



**Universidad
Católica de
Santa María**

**Facultad de Odontología
Escuela Profesional de Odontología**

**Influencia del tiempo de polimerización en la dureza superficial y profunda
de dos resinas nanohíbridas Bulk Fill. Arequipa 2025**

Tesis presentada por:

Malaga Fuentes, Tatiana Fiorella

ORCID: 0009-0008-9114-5147

para optar el Título Profesional de Cirujano Dentista

Asesor (a):

Dr. Zevallos Chavez, Marco Antonio

ORCID: 0000-0003-4879-3938

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ODONTOLOGIA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 30 de Abril del 2026

Dictamen: 017569-C-EPO-2026

Visto el borrador del expediente 017569, presentado por:

2020801812 - MALAGA FUENTES TATIANA FIORELLA

Titulado:

**INFLUENCIA DEL TIEMPO DE POLIMERIZACIÓN EN LA DUREZA SUPERFICIAL Y PROFUNDA DE
DOS RESINAS NANOHÍBRIDAS BULK FILL. AREQUIPA 2025**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

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

CIRUJANO DENTISTA

**29714707 - QUIROZ HUERTA CARLOS ALBERTO
DICTAMINADOR**



**04641311 - TEJADA TEJADA RENAN FERNANDO
DICTAMINADOR**



**29238358 - SALAS ROJAS MONICA HILDA CLEOFE
DICTAMINADOR**



INFLUENCIA DEL TIEMPO DE POLIMERIZACIÓN EN LA DUREZA SUPERFICIAL Y PROFUNDA DE DOS RESINAS NANOHÍBRIDAS BULK FILL. AREQUIPA 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	7%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorioinstitucional.buap.mx	1%
	Fuente de Internet	
3	cybertesis.unmsm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.ucsm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico la presente tesis a Dios, por ser la fuente de vida, fortaleza y sabiduría que me ha sostenido a lo largo de este camino, permitiéndome superar cada obstáculo y alcanzar este momento tan significativo en mi formación personal y profesional.

A mis padres, quienes han representado el ejemplo más grande de esfuerzo, perseverancia y amor incondicional en mi vida. Les agradezco profundamente por su confianza en mí, por el apoyo brindado en cada decisión tomada y por haberme enseñado que los sueños se conquistan a través de la dedicación y la humildad. Todo lo que soy como persona lo debo a ellos.

A mis hermanos, por acompañarme en cada etapa de este camino, por sus palabras de ánimo, sus consejos y por hacer más ligeros los momentos difíciles.

A mi tía Giovanna Fuentes, por su cariño, apoyo y confianza en mí. Gracias por motivarme a seguir adelante y por brindarme siempre palabras de aliento cuando más las necesitaba. Tu apoyo ha significado mucho para mí.

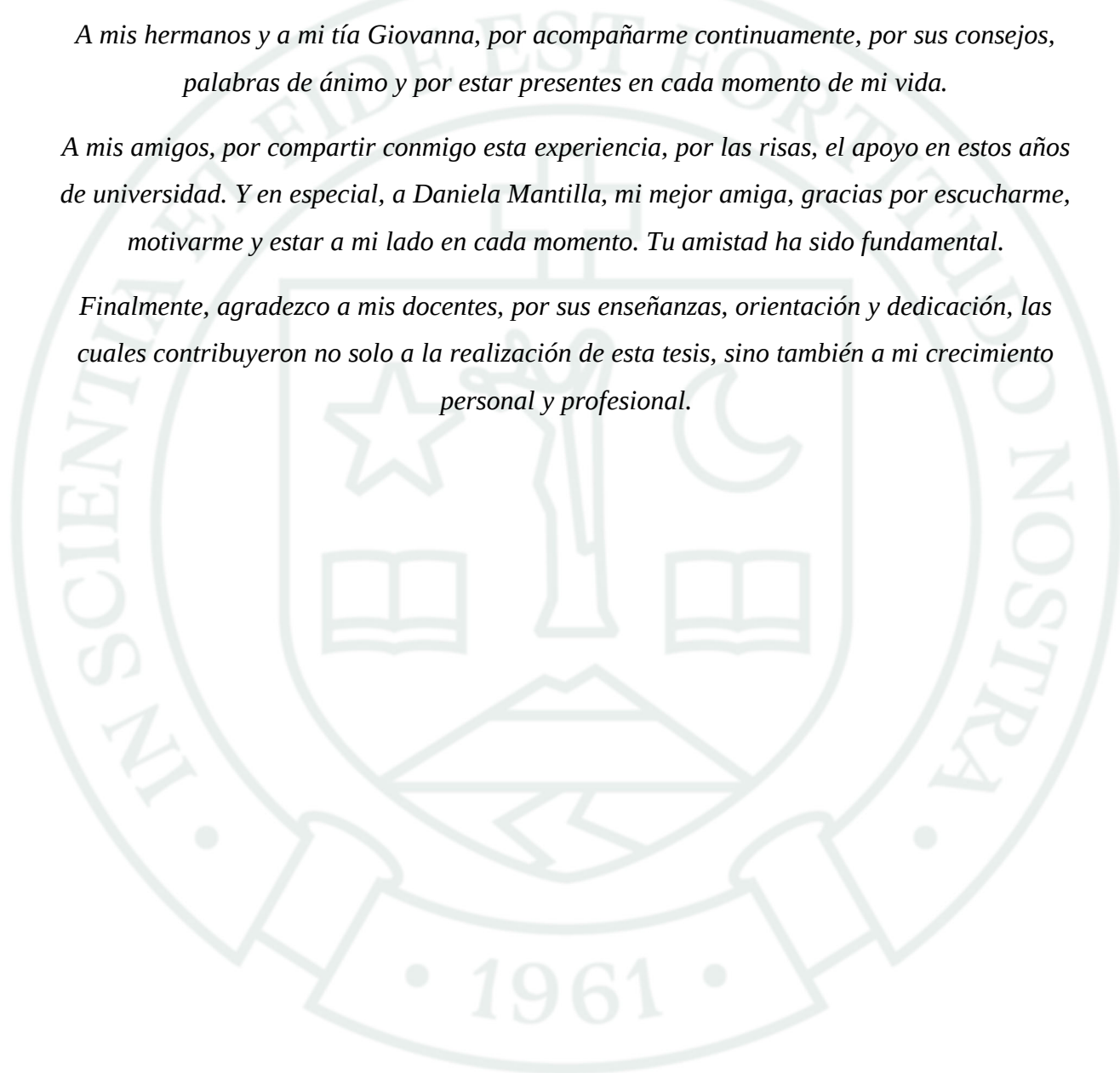
AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres, por el amor, la paciencia y el apoyo incondicional que me brindaron a lo largo de toda esta etapa. Les agradezco por haber confiado siempre en mis capacidades y por impulsarme a continuar adelante, incluso en los momentos de mayor dificultad.

A mis hermanos y a mi tía Giovanna, por acompañarme continuamente, por sus consejos, palabras de ánimo y por estar presentes en cada momento de mi vida.

A mis amigos, por compartir conmigo esta experiencia, por las risas, el apoyo en estos años de universidad. Y en especial, a Daniela Mantilla, mi mejor amiga, gracias por escucharme, motivarme y estar a mi lado en cada momento. Tu amistad ha sido fundamental.

Finalmente, agradezco a mis docentes, por sus enseñanzas, orientación y dedicación, las cuales contribuyeron no solo a la realización de esta tesis, sino también a mi crecimiento personal y profesional.



EPÍGRAFE



*“El crecimiento comienza cuando decidimos no
rendirnos ante las dificultades.”*

Pensamiento propio

RESUMEN

Objetivo: El propósito central del presente estudio fue determinar la influencia de los tiempos de polimerización sobre la dureza superficial y profunda de dos resinas Bulk Fill de amplio uso en el mercado: Filtek™ One Bulk Fill (3M) y Opus Bulk Fill APS (FGM), evaluando si la aplicación de tres tiempos distintos de fotopolimerización generaría diferencias significativas en la microdureza de dichos materiales.

Metodología: El método experimental consistió en la confección de 48 unidades de estudio, consistentes en cilindros de resina elaborados mediante un molde de aluminio diseñado especialmente según normas internacionales. Las muestras fueron distribuidas en dos grupos principales: Grupo A y Grupo B. El Grupo A correspondió a la resina Filtek™ One Bulk Fill (3M), subdividiéndose a su vez en tres subgrupos determinados por el tiempo de fotopolimerización empleado: A1 (20 segundos), A2 (30 segundos) y A3 (40 segundos). Por su parte, el Grupo B correspondió a la resina Opus Bulk Fill APS (FGM), que fue subdividida de manera análoga en tres grupos con tiempos de polimerización idénticos a los del Grupo A.

Resultados: A partir de los datos obtenidos durante el experimento, se procedió a la aplicación de las pruebas estadísticas pertinentes. En primera instancia, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk estableció que los datos seguían una distribución normal, lo que determinó el empleo de pruebas paramétricas, específicamente el análisis de varianza (ANOVA). Según esta prueba, el Grupo A (Filtek™ One Bulk Fill) presentó diferencias significativas entre los tres tiempos de fotopolimerización evaluados (20, 30 y 40 segundos), tanto en su dureza superficial como profunda. En el caso del Grupo B (Opus Bulk Fill APS), se observaron diferencias significativas en la dureza superficial entre los tres tiempos; sin embargo, a nivel de la dureza profunda no existieron diferencias estadísticas, obteniéndose un valor de $P = 0,889$.

Conclusiones: De acuerdo con los resultados obtenidos y conforme a las pruebas estadísticas aplicadas, es posible concluir que el tiempo de polimerización ejerce una influencia significativa sobre la dureza superficial y profunda de las resinas evaluadas. Se evidenció un incremento progresivo de la dureza en relación con el aumento del tiempo de fotopolimerización en casi todos los grupos, con la única excepción de la dureza profunda de la resina Opus Bulk Fill APS, en la cual no se registraron variaciones significativas entre los tres tiempos de polimerización analizados.

Palabras Clave: Microdureza, tiempo de polimerización, resinas nanohíbridas.

SUMMARY

Objective: The central purpose of this study was to determine the influence of polymerization times on the surface and deep hardness of two widely used bulk-fill resins: Filtek™ One Bulk Fill (3M) and Opus Bulk Fill APS (FGM), evaluating whether applying three different photopolymerization times would generate significant differences in the microhardness of these materials.

Methodology: The experimental method consisted of preparing 48 study units, consisting of resin cylinders made using a specially designed aluminum mold according to international standards. The samples were divided into two main groups: Group A and Group B. Group A corresponded to the Filtek™ One Bulk Fill (3M) resin, which was further subdivided into three subgroups determined by the photopolymerization time used: A1 (20 seconds), A2 (30 seconds), and A3 (40 seconds). Group B consisted of the Opus Bulk Fill APS (FGM) resin, which was similarly subdivided into three groups with polymerization times identical to those of Group A.

Results: Based on the data obtained during the experiment, the relevant statistical tests were applied. First, the Shapiro-Wilk normality test established that the data followed a normal distribution, which determined the use of parametric tests, specifically analysis of variance (ANOVA). According to this test, Group A (Filtek™ One Bulk Fill) showed significant differences between the three photopolymerization times evaluated (20, 30, and 40 seconds), both in surface and deep hardness. In the case of Group B (Opus Bulk Fill APS), significant differences were observed in surface hardness between the three times; however, no statistically significant differences were found in deep hardness, with a p-value of 0.889.

Conclusions: Based on the results obtained and the statistical tests applied, it can be concluded that polymerization time has a significant influence on the surface and deep hardness of the resins evaluated. A progressive increase in hardness was observed in relation to the increase in photopolymerization time in almost all groups, with the sole exception of the deep hardness of the Opus Bulk Fill APS resin, in which no significant variations were recorded among the three polymerization times analyzed.

Keywords: Microhardness, polymerization time, nanohybrid resins.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

EPÍGRAFE

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 2

 PLANTEAMIENTO TEÓRICO 2

 1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA 3

 2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 3

 A. Principal..... 3

 B. Específicas 3

 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 5

 4. OBJETIVOS 6

 A. General 6

 B. Específicos..... 6

 5. MARCO TEÓRICO 7

 5.1. Odontología Restauradora 7

 5.2. Resinas Compuesta..... 9

 5.3. Resinas Bulk Fill en Odontología 24

 5.4. Fotopolimerización..... 30

 5.5. Dureza y Microdureza superficial 33

 5.6. Antecedentes investigativos 37

 A. Internacionales: 37

 B. Nacionales: 40

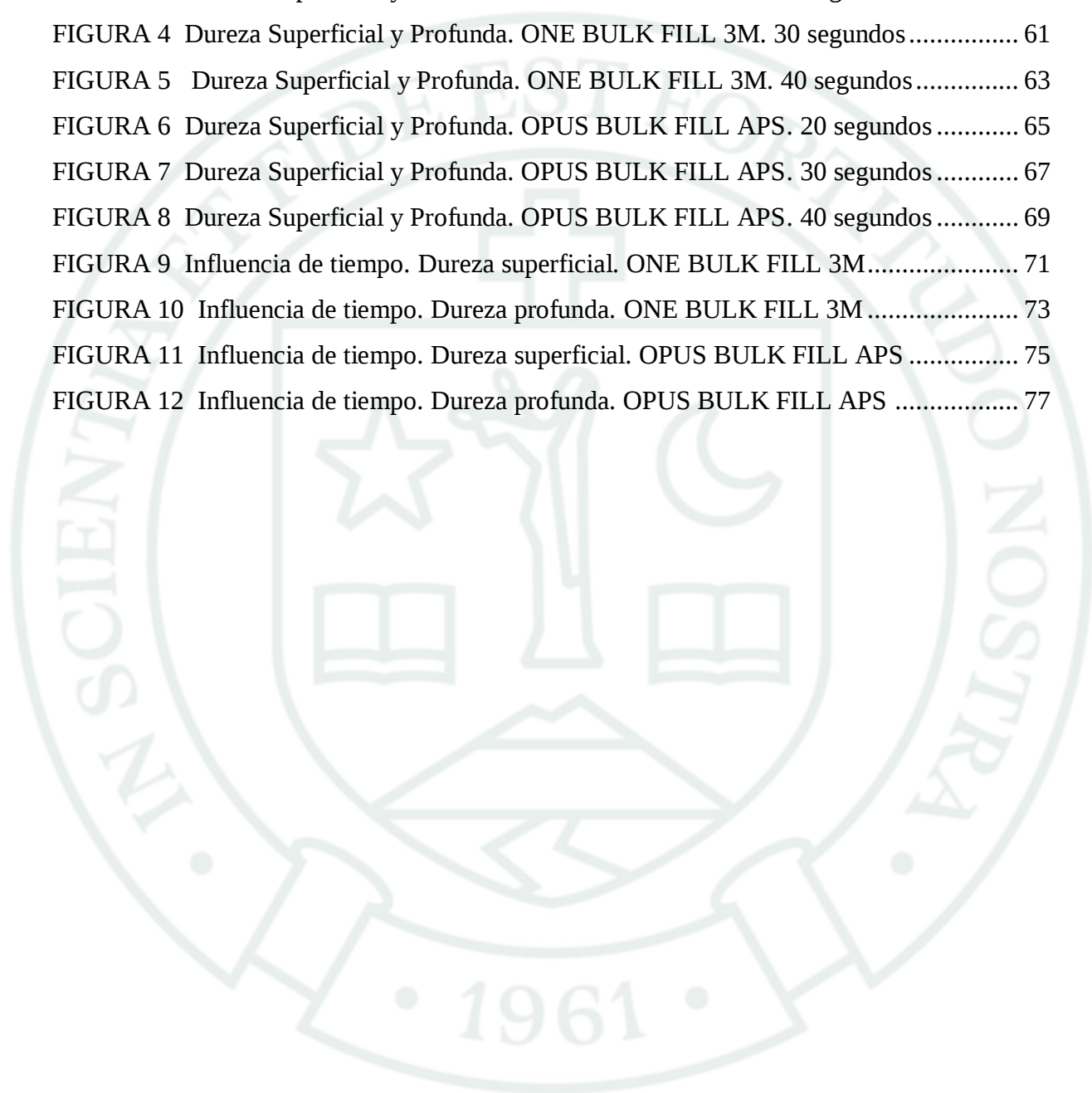
C. Locales:	42
6. HIPÓTESIS.....	43
CAPÍTULO II.....	44
PLANTEAMIENTO OPERACIONAL	44
1. DISEÑO METODOLÓGICO.....	45
2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	45
3. TABLAS DE VARIABLES	46
4. TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS.....	46
5. PLAN DE ANÁLISIS	50
6. CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	50
7. RECURSOS	51
8. CRONOGRAMA	52
CAPÍTULO III.....	53
RESULTADOS	53
DISCUSIÓN.....	78
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	Justificación	5
TABLA 2	Variables	46
TABLA 3:	Instrumento documental	49
TABLA 4	Análisis estadístico	50
TABLA 5	Cronograma.....	52
TABLA 6	Normalidad	54
TABLA 7	Normalidad	56
TABLA 8	Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 20 segundos	58
TABLA 9	Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 30 segundos	60
TABLA 10	Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 40 segundos	62
TABLA 11	Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 20 segundos.....	64
TABLA 12	Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 30 segundos.....	66
TABLA 13	Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 40 segundos.....	68
TABLA 14	Influencia de tiempo. Dureza superficial. ONE BULK FILL 3M	70
TABLA 15	Influencia de tiempo. Dureza profunda. ONE BULK FILL 3M.....	72
TABLA 16	Influencia de tiempo. Dureza superficial. OPUS BULK FILL APS.....	74
TABLA 17	Influencia de tiempo. Dureza profunda. OPUS BULK FILL APS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	ONE BULK FILL 3M. Normalidad	55
FIGURA 2	OPUS BULK FILL APS. Normalidad.....	57
FIGURA 3	Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 20 segundos.....	59
FIGURA 4	Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 30 segundos.....	61
FIGURA 5	Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 40 segundos.....	63
FIGURA 6	Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 20 segundos	65
FIGURA 7	Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 30 segundos	67
FIGURA 8	Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 40 segundos	69
FIGURA 9	Influencia de tiempo. Dureza superficial. ONE BULK FILL 3M.....	71
FIGURA 10	Influencia de tiempo. Dureza profunda. ONE BULK FILL 3M	73
FIGURA 11	Influencia de tiempo. Dureza superficial. OPUS BULK FILL APS	75
FIGURA 12	Influencia de tiempo. Dureza profunda. OPUS BULK FILL APS	77



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: FICHAS

FICHA 1 Resina ONE Bulk Fill 3M.....	90
FICHA 2 Resina OPUS Bulk Fill APS	91
FICHA 3 Certificados de Dureza.....	92
FICHA 4 Dictamen comité de ética	94

ANEXO 2: IMÁGENES

IMAGEN 1 Preparación de muestras.....	96
IMAGEN 2 Preparación de muestras.....	96
IMAGEN 3 Preparación de muestras.....	97
IMAGEN 4 Preparación de muestras.....	97
IMAGEN 5 Preparación de muestras.....	98
IMAGEN 6 Preparación de muestras.....	98
IMAGEN 7 Preparación de muestras.....	99
IMAGEN 8 Preparación de muestras.....	99
IMAGEN 9 Preparación de muestras.....	100
IMAGEN 10 Preparación de muestras.....	100
IMAGEN 11 Preparación de muestras.....	101
IMAGEN 12 Durómetro GOYOJO	101
IMAGEN 13 Filtek ONE Bulk Fill 3M	102
IMAGEN 14 OPUS Bulk Fill APS.....	102

INTRODUCCIÓN

La odontología restauradora ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, incorporando materiales dentales cada vez más avanzados que buscan optimizar la durabilidad y estética de las restauraciones. Entre estos materiales, las resinas compuestas nanohíbridas Bulk Fill han cobrado gran relevancia debido a sus propiedades físico-mecánicas mejoradas, que incluyen una mayor profundidad de polimerización y su aplicación en un solo incremento. Esto permite al profesional reducir el tiempo y la complejidad del procedimiento restaurador sin comprometer la calidad del tratamiento (1).

El proceso de polimerización es crucial para el desempeño clínico de estas resinas, ya que afecta directamente sus propiedades mecánicas, entre ellas la dureza superficial y profunda, indicadores clave en la capacidad para soportar las fuerzas oclusales. El tiempo de polimerización es un factor determinante, cuya variación puede influir en el grado de conversión de monómeros en polímeros. Evaluar cómo este tiempo impacta en la dureza de las resinas Bulk Fill nanohíbridas resulta fundamental para definir los protocolos clínicos óptimos y garantizar resultados predictibles y duraderos (2).

Numerosos estudios han reportado que las resinas Bulk Fill presentan ventajas frente a las tradicionales, como una menor contracción por polimerización, mejor resistencia al desgaste y disminución del tiempo de la técnica al realizar una sola aplicación, a diferencia de varios incrementos de otros tipos de resinas. Sin embargo, existe variabilidad en los tiempos recomendados para su fotocurado, dependiendo del fabricante y de la marca específica de resina, lo que hace necesaria una evaluación para validar estos parámetros en condiciones de laboratorio extrapolables en el área clínica (1).

La presente investigación plantea evaluar la influencia del tiempo de fotopolimerización en la dureza superficial y en profundidad de dos resinas Bulk Fill nanohíbridas, con la finalidad de generar evidencia científica que respalde la aplicación de las mejores prácticas clínicas. Además, se busca contribuir con datos que permitan optimizar los protocolos de restauración, garantizando restauraciones más resistentes y con mayor durabilidad, optimizando así la atención odontológica y satisfacción del paciente.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

La creciente demanda de restauraciones eficientes y de sencilla aplicación, ha popularizado el uso de resinas compuestas Bulk Fill, las cuales permiten de la colocación en una sola capa o incremento. Sin embargo, su correcto desempeño clínico depende críticamente de un grado de conversión óptimo, el cual está directamente influenciado por el tiempo de polimerización. Surge así una incertidumbre científica respecto a si los tiempos de fotocurado recomendados por los fabricantes son suficientes para garantizar propiedades mecánicas adecuadas, específicamente la dureza, tanto en la superficie como en la parte más profunda de la restauración, especialmente cuando se utilizan diferentes marcas de resinas nanohíbridas de este tipo.

