente la dureza de la Filtek P60.

FIGURA 13 Comparación dureza. Filtek P60. Según tiempo. 800 mW/cm²

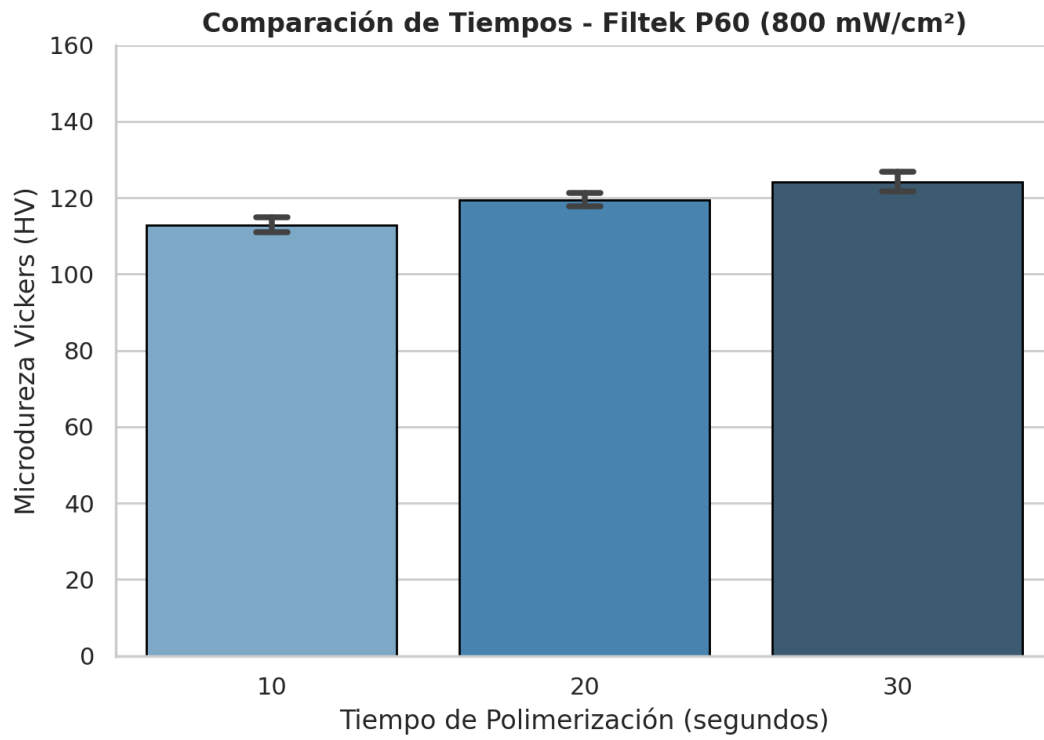


TABLA 21 Comparación dureza. Filtek P60. Según tiempo. 1200 mW/cm²

FILTEK P60 (1200 mW/cm²)	10 segundos (A)	20 segundos (B)	30 segundos (C)
Media Aritmética (Promedio)	117.17	121.33	131.33
Desviación Estándar	2.48	4.23	5.50
Valor Mínimo	114.00	117.00	122.00
Valor Máximo	120.00	129.00	138.00
Total Muestras	6	6	6

*Estructura de datos

P = 0.000 (P < 0.05) S.S.

A < B < C

Al igual que en la condición anterior, la diferencia es estadísticamente significativa ($P < 0.05$), y Tukey demostró que a mayor tiempo, mayor dureza. Esto prueba que, incluso a alta intensidad, el factor tiempo sigue siendo determinante para mejorar la calidad de la dureza superficial del material.

FIGURA 14 Comparación dureza. Filtek P60. Según tiempo. 1200 mW/cm²

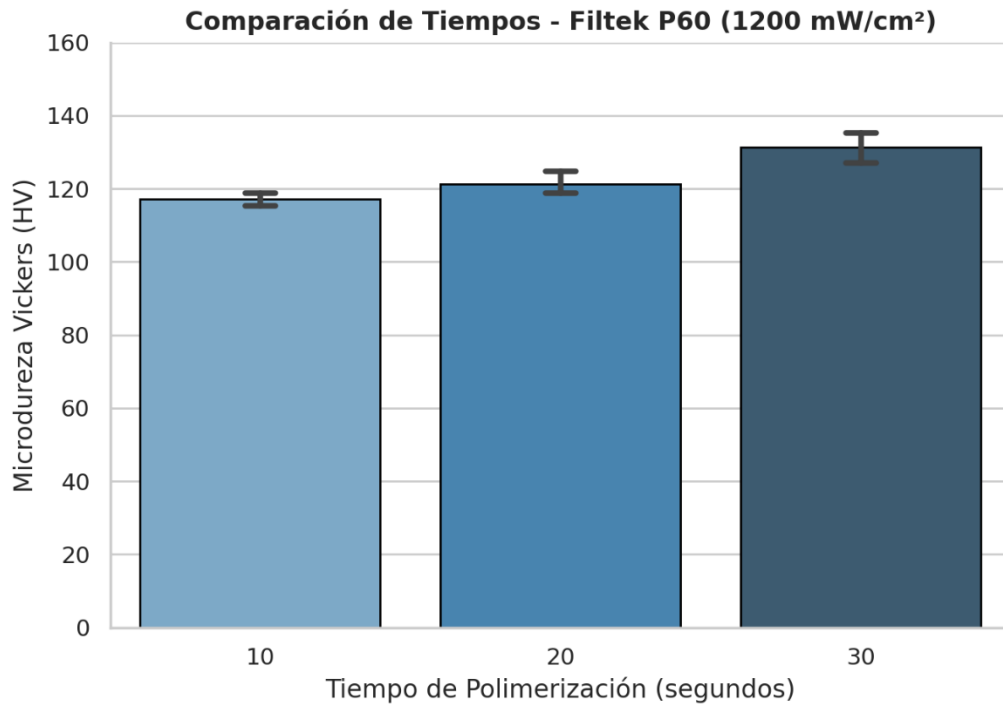


TABLA 22 Comparación dureza. Estelite Posterior. Según tiempo. 800 mW/cm²

ESTELITE (800 mW/cm²)	10 segundos (A)	20 segundos (B)	30 segundos (C)
Media Aritmética (Promedio)	108.17	113.33	122.17
Desviación Estándar	3.71	3.33	4.62
Valor Mínimo	103.00	109.00	115.00
Valor Máximo	113.00	118.00	129.00
Total Muestras	6	6	6

*Estructura de datos

P = 0.000 (P < 0.05) S.S.

A < B < C

Los resultados muestran una diferencia estadística significativa entre grupos ($P = 0.000$). También se aplicó Tukey y se comprobó lo mismo que en las tablas anteriores. La resina Estelite Posterior requiere de tiempos prolongados para compensar la baja irradiancia de la lámpara de polimerización.