El problema principal radica en que una polimerización insuficiente puede generar una diferencia de dureza entre la superficie y la profundidad de la restauración, comprometiendo su durabilidad. Por consiguiente, resulta fundamental establecer de forma precisa y comparativa cómo se modifica la dureza superficial y profunda de dos marcas comerciales de resinas Bulk Fill disponibles en el mercado al ser expuestas a distintos tiempos de polimerización. Identificar esta relación es fundamental para establecer protocolos clínicos basados en evidencia que aseguren el máximo desempeño de estos materiales y, en consecuencia, el éxito a largo plazo de las restauraciones.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

A. Principal

- ¿Los diferentes tiempos de fotopolimerización ejercen una influencia directa sobre la dureza superficial y profunda de las dos marcas de resina evaluadas en el estudio?

B. Específicas

- ¿Cuál es el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Filtek™ One Bulk Fill después de ser fotopolimerizada durante 20 segundos?
- ¿Cuál es el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Filtek™ One Bulk Fill después de ser fotopolimerizada durante 30 segundos?
- ¿Cuál es el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Filtek™ One Bulk Fill después de ser fotopolimerizada durante 40 segundos?

- ¿Cuál es el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Opus Bulk Fill APS después de ser fotopolimerizada durante 20 segundos?
- ¿Cuál es el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Opus Bulk Fill APS después de ser fotopolimerizada durante 30 segundos?
- ¿Cuál es el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Opus Bulk Fill APS después de ser fotopolimerizada durante 40 segundos?



3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

TABLA 1 Justificación

Punto de Justificación	Descripción
Originalidad	El estudio aborda la necesidad de validar experimentalmente los tiempos de polimerización en las dos resinas <i>Bulk Fill</i> del estudio y su aplicación clínica actual en nuestra ciudad. Esto permitirá contrastar las recomendaciones de los fabricantes y la literatura general con resultados generados localmente, y así poder extrapolar los datos.
Importancia Científica	Se proporcionará evidencia empírica y cuantitativa acerca del desempeño de las resinas Bulk Fill, evaluado mediante su dureza superficial y profunda bajo distintos protocolos de polimerización. Estos hallazgos contribuirán a ampliar el conocimiento sobre la cinética de polimerización y el grado de conversión de los materiales de incremento único, constituyendo un fundamento para futuras investigaciones relacionadas con restauraciones dentales.
Importancia Social	Los hallazgos permitirán a los odontólogos de la región Arequipa estandarizar un protocolo de polimerización optimizado, garantizando restauraciones de mayor calidad y durabilidad. Esto se traduce en una reducción de fallas estructurales, menos necesidad de reemplazo de restauraciones y, por ende, un mejor servicio odontológico a la población de nuestra ciudad.
Interés Personal	Este trabajo de investigación es esencial para la culminación de mi formación académica y un requisito indispensable para la obtención del título profesional de Cirujano Dentista
Viabilidad	El estudio es viable ya que es de diseño experimental <i>in vitro</i> . Se cuenta con el instrumental y materiales necesarios (lámpara de fotopolimerización, durómetro resinas, moldes, etc.) para su ejecución en un laboratorio, dentro del cronograma y presupuesto establecidos.

4. OBJETIVOS

A. General

- Determinar si los diferentes tiempos de fotopolimerización ejercen una influencia directa sobre la dureza superficial y profunda de las dos marcas de resina evaluadas en el estudio.

B. Específicos

- Evaluar el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Filtek™ One Bulk Fill después de ser fotopolimerizada durante 20 segundos.
- Evaluar el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Filtek™ One Bulk Fill después de ser fotopolimerizada durante 30 segundos.
- Evaluar el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Filtek™ One Bulk Fill después de ser fotopolimerizada durante 40 segundos.
- Evaluar el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Opus Bulk Fill APS después de ser fotopolimerizada durante 20 segundos.
- Evaluar el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Opus Bulk Fill APS después de ser fotopolimerizada durante 30 segundos.
- Evaluar el valor de la dureza superficial y profunda de la resina Opus Bulk Fill APS después de ser fotopolimerizada durante 40 segundos.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Odontología Restauradora

a) Historia y evolución de los materiales

La odontología restauradora moderna tiene sus raíces en el uso de materiales metálicos. Durante más de un siglo, la amalgama de plata, introducida formalmente por G.V. Black, fue el estándar principal debido a su durabilidad y bajo costo. Sin embargo, su evolución se detuvo ante la preocupación por la toxicidad del mercurio y la falta de estética, lo que impulsó el Convenio de Minamata para reducir su uso global (3).

El hito más significativo ocurrió en 1955 cuando Michael Buonocore implementó el grabado ácido, permitiendo la unión micromecánica al esmalte.

- Años 70-90: Evolución de macropartículas a micropartículas y materiales híbridos.
- Actualidad: El desarrollo de las nanorresinas (nanocompuestos) ha permitido mejorar las propiedades mecánicas y el acabado superficial. Las investigaciones actuales se centran en reducir la contracción de polimerización mediante el uso de monómeros de estrés relajado y rellenos pre-polimerizados (4).

Luego aparecieron los materiales cerámicos, que pasaron de ser materiales frágiles y puramente estéticos a estructuras de alta resistencia. Dentro de estos materiales podemos encontrar:

- Cerámicas Vítreas: Mejora en las vitrocerámicas reforzadas con disilicato de litio, que ofrecen un equilibrio óptimo entre translucidez y resistencia flexural (aprox. 400-500 MPa) (5).
- Cerámicas Policristalinas: La aparición del circonio (ZrO_2). Se ha pasado de un circonio opaco de primera generación a circonios de alta translucidez (multicapa) que permiten restauraciones monolíticas sin necesidad de recubrimiento cerámico, evitando la fractura o desprendimiento de fragmentos de la cerámica (6).

La tendencia actual se aleja de los materiales inertes. De acuerdo a la filosofía de odontología no invasiva o conservadora, los nuevos materiales restauradores buscan interactuar con el medio bucal. Así podemos encontrar:

- **Ionómeros de Vidrio de Alta Viscosidad:** Mejora en la liberación de flúor y capacidad de regeneración de la dentina.
- **Resinas Bioactivas:** Incorporación de partículas de vidrio bioactivo que promueven la formación de hidroxiapatita, sellando la interfase diente-restauración y previniendo la caries secundaria (7).

La evolución no solo es química, sino también de procedimientos. El paso de la técnica del tallado en cera a la fabricación automatizada (impresión 3D y fresado) ha permitido que los materiales actuales sean más homogéneos, al ser fabricados industrialmente bajo condiciones controladas, eliminando errores humanos en el mezclado o colado (8).

b) Clasificación de las restauraciones dentales

- **Restauraciones Directas:**

Son aquellas que se realizan íntegramente dentro de la cavidad oral del paciente en una sola sesión clínica en la consulta. El material se encuentra en estado plástico al momento de la inserción y se endurece in situ mediante procesos químicos o fotopolimerización (9).

- **Indicaciones:**

- Lesiones de caries pequeñas a medianas (Clases I, II, III, IV y V de Black).
- Cierre de diastemas y correcciones estéticas menores.
- Sustitución de tejido dental perdido con compromiso estructural limitado (menos del 50% de la estructura coronaria) (10).

- **Materiales:** Predominan las resinas compuestas (nanohíbridas y de tipo bulk-fill) y los cementos de ionómero de vidrio, especialmente en pacientes con alto riesgo de caries secundaria, por su liberación de flúor (11).

- **Restauraciones indirectas:**

Son aquellas que se confeccionan fuera de la boca del paciente, ya sea en un laboratorio dental o mediante sistemas de diseño y fresado computarizado (CAD/CAM). Requieren, por lo general, de dos o más citas (12).

- **Indicaciones:**

- Grandes pérdidas de estructura dental donde no es posible obtener una anatomía o punto de contacto adecuado de forma directa.
- Dientes tratados endodónticamente con alto riesgo de fractura.
- Necesidad de máxima resistencia mecánica y estabilidad estética a largo plazo (13).

- **Clasificación según su extensión:**

- Inlays: Intracoronarias, no afectan a las cúspides dentales.
- Onlays: Cubren al menos una cúspide funcional.
- Overlays: Recubrimiento de cúspides completo, indicadas en casos de desgaste severo o erosión ácida.
- Carillas (Veneers): Láminas delgadas adheridas al sector anterior para mejorar forma y color (14).
- Coronas: Restauraciones extracoronarias completas cuando el remanente dental es insuficiente para una restauración parcial (15).

• **Criterios de Selección: Directa vs. Indirecta:**

La decisión del tipo de restauración hoy en día se basa en el análisis del riesgo biomecánico. Por eso vemos que mientras las restauraciones directas son más conservadoras y económicas, las indirectas (especialmente las cerámicas y resinas compuestas de laboratorio) ofrecen mejores propiedades físicas, menor contracción de polimerización y una morfología oclusal superior en cavidades complejas (16).

5.2. Resinas Compuesta

a) Conceptos básicos

Desde los albores del siglo XX, la disciplina odontológica ha implementado una vasta diversidad de materiales con el objetivo de rehabilitar tanto la operatividad como la armonía visual de las piezas dentarias deterioradas por procesos cariosos o diversas alteraciones. Gracias al avance de la investigación clínica, ha sido posible optimizar o renovar sustancialmente determinados componentes del ámbito dental. En la actualidad, el repertorio de insumos destinados a técnicas de

reconstrucción inmediata es sumamente extenso. Sin embargo, los facultativos enfrentan dilemas constantes en su práctica cotidiana, los cuales se ven acentuados por las impositivas estrategias de mercado de las casas comerciales. Esta situación deriva en una interrogante fundamental: ¿cuál es la composición química que garantiza una mayor eficiencia en procedimientos de restauración acelerada? (17).

El odontólogo tiene la obligación ética de abordar los problemas únicos que se presentan en la práctica diaria. Esta responsabilidad se suma a la de realizar una evaluación clínica completa y un diagnóstico correcto del paciente. Las resinas compuestas, las amalgamas de plata y los sistemas a base de ionómero de vidrio son las tres categorías principales según las cuales se suelen clasificar los materiales en el ámbito de las restauraciones directas. Cada uno de estos materiales posee propiedades particulares. La enorme variedad de productos disponibles actualmente en el mercado puede organizarse eficazmente gracias a este sistema de clasificación. El profesional encontrará esta organización sumamente útil si decide que una restauración directa es la alternativa terapéutica más adecuada. Esta organización facilita la comprensión de las cualidades de cada producto. El odontólogo debe tener un conocimiento profundo de la ciencia de los biomateriales para elegir y aplicar el material restaurador más apropiado según las necesidades de cada caso clínico. Esta es una cualificación crucial. ¡Es necesario que el odontólogo posea esta información! (17).

Las resinas compuestas se utilizan ampliamente para restauraciones efectivas; sin embargo, es necesario considerar varios aspectos fundamentales. Su capacidad para reproducir la morfología dental, su aspecto estético y su actividad en respuesta a la luz son algunas de las características que entran en juego. Debido a su mayor capacidad para preservar la integridad de las estructuras dentales y la vida pulpar mediante métodos de restauración adhesiva directa, los materiales a base de resina se recomiendan en escenarios clínicos específicos, como la pérdida de estructura dental dura. Esto se debe a que los materiales a base de resina son más eficientes que otros. Cuando estas restauraciones se aplican correctamente, pueden ofrecer estabilidad y durabilidad a largo plazo, siempre que se les dé el cuidado adecuado. Además, es de suma importancia que demuestren una integración de color suficiente con el diente. En la industria dental, los sistemas

adhesivos y las resinas compuestas han experimentado un desarrollo extraordinario desde su introducción. Inicialmente, estos materiales eran simples, monocromáticos y limitados tanto en su estética como en su funcionalidad. Actualmente, existe una amplia gama de opciones que incluyen diferentes tonalidades, viscosidades y niveles de translucidez (18).

En el ámbito de la odontología moderna, el uso de polímeros sintéticos se caracteriza por una extraordinaria versatilidad. Las resinas compuestas para empastes, los cementos de resina, los agentes adhesivos y los selladores son algunos de los materiales más utilizados. En odontología, los composites se emplean frecuentemente para rehabilitar o reemplazar la estructura de un diente perdido. Además, permiten consolidar una unión sólida entre el tejido biológico remanente y los materiales restauradores o los aumentos de resina. Por otro lado, las prótesis removibles se utilizan para reemplazar dientes en casos de edentulismo total. Los tejidos blandos que recubren los procesos alveolares sirven de base para el desarrollo de estos dispositivos. Esta base proporciona soporte a las prótesis dentales, manteniendo así su estabilidad y, en última instancia, facilitando la recuperación funcional del sistema masticatorio (19).

La rehabilitación de estructuras dentales dañadas por caries, traumatismos, abrasión o decoloración presenta una considerable dificultad clínica. Este desafío surge de la importante diferencia en las características, especialmente biomecánicas, entre el material restaurador sintético y el sustrato biológico original. La complejidad que existe entre los materiales radica en que cada uno posee una amplia gama de cualidades físicas e intrínsecas que difieren significativamente entre sí. Al comparar una estructura cerámica, como el esmalte, compuesto principalmente de hidroxiapatita, o una red híbrida mineral-orgánica, como la dentina, formada por fibras de hidroxiapatita y colágeno, con una matriz exclusivamente orgánica, como la que se encuentra en los selladores de resina, es razonable prever diferencias significativas entre ambos tipos de estructuras (20).

El Dr. Bowen sentó las bases de las resinas compuestas que se utilizan hoy en día al consolidar una integración funcional entre una matriz orgánica (Bis-GMA) y un componente inorgánico (cuarzo) alrededor del año 1960. La estructura de este

material se caracteriza por una arquitectura bifásica, que consiste en una matriz orgánica continua reactiva y un relleno inorgánico discontinuo inerte. El vinilsilano, que funciona como un importante agente adhesivo, se utiliza para garantizar la cohesión estructural entre estos dos dominios. Es interesante que la idea esencial del diseño original de Bowen se haya mantenido prácticamente intacta desde su concepción (21).

Dado que su objetivo principal es reducir la contracción volumétrica que se produce durante el proceso de polimerización, la integración de monómeros de baja viscosidad, como el UDMA, desempeña un papel importante en el proceso. En el ámbito de los componentes orgánicos, los avances han sido modestos a lo largo de las décadas. La fase inorgánica, por otro lado, ha experimentado la modificación más significativa. El tamaño de las partículas, que originalmente oscilaba entre 20 y 50 micras, ha alcanzado ya escalas nanométricas, equivalentes a 0,001 μm , en las formulaciones modernas. El avance más notable en la historia de estos biomateriales es la considerable reducción de tamaño que se ha logrado (21).

Los biomateriales híbridos desempeñan un papel cada vez más importante en la odontología moderna, especialmente en el tratamiento de fracturas dentales y la mejora de los resultados estéticos. Las resinas compuestas son un ejemplo destacado de esta categoría y ofrecen una solución terapéutica muy significativa. Una fase de polímero orgánico y un componente de refuerzo inorgánico se combinan en una sola unidad estructural para formar la arquitectura de estos materiales. Esta arquitectura se basa en la integración de ambos componentes. Diversos avances técnicos recientes han permitido incorporar características innovadoras, como agentes bactericidas, sistemas autoadhesivos y la adaptabilidad de la fabricación aditiva mediante impresión 3D. Gracias a estos importantes avances en el campo de la ciencia de los materiales, ahora es posible fabricar prótesis que presentan una notable biomimetización, una mayor durabilidad y una considerable simplificación de los procedimientos clínicos (22).

b) Química de las resinas:

El uso de resinas acrílicas en diversas aplicaciones terapéuticas dentro del campo de la rehabilitación dental fue uno de los primeros ejemplos de polímeros. Si bien

la industria experimentó un crecimiento significativo durante las décadas de 1940 y principios de 1950, se identificó la necesidad de incorporar partículas inorgánicas en estas formulaciones. Esta decisión se debió a una serie de limitaciones tecnológicas, entre las que se incluían una baja resistencia al desgaste, un alto coeficiente de expansión térmica y una considerable contracción por polimerización. Dado que la conexión interfacial entre la matriz polimérica y los rellenos era débil en las etapas iniciales, el material era más propenso a deteriorarse prematuramente, su color cambiaba como resultado de la penetración de fluidos orales y su vida útil clínica se reducía. Se determinó que la causa principal de esta inestabilidad estructural era la separación de las partículas de refuerzo de la superficie del material compuesto (17).

A mediados de la década de 1960, R. L. Bowen marcó un hito en el desarrollo de materiales restauradores al introducir el monómero Bis-GMA en el campo de la odontología. El bisfenol A y el metacrilato de glicidilo reaccionan para formar esta molécula química. Su formulación incorpora partículas de relleno presilanizadas capaces de formar enlaces químicos estables con la matriz orgánica. Si bien el metacrilato de metilo presenta una menor contracción volumétrica durante el proceso de polimerización, el bis-GMA tiene un mayor peso molecular y una menor contracción volumétrica. Gracias a estas características, el bis-GMA resulta una opción más ventajosa para la producción de materiales restauradores (17).

En la actualidad las resinas se componen de:

- **Matriz de resina:**

Los monómeros, como el dimetacrilato de uretano (UDMA) y el metacrilato de glicidilo derivado del bisfenol A (Bis-GMA), constituyen la mayor parte de la fase orgánica de las resinas compuestas dentales. La matriz de resina está formada por diversos compuestos químicos, que son los principales factores estructurales. La resistencia mecánica, la rigidez y la durabilidad del biomaterial restaurador aumentan como resultado de la formación de enlaces intermoleculares causados por los monómeros durante el proceso de polimerización. Tanto el Bis-GMA como el UDMA tienen un alto peso molecular, lo que resulta en una alta viscosidad a temperatura ambiente. Esta

característica es común a ambos compuestos. Dado que restringe la dispersión uniforme de las partículas de relleno dentro de la matriz polimérica, esta característica puede dificultar el proceso de fabricación. Los fabricantes utilizan monómeros diluyentes derivados de dimetacrilatos, como el dimetacrilato de trietilenglicol (TEGDMA) y el dimetacrilato de etileno (EDMA), para superar esta limitación y mejorar las características de manipulación clínica de sus productos. Sin embargo, la incorporación de estos compuestos químicos de baja viscosidad puede provocar un aumento de la contracción, directamente relacionada con el proceso de polimerización. Para mantener la estabilidad química de la sustancia y prolongar su vida útil, se añaden inhibidores, generalmente hidroquinona, en bajas cantidades, a menudo inferiores al 0,1 % en peso. También existen otras formulaciones basadas en matrices de EMA o dimetacrilato de polietilenglicol, que algunos fabricantes promocionan como alternativas capaces de reducir las tensiones relacionadas con la contracción. Se prevé que, dadas las tendencias actuales del sector, aumente el uso de sistemas de resina diseñados para presentar una contracción volumétrica mucho menor, lo que, en última instancia, redundará en un mejor rendimiento clínico (17).

- **Partículas de carga:**

No solo fue posible mejorar el perfil físico y mecánico del material mediante la consolidación de Bis-GMA como base estructural, sino que también permitió integrar cargas inorgánicas en la matriz orgánica de manera más eficaz. Históricamente, el cuarzo se consideraba el precursor de los materiales de relleno y, aún hoy, sigue desempeñando un papel importante en la producción de algunos composites (17).

La creación de fórmulas modernas ha posibilitado una extraordinaria ampliación de los componentes de refuerzo utilizados en las resinas compuestas. La sílice coloidal y los vidrios de fluorosilicato de aluminio se encuentran entre los componentes más importantes debido a sus ventajosas propiedades físicas. Asimismo, se ha demostrado que la adición de elementos como el bario y el estroncio es fundamental para proporcionar al composite un grado aceptable de radiopacidad, lo que facilita su identificación y evaluación mediante exámenes radiográficos. Estos sistemas ofrecen una

superficie más uniforme y una mayor resistencia al desgaste abrasivo, lo que contribuye a una estabilidad clínica superior. En comparación con las resinas híbridas y microhíbridas tradicionales, estos sistemas ofrecen diversas ventajas. Además, la incorporación de nanopartículas ha supuesto un importante avance tecnológico en las últimas décadas, ya que ha permitido optimizar tanto las propiedades mecánicas como las características estéticas de estos materiales, lo que ha redundado en una mejora significativa de su rendimiento y durabilidad en aplicaciones regenerativas (17).

La disminución gradual de la cantidad de matriz orgánica contenida en el material es consecuencia del aumento de la cantidad de relleno inorgánico. Esta modificación estructural es fundamental para minimizar la contracción asociada al proceso de polimerización y restringir la absorción de agua. Estas dos variables contribuyen significativamente a la preservación de la estabilidad dimensional y la resistencia al desgaste del composite a lo largo del tiempo. Por otro lado, el aumento progresivo de la carga de relleno también genera cambios importantes en las características reológicas del sistema. Estos cambios se manifiestan principalmente en un aumento persistente de la viscosidad de la pasta restauradora. En cuanto a la cantidad máxima de relleno que se puede integrar con éxito, la forma, la distribución y el tamaño de las partículas de refuerzo constituyen un límite crucial. Este límite es crítico, ya que, al tener una mayor superficie específica y un mayor contacto con la matriz de resina, las partículas más pequeñas tienden a aumentar significativamente la viscosidad de la sustancia. Por consiguiente, alcanzar altos porcentajes de relleno sin comprometer la manipulación clínica ni la trabajabilidad representa un desafío técnico considerable que exige procedimientos de formulación cuidadosamente elaborados (17).

- **Silano orgánico**

Es fundamental establecer una unión fuerte y duradera entre las partículas de refuerzo y la matriz polimérica que las rodea para garantizar que las resinas compuestas funcionen a su máximo nivel mecánico. Esta interpenetración estructural se logra mediante agentes de acoplamiento de silano, que, gracias a su doble función, permiten crear interacciones químicas simultáneas tanto con la superficie del relleno inorgánico como con la fase orgánica. Esto da

como resultado la consolidación de una interfaz adhesiva muy fiable y duradera. Debido a la compleja asociación molecular que se produce como consecuencia de este proceso, el biomaterial es capaz de mantener su funcionalidad e integridad estructural incluso bajo un estrés físico considerable. Además, la unión que se produce durante la silanización permite una transmisión eficaz de las tensiones mecánicas, lo que a su vez promueve una distribución uniforme de las cargas en toda la estructura del composite. Anteriormente, las deficiencias en la unión interfacial entre la matriz y el relleno provocaban fallos cohesivos prematuros, lo que a su vez reducía significativamente la vida útil clínica del material. La inserción metódica de estos agentes de acoplamiento ha permitido superar eficazmente estas limitaciones, lo que ha dado como resultado una importante optimización de la resistencia del material compuesto en el entorno oral (17).

- **Elementos de iniciación:**

Como resultado de la intervención de agentes químicos que actúan como catalizadores de la reacción, se activa el proceso de solidificación de los composites. Estos agentes proporcionan la activación necesaria para inducir la alteración estructural del material. En el caso de las resinas activadas químicamente, el fenómeno de autopolimerización se produce como consecuencia de la interacción entre dos componentes: una pasta base y un catalizador. En esta combinación particular, la amina terciaria estimula la descomposición del peróxido de benzoilo, que a su vez libera los radicales libres necesarios para iniciar el proceso de reparación de forma espontánea. Mientras esto ocurre, los sistemas fotopolimerizables dependen de la energía lumínica para iniciar la transición estructural que experimentan. La canforquinona es el fotoiniciador más importante en estos sistemas. Se activa mediante energía electromagnética dentro del espectro visible, especialmente en longitudes de onda cercanas a los 470 nanómetros. La reacción entre esta molécula y una amina terciaria tiene lugar al ser irradiada con luz. Esta reacción permite la formación de la red polimérica responsable del proceso de reparación (17).

Los polímeros se distinguen de otras especies moleculares por su notable flexibilidad conformacional, que les permite adoptar una amplia variedad de configuraciones y disposiciones espaciales. Además de ser una de sus cualidades más definitorias, este atributo se deriva directamente de la estructura de cadena larga que poseen. Obtener y comprender las características subyacentes que afectan el comportamiento de diversos materiales poliméricos es el objetivo principal de la investigación en esta rama de estudio. Varios parámetros estructurales extremadamente significativos, incluyendo la longitud de la cadena, la presencia de ramificaciones, el grado de entrecruzamiento y la disposición espacial de sus componentes, desempeñan un papel que contribuye a este comportamiento. Los polímeros tienen una identidad fisicoquímica única que los distingue de otros materiales y proporciona una explicación de muchas de sus características funcionales. Esta identidad es el resultado de la interacción de sus partes constituyentes. Además, la polimerización puede verse como un proceso gradual de cambio molecular que implica la unión de unidades más pequeñas para construir estructuras más complejas. En general, las sustancias cuya masa molecular es superior a 5000 unidades se denominan macromoléculas. Estas estructuras se correlacionan con sustancias. Bajo ciertas condiciones químicas, los polímeros pueden desarrollar cadenas con pesos moleculares superiores a cincuenta millones de unidades, lo que influye significativamente en sus propiedades físicas y mecánicas. Esta capacidad es particularmente relevante para el estudio de los polímeros, ya que les permite alcanzar dimensiones extraordinariamente grandes (19).

c) Clasificación de las resinas:

Se utilizan diversos criterios, como la composición de la matriz, el tamaño, la distribución y el tipo de partículas de relleno, así como sus características físicas y mecánicas y sus aplicaciones clínicas, para elaborar la clasificación más actualizada y completa de las resinas compuestas empleadas en odontología. Con el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías restauradoras, este sistema de clasificación ha evolucionado continuamente, lo que ha permitido una mejor distinción de las propiedades y el rendimiento de los distintos dispositivos restauradores. Actualmente, se trata de una herramienta ampliamente reconocida para comprender las particularidades de cada tipo de resina y orientar la selección

de la aplicación terapéutica más adecuada. A continuación, presentamos una clasificación actualizada y exhaustiva, respaldada por evidencia científica reciente y una amplia revisión de la literatura especializada:

- **De acuerdo al tamaño de las partículas de relleno**

- **Macro relleno o Convencionales:**

La composición de estas resinas, que incluye partículas de relleno de gran tamaño, generalmente entre 10 y 100 μm , es la responsable directa de su excepcional resistencia mecánica. Esta característica les confiere una notable capacidad para soportar cargas funcionales y fuerzas masticatorias. Sin embargo, no son tan pulibles como otros tipos de resinas compuestas, lo que implica que dan lugar a superficies relativamente más rugosas. En consecuencia, sus características estéticas son menos atractivas y su aplicación clínica suele limitarse a zonas menos visibles de la cavidad bucal. Esto se debe a que, en estas zonas, los criterios estéticos son menos importantes y la resistencia mecánica es primordial (23).

- **Microrelleno:**

Las resinas en cuestión se distinguen por la integración de partículas de relleno de tamaño minúsculo, con diámetros cercanos a 0,04 μm . Esta característica particular les permite obtener superficies excepcionalmente lisas y pulidas. Gracias a esta cualidad, proporcionan una estética excelente y un brillo superficial que se mantiene adecuadamente con el tiempo. Sin embargo, su limitada resistencia mecánica reduce su capacidad para soportar cargas funcionales elevadas. Por ello, su aplicabilidad clínica suele limitarse a restauraciones situadas en zonas expuestas a niveles moderados de estrés masticatorio. Esto se debe a que las exigencias mecánicas en estas zonas son menores y las necesidades estéticas adquieren mayor relevancia (23).

- **Microhíbridas:**

Esta categoría de materiales incorpora partículas de relleno de tamaño micrométrico, típicamente de 0,6 a 1 μm , así como partículas

submicrométricas con diámetros cercanos a 0,04 μm . Tanto las cualidades mecánicas como los aspectos estéticos del material restaurador mejoran gracias a la combinación de ambos tipos de relleno. Las restauraciones dentales en dientes anteriores y posteriores son aplicaciones comunes para estas resinas debido al equilibrio ventajoso que proporcionan. Además de tener una baja absorción de agua y una contracción reducida durante el proceso de polimerización, sus principales beneficios incluyen una resistencia mecánica adecuada, buena pulibilidad y retención del brillo superficial. Tanto el rendimiento clínico como la estabilidad a largo plazo aumentan como resultado de estas cualidades. Una sustancia considerada emblemática de esta categoría es la resina Filtek Z350, bien conocida como ejemplo de esta categoría debido a las excepcionales características físicas y estéticas que la caracterizan (23).

- **Nanohíbridas:**

Los materiales que se incluyen en esta categoría comprenden partículas de relleno nanométricas con dimensiones inferiores a 100 nanómetros. Estas partículas se mezclan ocasionalmente con partículas de mayor tamaño para mejorar el rendimiento general del material. Gracias a su composición, se logra un equilibrio óptimo entre la resistencia mecánica y el aspecto estético. Entre sus principales ventajas destacan la excelente capacidad de pulido y el alto brillo superficial que pueden alcanzar, características que mejoran significativamente la apariencia de las restauraciones. Además, estos sistemas presentan una rugosidad superficial muy baja, lo que contribuye a mantener el brillo e inhibe la acumulación de placa bacteriana. Su elevada resistencia superficial también contribuye a la capacidad del material para preservar su integridad y durabilidad ante las exigencias funcionales del entorno bucal (23).

- **De acuerdo al método de aplicación:**

- **Resinas de baja viscosidad o convencionales:**

Se trata de un material cuya consistencia o fluidez se sitúa en un rango intermedio a elevado, es decir, ni demasiado líquido ni excesivamente espeso, sino más bien dentro de una escala que va de moderadamente densa a muy densa. Esta propiedad resulta especialmente útil cuando se aplica en capas restauradoras de reducidas dimensiones, ya que facilita una colocación precisa sin que el material se desplace o escurra con facilidad. Asimismo, esta misma viscosidad es la indicada para trabajar en cavidades pequeñas, donde se requiere un manejo detallado y un control riguroso del material durante su inserción y modelado. En resumen, la gama de viscosidad media a alta permite tanto la confección de restauraciones delgadas o pequeñas como una mayor capacidad de manipulación en espacios reducidos, mejorando así la precisión clínica (23).

- **Resinas fluidas:**

Este material se caracteriza por presentar una consistencia más baja en cuanto a su espesor o resistencia al flujo, lo que se traduce en un incremento de su capacidad para desplazarse y extenderse con facilidad. Dicha propiedad le permite moldearse y adaptarse de manera óptima a cavidades de tamaño muy reducido —conocidas como micro cavidades—, así como a aquellas regiones dentro de la preparación dental que resultan complicadas de alcanzar con materiales más densos, como ángulos profundos, zonas retentivas o superficies con geometría irregular. En cuanto a sus aplicaciones clínicas, este producto se emplea habitualmente como una capa de base o de revestimiento sobre la que posteriormente se colocarán otros materiales restauradores, o bien se utiliza en pequeñas renovaciones o retoques de restauraciones existentes. En estos últimos casos, su alta fluidez resulta especialmente ventajosa para sellar defectos marginales, reparar fracturas mínimas o completar áreas que hayan sufrido un desgaste prematuro, todo ello sin necesidad de recurrir a mezclas más viscosas que dificultarían el manejo en espacios tan limitados (23).

- **Resinas Bulk-Fill (alta carga o baja carga):**

Uno de los principales beneficios de este material es que permite disminuir de forma notable la duración del procedimiento odontológico. Esta ventaja se debe a que puede ser aplicado en estratos o capas de mayor espesor de lo habitual, alcanzando incluso grosores de entre 4 y 5 milímetros en una sola aplicación. Lo destacable es que, a pesar de utilizar capas tan gruesas, no se ven afectadas negativamente las propiedades mecánicas del material, tales como su resistencia a la fractura, su dureza o su integridad estructural. Asimismo, no se produce una polimerización insuficiente o defectuosa, es decir, el proceso de endurecimiento mediante fotopolimerización o autopolimerización se lleva a cabo de manera completa y homogénea en todo el espesor de la capa, evitando así zonas mal curadas que podrían comprometer la restauración a largo plazo.

Por otra parte, con el fin de cubrir un abanico muy diverso de situaciones y necesidades clínicas —desde restauraciones posteriores que soportan altas cargas masticatorias hasta trabajos más delicados en zonas anteriores o cavidades pequeñas—, los fabricantes han desarrollado diferentes versiones o presentaciones del mismo material. En concreto, se ofrecen variantes de alta viscosidad, ideales para zonas que requieren mayor consistencia y estabilidad dimensional, junto con variantes de baja viscosidad, más fluidas y adecuadas para penetrar en detalles finos o adaptarse a superficies irregulares. De este modo, el profesional puede elegir la consistencia más apropiada según la indicación específica de cada caso clínico (23).

- **Según el mecanismo de activación:**

- **Fotopolimerizables:**

El proceso de endurecimiento o polimerización de estos materiales se activa mediante la exposición a una fuente de luz del espectro visible. Por lo tanto, no es necesaria la utilización de radiación ultravioleta ni la aplicación de temperaturas elevadas para inducir el fraguado. En cambio, basta con emplear una fuente luminosa que emita longitudes de onda comprendidas dentro del rango perceptible por el ojo humano,

permitiendo así la activación de los fotoiniciadores presentes en la resina. Este mecanismo proporciona un adecuado control clínico del tiempo de trabajo y favorece una polimerización eficiente del material restaurador. Esta activación lumínica pone en marcha la reacción química de polimerización, mediante la cual las moléculas pequeñas (monómeros) se enlazan entre sí formando largas cadenas (polímeros), lo que transforma el material de una consistencia plástica o fluida a una sólida y estable. En la práctica clínica habitual, la luz utilizada para este fin procede, por lo general, de dos tipos de lámparas fotopolimerizadoras. Por un lado, las lámparas LED (diodos emisores de luz), que son las más comunes en la actualidad debido a su eficiencia energética, su bajo calor generado y su capacidad para emitir una longitud de onda específica y potente. Por otro lado, aunque en menor medida hoy en día, también se emplean las lámparas halógenas, que producen luz mediante un filamento de tungsteno calentado en presencia de gas halógeno; estas últimas suelen requerir tiempos de exposición ligeramente más prolongados y generan mayor calor, pero aún se encuentran en algunos consultorios por su fiabilidad y bajo costo inicial. En cualquier caso, ambas opciones son válidas siempre que emitan la longitud de onda adecuada para activar el fotoiniciador presente en la composición del material restaurador (23).

- **Autopolimerizables (químicos):**

Estos materiales experimentan su proceso de endurecimiento o fraguado a través de una reacción química interna, sin que resulte necesaria la exposición a ninguna fuente de luz visible, ya sea LED, halógena o de cualquier otro tipo. En otras palabras, la polimerización se activa por sí misma al mezclar dos componentes (como un catalizador y un activador) o por la acción de un iniciador químico que reacciona con el entorno, lo que los hace independientes de fotopolimerizadores. Esta característica los diferencia de los materiales que requieren iluminación externa para curar correctamente. No obstante, este tipo de materiales, conocidos como resinas de autocurado o de curado químico, presentan una utilización más limitada en la práctica clínica contemporánea. En comparación con los sistemas que polimerizan mediante la acción de la luz visible, su empleo

es menos frecuente debido a las ventajas operativas y al mayor control clínico que ofrecen los materiales fotopolimerizables. Por esta razón, las resinas activadas por luz visible se han consolidado como la alternativa de elección en una amplia variedad de procedimientos restauradores. Su empleo más reducido se debe a diversas razones prácticas, como un tiempo de trabajo menos controlable (pues el fraguado comienza en cuanto se mezclan los componentes), una mayor dependencia de la proporción de mezcla y, en algunos casos, una menor estabilidad de color o propiedades mecánicas ligeramente inferiores. Por ello, aunque siguen teniendo aplicaciones específicas —por ejemplo, en zonas de difícil acceso para la luz o en determinados cementos y bases de cavidades profundas—, su uso es menos frecuente que el de los sistemas fotopolimerizables, que ofrecen al clínico un control más preciso sobre el momento del endurecimiento (23).

- **Dual (foto/auto):**

Existen ciertos materiales restauradores que integran en su formulación los dos sistemas de polimerización descritos previamente: por un lado, la activación mediante luz visible (generalmente LED o halógena), y por otro lado, el curado químico autónomo que no requiere iluminación externa. Al combinar ambos mecanismos en un mismo producto, se logra una notable versatilidad clínica, ya que el material comienza a polimerizarse químicamente desde el momento en que se mezclan sus componentes, pero al mismo tiempo es capaz de endurecerse por completo y de manera más rápida y controlada cuando se expone a la fuente de luz.

Esta doble capacidad resulta especialmente ventajosa en situaciones donde la luz podría no alcanzar todas las zonas de la cavidad —por ejemplo, en regiones profundas, debajo de rebordes marginales o en áreas con sombras proyectadas por instrumentos o la propia anatomía dental—, ya que el componente químico asegura el fraguado incluso en esos puntos de difícil acceso. Al mismo tiempo, la activación lumínica permite al profesional "fijar" el material de forma inmediata en las superficies accesibles, acortando los tiempos de espera y mejorando las propiedades mecánicas finales.

Gracias a esta sinergia, el clínico dispone de un mayor abanico de posibilidades de uso, pudiendo emplear el mismo material tanto en restauraciones superficiales sencillas como en cavidades complejas o de gran profundidad, sin tener que cambiar de producto ni renunciar a un curado confiable en todos los puntos de la preparación. En resumen, la combinación de ambos mecanismos de polimerización proporciona una solución más flexible, segura y adaptada a las exigencias de la práctica odontológica diaria (23).

5.3. Resinas Bulk Fill en Odontología

a) Concepto e Historia

Las resinas Bulk Fill son materiales restauradores de base polimérica diseñados específicamente para ser colocados en incrementos únicos de 4 a 5 mm de espesor. Esta tecnología rompe con la limitación de las resinas convencionales, que utilizan una técnica de estratificación de máximo 2 mm por capa para asegurar una polimerización adecuada. Su justificación clínica reside en la necesidad de simplificar el protocolo operatorio en el sector posterior, reduciendo el tiempo del paciente en la consulta y minimizando errores como la incorporación de burbujas entre capas (9).

Históricamente, la odontología restauradora dependía de la técnica incremental para combatir el estrés de contracción y garantizar que la luz de la lámpara activara los fotoiniciadores en la profundidad de la cavidad. Sin embargo, a partir del 2010, las resinas Bulk Fill evolucionaron mediante la modificación de su química interna. Se introdujeron nuevos monómeros y fotoiniciadores de alta eficiencia que permiten una polimerización profunda y uniforme, manteniendo niveles de estrés de contracción controlados (10).

b) Composición química

La capacidad de estas resinas para curar en bloques de 4-5 mm se debe a tres factores principales en su composición:

- **Moduladores de estrés:** Incorporan fragmentos reactivos que permiten que la red de polímeros se relaje durante el endurecimiento, evitando que la contracción tire de las paredes de la pieza dental.
- **Fotoiniciadores potentes:** Utilizan sistemas como el **Ivocerin** o derivados del óxido de fosfina, que tienen un coeficiente de absorción de luz mucho mayor que la canforoquinona tradicional.
- **Optimización óptica:** El índice de refracción de las partículas de relleno se encuentra estrechamente ajustado al de la matriz resinosa, lo que favorece una transmisión más eficiente de la luz a través del material. Gracias a esta compatibilidad óptica, se minimiza la dispersión de la luz dentro de la restauración, permitiendo una mayor penetración lumínica y contribuyendo tanto a una adecuada polimerización como a una mejor integración estética del material con la estructura dental circundante (13).

c) Clasificación de las resinas Bulk Fill

Actualmente se clasifican estos materiales principalmente por su viscosidad y su manejo clínico:

- **Resinas Bulk Fill de Baja Viscosidad (Fluidas):** También llamadas "bases", poseen una consistencia líquida que les permite adaptarse perfectamente a las irregularidades del piso de la cavidad. Debido a que su contenido de relleno es menor, no tiene mucha resistencia al desgaste. Por ello, requieren obligatoriamente una capa de recubrimiento de resina convencional de 2 mm para soportar las cargas oclusales (5).
- **Resinas Bulk Fill de Alta Viscosidad (Esculpibles):** Conocidas como "Full-body", tienen una consistencia firme que permite modelar la anatomía dental (cúspides y surcos). Al tener una mayor carga de relleno, son resistentes al desgaste y pueden utilizarse para toda la restauración, desde el piso de la cavidad hasta la superficie oclusal, sin necesidad de materiales adicionales (5).
- **Sistemas de Activación Sónica:** Representan una tecnología híbrida innovadora en la que el material restaurador es aplicado mediante una pieza de mano especializada que transmite energía sónica durante su colocación.

Este mecanismo modifica temporalmente la viscosidad del material, facilitando su flujo y adaptación a las paredes de la cavidad. Una vez finalizada la aplicación de la energía sónica, el material recupera una consistencia más firme, favoreciendo su modelado y estabilidad clínica. Esta energía reduce temporalmente la viscosidad del material para que se adapte a las paredes; una vez que cesa la vibración, el material recupera su firmeza para ser modelado (11).

- **Resinas de Curado Dual:** Son variantes que combinan la activación por luz con una reacción química interna. Se reservan para cavidades extremadamente profundas o reconstrucción de muñones, asegurando que el material endurezca incluso donde la luz llega con dificultad (24).

d) Indicaciones

Las resinas Bulk Fill están principalmente indicadas para restauraciones de Clases I y II en dientes posteriores, reconstrucción de muñones y odontopediatría, donde la rapidez es esencial en pacientes poco colaboradores. Por el contrario, están contraindicadas en zonas de alta demanda estética (sector anterior) debido a que su translucidez puede generar sombras grisáceas, y en cavidades que superen los 5 mm de profundidad sin el uso de técnicas combinadas (24).

e) 3M Filtek One Restaurador Bulk Fill

Las operaciones restaurativas se pueden simplificar y optimizar con el uso de 3M™ Filtek™ One Bulk Fill, una resina compuesta fotopolimerizable. Esto permite una colocación más rápida y eficaz. Se distingue por su gran resistencia mecánica y baja tasa de desgaste, características que mejoran la durabilidad clínica de las restauraciones y una adecuada estabilidad estética a largo plazo. Este material de relleno a granel se caracteriza por su capacidad de aplicación y fotopolimerización en incrementos de hasta 5 milímetros de profundidad, lo que ahorra tiempo clínico sin sacrificar el rendimiento. Esto es posible gracias a su exclusivo sistema de resina de baja contracción y excelentes cualidades ópticas. Además, Filtek™ One Bulk Fill amplía las opciones terapéuticas disponibles dentro del portafolio de materiales restaurativos de 3M. Esto se logra al combinar los beneficios de las resinas de relleno a granel con características cosméticas

mejoradas, lo que permite que el producto se utilice tanto en restauraciones posteriores como anteriores, casos en los que las exigencias estéticas son mayores (25).