FIGURA 15 Comparación dureza. Estelite Posterior. Según tiempo. 800 mW/cm²

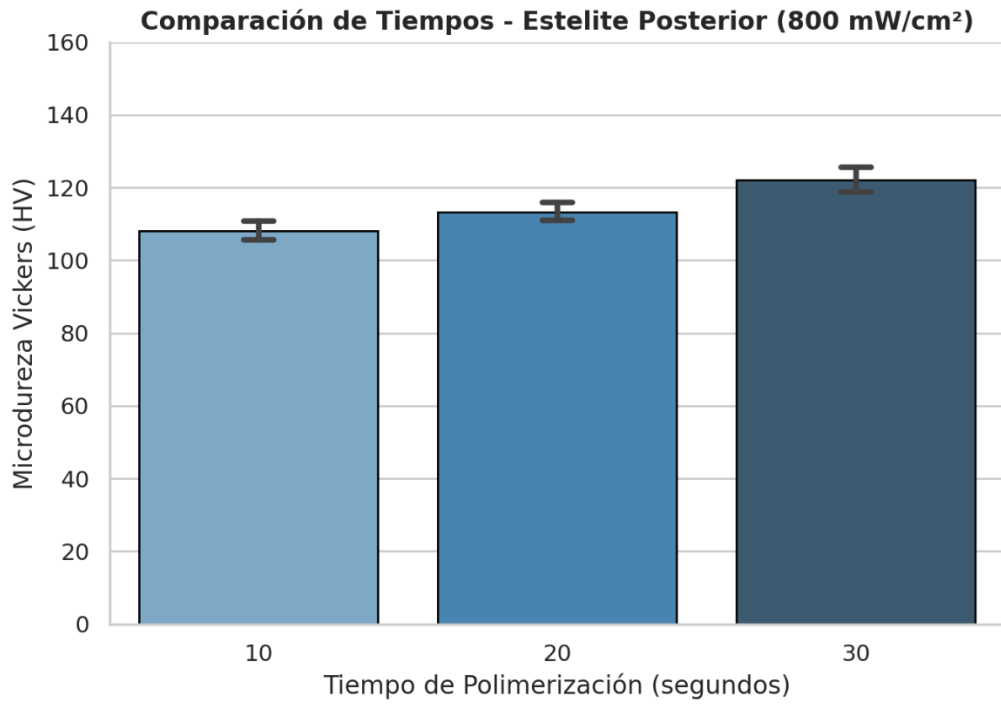


TABLA 23 Comparación dureza. Estelite Posterior. Según tiempo. 1200 mW/cm²

ESTELITE (1200 mW/cm²)	10 segundos (A)	20 segundos (B)	30 segundos (C)
Media Aritmética (Promedio)	109.50	126.50	139.33
Desviación Estándar	6.41	5.54	4.84
Valor Mínimo	101.00	116.00	131.00
Valor Máximo	116.00	131.00	145.00
Total Muestras	6	6	6

*Estructura de datos

P = 0.000 (P < 0.05) S.S.

A < B < C

Esta tabla muestra el impacto más drástico del tiempo en el estudio ($P = 0.000$). La progresión de 109.50 HV a 139.33 HV demuestra que la resina Estelite Posterior es altamente sensible a la dosis de energía total recibida, tanto en cuanto a tiempo como a potencia lumínica. Y la prueba post hoc nos indica que hay gran diferencia entre las muestras polimerizadas durante 30 segundos que presentan mayor dureza que las que fueron irradiadas durante 20 y 10 segundos.

FIGURA 16 Comparación dureza. Estelite Posterior. Según tiempo. 1200 mW/cm²

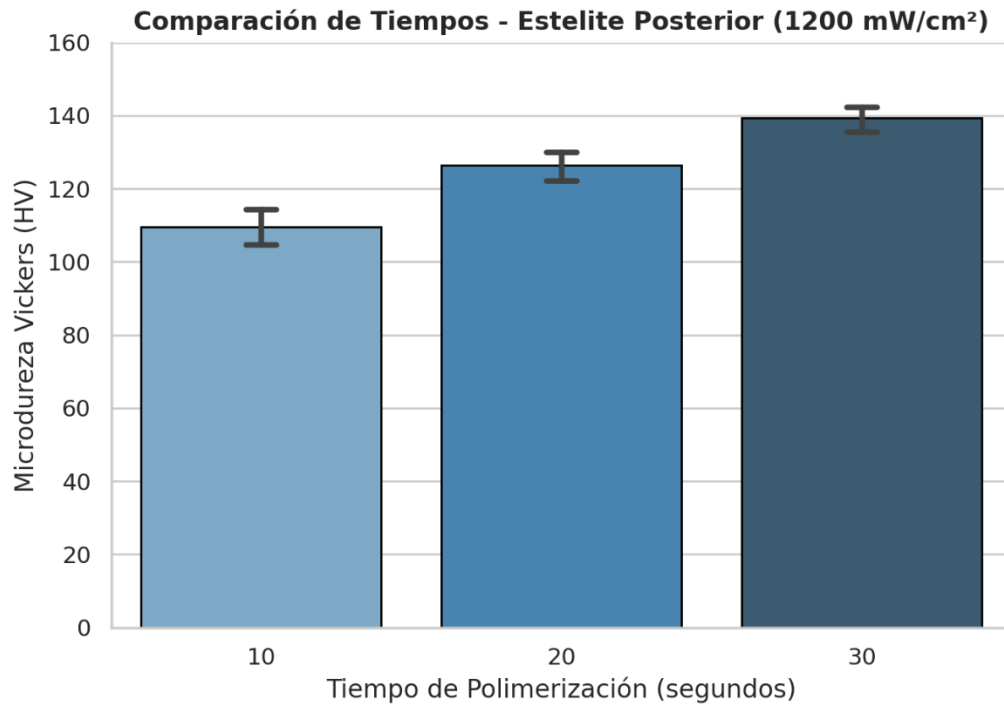


TABLA 24 Comparación dureza entre las dos marcas de resinas

Tiempo	Intensidad	Media Filtek P60	Media Estelite Posterior	P	Significancia
10 seg	800 mW/cm ²	112.83	108.17	0.035	S.S.
10 seg	1200 mW/cm ²	117.17	109.50	0.021	S.S.
20 seg	800 mW/cm ²	119.50	113.33	0.004	S.S.
20 seg	1200 mW/cm ²	121.33	126.50	0.099	N.S.
30 seg	800 mW/cm ²	124.17	122.17	0.438	N.S.
30 seg	1200 mW/cm ²	131.33	139.33	0.023	S.S.

*Estructura de datos

S.S.: Diferencia Estadística Significativa (P < 0.05).**N.S.: No Significativa (P ≥ 0.05).**

En tiempos de polimerización cortos (10 segundos), la resina Filtek P60 muestra una dureza significativamente mayor que la Estelite Posterior, independientemente de la intensidad de luz utilizada. A los 20 segundos con alta intensidad (1200 mW/cm²), las marcas no presentan diferencias significativas (P = 0.099), lo que indica que en este punto la Estelite Posterior comienza a igualar el rendimiento de la Filtek P60. En la condición máxima (30 segundos y 1200 mW/cm²), la Estelite Posterior supera de forma significativa a la Filtek P60 (139.33 vs 131.33, P = 0.023). Esto sugiere que la Estelite Posterior requiere de una mayor entrega de energía para alcanzar su máximo potencial mecánico.