- **Características del producto**

- Aplicación rápida y simplificada mediante una técnica de colocación en un solo incremento.
- Mayor opacidad, lo que favorece una mejor integración estética con la estructura dental.
- Sistema de resina diseñado para reducir el estrés de contracción, permitiendo la fotopolimerización de incrementos de hasta 5 mm de profundidad.
- Excelente capacidad de adaptación a las paredes de la cavidad.
- Óptimas propiedades de manipulación clínica, con adecuada capacidad de modelado y esculpido.
- La incorporación de nanotecnología proporciona una elevada resistencia al desgaste y una excelente conservación del pulido superficial a largo plazo.
- Alta radiopacidad, facilitando la evaluación radiográfica de las restauraciones.
- Cápsulas con una punta de diseño especial que permite un acceso más cómodo y preciso a cavidades profundas.
- Disponible en cinco tonalidades: A1, A2, A3, B1 y C2, para una mejor adaptación cromática.
- Se comercializa en presentaciones de cápsulas de 0,2 g y jeringas de 4,0 g, adaptándose a diferentes necesidades clínicas (25).

- **Indicaciones de uso**

- Restauraciones directas en dientes anteriores y posteriores, incluidas las superficies oclusales sometidas a carga funcional.
- Utilización como base o recubrimiento cavitario bajo restauraciones directas.
- Reconstrucción de muñones para procedimientos restauradores posteriores.

- Ferulización de dientes cuando la situación clínica lo requiera.
- Elaboración de restauraciones indirectas, como inlays, onlays y carillas.
- Restauración de dientes temporales o deciduos.
- Sellado amplio de fosetas y fisuras en molares y premolares con fines preventivos.
- Reparación de defectos o fracturas menores presentes en restauraciones de porcelana, esmalte dental y materiales restauradores temporales (25).

- **Composición**

Los materiales 3M™ Filtek™ One Bulk Fill están compuestos por una mezcla de partículas de sílice no agregadas ni aglomeradas de 20 nm, partículas de circonia de 4 a 11 nm y cúmulos de circonia/sílice formados por partículas de sílice de 20 nm y de circonia de 4 a 11 nm. Además, contienen un relleno de trifluoruro de iterbio organizado en aglomerados de aproximadamente 100 nanómetros. El contenido total de relleno inorgánico es de aproximadamente el 76,5 % en peso y el 58,5 % en volumen, lo que contribuye a las propiedades mecánicas y físicas del material. La matriz orgánica incluye componentes destinados a mitigar las tensiones generadas durante la polimerización, como el AFM (monómero dinámico reductor de tensiones), el AUDMA, el UDMA y el 1,12-dodecanodiol-DMA. Para lograr una unión duradera entre la restauración y la estructura dental, es necesario utilizar Filtek™ One Bulk Fill en combinación con un sistema adhesivo dental a base de metacrilato. Un ejemplo de estos sistemas son los fabricados por 3M. La sustancia se presenta en jeringa, lo que facilita su manipulación y aplicación en diversos procedimientos restaurativos (25).

f) Opus Bulk Fill APS

Resina compuesta fotopolimerizable diseñada para presentar bajas tensiones de contracción durante el proceso de curado, contribuyendo a una mayor estabilidad de la restauración. Su formulación permite una aplicación clínica práctica y eficiente, ya que posibilita el relleno de cavidades en incrementos de hasta 5 mm

de profundidad, incluyendo la reconstrucción de superficies oclusales, lo que reduce el tiempo operatorio y simplifica el procedimiento restaurador (26).

- **Mayor tiempo de trabajo:** Presenta una adecuada estabilidad bajo la iluminación ambiental, permitiendo al operador disponer de tiempo suficiente para modelar y adaptar la restauración antes de la fotopolimerización.
- **Eficiencia y rapidez clínica:** Su tecnología de relleno único posibilita la colocación del material en un solo incremento, optimizando el procedimiento restaurador y reduciendo el tiempo operatorio.
- **Elevada profundidad de curado:** Permite la aplicación de incrementos de hasta 5 mm de espesor, garantizando una polimerización efectiva en profundidad.
- **Mayor opacidad tras el curado:** La resina posee una translucidez inicial que favorece la penetración de la luz y la profundidad de polimerización; posteriormente, tras la fotopolimerización, adquiere una apariencia más opaca y estética.
- **Alta resistencia mecánica:** Contiene aproximadamente un 79 % de carga inorgánica en masa, lo que contribuye a mejorar sus propiedades físicas y su capacidad para soportar cargas funcionales.
- **Estabilidad cromática predecible:** Presenta una mínima variación visual de color entre el estado previo y posterior a la fotopolimerización, favoreciendo resultados estéticos más confiables (26).
- **Indicaciones:**
 - Restauraciones directas en dientes posteriores permanentes y deciduos, mediante incrementos de hasta 5 mm de profundidad, incluyendo la reconstrucción de superficies oclusales.
 - Restauraciones de cavidades Clase V, como las asociadas a caries cervicales, erosiones radiculares y lesiones en forma de cuña.
 - Reconstrucción de muñones para procedimientos restauradores posteriores.
 - Utilización como base o recubrimiento en restauraciones directas.
 - Reparación de pequeños defectos presentes en el esmalte dental.

- Reparación de restauraciones elaboradas con materiales acrílicos o resinosos, contribuyendo a prolongar su funcionalidad clínica (26).

5.4. Fotopolimerización

a) Concepto y Origen

La fotopolimerización es un proceso químico en el cual un material compuesto a base de resina se transforma de un estado plástico a uno rígido mediante la activación con luz visible de determinadas longitudes de onda, desencadenando una reacción de polimerización entre los monómeros que forman la matriz orgánica del material dental. Este proceso es esencial en la odontología restauradora moderna para endurecer resinas compuestas, selladores y adhesivos mediante fuentes de luz específicas (27).

La introducción de las resinas compuestas fotopolimerizables se produjo durante la década de 1970, empleándose inicialmente sistemas de activación basados en luz ultravioleta. Esta innovación representó un avance importante en el desarrollo de los materiales restauradores, ya que permitió un mayor control del proceso de polimerización en comparación con los sistemas de curado químico utilizados previamente. Posteriormente, la tecnología evolucionó hacia el uso de luz visible, debido a sus ventajas en términos de seguridad, eficacia y profundidad de curado. Sin embargo, debido a su baja penetración y riesgos biológicos, fue reemplazada por sistemas de luz visible azul junto con el uso de fotoiniciadores como la canforoquinona (CQ), cuya absorción ocurre entre 430–480 nm (28).

Posteriormente, se desarrollaron distintas tecnologías de lámparas de fotocurado, evolucionando desde las unidades halógenas hasta los actuales sistemas LED de alta potencia, los cuales ofrecen mayor estabilidad en la intensidad y menor generación de calor (29).

b) Mecanismo químico de la fotopolimerización

La fotopolimerización se basa en una reacción de los radicales libres que consta de tres etapas fundamentales:

- **Fase de iniciación**

La luz emitida por la lámpara es absorbida por el fotoiniciador (principalmente canforoquinona), el cual, en presencia de una amina terciaria, genera radicales libres capaces de romper los dobles enlaces carbono-carbono ($C=C$) de los monómeros dimetacrilatos (30).

- **Fase de propagación**

Los radicales libres generados durante la reacción de polimerización interactúan con otros monómeros presentes en la matriz resinosa, promoviendo la formación de largas cadenas poliméricas y una red tridimensional entrecruzada. A medida que este proceso avanza, se incrementa gradualmente el grado de conversión de los monómeros, lo que produce un aumento progresivo de la viscosidad del material hasta alcanzar su endurecimiento y estabilidad estructural (27).

- **Fase de terminación**

La reacción finaliza cuando los radicales libres se neutralizan o quedan atrapados en la red polimérica formada (30).

c) Fases clínicas de la fotopolimerización

- **Fase pre-gel**

En esta etapa el material aún presenta cierta capacidad de fluir, permitiendo compensar parcialmente la contracción volumétrica sin transmitir completamente el estrés a la interfase con el adhesivo (27).

- **Fase post-gel**

A medida que el material adquiere mayor rigidez durante la polimerización, las tensiones originadas por la contracción volumétrica son transmitidas directamente a la interfase entre el diente y la restauración. Cuando estas tensiones superan la capacidad de adhesión del sistema restaurador o no se emplea una técnica clínica adecuada, pueden producirse defectos como microfiltración, formación de espacios interfaciales o desadaptación marginal. Estas alteraciones pueden comprometer el sellado de la

restauración y afectar negativamente su desempeño clínico y longevidad (27).

d) Grado de Conversión

El grado de conversión, también conocido como GC, es la proporción de enlaces dobles carbono-carbono ($C=C$) presentes en los monómeros que se transforman en enlaces simples carbono-carbono ($C-C$) durante el proceso de polimerización. Dado que influye directamente en las características físicas, mecánicas y químicas de las resinas compuestas, este parámetro es un indicador esencial de su eficiencia de curado. Por lo tanto, diversos estudios han demostrado que un mayor grado de conversión suele estar relacionado con una mejor eficacia clínica y una mayor durabilidad del material restaurador (5).

Un mayor grado de conversión se asocia con:

- Mayor dureza superficial
- Mayor resistencia al desgaste
- Mejor estabilidad química
- Menor liberación de monómeros residuales

En condiciones clínicas adecuadas, las resinas compuestas alcanzan grados de conversión aproximados entre 55 % y 75 %, dependiendo de la intensidad de la luz, tiempo de exposición, espesor del incremento y composición del material (31).

e) Lámparas de Fotocurado

- **Lámparas halógenas**

Fueron el estándar durante muchos años. Emiten un amplio espectro de luz que requiere filtros para obtener la longitud de onda adecuada. Presentan degradación progresiva de intensidad y mayor generación de calor (29).

- **Lámparas LED**

Actualmente son el sistema más utilizado. Sus ventajas incluyen:

- Mayor eficiencia energética
- Espectro específico compatible con fotoiniciadores
- Mayor vida útil
- Menor generación de calor

Existen LED monowave (un pico de longitud de onda) y polywave (múltiples picos para activar diferentes fotoiniciadores) (32).

5.5. Dureza y Microdureza superficial

Se entiende por dureza superficial el nivel de resistencia que presenta un material al ser penetrado o perforado en su capa externa, es decir, qué tan fácil o difícil resulta rayarlo o hendirlo. En los primeros estudios realizados sobre esta propiedad, los investigadores compararon dos tipos de materiales, siendo uno notablemente más blando que el otro. El propósito de este método consistía en evaluar la capacidad de un material más duro para producir una marca o rayado sobre la superficie de otro material de menor dureza. A partir de esta observación, era posible establecer una clasificación comparativa de los materiales según su resistencia a la deformación superficial, permitiendo determinar un orden relativo de dureza entre ellos. Por otra parte, uno de los procedimientos más habituales para medir la dureza consiste en utilizar un instrumento llamado penetrador, que se aprieta contra la superficie del material a evaluar. Este sistema de indentación es ampliamente aceptado en la práctica para cuantificar la dureza de distintos materiales. En relación con este método, cabe señalar que si el material es blando, la huella o indentación resultará más profunda y ancha, lo que se traduce en una puntuación baja en la escala de dureza superficial (33).

Para evaluar la dureza superficial de los materiales, el durómetro es el instrumento más utilizado. Este aparato emplea indentadores de materiales de alta resistencia, como diamante o acero endurecido. Estos indentadores se fabrican con diversas formas y dimensiones, incluyendo pirámides, conos y esferas. Al seleccionar el material, se consideran las propiedades y el nivel de dureza de la muestra que se examina. Dependiendo del tipo de material y de la técnica o escala de dureza empleada, la carga aplicada por estos indentadores puede variar desde unos pocos gramos hasta varios kilos. Otra variable que el operador puede controlar es el tiempo de aplicación de la carga. El operador determina la duración de cada prueba de acuerdo con las especificaciones de la técnica experimental. Para obtener mediciones precisas

y repetibles de la resistencia superficial a la penetración de la sustancia, es necesaria la combinación de estas características (33).

La dureza es una propiedad mecánica que expresa la resistencia que presenta la superficie de un material frente al rayado, la abrasión o la deformación ocasionada por la aplicación de una fuerza externa. De manera complementaria, puede definirse como la capacidad del material para oponerse a la penetración de un cuerpo más duro o de una punta específica sometida a una carga determinada. Esta característica es ampliamente utilizada para evaluar el comportamiento mecánico de los materiales, ya que proporciona información relevante sobre su resistencia superficial, su integridad estructural y su desempeño frente a las exigencias funcionales a las que será sometido. El procedimiento para medir esta propiedad consiste en hacer incidir un penetrador sobre una muestra del material, ya sea rayándola o penetrándola, mientras se ejerce una carga previamente fijada. En esencia, se trata de evaluar cuánto se opone el material a ser hendido o marcado por un objeto más duro en condiciones controladas (34).

Para determinar la dureza de un material, es necesario establecer una relación entre la magnitud de la carga aplicada sobre el penetrador y la profundidad o tamaño de la huella generada en la superficie evaluada. En términos generales, la dureza se calcula considerando la resistencia que ofrece el material frente a la penetración producida por una fuerza conocida. De esta manera, cuanto menor sea la profundidad de la indentación para una carga determinada, mayor será la dureza del material. Este principio constituye la base de los principales métodos utilizados para la evaluación de la dureza en materiales dentales y de ingeniería. Cuanto mayor sea la carga necesaria para conseguir una determinada penetración, o cuanto menor sea la penetración ante una carga fija, más duro se considera el material. En definitiva, la dureza se expresa como una función de ambos parámetros combinados (34).

Se reconoce que los diversos métodos desarrollados para la determinación de la dureza de un material se fundamentan en un mismo principio general: la capacidad del material para resistir la penetración o el rayado producido por un cuerpo más duro. Aunque cada técnica emplea diferentes tipos de penetradores, cargas y procedimientos de medición, todas buscan evaluar el grado de oposición que ofrece la superficie frente a una deformación localizada. Por ello, la resistencia a la penetración o al rayado

constituye la base conceptual sobre la que se sustentan los principales ensayos de dureza utilizados en la investigación y caracterización de materiales. La única diferencia práctica entre una técnica y otra reside en el tipo de indentador o penetrador que se emplea durante la prueba. Entre todos ellos, los indentadores fabricados con diamante y labrados con geometrías esferoidales (es decir, con forma similar a una esfera) son los que ofrecen los resultados más exactos y fiables, gracias a la extrema dureza del diamante y a la uniformidad de su superficie redondeada (34).

Entre los métodos más empleados para evaluar y cuantificar la dureza de un material se encuentran diversas pruebas estandarizadas que permiten determinar su resistencia a la penetración o deformación superficial. Estas técnicas difieren en el tipo de penetrador utilizado, la magnitud de la carga aplicada y la forma en que se interpreta la huella producida. No obstante, todas tienen como finalidad proporcionar una medida objetiva y reproducible de la dureza del material analizado:

- a) **Dureza Rockwell:** En la ejecución de este ensayo se emplea un penetrador de forma esférica o bien de material metálico, cuyos diámetros pueden ser variables, y se aplican fuerzas o cargas que oscilan entre 60 y 150 kilogramos. Dentro del análisis de los polímeros empleados en odontología, el método más habitual es la prueba de Rockwell. En este procedimiento específico, el ensayo se realiza aplicando una carga relativamente baja, equivalente a 30 kilogramos, sobre la superficie del material evaluado. Para ello, se emplea un penetrador esférico con un diámetro de 12,7 milímetros, el cual genera una huella cuya dimensión permite determinar la dureza del espécimen. La combinación de una carga controlada y un indentador de geometría definida favorece la obtención de mediciones precisas y reproducibles durante la prueba (35).
- b) **Dureza Brinell:** El método Brinell constituye uno de los procedimientos más antiguos y ampliamente reconocidos para la evaluación de la dureza de los materiales. Esta técnica se basa en determinar la resistencia que ofrece una superficie frente a la penetración producida por un indentador esférico sometido a una carga específica. Debido a su simplicidad y confiabilidad, el ensayo Brinell ha servido como fundamento para el desarrollo de otros métodos de medición de dureza utilizados posteriormente en la caracterización de distintos materiales. En esta prueba se emplea una esfera muy pequeña, de tan solo 1,6 mm de diámetro, fabricada en carburo de tungsteno (aunque

también puede elaborarse en acero inoxidable), y se le aplica una carga de 123 newtons. Para determinar la dureza, el penetrador se mantiene en contacto con la muestra durante treinta segundos. Una vez transcurrido ese tiempo, se mide el diámetro de la huella o indentación dejada en la superficie, y ese valor es el que se utiliza para calcular la dureza del material (35).

- c) **Dureza Vickers:** Los materiales empleados en restauraciones dentales son evaluados mediante este ensayo. Este procedimiento es bastante similar a las pruebas de dureza Knoop y Brinell, con la excepción del tipo de indentador empleado. En concreto, se utiliza un indentador de diamante en forma de pirámide. Este indentador crea una huella cuadrada en la superficie de la sustancia que se está evaluando. Para evaluar el nivel de dureza de la muestra con gran precisión, es necesario medir esta huella. Resulta especialmente adecuado para el análisis de materiales de alta dureza y regiones diminutas, como las que se utilizan habitualmente en restauraciones dentales y otros biomateriales de uso terapéutico. Las características de esta prueba la hacen particularmente útil para este tipo de análisis (35).
- d) **Dureza Knoop:** Este método de evaluación fue desarrollado específicamente para la realización de ensayos de microindentación, permitiendo medir la dureza en áreas de dimensiones muy reducidas o en especímenes de pequeño tamaño. Gracias a su elevada sensibilidad y precisión, resulta especialmente útil para analizar materiales en los que no es posible aplicar métodos convencionales de dureza. Por ello, su uso es frecuente en la caracterización de biomateriales, capas superficiales y restauraciones odontológicas que requieren mediciones localizadas en zonas específicas. El procedimiento consiste en aplicar una carga controlada a través de un penetrador de diamante que ha sido fabricado con gran precisión y cuidado. Una vez que se ha retirado el instrumento, se procede a medir la huella o indentación que ha quedado marcada en la superficie del material, y con base en esa medición se determina su dureza (35).

Numerosos estudios han demostrado que los procesos erosivos pueden afectar significativamente la superficie de los materiales restauradores, alterando sus propiedades físicas y superficiales. Se ha observado que otros tipos de materiales, como los ionómeros de vidrio, las resinas compuestas y los compómeros, presentan

este comportamiento. Existen datos de la comunidad científica que sugieren que la exposición a condiciones ácidas puede provocar una disminución de la dureza superficial de algunos polímeros. Este fenómeno se relaciona principalmente con el ablandamiento gradual y la eventual degradación de la matriz orgánica de estos polímeros. Por otro lado, esta degeneración suele ser menos severa que la que se observa en los tejidos dentales naturales cuando se exponen a las mismas circunstancias. Cabe mencionar que los ionómeros de vidrio comunes, los ionómeros de vidrio modificados con resina y los compómeros se encuentran entre los materiales que con mayor frecuencia presentan una pérdida de dureza superficial y una mayor susceptibilidad a la erosión cuando se exponen a ambientes ácidos durante periodos prolongados (36).

5.6. Antecedentes investigativos

A. Internacionales:

- **“Profundidad de polimerización de las resinas Bulk Fill: una revisión sistemática”. Revista de la Facultad de Odontología, Ecuador. 2022.**

Autor: Willian Rodríguez y cols.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la profundidad de polimerización de resinas de relleno masivo en comparación con resinas regulares. Se realizó una evaluación de la literatura de acuerdo con las directrices PRISMA, utilizando la base de datos PubMed (Medline) desde enero de 2015 hasta la actualidad. Se seleccionaron estudios publicados en inglés y español. También se incluyeron estudios que evaluaban la profundidad de polimerización de resinas de relleno masivo. Se utilizaron un total de 10 artículos para la evaluación de la calidad y el riesgo de sesgo. Las resinas de relleno masivo cumplen parcialmente con el requisito de profundidad de polimerización de hasta 4 mm. Conclusiones: Las resinas fluidas de relleno masivo presentan valores de profundidad de polimerización mejorados; sin embargo, están limitadas por factores como la irradiación y la duración de la exposición (37).

- **“Profundidad de curado de la resina compuesta con distintas unidades de fotocurado dental con tiempos de polimerización calculados vs estandarizados”. Universidad Autónoma de Puebla. México. 2024.**

Autor: Sara Dafne Moreno López.

INTRODUCCIÓN: Las lámparas de fotopolimerización (LFP) se utilizan ampliamente en la práctica clínica actual. La irradiancia, la duración de la exposición y la densidad energética son características críticas para la polimerización. Se requiere una densidad energética mínima de 16 J/cm² para la polimerización eficiente de 2 mm de resina.

OBJETIVO: Evaluar la profundidad de polimerización (DP) de una resina compuesta utilizando diferentes lámparas de fotopolimerización dental con duraciones de polimerización predeterminadas y definidas.

METODOLOGÍA: La irradiancia de las LFP (G1 = Bluephase MC, G2 = Bluephase N de baja potencia, G3 = Bluephase N de alta potencia, G4 = Nano, Coxo) se evaluó a intervalos de 10 y 20 segundos. Las lámparas inalámbricas se cargaron durante la noche para garantizar su máximo funcionamiento. La irradiancia de cada fuente de luz se midió con un radiómetro digital (n = 15). La irradiancia se comparó con la irradiancia registrada por el fabricante y se calculó la densidad energética (DE) mediante un método de conversión. Se evaluó la fotopolimerización (PC) en dos resinas compuestas (Filtek Z250, 3M, tono A2) según la norma ISO 4049, utilizando unidades de fotopolimerización (UFP) para el proceso.

RESULTADOS: Las unidades de fotopolimerización (UFP) demostraron una irradiancia superior a las especificaciones del fabricante: G1 la superó en un 62 %, G2 en un 22 %, G3 en un 31 % y G4 en un 50 % (prueba t de Student, p < 0,001), con lecturas registradas de 1347, 790, 1575 y 1800 mW/cm², respectivamente. Según la irradiancia especificada por el fabricante para una exposición de 10 segundos, ninguna lámpara alcanzó la dosis equivalente mínima; sin embargo, con una exposición de 20 segundos, solo G2 (650 mW/cm²) cumplió con el umbral. Al calcular la DE utilizando la irradiancia reportada con un período de exposición de 10 s, solo G1 (1347 mW/cm²) y G2 (790 mW/cm²) no alcanzaron los 16 J/cm². Sin embargo, con una duración de

exposición de 20 segundos, todas las LCU cumplieron con la condición mínima (prueba t de Student para una muestra, $p < 0,001$).

El PC en Bluephase N® MC registró mediciones de 2,47 mm a los 10 segundos y 2,92 mm a los 20 segundos. Bluephase N® presentó lecturas de 2,08 mm y 2,55 mm para períodos de 10 y 20 segundos, respectivamente. Nano, COXO demostró capacidades de polimerización de 2,37 mm y 2,81 mm con duraciones de exposición de 10 y 20 segundos, respectivamente. Tras evaluar el potencial de polimerización (PP) de las tres lámparas a los 10 s y 20 s, se determinó que el grupo G1 presentó un PP superior en comparación con los grupos G2, G3 y G4 (ANOVA $p < 0,05$, Tukey $p < 0,05$).

CONCLUSIÓN: La irradiancia es crucial para una polimerización eficaz. Se requieren tiempos de exposición de al menos 20 segundos cuando la irradiancia es inferior a 1200 mW/cm². Con irradiancias superiores a 1500 mW/cm², el tiempo mínimo de exposición puede ser de al menos 10 segundos (38).

- **“Efecto del tiempo de exposición sobre la eficacia de polimerización con unidades equipadas con luz emitida por diodos-LED’s”. Revista Colombiana de Investigación en Odontología. 2009.**

Autor: José David Ruan Antury y cols.

Objetivo: Evaluar la dureza superficial y del núcleo de dos resinas fotopolimerizables utilizando dispositivos de fotopolimerización con diodos emisores de luz (LED) (Emetron LED, Elipar Free Light, Coltolux LED) y una lámpara halógena (Optilux 501), con diferentes tiempos de exposición (20, 40 y 60 segundos).

Métodos: Se prepararon cinco matrices, cada una de 5 mm de diámetro y 2 mm de espesor, para cada grupo experimental: GI-Z250 tono B 0.5 y GII: Charisma SL, para dientes blanqueados según la norma ISO 4049. Las muestras se fotopolimerizaron durante 20, 40 y 60 segundos, y se evaluó la microdureza superficial Vickers aplicando una fuerza de 50 gramos durante 30 segundos en cada indentación. Los datos recopilados se analizaron mediante ANOVA y la prueba de Tukey ($p = 0,05$). **Resultados:** La fotoactivación se logró eficazmente

tanto con la luz halógena como con los dispositivos LED. Se observó un aumento significativo en la eficacia de todas las fuentes de luz al prolongar la duración de la exposición de 20 a 40 segundos. La microdureza superficial de la resina Z250 superó a la de la resina Charisma en las mismas condiciones de prueba.

Conclusiones: Las unidades LED mostraron una eficacia comparable a la de las unidades halógenas cuando se expusieron durante 40 segundos o más (39).

B. Nacionales:

- **“Comparación de la profundidad de polimerización y grado de conversión de resinas compuestas usando dos unidades de luz visible”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2019.**

Autor: Hernán Horna Palomino.

Objetivo. Analizar la profundidad de polimerización y el grado de conversión midiendo la microdureza de la superficie interna de dos resinas compuestas nanorellenas utilizando dos lámparas de fotopolimerización LED: una de segunda generación y otra de tercera generación. Metodología. En la investigación in vitro, se recolectaron 75 muestras y se clasificaron en tres grupos según el tipo de resina compuesta: dos resinas nanorellenas, “Tetric N-Ceram” (Ivoclar-Vivadent) y “Filtek Z-350 XT” (3M), y una resina de relleno masivo designada como grupo control. Cada grupo se clasificó posteriormente en tres subgrupos según el tipo de fuente de luz: una fuente de luz halógena (grupo control) y dos lámparas de fotopolimerización LED (LED-Valo y LED-Elipar). Se realizó un análisis estadístico, en el que las variables se sometieron a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza. Las variables primarias no cumplieron con estos supuestos; en consecuencia, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Se utilizó la prueba post-hoc de Dunn para determinar las diferencias entre los pares. Resultados: No se observaron diferencias entre los distintos grupos en cuanto a la profundidad de polimerización de las resinas compuestas nanorellenas. La resina Filtek Z350-XT demostró una mayor microdureza de la superficie interna, lo que indica un mayor grado de conversión, al utilizar distintas unidades de luz visible. El LED

Elipar mostró una profundidad de polimerización superior en comparación con el LED Valo, sin variaciones significativas en la microdureza de la superficie interna, lo que indica el grado de conversión en los distintos grupos de resinas compuestas nanorellenas. En conclusión, el LED de segunda generación mostró una mayor profundidad de polimerización al utilizar resinas nanorellenas, pero la lámpara LED de tercera generación reveló un mayor grado de conversión, como lo indica la microdureza de la superficie interna, al utilizar las mismas resinas (40).

- **“Relación entre la profundidad de polimerización de resina compuesta nanohíbrida Bulk Fill, y las diferentes distancias de foto activación”.**

Universidad Alas Peruanas. Tacna. 2017.

Autor: Marín Hurtado, Richard Ernesto.

Este estudio intentó determinar la profundidad de polimerización de resinas de relleno masivo al fotocurarse a diferentes distancias, dado que las propiedades físicas de las resinas compuestas son esenciales. La fase experimental se llevó a cabo siguiendo el método ISO 4049. Se construyeron treinta y seis moldes cilíndricos de 4 mm de diámetro y 10 mm de altura, que se rellenaron con resina. Se produjeron doce muestras de resina, clasificadas según la distancia de fotocurado (0 mm, 4 mm y 8 mm), obteniéndose tres grupos de doce muestras cada uno. Todas las muestras se polimerizaron con luz LED durante 10 segundos. La altura final de polimerización de las muestras se cuantificó con un micrómetro de resolución de 0,01 mm. La altura total de cada muestra se dividió por la mitad, y esta cifra se registró como la profundidad de polimerización. Los datos se sometieron a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con un nivel de confianza del 95 %. Los resultados demostraron que la resina polimerizada a 0 mm presentó una profundidad de polimerización mucho mayor ($p < 0,05$) en comparación con las resinas polimerizadas a 4 mm y 8 mm ($p > 0,05$). La investigación revela que existe una relación entre la profundidad de polimerización de las resinas de relleno masivo y la distancia de fotoactivación; la resina polimerizada a 0 mm muestra una mayor profundidad de polimerización que las polimerizadas a 4 mm y 8 mm (41).

C. Locales:

- **“Microdureza superficial de tres resinas dentales, resina Bulk Fill, resina microhíbrida y resina nanohíbrida”. Universidad Católica de Santa María. 2018.**

Autor: Sotomayor Zela Ximena Virginia.

Esta investigación busca determinar la microdureza superficial de bloques de resina aptos para aplicaciones de remanufactura. Este estudio es una investigación de laboratorio comparativa, experimental, prospectiva y transversal.

Se fabricaron probetas cilíndricas de 6 mm de diámetro y 3 mm de altura utilizando resina de relleno a granel (Filtek™ Bulk Fill), resina microhíbrida (Filtek P60) y resina nanohíbrida (Filtek Z350). Se recolectaron cuarenta y cinco muestras de estos bloques y se clasificaron en tres grupos de 15 muestras cada uno. Posteriormente, las muestras se mantuvieron a una humedad relativa del 100% durante 48 horas. A continuación, los cilindros se trasladaron a las instalaciones de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de San Agustín, donde se sometieron a una carga de 15 toneladas para la prueba de microdureza superficial Rockwell utilizando un durómetro Indentec. Los resultados se transformaron en mediciones de microdureza superficial Vickers. Se realizaron tres perforaciones con una fuerza de 15 toneladas tanto en la superficie exterior superior como en la base de cada cilindro. Se utilizó la prueba de comparación estadística ANOVA. La microdureza superficial promedio de las resinas de relleno a granel (Filtek™ Bulk Fill) fue de 104,69 HV, la de la resina microhíbrida (Filtek P60) fue de 137,38 HV y la de la resina nanohíbrida (Filtek Z350) fue de 149,11 HV. Los resultados demuestran que la resina nanohíbrida (Filtek Z350) presenta una mayor microdureza superficial en comparación con la resina de relleno a granel (Filtek™ Bulk Fill) y la resina microhíbrida (Filtek P60).

Los resultados se sometieron a un análisis estadístico mediante la prueba de Tukey, que indicó una diferencia estadísticamente significativa entre los tres grupos (42).

6. HIPÓTESIS

Dado que las resinas Bulk Fill fueron diseñadas para lograr una polimerización de todo el espesor del material, en bloque y a profundidad,

Es probable que los distintos tiempos en la polimerización tengan influencia directa sobre la conversión de monómeros en polímeros y por lo tanto afectar la dureza superficial y profunda de estas resinas.





CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1. DISEÑO METODOLÓGICO

1.1. Técnica de investigación

En el marco de este estudio, se lleva a cabo un procedimiento metodológico desarrollado íntegramente dentro de un entorno controlado de laboratorio, es decir, en condiciones artificiales que permiten aislar las variables de interés y minimizar la interferencia de factores externos no deseados. Dicho procedimiento no se limitará a la mera recolección pasiva de información, sino que se apoyará fundamentalmente en un enfoque de observación de carácter experimental. Esto significa que el investigador no se limitó a contemplar los fenómenos tal como ocurren naturalmente, sino que se intervino activamente manipulando una o más variables independientes para luego observar y medir sus efectos sobre las variables dependientes. A través de esta metodología experimental, se procedió a la recopilación sistemática de todos los datos cuantitativos y cualitativos pertinentes, así como de los resultados derivados de las distintas pruebas o ensayos realizados. En suma, la estrategia planteada combina el rigor del trabajo de laboratorio con el control y la intervención propios del diseño experimental, con el objetivo final de obtener evidencias sólidas y reproducibles que permitan responder a las preguntas de investigación planteadas.

2. POBLACIÓN Y MUESTRA

2.1. Selección de muestras

Se fabricaron cuarenta y ocho unidades experimentales, incluyendo cilindros de resina de las marcas seleccionadas para la investigación, de acuerdo con los requisitos establecidos por las normas internacionales de ensayo, incluida la ISO 4049. Las muestras se elaboraron con un molde metálico especialmente diseñado para este fin, con dimensiones de 8 mm de diámetro y 4 mm de espesor. Posteriormente, cada muestra se sometió a fotopolimerización durante los tiempos especificados para cada grupo experimental, utilizando una lámpara LED de última generación con una intensidad mínima de 800 mW/cm². Además, se omitió el pulido de la superficie, ya que esta operación no afecta sustancialmente la evaluación de la dureza en las circunstancias especificadas, preservando así la uniformidad de la metodología experimental.

3. TABLAS DE VARIABLES

TABLA 2 Variables

VARIABLE	INDICADORES	SUBINDICADORES	ITEMS
ESTÍMULO: Resinas nanohíbridas	Filtek™ One Bulk Fill		
	Opus Bulk Fill APS		
ESTÍMULO: Tiempo de polimerización			20 seg.
			30 seg.
			40 seg.
RESPUESTA: Microdureza	Nivel de dureza	Baja	< 70 HV
		Regular	> 70 y ≤ 90 HV
		Media	> 90 y ≤ 110 HV
		Alta	> 110 y ≤ 130 HV
		Muy alta	> 130 y ≤ 150 HV

4. TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS

4.1. Preparación de muestras y aplicación de material

Las 48 muestras obtenidas fueron distribuidas en dos grupos principales, denominados Grupo A y Grupo B, de acuerdo con el diseño experimental establecido. Esta clasificación permitió organizar los especímenes según las variables de estudio y garantizar una adecuada comparación entre los materiales evaluados. La distribución de las muestras se realizó de la siguiente manera:

- Grupo A: se subdivide en:
 - A1: Este grupo estuvo conformado por 8 cilindros elaborados con resina Filtek™ One Bulk Fill. Para su confección, el material fue colocado

directamente en el molde metálico dispuesto sobre una platina de vidrio, realizando la inserción de la resina en un único incremento. Posteriormente, se colocó una tira de celuloide sobre la superficie superior de la muestra para favorecer una adecuada conformación superficial y se procedió a la fotopolimerización durante 20 segundos sobre esa cara. Dicha superficie correspondió a la zona destinada para la evaluación de la dureza superficial. Por otro lado, la cara opuesta de la muestra, en contacto con la platina de vidrio durante la elaboración, fue utilizada para la medición de la dureza profunda. Una vez finalizado el proceso de preparación, los especímenes fueron trasladados al durómetro marca GOYOJO, equipo empleado para determinar los valores de microdureza de las muestras mediante el ensayo correspondiente.

- A2: Este grupo estuvo integrado por 8 cilindros fabricados con resina Filtek™ One Bulk Fill. La preparación de las muestras se realizó colocando la resina directamente dentro del molde metálico ubicado sobre una platina de vidrio, efectuando la inserción del material en un solo incremento. A continuación, se colocó una tira de celuloide sobre la superficie superior del espécimen y se procedió a la fotopolimerización durante 30 segundos sobre dicha cara. Esta superficie fue destinada posteriormente para la evaluación de la dureza superficial. La cara opuesta, correspondiente a la zona que permaneció en contacto con la platina de vidrio, se utilizó para la determinación de la dureza profunda. Finalizada la preparación de los especímenes, las muestras fueron analizadas mediante un durómetro marca GOYOJO, equipo empleado para la medición de la microdureza de las resinas compuestas.
- A3: Este grupo estuvo conformado por 8 cilindros elaborados con resina Filtek™ One Bulk Fill. Para la confección de las muestras, la resina fue colocada directamente en el molde metálico dispuesto sobre una platina de vidrio, realizando la inserción del material en una sola maniobra. Posteriormente, se ubicó una tira de celuloide sobre la superficie superior del espécimen y se efectuó la fotopolimerización durante 40 segundos sobre dicha cara. Esta superficie fue considerada para la evaluación de la dureza superficial. En contraste, la cara opuesta de la muestra, correspondiente a la zona que estuvo en contacto con la platina de vidrio, fue destinada a la

medición de la dureza profunda. Una vez concluidas las etapas de confección y fotopolimerización, las muestras fueron sometidas al análisis de microdureza utilizando un durómetro marca GOYOJO, equipo empleado para la obtención de los valores correspondientes.

- Grupo B: subdividido en:
 - B1: Este grupo estuvo integrado por 8 cilindros confeccionados con resina Opus Bulk Fill APS. La elaboración de los especímenes se realizó colocando el material directamente dentro del molde metálico dispuesto sobre una platina de vidrio, aplicando la totalidad de la resina en un único incremento. Posteriormente, se colocó una tira de celuloide sobre la superficie superior de cada muestra y se procedió a la fotopolimerización durante 20 segundos sobre dicha cara. Esta superficie fue designada para la evaluación de la dureza superficial. Por su parte, la cara opuesta, correspondiente a la zona que permaneció en contacto con la platina de vidrio durante la confección, se utilizó para la determinación de la dureza profunda. Finalmente, las muestras fueron trasladadas al durómetro marca GOYOJO, equipo empleado para la medición de la microdureza de los especímenes mediante el ensayo correspondiente.
 - B2: Este grupo estuvo conformado por 8 cilindros elaborados con resina Opus Bulk Fill APS. Para la preparación de las muestras, la resina fue colocada directamente en el molde metálico ubicado sobre una platina de vidrio, realizando la inserción del material en un único incremento. A continuación, se colocó una tira de celuloide sobre la superficie superior de cada espécimen y se efectuó la fotopolimerización durante 30 segundos sobre dicha cara. Esta superficie fue posteriormente utilizada para la evaluación de la dureza superficial. La cara opuesta de la muestra, correspondiente a la zona que estuvo en contacto con la platina de vidrio, se destinó a la medición de la dureza profunda. Una vez completado el proceso de confección y polimerización, los especímenes fueron analizados mediante un durómetro marca GOYOJO, equipo utilizado para determinar los valores de microdureza de las resinas estudiadas.

- B3: El último grupo se conformó por 8 cilindros elaborados con resina Opus Bulk Fill APS. Para la preparación de las muestras, la resina fue colocada directamente en el molde metálico ubicado sobre una platina de vidrio, realizando la inserción del material en un único incremento. A continuación, se colocó una tira de celuloide sobre la superficie superior de cada espécimen y se efectuó la fotopolimerización durante 40 segundos sobre dicha cara. Esta superficie fue posteriormente utilizada para la evaluación de la dureza superficial. La cara opuesta de la muestra, correspondiente a la zona que estuvo en contacto con la platina de vidrio, se destinó a la medición de la dureza profunda. Una vez completado el proceso de confección y polimerización, los especímenes fueron analizados mediante un durómetro marca GOYOJO, equipo utilizado para determinar los valores de microdureza de las resinas estudiadas.

4.2. Instrumentos

- a) Ficha de observación y recolección de datos

TABLA 3: Instrumento documental

Marca de Resina		
Muestra	Tiempo de polimerización	Microdureza
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

5. PLAN DE ANÁLISIS

TABLA 4 Análisis estadístico

Variable	Tipo	Escala de Medición	Medidas Estadísticas	Pruebas estadísticas
Microdureza	Experimental, prospectivo, transversal y comparativo	De Razón (HV)	Media aritmética, desviación estándar, valores mínimo/máximo	Anova Tukey

6. CONSIDERACIONES ÉTICAS

En el presente estudio, las consideraciones éticas se orientaron hacia la honestidad científica, el manejo apropiado de los insumos y la transparencia en los procedimientos empleados. Aunque la investigación no involucra participantes humanos ni animales, se reconocen principios fundamentales como el respeto a la rectitud científica, la claridad en la exposición de los datos y la probidad intelectual en el análisis de los hallazgos. Todos los procedimientos y métodos aplicados se ajustan a normativas internacionales, sin alteración ni fabricación de datos, lo que asegura la reproducibilidad y validez del estudio. Se declara la ausencia de conflictos de interés con empresas patrocinadoras o proveedoras de materiales, así como la inexistencia de vínculos comerciales con los fabricantes.

La investigación se desarrolló conforme a los principios de las buenas prácticas científicas, empleando instrumentos de medición validados, garantizando una documentación rigurosa de los procedimientos y una presentación veraz de los resultados, sin omisión de limitaciones o hallazgos adversos. Se reconoce debidamente la autoría de materiales o equipos de terceros, respetando los derechos de autor y la normativa de propiedad intelectual vigente. Finalmente, el estudio contará con la aprobación de un comité de ética institucional de ser requerido, y fue conducido bajo principios éticos propios de una investigación sin riesgo para seres humanos ni animales.

7. RECURSOS

7.1. Recursos Humanos

- Investigador: Tatiana Fiorella Málaga Fuentes
- Asesor: Dr. Marco Antonio Zevallos Chávez
- Investigador asociado: Ing. Guido Quispe Ampuero

7.2. Recursos económicos

La totalidad de los medios económicos, materiales, técnicos y humanos necesarios para llevar a cabo todas las fases del presente estudio —desde el diseño inicial y la preparación de los ensayos de laboratorio hasta la recolección, el procesamiento, el análisis de los datos y la elaboración del informe final— han sido asumidos, costeados y gestionados de manera directa y exclusiva por la propia investigadora principal, sin recibir financiación externa, patrocinios, ayudas institucionales, subvenciones de organismos públicos o privados. En consecuencia, cualquier gasto derivado de la adquisición de materiales de consumo, equipos de laboratorio, reactivos, instrumentos de medición, software especializado, publicación de resultados u otros conceptos vinculados al desarrollo del proyecto ha sido solventado íntegramente por la investigadora con sus propios medios personales o patrimoniales. Esta circunstancia implica, asimismo, que la investigadora ha debido asumir la responsabilidad plena sobre la planificación, la administración del presupuesto disponible, la búsqueda de soluciones ante posibles limitaciones de recursos y la optimización de los mismos para garantizar la viabilidad y el cumplimiento de los objetivos científicos planteados.

7.3. Recursos institucionales

Laboratorios institucionales de la Universidad Católica de Santa María
Laboratorios de la Universidad Nacional de San Agustín

8. CRONOGRAMA

TABLA 5 Cronograma

Tiempo Actividades	2025				2026								
	Diciembre				Enero			Febrero			Marzo		
	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Presentación de plan de tesis													
Marco Teórico y parte experimental													
Resultados													
Presentación de borrador de tesis													
Sustentación													



CAPÍTULO III

RESULTADOS

TABLA 6 Normalidad

RESINA ONE BULK FILL 3M	SHAPIRO – WILK		Muestras
	Valor	P	
	DUREZA SUPERFICIAL		
20 segundos	0,949	0,703	8
30 segundos	0,963	0,836	8
40 segundos	0,914	0,381	8
	DUREZA PROFUNDA		
20 segundos	0,936	0,576	8
30 segundos	0,910	0,356	8
40 segundos	0,951	0,723	8

* Estructura de datos

Tras la aplicación de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk a los datos obtenidos de la resina Filtek One Bulk Fill 3M, se puede observar que la totalidad de los valores de P resultantes son superiores a 0,05. Este hallazgo permite concluir que los datos registrados durante el estudio siguen una distribución normal, cumpliendo así con uno de los supuestos fundamentales para la aplicación de pruebas estadísticas de carácter paramétrico.