FIGURA 17 Comparación dureza entre las dos marcas de resinas

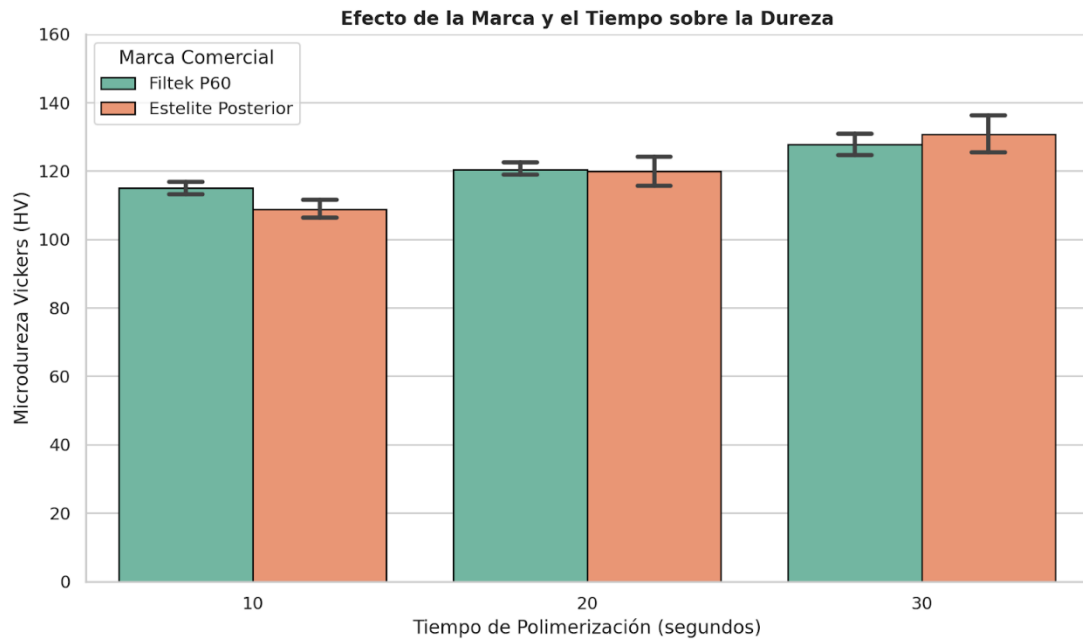
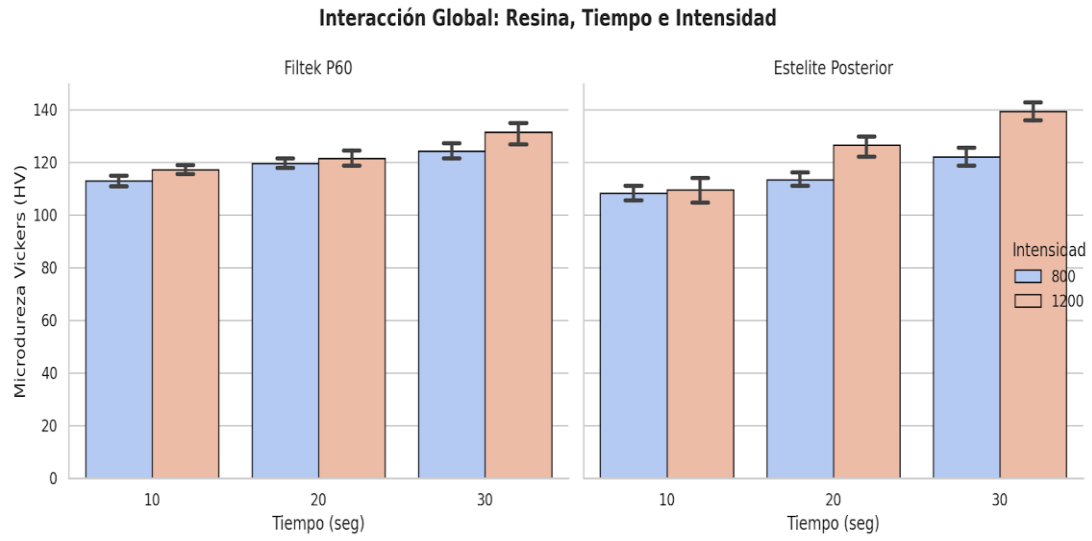


TABLA 25 Efecto de la interacción resina - tiempo - intensidad de la polimerización

FUENTE DE VARIACIÓN	F	P	SIGNIFICANCIA
Marca de Resina	1.432	0.236	N.S.
Tiempo de Polimerización	96.128	0.000	S.S.
Intensidad de Luz	53.951	0.000	S.S.
Interacción: Marca * Tiempo * Intensidad	5.012	0.009	S.S.

El análisis de varianza (ANOVA) de tres factores evidenció que la microdureza superficial de las resinas evaluadas no responde a factores aislados, sino a una interacción de tercer orden estadísticamente significativa entre la marca comercial, el tiempo de exposición y la intensidad de luz ($P=0.009$). Si bien la variable 'marca de resina' de forma independiente no mostró diferencias determinantes ($P=0.236$), los factores 'tiempo' e 'intensidad' actuaron como los principales predictores del cambio mecánico ($P<0.001$), demostrando un efecto sinérgico donde el incremento en la potencia de luz (mW/cm^2) interactúa de manera diferenciada con la composición química de cada material; este fenómeno explica por qué la resina Estelite Posterior logra optimizar sus propiedades de polimerización y superar significativamente a la Filtek P60 únicamente cuando es sometida a la combinación máxima de 30 segundos y $1200 \text{ mW}/\text{cm}^2$.

FIGURA 18 Efecto de la interacción resina - tiempo - intensidad de la polimerización



DISCUSIÓN

La validación integral de los objetivos y la hipótesis de esta investigación se fundamenta en la demostración estadística de que la microdureza superficial no es el resultado de variables aisladas, sino de una interacción significativa entre la composición química del material, el tiempo de exposición y la intensidad lumínica ($P=0.009$). La hipótesis fue confirmada en su totalidad al evidenciarse que la entrega de energía no generó una respuesta uniforme, sino que reveló un comportamiento mecánico diferenciado donde se observó que la resina Estelite Posterior optimiza su red polimérica hasta superar a la Filtek P60 en condiciones máximas de 30 segundos y 1200 mW/cm^2 . Este fenómeno valida que el éxito de la restauración depende de la densidad de energía aplicada así como del tiempo de exposición y de la marca del material restaurador.

Según el antecedente local de Cacyavilca (2025), realizado aquí en la ciudad de Arequipa, se exploró la comparación de microdureza entre distintas marcas de resina; al confrontar esto con mis hallazgos, existe una coincidencia en el hecho de que la composición química de cada marca influye en el resultado final. Mi aporte diferenciador en esta discusión local es la demostración de que la superioridad de una marca sobre otra en cuanto a esta propiedad es condicional: pude establecer que la Filtek P60 es más dura a los 10 segundos, pero la Estelite Posterior termina siendo significativamente superior al completar los 30 segundos a alta intensidad, validando así la complejidad de la interacción que planteé en mis objetivos iniciales (74).