FIGURA 1 ONE BULK FILL 3M. Normalidad

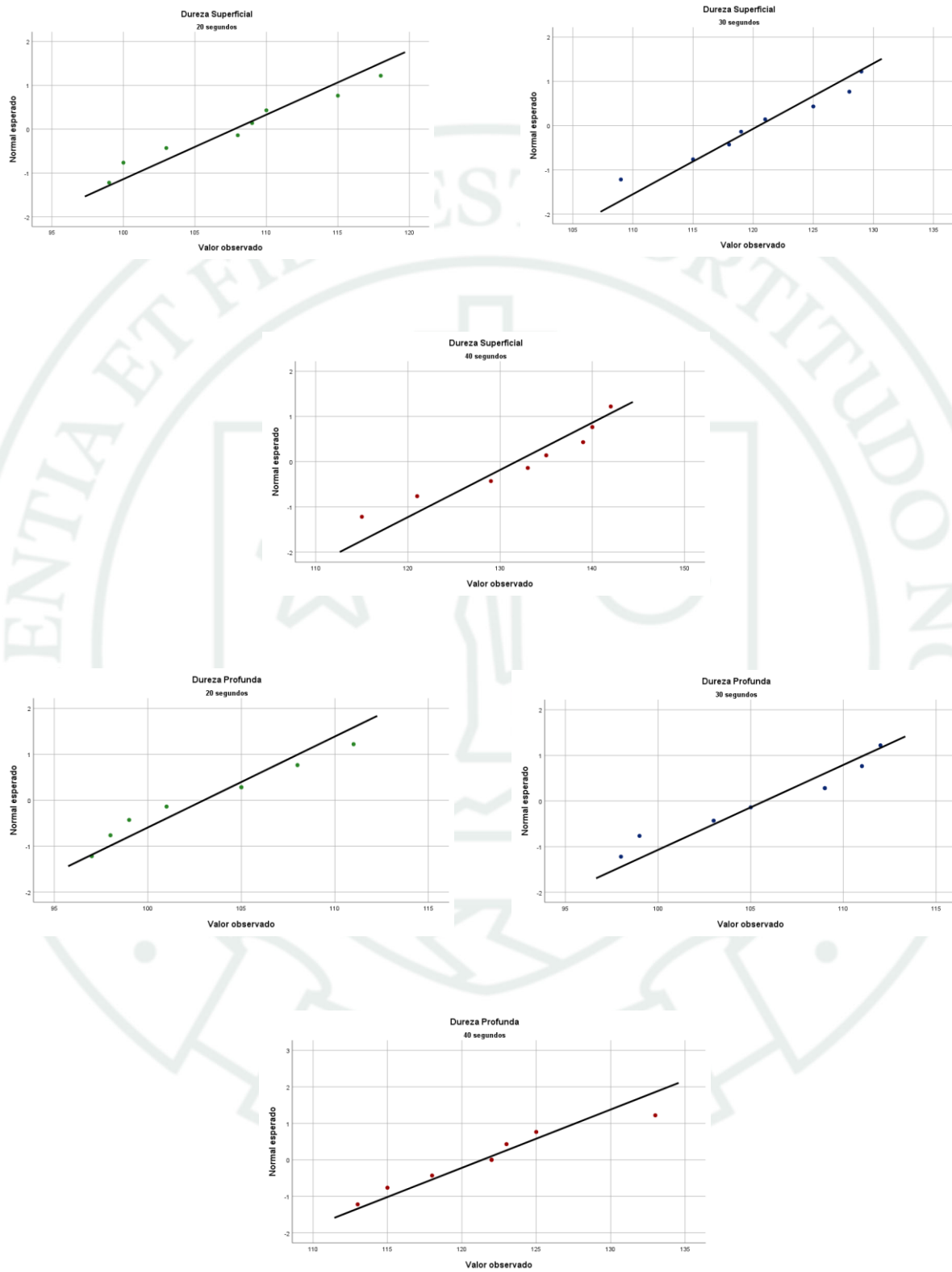


TABLA 7 Normalidad

RESINA OPUS BULK FILL APS	SHAPIRO – WILK		Muestras
	Valor	P	
	DUREZA SUPERFICIAL		
20 segundos	0,944	0,655	8
30 segundos	0,963	0,841	8
40 segundos	0,935	0,560	8
	DUREZA PROFUNDA		
20 segundos	0,892	0,245	8
30 segundos	0,933	0,542	8
40 segundos	0,985	0,982	8

* Estructura de datos

De igual manera, en el caso de la resina Opus Bulk Fill APS, los valores obtenidos mediante la prueba de Shapiro-Wilk resultaron superiores a 0,05. De acuerdo con los criterios interpretativos de dicho test, este resultado confirma que los datos presentan una distribución normal, lo que justifica y respalda el empleo de pruebas estadísticas de naturaleza paramétrica como primera línea de análisis para el procesamiento de los datos obtenidos.

FIGURA 2 OPUS BULK FILL APS. Normalidad

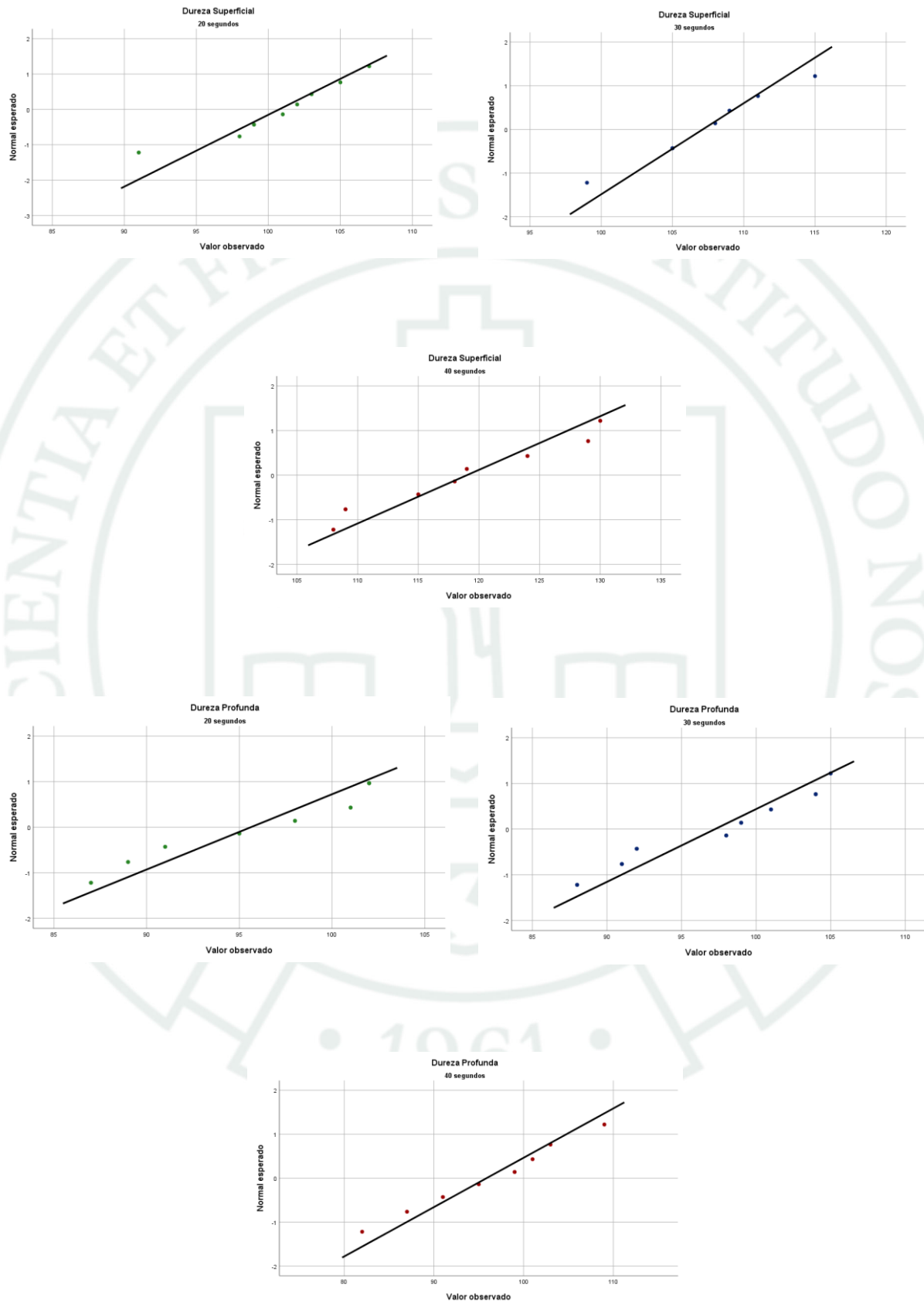


TABLA 8 Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 20 segundos

ONE BULK FILL 3M 20 segundos	Dureza	
	Superficial	Profunda
Media Aritmética (Promedio)	107,75	103,00
Desviación Estándar	6,79	5,04
Valor Mínimo	99	97
Valor Máximo	118	111
Muestras	8	8

* Estructura de datos

En la primera table de descripción o distribución de los datos se observa que en el caso de la resina Filtek™ One Bulk Fill (3M), tras 20 segundos de fotopolimerización, las durezas promedio obtenidas fueron de 107,75 HV para la dureza superficial, mientras que la dureza profunda presentó un promedio de 103,00 HV (Vickers)

FIGURA 3 Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 20 segundos

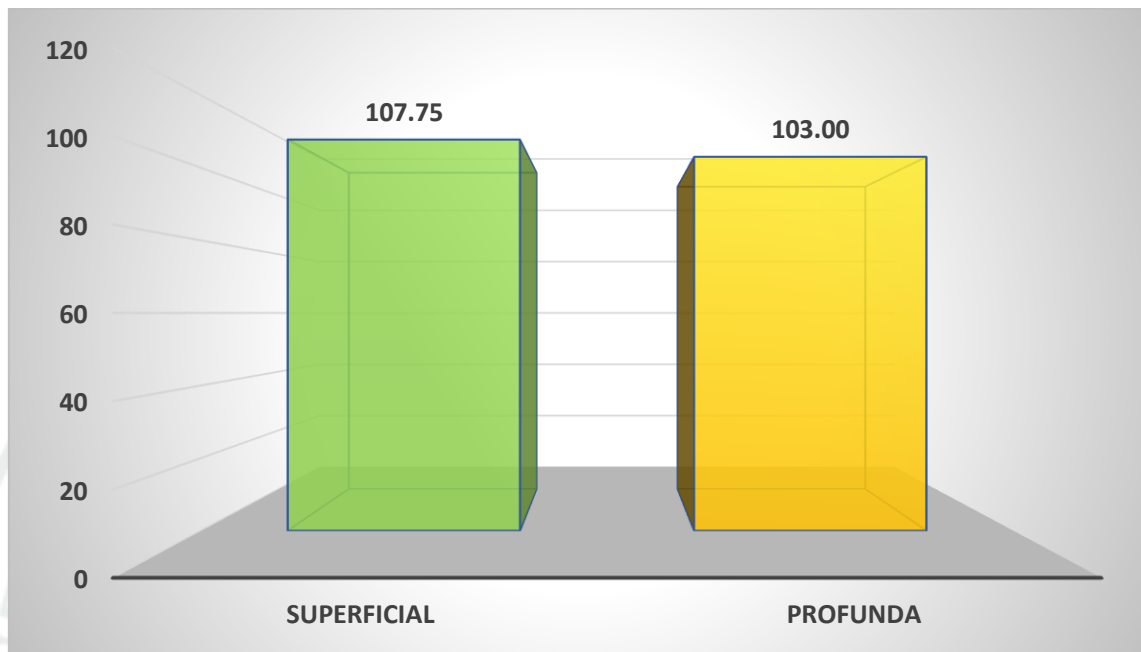


TABLA 9 Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 30 segundos

ONE BULK FILL 3M 30 segundos	Dureza	
	Superficial	Profunda
Media Aritmética (Promedio)	120,50	105,75
Desviación Estándar	6,76	5,36
Valor Mínimo	109	98
Valor Máximo	129	112
Muestras	8	8

* Estructura de datos

La presente tabla exhibe los valores promedio de dureza registrados en la resina Filtek™ One Bulk Fill (3M) tras ser sometida a un tiempo de fotopolimerización de 30 segundos. Los resultados evidencian que la dureza superficial promedio alcanzó un valor de 120,50 HV, en tanto que la dureza profunda obtuvo un promedio de 105,75 HV, ambos expresados en la escala Vickers.

FIGURA 4 Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 30 segundos

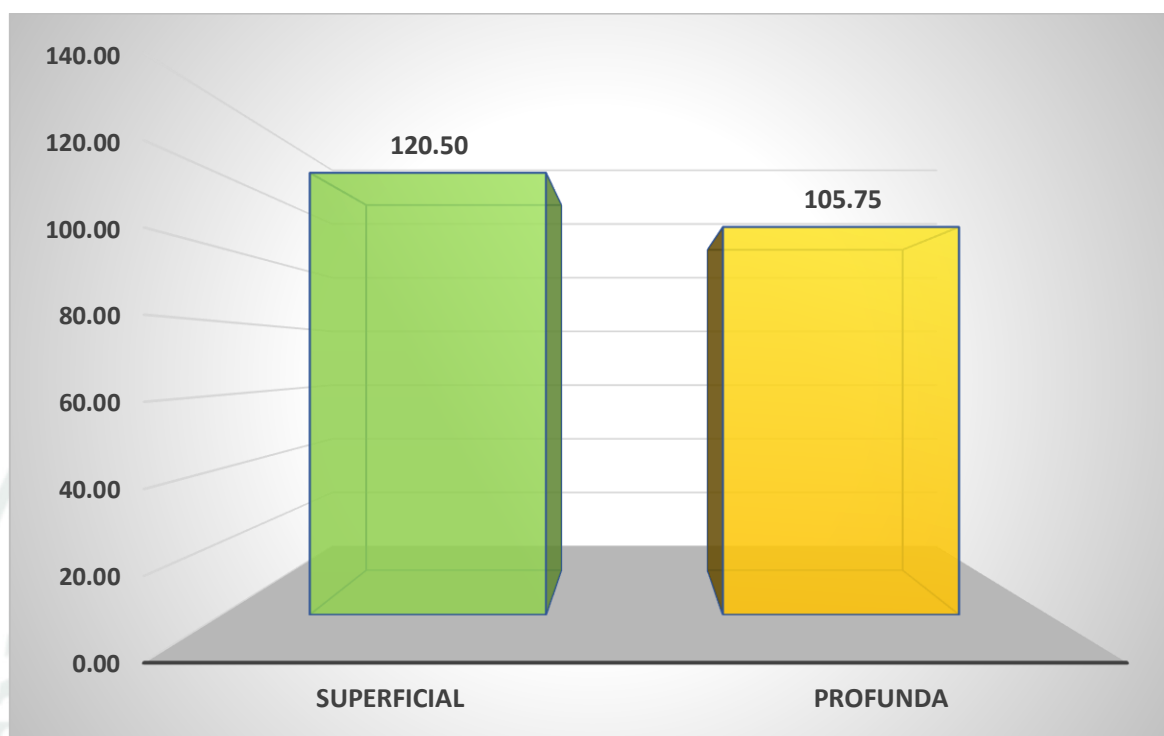


TABLA 10 Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 40 segundos

ONE BULK FILL 3M 40 segundos	Dureza	
	Superficial	Profunda
Media Aritmética (Promedio)	131,75	121,38
Desviación Estándar	9,57	6,25
Valor Mínimo	115	113
Valor Máximo	142	133
Muestras	8	8

* Estructura de datos

Finalmente, tras someter la resina Filtek™ One Bulk Fill a un tiempo de fotopolimerización de 40 segundos, los resultados obtenidos revelaron que la dureza superficial promedio alcanzó un valor de 131,75 HV, con un valor mínimo registrado de 115 HV y un valor máximo de 142 HV. En lo que respecta a la dureza profunda, se obtuvo un promedio de 121,38 HV, con valores mínimos de 113 HV y máximos de 133 HV, todos expresados en la escala Vickers.

FIGURA 5 Dureza Superficial y Profunda. ONE BULK FILL 3M. 40 segundos

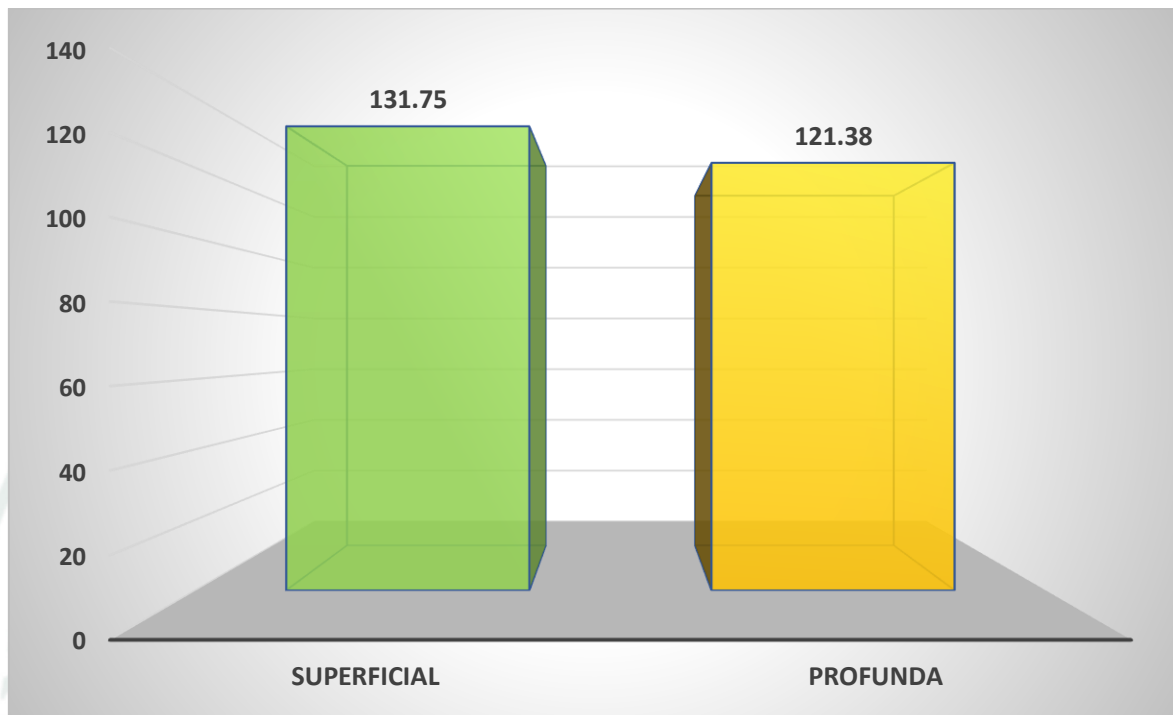


TABLA 11 Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 20 segundos

OPUS BULK FILL APS 20 segundos	Dureza	
	Superficial	Profunda
Media Aritmética (Promedio)	100,75	95,63
Desviación Estándar	4,92	6,04
Valor Mínimo	91	87
Valor Máximo	107	102
Muestras	8	8

* Estructura de datos

Al examinar los resultados obtenidos con la resina Opus Bulk Fill APS, la presente tabla evidencia que, tras un tiempo de fotopolimerización de 20 segundos, dicho material registró una dureza superficial promedio de 100,75 HV, en tanto que la dureza profunda alcanzó un valor promedio de 95,63 HV, ambos expresados en la escala Vickers.

FIGURA 6 Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 20 segundos

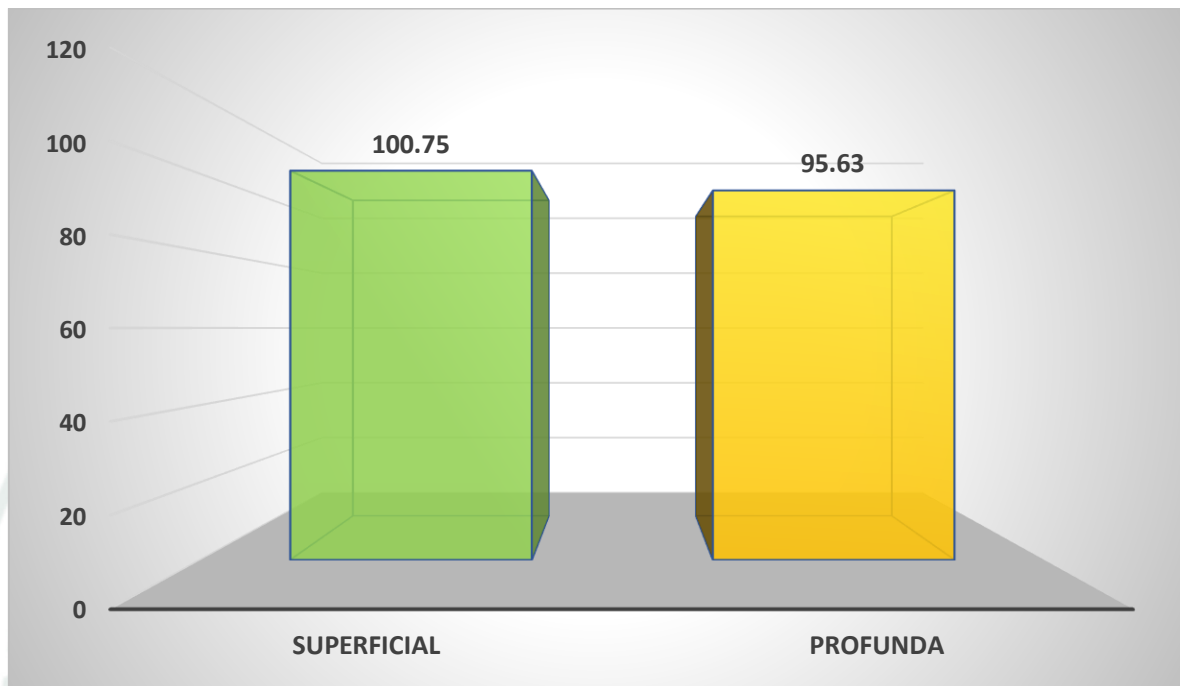


TABLA 12 Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 30 segundos

OPUS BULK FILL APS 30 segundos	Dureza	
	Superficial	Profunda
Media Aritmética (Promedio)	107,13	97,25
Desviación Estándar	4,79	6,27
Valor Mínimo	99	88
Valor Máximo	115	105
Muestras	8	8

* Estructura de datos

La presente tabla descriptiva muestra los valores promedio de dureza registrados en la resina Opus Bulk Fill APS tras ser sometida a un tiempo de fotopolimerización de 30 segundos. Los resultados indican que la dureza superficial promedio alcanzó un valor de 107,13 HV, mientras que la dureza profunda obtuvo un promedio de 97,25 HV, ambos expresados en la escala Vickers.