En cuanto al antecedente nacional presentado por Loya (2025) en Cerro de Pasco, se determinó que la dureza superficial varía significativamente según las distintas irradiancias o intensidades; este resultado guarda estrecha relación con lo que hallé en mi matriz de datos, donde la intensidad de 1200 mW/cm^2 produjo valores consistentemente más altos que la de 800 mW/cm^2 . La distinción principal de mi estudio radica en la comparación inter-marcas, donde logré identificar que, a pesar de que ambas resinas se benefician de altas irradiancias, la Filtek P60 presenta una respuesta más estable en condiciones de baja energía en comparación con la Estelite Posterior, que es más dependiente de dosis altas (75).

Por otro lado, Flores (2024) en la ciudad de Lima investigó la microdureza en resinas Bulk Fill bajo diferentes tiempos de fotopolimerización; al realizar el parangón con mi estudio, se observa una semejanza en la tendencia ascendente de los valores HV conforme aumenta el

tiempo. Sin embargo, mi investigación marca una pauta distinta al enfocarse en resinas nanohíbridas universales y demostrar que la interacción de variables permite alcanzar niveles de dureza superiores a los reportados en estudios con resinas Bulk Fill, llegando a un máximo de 139.33 HV, lo cual subraya la importancia de optimizar los protocolos de luz según el tipo de relleno nanohíbrido (76).

En el antecedente internacional de Kogan et al. (2016), se realizó un estudio comparativo de dureza entre sistemas de resina variando el tiempo de polimerización; al contrastar estos hallazgos con mi investigación, encuentro una similitud fundamental, ya que ambos confirmamos que el incremento del tiempo eleva los valores de dureza superficial. No obstante, mi estudio aporta una perspectiva más profunda al demostrar estadísticamente que no es solo el tiempo, sino su interacción con la intensidad lumínica lo que define la calidad mecánica final, logrando precisar que en la marca Estelite Posterior este efecto es mucho más marcado que en la Filtek P60 (77).

Respecto al estudio de Ricardo Noboa (2022) en la ciudad de Ambato, se analizó la eficacia del tiempo de fotopolimerización mediante el uso de lámparas de alta potencia, concluyendo que la dosificación de luz es determinante para el éxito clínico; en mi trabajo he podido validar esta premisa, pero estableciendo una diferencia clara al observar que el rendimiento de las resinas nanohíbridas no es uniforme. Mientras que en ese antecedente se habla de una eficacia general, en mi experimentación encontré que la Estelite Posterior requiere de esa alta potencia (1200 mW/cm²) y tiempos prolongados (30s) para alcanzar su pico máximo de 139.33 HV, superando lo obtenido por la Filtek P60 (78).

Finalmente, en la investigación internacional de Naranjo-Pizano et al. (2017), los autores centraron su análisis en la diferencia de dureza según el tipo de luz empleada; al comparar mis resultados con los suyos, coincido en que la fuente de luz es una variable crítica, pero mi análisis va un paso más allá al trabajar con una misma tecnología LED y manipular las potencias de luz. Pude demostrar que el comportamiento de la microdureza responde a una interacción de tercer orden ($P=0.009$), lo que significa que el clínico no puede predecir el endurecimiento basándose solo en la lámpara, sino que debe considerar la marca específica de la resina y el tiempo exacto de exposición (79).

La odontología restauradora contemporánea se encuentra en una fase de transición crítica hacia la optimización de los tiempos clínicos mediante el uso de lámparas LED de alta potencia, las cuales buscan maximizar el grado de conversión monomérica en lapsos cada vez más

reducidos. La ciencia actual debate intensamente sobre la validez de la Ley de Reciprocidad —la cual postula que una intensidad elevada compensa un tiempo de exposición breve para alcanzar una densidad de energía constante—; sin embargo, las investigaciones más recientes sugieren que esta relación no es lineal y depende intrínsecamente de la cinética de polimerización y del sistema de fotoiniciadores de cada biomaterial. En este contexto, el desarrollo de resinas con nanotecnología ha permitido mejorar las propiedades mecánicas y estéticas, pero ha generado un desafío técnico respecto a cómo la luz atraviesa y activa las partículas de relleno, evidenciando que el comportamiento de los materiales nanohíbridos ante fuentes de luz de 1200 mW/cm² o superiores es altamente dependiente de la formulación química y el tamaño de partícula específico de cada casa comercial.

Mi investigación ha logrado probar que esta tendencia global hacia la alta intensidad debe ser manejada con un enfoque de personalización clínica, al demostrar que existe una interacción compleja y determinante entre el factor tiempo, la intensidad de polimerización y la marca comercial. Se consiguió evidenciar que, si bien la práctica moderna promueve protocolos de polimerización rápida, materiales con tecnología de relleno avanzada como la Estelite Posterior requieren de una entrega de energía prolongada y potente para manifestar su máxima capacidad estructural. Estos hallazgos aportan al estado del arte una base científica sólida para refutar la idea de que todos los materiales nanohíbridos reaccionan de forma uniforme ante protocolos estandarizados, estableciendo que la microdureza superficial es una propiedad dinámica que solo se optimiza cuando se comprende la sinergia exacta entre la tecnología de la lámpara y la microestructura específica del material restaurador.

CONCLUSIONES

PRIMERA

Al evaluar la microdureza superficial de la resina Filtek P60 según el tiempo de polimerización, se evidenció un incremento proporcional y estadísticamente significativo ($P = 0.000$) conforme aumenta el tiempo de exposición, registrando valores desde 112.83 HV a los 10 segundos hasta alcanzar los 131.33 HV a los 30 segundos.

SEGUNDA

Respecto a la intensidad de polimerización en la resina Filtek P60, se determinó que la aplicación de una potencia de 1200 mW/cm^2 produce valores de microdureza superficial consistentemente superiores en comparación con la intensidad de 800 mW/cm^2 en todos los intervalos de tiempo evaluados.

TERCERA

En la evaluación de la resina Estelite Posterior según el tiempo de polimerización, se estableció que la microdureza aumenta de forma significativa ($P = 0.000$) al prolongar el periodo de fotocurado, observándose una progresión constante de los valores que inicia en 108.17 HV a los 10 segundos y culmina en 139.33 HV a los 30 segundos.

CUARTA

Al analizar la intensidad de polimerización en la resina Estelite Posterior, se concluyó que el uso de una intensidad de 1200 mW/cm^2 genera un incremento en la microdureza superficial significativamente mayor al obtenido con 800 mW/cm^2 , siendo este factor determinante para alcanzar los niveles máximos de dureza del material.

QUINTA

Se determinó que existen diferencias estadísticas significativas en la microdureza superficial entre las marcas de resina nanohíbrida evaluadas; la resina Filtek P60 presenta promedios superiores en tiempos de exposición cortos (10s), mientras que la resina Estelite Posterior demuestra una superioridad significativa ($P = 0.023$) al emplear el protocolo de máxima energía de 30 segundos y 1200 mW/cm^2 .

SEXTA

Como conclusión general, se establece que la microdureza superficial de las resinas nanohíbridas depende de una interacción de tercer orden estadísticamente significativa ($P = 0.009$) entre la marca comercial, el tiempo de polimerización y la intensidad de luz. Por lo tanto, el efecto de las variables operativas sobre el endurecimiento del material no es uniforme.

RECOMENDACIONES

1. **Recomendación General:** A la comunidad científica y académica se recomienda priorizar el uso de protocolos de polimerización de alta densidad de energía para asegurar la estabilidad mecánica de las restauraciones. Los resultados demuestran que no basta con cumplir un tiempo mínimo, sino que la combinación de una alta intensidad de luz (1200 mW/cm^2) con tiempos prolongados (30 segundos) es la vía más efectiva para alcanzar los valores máximos de microdureza superficial, especialmente en resinas de tecnología avanzada.
2. **Para Investigadores y Tesistas:** Se sugiere a los futuros investigadores ampliar esta línea de estudio mediante la incorporación de variables adicionales que influyen en el grado de conversión, tales como la distancia entre la punta de la lámpara y la superficie del material (0, 2, 5 y 10 mm), o la evaluación de diferentes tecnologías de relleno como las resinas Bulk Fill y las resinas bioactivas. Asimismo, se recomienda realizar estudios comparativos que analicen otras propiedades físicas y químicas, como la resistencia flexural, la contracción de polimerización y el grado de microfiltración marginal.
3. **Para Odontólogos y Profesionales:** Se recomienda implementar una protocolización individualizada para cada material restaurador, evitando la estandarización de tiempos breves para todas las marcas comerciales. Es fundamental que el clínico verifique periódicamente la intensidad de su lámpara de fotopolimerización mediante radiómetros y que ajuste los tiempos de exposición según la potencia real del equipo. Esta práctica se traduce directamente en una mayor longevidad de la restauración y una reducción de fallas clínicas postoperatorias en el paciente.
4. **Para Fabricantes:** Se hace un llamado a las casas comerciales para que incluyan en sus especificaciones técnicas detalladas de tiempo e intensidad específicas para cada producto, en lugar de proporcionar rangos generales. Es necesario que los fabricantes de resinas especifiquen la densidad de energía total (mW/cm^2) requerida para lograr la conversión óptima, y que los fabricantes de lámparas aseguren la estabilidad de la irradiancia durante todo el ciclo de uso. Una comunicación más precisa sobre los tiempos ideales de polimerización según la marca y el tipo de relleno permitiría a los usuarios finales maximizar las propiedades del material.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DE CC. Comparación de la profundidad de fotopolimerización en 4 marcas diferentes de resinas nanohíbridas. Juliaca: Universidad Continental; 2021.
2. Gómez Artymyszyn MA ARRM CJ. Estudio in vitro de la fotopolimerización de resinas nanohíbridas utilizando diferentes intensidades de luz. Corrientes: Universidad Nacional del Nordeste; 2021.
3. JS SL. Microdureza superficial de tres resinas compuestas nanohíbridas según el tiempo de espera para el pulido. Tesis. Lima: Universidad de San Martín de Porres, Facultad de Odontología; 2021.
4. AE ZH. Resinas compuestas evolución y tendencias. Tesis. Cuenca - Ecuador: Universidad Católica de Cuenca; 2021.
5. Rodas D MB. Estudio comparativo de los diferentes tipos de resinas compuestas y sus usos de acuerdo a su composición. Anatomía Digital. 2023; 6(3).
6. Ríos-Angulo CM RCT. Resinas compuestas Bulk-Fill, innovación, controversias y perspectivas futuras en odontología restauradora: revisión bibliográfica. Revista Médica de Trujillo. 2025; 20(1).
7. Macías Reyna MJ MCEGMKMRV. Factores que influyen en la pigmentación de las resinas compuestas dentales. Odontología Activa Revista Científica. 2024; 10(1).
8. BARRANCOS MOONEY JPJB. Operatoria Dental. Avances clínicos, restauraciones y estética. 5th ed. Alvear MTd, editor. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2015.
9. Macchi RL. Materiales Dentales. Quinta ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2022.
10. Barrancos JBMyPJ. Operatoria Dental: Integración clínica y estética. Quinta ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2021.

11. Guzmán HJ. Biomateriales odontológicos de uso clínico. Sexta ed. Bogotá: ECOE Ediciones; 2020.
12. García-Zavaleta GDRFyLM. Comportamiento mecánico de las resinas nanohíbridas y nanoparticuladas: Revisión de la literatura. Revista Estomatológica Herediana. 2020; 30(3).
13. Osorio REVyS. Clasificación y evolución de las resinas compuestas: de la macropartícula a la nanotecnología. Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia. 2019; 31(1).
14. Stephen C. Bayne JLFGWMSJMyTJH. The evolution of dental composite resin materials. Journal of Esthetic and Restorative Dentistry. 2023; 35(1).
15. Rodas D MB. Estudio comparativo de los diferentes tipos de resinas compuestas y sus usos de acuerdo a su composición. Anatomía Digital. 2023; 6(3).
16. Severo BGM TAdR. Clasificación de resinas compuestas y métodos de acabado y pulido. Research, Society and Development. 2022; 11(7).
17. Corporación. 3. Filtek P60. Restaurador para dientes posteriores. 3M Chile. 2017 Noviembre.
18. Corporation TD. Estelite Posterior. Tokuyama. 2025.
19. Hervás García A MLMCVJBEAFGP. Resinas compuestas. Revisión de los materiales e indicaciones clínicas. Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal. 2006; 11(2).
20. Ríos-Angulo CM RCMRCT. Comparación de las propiedades mecánicas y profundidad de curado de resinas compuestas bulk-fill y bioactivas. Revista Estomatológica Herediana. 2025; 35(1).
21. NKP BT. Microdureza superficial de resinas compuestas bulk fill. tesis de pregrado. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo; 2023.
22. D Z. Evaluación de la microdureza superficial de resinas compuestas. [Online].; 2017 [cited 2026 Mayo 9. Available from: <https://dialnet.unirioja.es>.

23. Tecnología de las resinas compuestas. Revisión e Higiene Dental. 2021; 6(2).
24. López Flores AI GLRM. Efecto en la microdureza de resinas compuestas aplicando nanotecnología. Revista Odontológica Mexicana. 2019; 23(4).
25. Blog U. Resinas Compuestas: Estado Actual. [Online].; 2019 [cited 2026 Mayo 9. Available from: <https://la.ultradent.blog>.
26. Dental G. Análisis de la microdureza de composites «one shade». [Online].; 2024 [cited 2026 Mayo 9. Available from: <https://gacetadental.com>.
27. Gómez Basurto S NBMGIJBYA. Evaluación in vitro de la microdureza superficial de diferentes resinas comerciales, frente a la acción de una bebida gaseosa. Revista Odontológica Mexicana. 2010; 14(1).
28. López Flores AI HJ. Efecto en la microdureza de resinas compuestas aplicando nanotecnología. Revista de la Asociación Dental Mexicana. 2019; 76(3).
29. LJ VR. Microdureza superficial en resina compuesta, compómero y resina reforzada. Revista Estomatológica Herediana. 2014; 24(2).
30. Gonzales ELS RMTP. Flexural strength of conventional flowable, bulk fill flowable and highly filled flowable resin composites: in vitro study. Journal of Oral Research. 2023; 11(3).
31. Ruiz JM GFLA. Resistencia a la flexión y módulo elástico de resinas compuestas de alta, mediana y baja densidad. Revista de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de Córdoba. 2018; 25(1).
32. Mooney JB. Operatoria Dental. Avances clínicos, restauraciones y estética. Quinta ed. BARRANCOS PJ, editor. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2015.
33. Nocchi Conceição E. Odontología restauradora. Salud y estética. 2nd ed. Frydman ADCMyJ, editor. Buenos Aires: EDITORIAL MÉDICA PANAMERICANA, S.A.C.F.; 2007.
34. Alain Manuel Chaple Gil YMOyJÁR. "Evolución histórica de las lámparas de fotopolimerización". Revista Habanera de Ciencias Médicas. 2016; 15(1).