FIGURA 7 Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 30 segundos

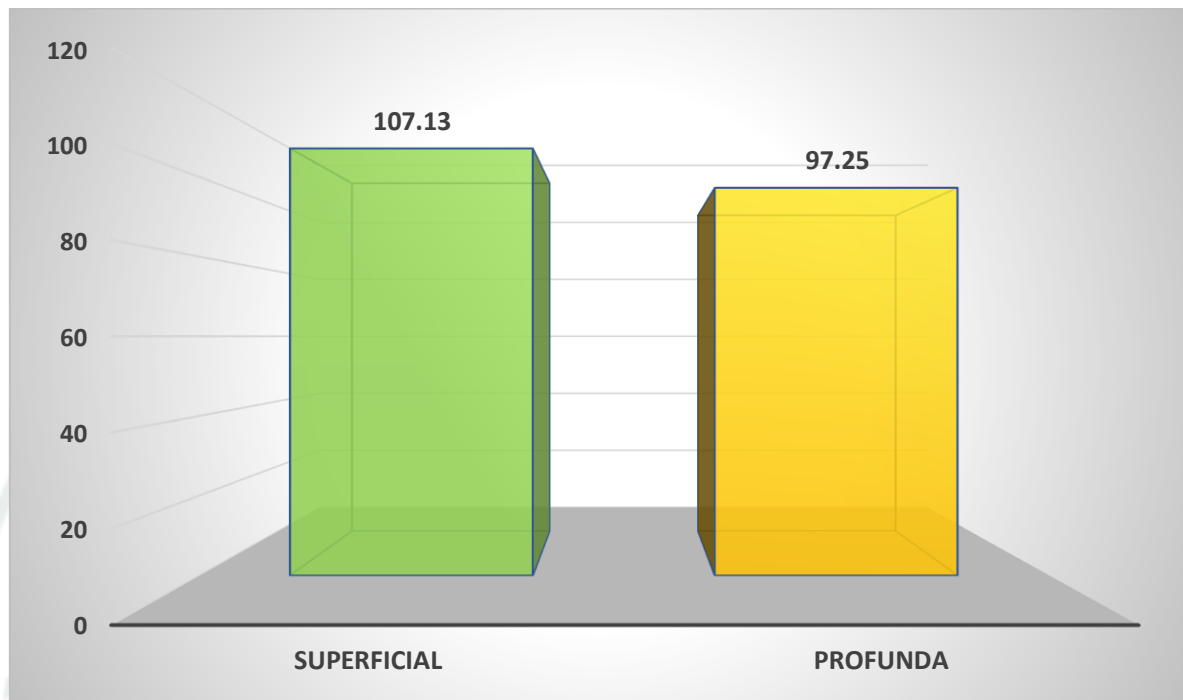


TABLA 13 Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 40 segundos

OPUS BULK FILL APS 40 segundos	Dureza	
	Superficial	Profunda
Media Aritmética (Promedio)	119,00	95,88
Desviación Estándar	8,31	8,90
Valor Mínimo	108	82
Valor Máximo	130	109
Muestras	8	8

* Estructura de datos

Finalmente, al concluir con las tablas descriptivas de dureza para ambas resinas, se observa que la dureza superficial promedio de la resina Opus Bulk Fill APS, tras 40 segundos de fotopolimerización, fue de 119,00 HV. Por su parte, la dureza profunda presentó un promedio de 95,88 HV (Vickers).

FIGURA 8 Dureza Superficial y Profunda. OPUS BULK FILL APS. 40 segundos

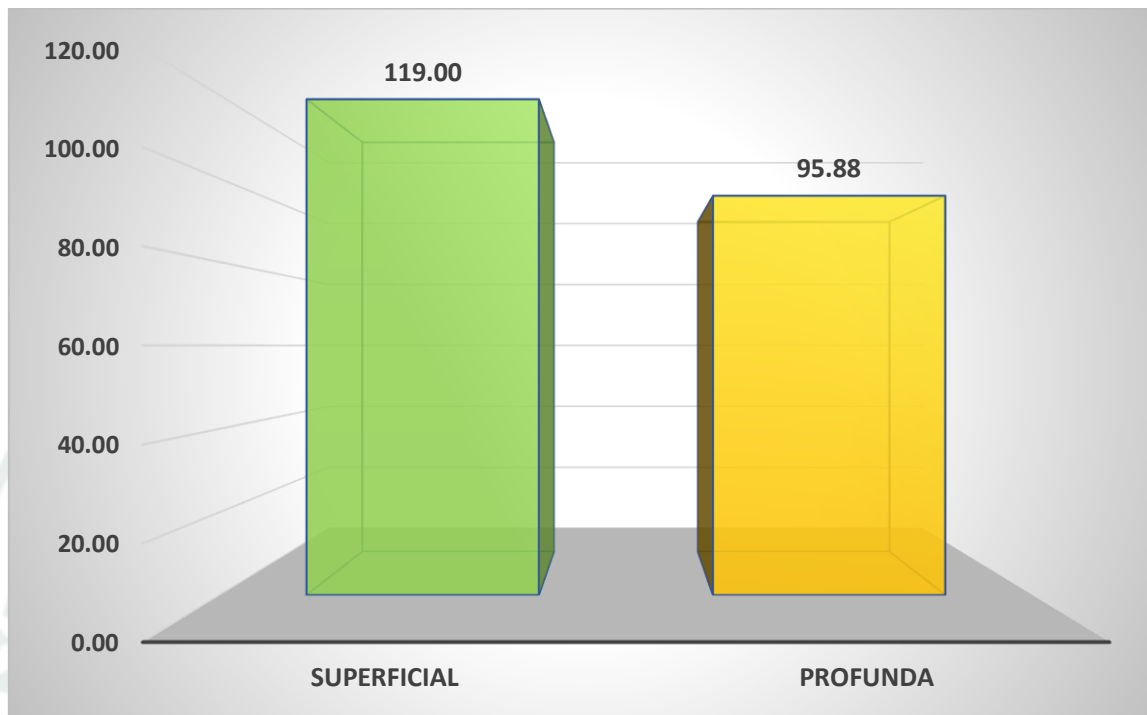


TABLA 14 Influencia de tiempo. Dureza superficial. ONE BULK FILL 3M

ONE BULK FILL 3M Dureza Superficial	Tiempo		
	20 segundos (A1)	30 segundos (A2)	40 segundos (A3)
Media Aritmética (Promedio)	107,75	120,50	131,75
Desviación Estándar	6,79	6,76	9,57
Valor Mínimo	99	109	115
Valor Máximo	118	129	142
Total Muestras	8	8	8

* Estructura de datos

P = 0,000 (P < 0,05) S.S.**A1 < A2 < A3**

La presente tabla de análisis estadístico expone la influencia del tiempo de fotopolimerización sobre la dureza superficial de la resina Filtek One Bulk Fill (3M), estableciendo una comparación entre los tres tiempos de exposición empleados en el estudio. Con este propósito, se aplicó la prueba estadística de Análisis de Varianza (ANOVA), mediante la cual se obtuvo un valor de $P = 0,000$, resultado que indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos evaluados. Posteriormente, se llevó a cabo la prueba post hoc de Tukey, cuyos resultados permitieron determinar que la dureza registrada a los 40 segundos fue la más elevada (131,75 HV), seguida por la correspondiente a los 30 segundos (120,50 HV), siendo ambas superiores a la dureza obtenida con un tiempo de polimerización de 20 segundos (107,75 HV).

FIGURA 9 Influencia de tiempo. Dureza superficial. ONE BULK FILL 3M

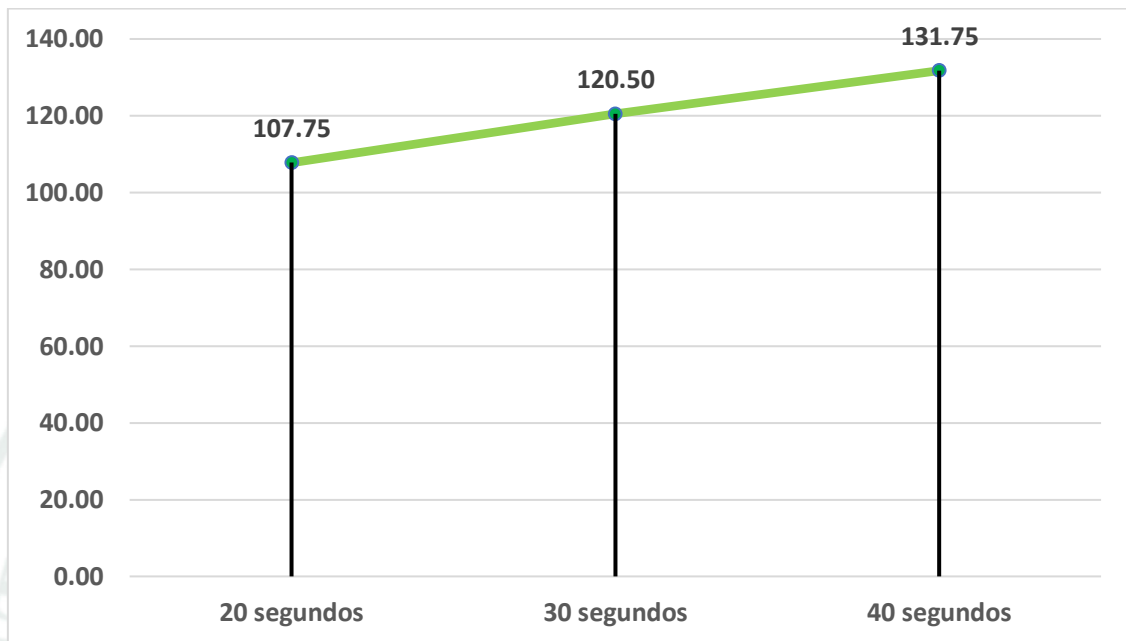


TABLA 15 Influencia de tiempo. Dureza profunda. ONE BULK FILL 3M

ONE BULK FILL 3M Dureza Profunda	Tiempo		
	20 segundos (A1)	30 segundos (A2)	40 segundos (A3)
Media Aritmética (Promedio)	103,00	105,75	121,38
Desviación Estándar	5,04	5,36	6,25
Valor Mínimo	97	98	113
Valor Máximo	111	112	133
Total Muestras	8	8	8

* Estructura de datos

P = 0,000 (P < 0,05) S.S.**A1 = A2 < A3**

La presente tabla refleja la influencia ejercida por el tiempo de fotopolimerización sobre la dureza profunda de la resina Filtek™ One Bulk Fill (3M). A través del análisis de varianza (ANOVA), se obtuvo un valor de $P = 0,000$, lo que confirma la presencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos analizados. Complementariamente, la aplicación de la prueba post hoc de Tukey permitió establecer que la dureza profunda alcanzó su valor más alto a los 40 segundos (121,38 HV), superando a la registrada a los 30 segundos (105,75 HV), siendo ambas superiores a la obtenida a los 20 segundos de polimerización, la cual correspondió a 103,00 HV, todos los valores expresados en la escala Vickers.

FIGURA 10 Influencia de tiempo. Dureza profunda. ONE BULK FILL 3M

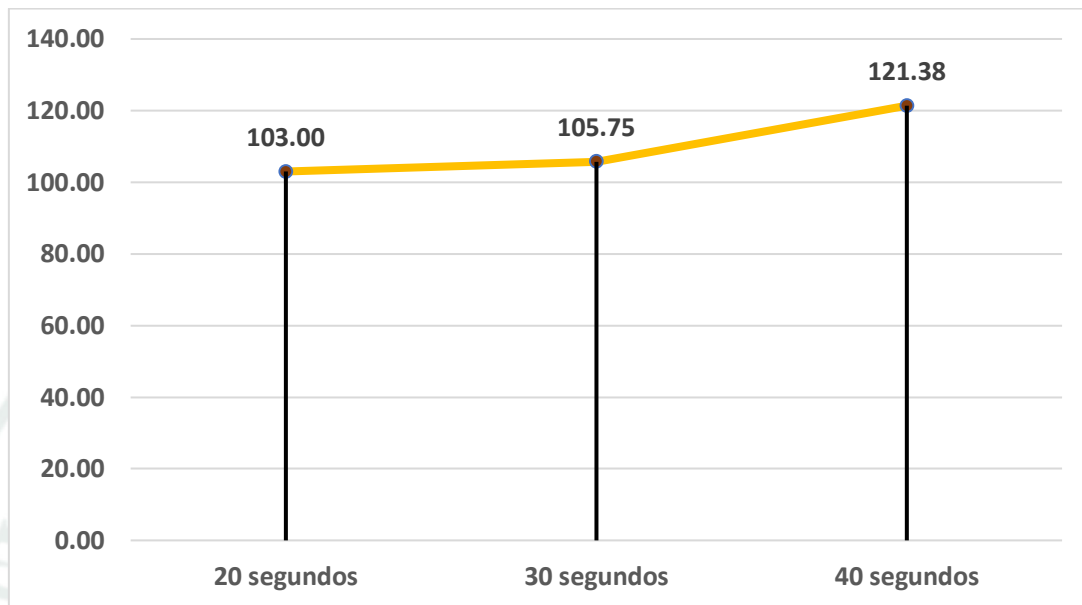


TABLA 16 Influencia de tiempo. Dureza superficial. OPUS BULK FILL APS

OPUS BULK FILL 3M Dureza Superficial	Tiempo		
	20 segundos (B1)	30 segundos (B2)	40 segundos (B3)
Media Aritmética (Promedio)	100,75	107,13	119,00
Desviación Estándar	4,92	4,79	8,31
Valor Mínimo	91	99	108
Valor Máximo	107	115	130
Total Muestras	8	8	8

* Estructura de datos

P = 0,000 (P < 0,05) S.S.**B1 = B2 < B3**

La Tabla 15, mediante la aplicación del análisis de varianza (ANOVA), evidencia la influencia del tiempo de fotopolimerización sobre la dureza superficial de la resina Opus Bulk Fill APS, confirmando la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos de tiempo evaluados. La posterior aplicación de la prueba post hoc de Tukey permitió establecer que a los 40 segundos la dureza superficial alcanzó un valor de 119,00 HV, resultado significativamente superior al obtenido a los 20 y 30 segundos. Entre estos dos últimos tiempos no se registraron diferencias significativas, con valores de 100,75 HV y 107,13 HV respectivamente, ambos expresados en la escala Vickers.

FIGURA 11 Influencia de tiempo. Dureza superficial. OPUS BULK FILL APS

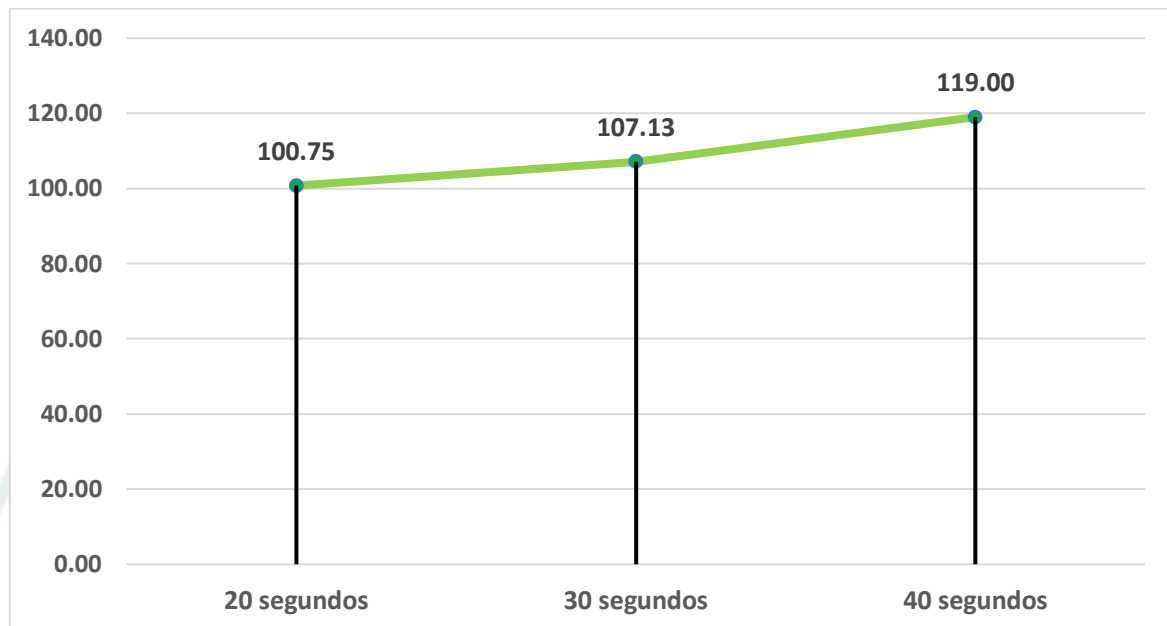


TABLA 17 Influencia de tiempo. Dureza profunda. OPUS BULK FILL APS

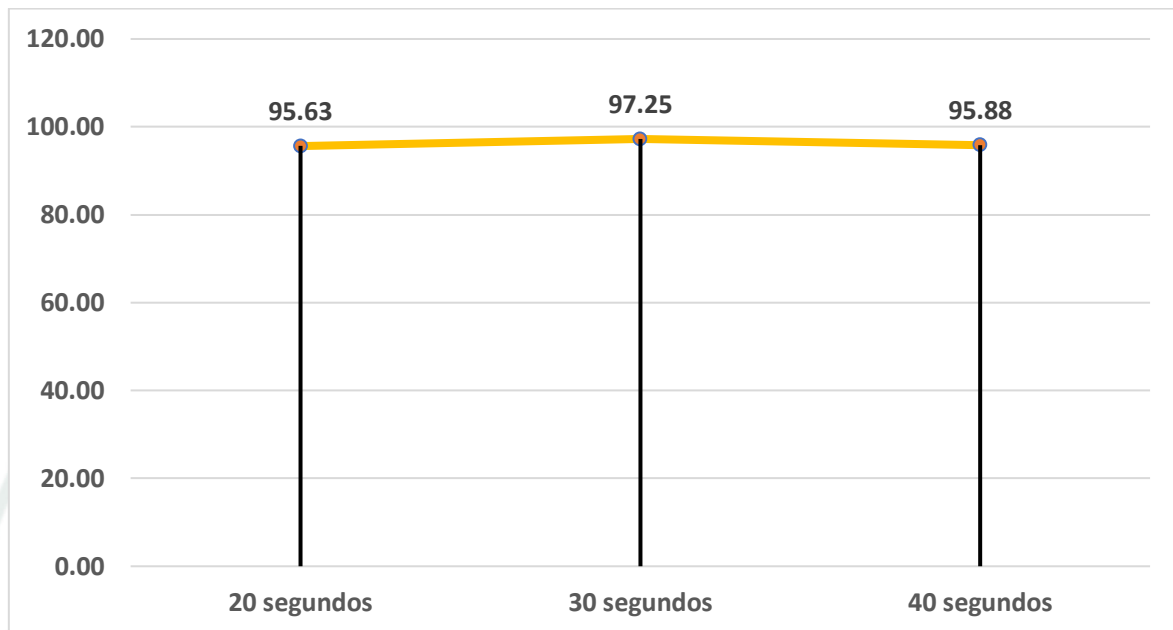
OPUS BULK FILL 3M Dureza Profunda	Tiempo		
	20 segundos (B1)	30 segundos (B2)	40 segundos (B3)
Media Aritmética (Promedio)	95,63	97,25	95,88
Desviación Estándar	6,04	6,27	8,90
Valor Mínimo	87	88	82
Valor Máximo	102	105	109
Total Muestras	8	8	8

* Estructura de datos

P = 0,889 (P ≥ 0,05) N.S.

La tabla final del estudio presenta la influencia del tiempo de fotopolimerización sobre la dureza profunda de la resina Opus Bulk Fill APS. A través del análisis de varianza (ANOVA), se determinó la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos comparados, obteniéndose un valor de $P = 0,889$. Si bien se pudo constatar que la dureza profunda de la resina Opus resultó inferior en comparación con su dureza superficial, no se evidenciaron variaciones significativas al contrastar los resultados obtenidos a los 20, 30 y 40 segundos de polimerización.