35. VANESSA RGY. "ESTUDIO DEL ESTADO DE LA POTENCIA LUMÍNICA DE LAS LÁMPARAS DE TIPO HALÓGENA DE FOTO POLIMERIZACIÓN, ASIGNADAS EN LA CLÍNICA ESTOMATOLÓGICA DE LA USS-2015". Tesis para título profesional. Pimentel: Universidad Señor de Sipán, Escuela Académico Profesional de Estomatología; 2015.
36. Alexandra Jacqueline Aquino Valverde GdPAVJMDFPALRDAQLKJASKJASMVP. "EFECTIVIDAD DE FOTOPOLIMERIZACIÓN USANDO LÁMPARAS LED: UNA REVISIÓN". Revista Científica Odontológica. 2022 Setiembre; 10(3).
37. Rueggeberg FA. State-of-the-art: dental photocuring – a review. Dental Materials. 2011; 27(1).
38. Price RBT FJHR SB. The light-curing unit: an essential piece of dental equipment. Journal of the American Dental Association. 2015; 146(6).
39. Shimokawa CA TMGMBRPR. Effect of light curing units on the polymerization of bulk fill resin composites. Dental Materials. 2018; 34(8).
40. Rueggeberg FA GMACPR. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. Brazilian Oral Research. 2017; 31(1).
41. Ferracane JL GE. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. Journal of Biomedical Materials Research. 1986; 20(1).
42. Leprince JG PWHMDJLG. Progress in dimethacrylate-based dental composite technology and curing efficiency. Dental Materials. 2013; 29(2).
43. Selli F SKSRWFSBVKea. Degree of conversion of a universal adhesive system: effect of different curing times and modes. The Journal of Adhesive Dentistry. 2021; 23(4).
44. Mouhat M MJFGAO. The effect of curing time and light intensity on the polymerization shrinkage of bulk-fill resin composites. Dental Materials. 2018; 34(5).
45. Pereira MA dAJSMdSRGSdCF. Influence of curing time on the degree of conversion of two bulk-fill composites. Revista de Odontologia da UNESP. 2018; 47(5).

46. Ilie N HR. Macro-, micro- and nano-mechanical investigations on silorane and methacrylate-based composites. *Dental Materials*. 2009; 25(6).
47. Flury S LAHRIN. Effect of curing time on the microhardness of modern resin composites. *Journal of Adhesive Dentistry*. 2012; 14(2).
48. Lohbauer U ZMRMPA. Flexural strength of resin composites as a function of curing time. *Dental Materials*. 2008; 24(6).
49. Ilie N HR. Correlation between mechanical properties and degree of conversion of resin composites. *The Journal of Adhesive Dentistry*. 2017; 19(4).
50. JL F. Resin composite—State of the art. *Dental Materials*. 2011; 27(1).
51. Braga RR FJ. Contraction stress of resin composites as a function of degree of conversion. *Dental Materials*. 2004; 20(2).
52. Park YJ CKRH. Effect of curing time on the degree of conversion of resin composites with different shades. *Journal of Korean Academy of Conservative Dentistry*. 2009; 34(3).
53. Xin Li PPBVMJDM. Curing efficiency of bulk-fill resin composites: a systematic review. *Dental Materials*. 2020; 36(8).
54. Alvanforoush S PJBM. A comparison of the light-curing protocols used in dental practice. *European Journal of Oral Sciences*. 2018; 126(5).
55. Jafarnia S BMSM. Effect of additional curing time on the microhardness of resin composites. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*. 2016; 10(3).
56. Rueggeberg FA GMACPR. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Brazilian Oral Research*. 2017; 31(1).
57. Price RBT FJHR SB. Light-curing units: a review of the literature. *The Journal of Adhesive Dentistry*. 2016; 18(4).
58. Price RBT FJFL. Factors affecting the energy delivered to simulated class I and class V preparations. *Journal of the Canadian Dental Association*. 2017.
59. FA R. State-of-the-art: dental photocuring – a review. *Dental Materials*. 2011; 27(1).

60. Ilie N KADJ. Influence of various irradiation processes on the mechanical properties and polymerisation kinetics of bulk-fill resin based composites. *Journal of Dentistry*. 2013; 41(8).
61. Oberholzer TG dPIKP. The effect of varying curing-light intensity on the microhardness of a resin composite. *South African Dental Journal*. 2002; 57(6).
62. Ferracane JL FLML. Effect of light intensity and exposure duration on the polymerization of resin composites. *Dental Materials*. 2005; 21(8).
63. Vandewalle KS RHTACD. Effect of light intensity on the microhardness of a resin composite. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2004; 16(4).
64. Leprince JG PWHMDJLG. Progress in dimethacrylate-based dental composite technology and curing efficiency. *Dental Materials*. 2013; 29(2).
65. Duran I GAAMDU. The effect of different light intensities on the degree of conversion of different resin composites. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*. 2016; 50(3).
66. Flury S LAHRIN. Effect of curing time on the microhardness of modern resin composites. *The Journal of Adhesive Dentistry*. 2012; 14(2).
67. Zorzin J MEHSFTBRLUea. Bulk-fill resin composites: polymerization properties and extended curing time. *Dental Materials*. 2021; 37(5).
68. Rueggeberg FA CWCJ. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Operative Dentistry*. 1994; 19(1).
69. Tagami J NTNMSY. Relationship between degree of conversion and microhardness of resin composites. *Dental Materials Journal*. 2012; 31(6).
70. Lindberg A PAvDJ. Effect of curing time and light intensity on the microhardness of a resin composite. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2004; 62(5).
71. Soh MS YASK. The effect of light intensity on the microhardness of a composite restorative. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2004; 31(8).

72. Neumann MG SCFGCI. The initiating radical yields and the efficiency of polymerization for various dental photoinitiators excited by different light curing units. *Dental Materials*. 2006; 22(6).
73. Richard B. Price JLF. Light-curing of restorative materials: how much is enough? *Compendium of Continuing Education in Dentistry*. 2018; 39(4).
74. Sharol Karyme Cacyavilca Hilari SJVM. Comparación de la microdureza superficial de resinas compuestas fotopolimerizables 3M FILTEK Z250 XT y FGM VITTRA APS estudio in vitro. Tesis para título profesional. Arequipa: Universidad Continental, Escuela Académico Profesional de Odontología; 2023.
75. LOYA MJR. Dureza superficial de resinas compuestas polimerizadas con distintas irradiancias. Para optar el título profesional de: Cirujano Dentista. Cerro de Pasco: UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE ODONTOLOGÍA; 2025.
76. FLORES ST. Microdureza superficial de resinas bulk fill según tiempo de fotopolimerización de diferentes lámparas LED. Título de Segunda Especialidad. Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia, Facultad de Estomatología; 2024.
77. Alejandro Kogan B EKFDHGV. Estudio comparativo de profundidad de curado y dureza entre dos sistemas de resina “bulk-fill” con dos tiempos de polimerización usando una lámpara de alta intensidad. *Oral*. 2016; 17(54).
78. RICARDO NQK. Eficacia del tiempo de fotopolimerización de la lámpara (Valo® - Ultradent©) en resina compuesta. Artículo científico para Título de odontólogo. Ambato: UNIANDES, Carrera de Odontología; 2022.
79. Rafael Mauricio Naranjo-Pizano JFLJ,JVIDRC,POP. Diferencia en la dureza de resinas utilizadas convencionalmente al polimerizarse con diferentes tipos de luz. *CES Odontología*. 2017; 30(1).
80. Mondelli RFL GGFJ. *Materiales dentales: procedimientos clínicos y laboratoriales*. Segunda ed. Sao Paolo; 2016.



ANEXOS

FICHA 1 Resina Filtek P60

10 segundos a 800mW/cm2	
Muestra	Microdureza
1	112
2	109
3	115
4	117
5	111
6	113

10 segundos a 1200mW/cm2	
Muestra	Microdureza
1	115
2	119
3	120
4	114
5	116
6	119

20 segundos a 800mW/cm2	
Muestra	Microdureza
1	118
2	121
3	116
4	119
5	123
6	120

20 segundos a 1200mW/cm2	
Muestra	Microdureza
1	123
2	120
3	119
4	129
5	120
6	117

30 segundos a 800mW/cm2	
Muestra	Microdureza
1	125
2	123
3	121
4	119
5	128
6	129

30 segundos a 1200mW/cm2	
Muestra	Microdureza
1	130
2	122
3	138
4	135
5	130
6	133

FICHA 2 Resina Estelite Posterior

10 segundos a 800mW/cm ²	
Muestra	Microdureza
1	103
2	105
3	111
4	113
5	108
6	109

10 segundos a 1200mW/cm ²	
Muestra	Microdureza
1	116
2	112
3	101
4	116
5	103
6	109

20 segundos a 800mW/cm ²	
Muestra	Microdureza
1	115
2	110
3	114
4	109
5	118
6	114

20 segundos a 1200mW/cm ²	
Muestra	Microdureza
1	125
2	130
3	129
4	116
5	128
6	131

30 segundos a 800mW/cm ²	
Muestra	Microdureza
1	122
2	120
3	123
4	115
5	129
6	124

30 segundos a 1200mW/cm ²	
Muestra	Microdureza
1	131
2	139
3	145
4	140
5	143
6	138

FICHA 3 Constancia de dureza resina Filtek P60



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALÚRGICA DE LA UNSA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CERTIFICADO

El que suscribe, Ing. Guido Quispe Ampuero, CERTIFICA que se han realizado los siguientes ensayos:

ENSAYO REALIZADO : ENSAYO DE DUREZA
ESCALA : HV
MUESTRAS : RESINA FILTEK P60
NUMERO DE MUESTRAS : Total 36
SOLICITANTE : Rodrigo Pinto

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

RESINA FILTEK P60

	10 segundos 800mW/cm2	10 segundos 1200mW/cm2	20 segundos 800mW/cm2	20 segundos 1200mW/cm2	30 segundos 800mW/cm2	30 segundos 1200mW/cm2
	HV	HV	HV	HV	HV	HV
1	112	115	118	123	125	130
2	109	119	121	120	123	122
3	115	120	116	119	121	138
4	117	114	119	129	119	135
5	111	116	123	120	128	130
6	113	119	120	117	129	133

Observaciones:

Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante

Arequipa, 8 de mayo del 2026

GUIDO F. QUISPE AMPUERO
INGENIERO METALURGISTA
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 103532

Ing. Guido Quispe Ampuero
CIP 103532

FICHA 4 Constancia de dureza resina Estelite Posterior



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALÚRGICA DE LA UNSA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CERTIFICADO

El que suscribe, Ing. Guido Quispe Ampuero, CERTIFICA que se han realizado los siguientes ensayos:

ENSAYO REALIZADO : ENSAYO DE DUREZA
ESCALA : HV
MUESTRAS : RESINA ESTELITE POSTERIOR
NUMERO DE MUESTRAS : Total 36
SOLICITANTE : Rodrigo Pinto

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

RESINA ESTELITE POSTERIOR

	10 segundos 800mW/cm2	10 segundos 1200mW/cm2	20 segundos 800mW/cm2	20 segundos 1200mW/cm2	30 segundos 800mW/cm2	30 segundos 1200mW/cm2
	HV	HV	HV	HV	HV	HV
1	103	116	115	125	122	131
2	105	112	110	130	120	139
3	111	101	114	129	123	145
4	113	116	109	116	115	140
5	108	103	118	128	129	143
6	109	109	114	131	124	138

Observaciones:

Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante

Arequipa, 8 de mayo del 2026

GUIDO F. QUISPE AMPUERO
INGENIERO METALURGISTA
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 103532

Ing. Guido Quispe Ampuero
CIP 103532

FICHA 5 Dictamen comité de ética



**Universidad
Católica de
Santa María**

Investigador
Rodrigo del Piero Lorenzo Pinto Esquiche

Sentimiento Santamariano

**Comité
Institucional de
Ética de la
Investigación**

Campus Central
Urb. San José s./n Umacollo
Arequipa – Perú
(+54) – 382038

UCSM.EDU.PE

Arequipa, 6 mayo 2026

De mi especial consideración.

Me dirijo a usted para hacerle llegar el resultado de la evaluación de su proyecto de investigación y dictamen del Comité Institucional de Ética de Investigación.

TÍTULO: “Efecto de la interacción de tiempo e intensidad de polimerización sobre la dureza superficial de dos marcas de resinas nano híbridas. Arequipa, 2026”.

INVESTIGADOR: Rodrigo del Piero Lorenzo Pinto Esquiche.

TIPO Y DISEÑO: Aplicada, cuantitativa, experimental, explicativo, correlacional, transversal.

OBJETIVO: La investigación tiene como objetivo: Determinar la interacción entre el tiempo y la intensidad de polimerización sobre la microdureza superficial de dos marcas de resinas nano híbridas.



PROCEDIMIENTOS: Observación experimental.

SUJETOS DE ESTUDIO: Resinas compuestas

RIESGO DEL ESTUDIO: Mínimo.

OBSERVACIONES, SUGERENCIAS: Debe proteger confidencialidad de la data sensible.

DICTAMEN:



DICTAMEN FAVORABLE 238- 2026 CIEI-UCSM

VIGENCIA: La aprobación tiene vigencia desde la emisión del presente dictamen hasta el 6 de mayo de 2027.

Agueda Muñoz Del Carpio Toia
Comité Institucional de Ética de la Investigación UCSM

Arequipa, 6 mayo 2026

IMÁGENES

IMAGEN 1 Resina Filtek P60



IMAGEN 2 Resina Estelite Posterior



IMAGEN 3 Elaboración de muestras



IMAGEN 4 Elaboración de muestras



IMAGEN 5 Elaboración de muestras

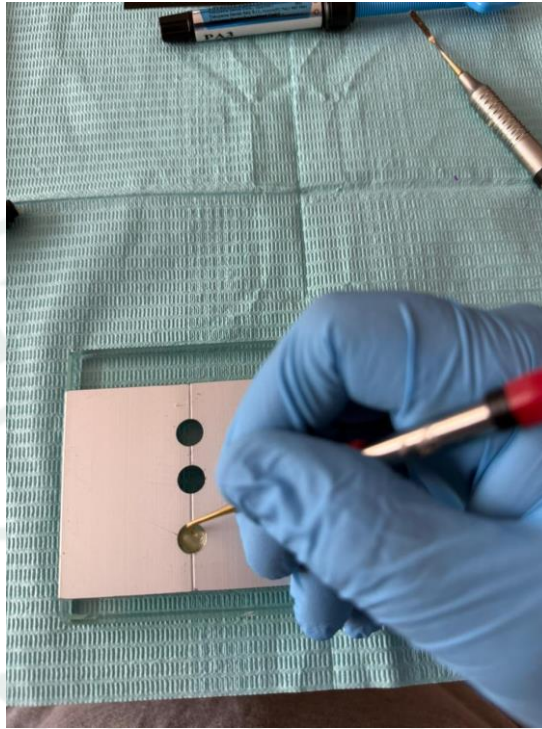


IMAGEN 6 Elaboración de muestras

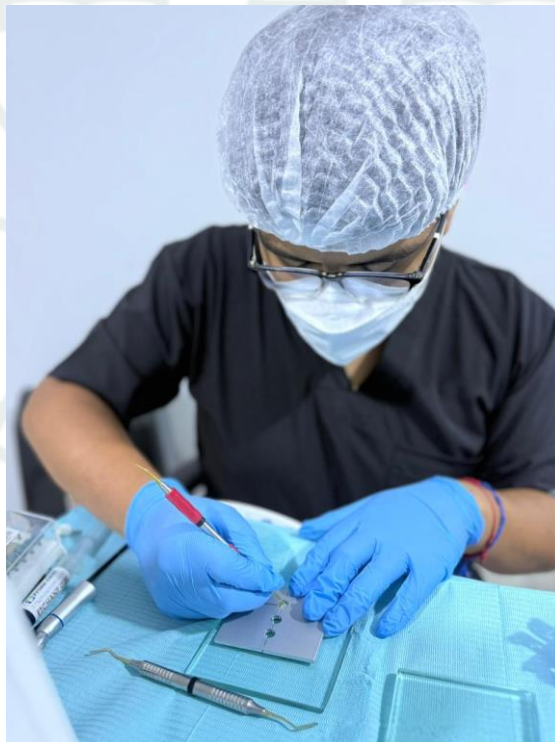


IMAGEN 7 Elaboración de muestras

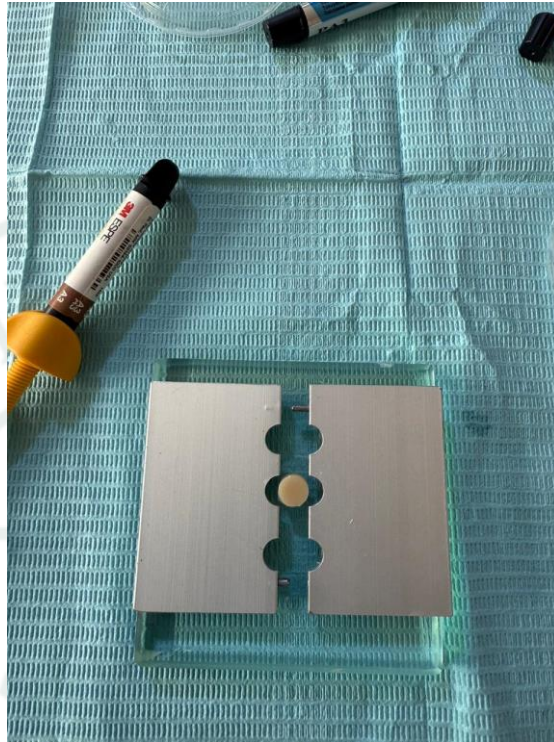


IMAGEN 8 Elaboración de muestras

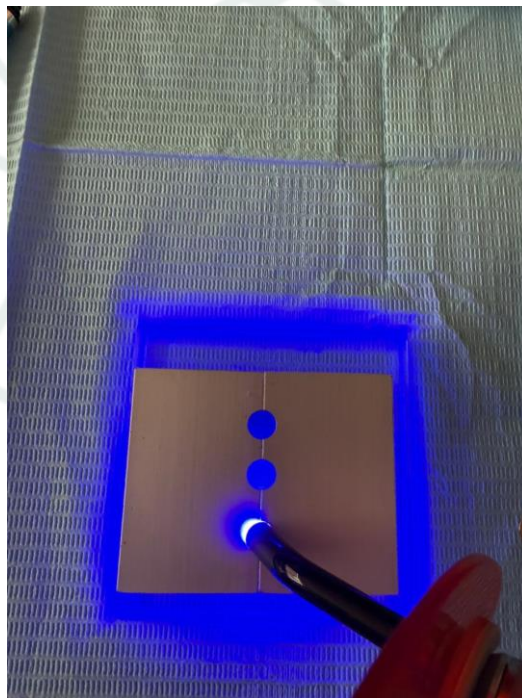


IMAGEN 9 Elaboración de muestras

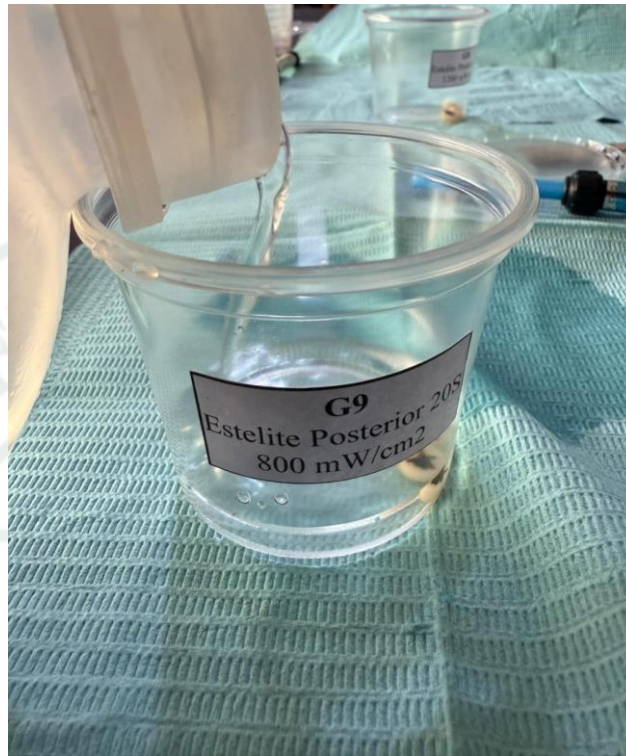


IMAGEN 10 Elaboración de muestras



IMAGEN 11 Elaboración de muestras



IMAGEN 12 Elaboración de muestras



IMAGEN 13 Elaboración de muestras