FIGURA 12 Influencia de tiempo. Dureza profunda. OPUS BULK FILL APS



DISCUSIÓN

En relación con el objetivo principal del estudio, orientado a determinar la influencia del tiempo de polimerización sobre la dureza superficial y profunda de ambas resinas, y considerando los objetivos e interrogantes planteados, es posible afirmar que la hipótesis de investigación ha sido corroborada. Si bien la dureza profunda de la resina Opus Bulk Fill APS no evidenció diferencias estadísticamente significativas, en la totalidad de los demás grupos evaluados sí se registraron variaciones de relevancia estadística. Estos resultados confirman que el tiempo de fotopolimerización constituye un factor determinante que incide de manera directa sobre la microdureza superficial y profunda de las resinas Bulk Fill analizadas en el presente estudio.

Este estudio evaluó directamente el impacto de la duración de la polimerización en la dureza superficial y subsuperficial de dos resinas nanohíbridas Bulk Fill, revelando que un tiempo de fotocurado prolongado aumenta notablemente la microdureza en la mayoría de los grupos. Este hallazgo coincide con el precedente inicial de Ecuador, que sugiere que la profundidad de polimerización está influenciada por la irradiación y la duración de la exposición. No obstante, mientras el antecedente corresponde a una revisión sistemática que compara resinas Bulk Fill con convencionales y analiza la profundidad de polimerización de manera general, mi investigación aporta evidencia primaria in vitro centrada en dos marcas específicas y evalúa tanto dureza superficial como profunda, mostrando además que la respuesta al tiempo de polimerización no es uniforme entre materiales.

En nuestra investigación se observó cómo el tiempo de polimerización (20, 30 y 40 segundos) influye en la dureza superficial y profunda de las dos resinas nanohíbridas Bulk Fill, encontrando que el incremento del tiempo de fotocurado mejora significativamente la microdureza en la mayoría de los casos, lo cual coincide con el antecedente de la Universidad Autónoma de Puebla (2024), donde se demuestra que la profundidad de curado depende directamente de la intensidad y del tiempo de exposición, estableciendo además que intensidades menores requieren mayores tiempos para alcanzar una adecuada polimerización. Sin embargo, mientras dicho antecedente centra su análisis en comparar distintas unidades de fotocurado y en calcular la potencia necesaria para lograr una correcta profundidad de curado bajo norma ISO 4049, nuestro estudio se enfoca específicamente en el comportamiento mecánico de dos marcas comerciales Bulk Fill, evaluando la dureza como indicador indirecto del grado de polimerización; asimismo, a diferencia del antecedente que prioriza la variable

tecnológica (lámparas y potencia), nuestra investigación resalta que incluso con mayor tiempo de polimerización la respuesta puede variar según la resina, evidenciando que no todos los materiales reaccionan de manera uniforme ante el aumento del tiempo de fotopolimerización.

Nuestra investigación coincide con el antecedente de Colombia del 2009 en que el incremento del tiempo de fotopolimerización eleva proporcionalmente la microdureza superficial de las resinas compuestas, validando que una mayor exposición optimiza la conversión de monómeros. Sin embargo, nos distanciamos de dicho estudio al emplear tecnologías de última generación tipo Bulk Fill, las cuales permiten mayores espesores de incremento que las resinas convencionales Z250 y Charisma evaluadas en el antecedente.

Nuestra investigación se alinea estrechamente con el estudio de la UNMSM (2019), utilizando la microdureza superficial y profunda como parámetros para evaluar el grado de conversión y la eficacia de la fotopolimerización. Coincidimos en que la tecnología de las unidades de luz y las características del material afectan el comportamiento mecánico; sin embargo, mientras que el estudio anterior se centró en comparar tipos de lámparas (LED de segunda y tercera generación) con resinas nanorellenas convencionales (Z350 XT y Tetric N-Ceram), mi investigación enfatiza el impacto del factor temporal específicamente en las resinas de relleno a granel. Una diferencia significativa es que, si bien el estudio anterior utilizó la resina de relleno a granel solo como control, mi investigación reveló que la duración de la exposición afecta la dureza de estas resinas. En consecuencia, aunque la investigación anterior indica que la potencia de la lámpara determina la dureza interna, mis resultados indican que, en las resinas de relleno a granel, la duración de la exposición es el componente crítico para lograr una polimerización adecuada.

El presente trabajo coincide con el estudio de Tacna (2017) al confirmar que las propiedades físicas de las resinas Bulk Fill están condicionadas a factores de fotoactivación externos, aunque se diferencian en las variables. Mientras el antecedente empleó el método ISO 4049 para demostrar que la profundidad de polimerización disminuye significativamente al aumentar la distancia de la fuente de luz (0, 4 y 8 mm), nuestro trabajo se enfoca en el impacto del tiempo de exposición (20, 30 y 40 segundos) sobre la microdureza en espesores constantes. Una diferencia metodológica y de resultados sustancial es que, mientras el estudio de Tacna reporta una mayor eficacia a 0 mm bajo un tiempo fijo de 10 segundos, mis hallazgos revelan que el tiempo de polimerización influye de manera desigual según la marca comercial.

En el presente estudio, si bien comparto con el antecedente el interés por evaluar la resina Filtek™ Bulk Fill y el uso de la prueba estadística ANOVA para el análisis de datos, mi investigación se distingue fundamentalmente por su enfoque y diseño experimental. Mientras que el trabajo de Arequipa del 2018 se centró en una comparación transversal de la microdureza superficial entre diferentes tipos de resinas (Bulk Fill, microhíbrida y nanohíbrida) bajo condiciones iguales de polimerización, mi estudio profundiza en el comportamiento de una sola categoría de materiales (resinas nanohíbridas Bulk Fill) y aborda una variable del procedimiento clínico: el tiempo de fotopolimerización. A diferencia del antecedente, que evaluó la superficie externa de las muestras, nosotros analizamos tanto la dureza superficial como la profunda, lo que permitió descubrir un comportamiento diferencial en la resina Opus Bulk Fill APS, que mantuvo su dureza profunda independientemente del tiempo aplicado.

Desde la aparición de las resinas de relleno en bloque Bulk Fill (BF), que utilizan un enfoque incremental único o en bloque para aplicar un espesor de hasta 4-5 mm, se ahorra tiempo en restauraciones clínicas, manteniendo las cualidades intrínsecas de la resina compuesta. Son superiores a la resina tradicional en términos de eficiencia en restauraciones. Es importante destacar que la técnica de colocación en bloque único puede utilizarse de diversas maneras. En la mayoría de los casos, se recomienda para la zona posterior porque permite realizar tratamientos en menor tiempo y esto es ideal para casos de pacientes con problemas o miedo al tratamiento dental, como son niños, adultos con ansiedad o pacientes con condiciones especiales (ejemplo: autismo).

CONCLUSIONES

PRIMERA

En lo que respecta a la resina Filtek™ One Bulk Fill (3M) se observa una dureza superficial promedio de 107,75 HV y una dureza profunda de 103,00 HV tras 20 segundos de fotopolimerización.

SEGUNDA

Se concluye que, al incrementar el tiempo de fotopolimerización a 30 segundos, la resina Filtek™ One Bulk Fill exhibe una microdureza superficial promedio de 120,50 HV y una dureza profunda de 105,75 HV.

TERCERA

Finalmente, tras un tiempo de exposición de 40 segundos, la resina Filtek™ One Bulk Fill alcanza su máxima eficiencia mecánica, registrando una microdureza superficial promedio de 131,75 HV y una dureza profunda de 121,38 HV.

CUARTA

Pasando al caso de la resina Opus Bulk Fill APS (FGM) se observa que, tras 20 segundos de fotoactivación, la microdureza superficial promedio fue de 100,75 HV, mientras que la dureza profunda en promedio fue de 95,63 HV.

QUINTA

En el caso de aplicar 30 segundos de fotopolimerización, la resina Opus Bulk Fill APS exhibe una microdureza superficial promedio de 107,13 HV y una dureza profunda de 97,25 HV.

SEXTA

Por último, tras 40 segundos de fotopolimerización, la resina Opus Bulk Fill APS alcanza una microdureza superficial promedio de 119,00 HV, mientras que la dureza profunda promedio se sitúa en 95,88 HV.

SÉPTIMA

Se concluye que el tiempo de fotopolimerización ejerce una influencia directamente proporcional sobre la microdureza de las resinas Bulk Fill evaluadas, incrementando sus valores conforme aumenta el tiempo de exposición. Si bien la resina Opus Bulk Fill APS fue más estable en lo que se refiere a la dureza profunda independientemente del tiempo, el resto de los grupos presentaron diferencias significativas entre los 20, 30 y 40 segundos. Estos hallazgos permiten corroborar la hipótesis de investigación.

RECOMENDACIONES

1. A partir de la evidencia obtenida, se recomienda extender los tiempos de fotopolimerización más allá de los mínimos indicados por los fabricantes al utilizar resinas de tecnología Bulk Fill. Dado que se ha demostrado una correlación directamente proporcional entre la duración de la exposición y el incremento de la microdureza, tanto superficial como profunda.
2. Se recomienda a los futuros investigadores desarrollar estudios que evalúen otros tiempos de exposición y diversas unidades de fotopolimerización. Asimismo, se sugiere ampliar el análisis hacia otras marcas comerciales de resinas Bulk Fill y contrastarlas con resinas convencionales de nanorelleno y nanohíbridas; esto permitirá corroborar si la tendencia observada en este estudio sobre el aumento de la dureza depende solo del tiempo o intervienen otros factores.
3. Se recomienda a los profesionales odontológicos mantener una actualización continua sobre el desarrollo de nuevos materiales restauradores, específicamente respecto a las resinas de incremento en bloque (Bulk Fill). El dominio de los protocolos de fotopolimerización y las especificaciones técnicas de estas nuevas tendencias es fundamental para garantizar el éxito clínico de las restauraciones, y así ofrecer a los pacientes tratamientos con mayor eficacia y longevidad.
4. Finalmente, se recomienda a los fabricantes de materiales dentales, simplificar la comunicación técnica de las propiedades físicas y mecánicas de sus nuevos sistemas restauradores. Es fundamental que las especificaciones de fotopolimerización y las características críticas de las resinas Bulk Fill se presenten mediante protocolos claros y directos, que faciliten su correcta interpretación y aplicación clínica por parte del profesional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ríos-Angulo CM MPD. Resinas compuestas Bulk-Fill, innovación, controversias y evidencia científica. *Revista Medica Trujillana*. 2025; 5(1).
2. Hidalgo-García V HGCSRM. Evaluación del tiempo de exposición de una resina Bulk-Fill en la microdureza superficial. *Revista Estomatológica Herediana*. 2022; 32(1).
3. Mantilla G RA. El Convenio de Minamata y su impacto en la práctica odontológica contemporánea. *Revista Facultad de Odontología. Universidad Antioquía*. 2022; 34(1).
4. García-Adámez R. Adhesión dental: del grabado total a los adhesivos universales. Una revisión de la literatura 2019-2024. *Avances en Odontoestomatología*. 2024; 40(1).
5. Sánchez-Martín J ea. Resistencia y estética en vitrocerámicas reforzadas con disilicato de litio: revisión de la última década. *Revista Española Odontoestomatológica de Implantes*. 2022; 30(3).
6. Pérez-Díaz M ea. Evolución del circonio en prótesis fija: de la estructura opaca a la translucidez multicapa. *Revista Internacional de Prótesis Estomatológica*. 2023; 25(2).
7. Torres-Rivas G. Materiales dentales bioactivos: ¿El fin de la era de los materiales inertes? *Revista de la Asociación Dental Mexicana*. 2021; 78(5).
8. Jiménez-Gómez. Odontología digital: impacto de los sistemas CAD/CAM en las propiedades físicas de los materiales restauradores. *The Journal of the American Dental Association (Edición española)*. 2024; 15(1).
9. Hervás-García A MLMCGG. Clasificación actual de los sistemas restauradores directos: una revisión de la literatura. *Revista Española Odontoestomatológica de Implantes*. 2022; 30(2).
10. López-Galeano A MGS. Restauraciones directas con resinas compuestas: protocolos actuales para el éxito clínico. *Revista Científica Odontológica*. 2023; 19(1).
11. Torres-Rivas G. El papel de los ionómeros de vidrio y materiales bioactivos en la odontología mínimamente invasiva. *Revista Asociación Dental Mexicana*. 2021; 78(3).

12. García-Adámez R. Restauraciones indirectas: del laboratorio al CAD/CAM. Revista Científica Española Avances en Odontoestomatología. 2024; 40(2).
13. Pérez-Díaz M ea. Criterios de selección para restauraciones tipo Inlay, Onlay y Overlay en el sector posterior. Revista Internacional de Prótesis Estomatológica. 2023; 25(3).
14. Sánchez-Martín. Estética y función en el sector anterior: protocolos para carillas de cerámica y resina. Revista Española de Estética Dental. 2022; 14(1).
15. Jiménez-Gómez. Rehabilitación oral mediante sistemas CAD/CAM: una actualización sobre materiales y técnicas. The Journal of the American Dental Association (Edición española). 2024; 15(2).
16. Mantilla G RA. Biomecánica del diente tratado endodónticamente: ¿Cuándo elegir una restauración indirecta? Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia. 2025; 36(1).
17. Nocchi Conceição E. Odontología restauradora. Salud y estética. 2nd ed. Frydman ADCMyJ, editor. Buenos Aires: EDITORIAL MÉDICA PANAMERICANA, S.A.C.F.; 2007.
18. Henostroza G. Adhesión en Odontología Restauradora. Primera ed. Curitiba - Paraná - Brasil: Editora Maio; 2003.
19. Anusavice KJ. Phillips. Ciencia de los materiales dentales. Undécima Edición ed. Madrid: Elsevier España S.A.; 2004.
20. Macchi RL. Materiales Dentales. Cuarta ed.: Editorial Médica Panamericana; 2004.
21. Lanata EJ. Atlas de Operatoria Dental. Primera ed. Buenos Aires: Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A.; 2008.
22. Coronel CD. "Todo lo que debes saber sobre resinas dentales". 2024 Agosto.
23. Villegas Castaño H SSESMP. Clasificación y características de las resinas compuestas utilizadas en odontología restauradora. Revista Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquía. 2024; 35(1).

24. Rodríguez-Farfán L GGJ. Resinas Bulk Fill en odontopediatría: eficiencia y predictibilidad. Revista Estomatológica Herediana. 2025; 35(1).
25. ESPE 3. 3M™ Filtek™ One Restaurador Bulk Fill. 3M, "Ciencia. Aplicada a la vida.", ESPE. 2019.
26. Group FD. Opus Bulk Fill APS. FGM Dental Group. 2025.
27. Rivelli M PM. Conceptos básicos para la toma de decisiones clínicas que impactan en la calidad de la fotopolimerización. Revista Facultad Odontología UBA. 2025; 96.
28. Price RB FJSA. Light-curing units: a review of what we need to know. Dental Materials. 2020; 36(9).
29. Association AD. Dental curing lights. In ADA; 2024; Chicago.
30. Cadenaro M MTCAea. The role of polymerization in resin-based composites. Dental Materials. 2020; 36(9).
31. AlShaafi MM. Factors affecting polymerization of resin-based composites: a literature review. The Saudi Dental Journal. 2021; 33(7).
32. Ilie N SJ. Current trends in resin-based dental materials and curing technology. Dental Materials. 2022; 38(6).
33. Alvarez JT. "Evaluación in vitro de la microdureza superficial de una resina compuesta microhíbrida, una resina compuesta fluida y un cemento ionómero vítreo de restauración frente a la acción de una bebida carbonatada". Tesis para título profesional. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela Académico Profesional de Odontología; 2002.
34. Mas López AC. "Efecto erosivo valorado a través de la microdureza superficial del esmalte dentario, producido por tres bebidas industrializadas de alto consumo en la ciudad de Lima. Estudio in vitro". Tesis para título profesional. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Odontología; 2002.
35. Amambal Altamirano J. "Estudio In Vitro del efecto erosivo de las bebidas industrializadas en el esmalte de dientes permanentes humanos". Tesis para título

- profesional. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Odontología; 2013.
36. David SMJLM. "EFECTOS DE LAS BEBIDAS GASEOSAS SOBRE ALGUNAS RESINAS COMPUESTAS". Revista Científica Odontológica. 2013 Diciembre; 9(2).
37. Willian Rodríguez PMSJAPOGO. Profundidad de polimerización de las resinas Bulk Fill: una revisión sistemática. Revista Facultad de Odontología, Universidad Católica de Cuenca. 2022; 32(2).
38. LÓPEZ SDM. Profundidad de curado de la resina compuesta con distintas unidades de fotocurado dental con tiempos de polimerización calculados vs estandarizados. Licenciada en Odontoestomatología. Puebla: CHABENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA, FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA; 2024.
39. Jose David Ruan Antury OMGCGJADLAR. Efecto del tiempo de exposición sobre la eficacia de polimerización con unidades equipadas con luz emitida por diodos-LED's. Revista Colombiana de Investigación en Odontología. 2009; 1(1).
40. PALOMINO HH. Comparación de la profundidad de polimerización y grado de conversión de resinas compuestas usando dos unidades de luz visible. Tesis para optar el Grado Académico de Magíster en Estomatología. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Odontología; 2019.
41. MARÍN HURTADO RE. Relación entre la profundidad de polimerización de resina compuesta nanohíbrida Bulk Fill, y las diferentes distancias de foto activación. Tesis para Título Profesional. Tacna: Universidad Alas Peruanas, ESCUELA PROFESIONAL DE ESTOMATOLOGIA; 2017.
42. Virginia SZX. Microdureza superficial de tres resinas dentales, resina Bulk Fill, resina microhíbrida y resina nanohíbrida. Tesis para optar el Título Profesional de: Cirujano Dentista. Arequipa: Universidad Católica de Santa María, Facultad de Odontología; 2018.
43. Hervás García Adela MLMACVJBEAFGP. "Resinas compuestas: Revisión de los materiales e indicaciones clínicas". Med. oral patol. oral cir.bucal (Internet. 2006 Abril; 11(2).

44. Rodríguez-Farfán L GGJ. Desempeño clínico de las restauraciones de amalgama de plata: una revisión sistemática. *Revista Estomatológica Herediana*. 2021; 31(4).
45. López-Galeano A MGS. Avances en la composición de resinas compuestas de última generación: de la nanotecnología a la bioactividad. *Revista Científica Odontológica*. 2023; 19(2).





FICHA 1 Resina ONE Bulk Fill 3M

N° de muestra	Tiempo de Polimerización	Dureza Superficial (HV)	Dureza Profunda (HV)
1	20 seg.	103	98
2	20 seg.	108	101
3	20 seg.	99	105
4	20 seg.	100	97
5	20 seg.	110	99
6	20 seg.	109	105
7	20 seg.	118	108
8	20 seg.	115	111

N° de muestra	Tiempo de Polimerización	Dureza Superficial (HV)	Dureza Profunda (HV)
1	30 seg.	121	105
2	30 seg.	115	99
3	30 seg.	125	109
4	30 seg.	109	111
5	30 seg.	118	103
6	30 seg.	128	98
7	30 seg.	129	109
8	30 seg.	119	112

N° de muestra	Tiempo de Polimerización	Dureza Superficial (HV)	Dureza Profunda (HV)
1	40 seg.	135	122
2	40 seg.	129	118
3	40 seg.	133	115
4	40 seg.	140	133
5	40 seg.	139	113
6	40 seg.	121	122
7	40 seg.	115	125
8	40 seg.	142	123

FICHA 2 Resina OPUS Bulk Fill APS

N° de muestra	Tiempo de Polimerización	Dureza Superficial (HV)	Dureza Profunda (HV)
1	20 seg.	99	98
2	20 seg.	101	95
3	20 seg.	103	101
4	20 seg.	98	102
5	20 seg.	91	91
6	20 seg.	102	87
7	20 seg.	105	89
8	20 seg.	107	102

N° de muestra	Tiempo de Polimerización	Dureza Superficial (HV)	Dureza Profunda (HV)
1	30 seg.	105	99
2	30 seg.	108	91
3	30 seg.	105	92
4	30 seg.	99	88
5	30 seg.	109	101
6	30 seg.	111	105
7	30 seg.	105	98
8	30 seg.	115	104

N° de muestra	Tiempo de Polimerización	Dureza Superficial (HV)	Dureza Profunda (HV)
1	40 seg.	109	101
2	40 seg.	115	109
3	40 seg.	119	99
4	40 seg.	118	95
5	40 seg.	124	87
6	40 seg.	108	103
7	40 seg.	129	91
8	40 seg.	130	82

FICHA 3 Certificados de Dureza



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 : HR1 ST. conversión a HV
MUESTRAS : RESINA FILTEK ONE BULK FILL 3M
NUMERO DE MUESTRAS : Total 24
SOLICITANTE : Tatiana Málaga Fuentes

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

RESINA ONE BULK FILL 3M

Escala N° Muestra	A1		A2		A3	
	20 segundos		30 segundos		40 segundos	
	Superficial	Profunda	Superficial	Profunda	Superficial	Profunda
1	103	98	121	105	135	122
2	108	101	115	99	129	118
3	99	105	125	109	133	115
4	100	97	109	111	140	133
5	110	99	118	103	139	113
6	109	105	128	98	121	122
7	118	108	129	109	115	125
8	115	111	119	112	142	123

Observaciones:

Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante

Arequipa, 28 de enero del 2026


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

Ing. Guido Quispe Ampuero
CIP 103532



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 : HR1 ST. conversión a HV
MUESTRAS : RESINA OPUS BULK FILL APS
NUMERO DE MUESTRAS : Total 24
SOLICITANTE : Tatiana Málaga Fuentes

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

RESINA OPUS BULK FILL APS

Escala N° Muestra	A1		A2		A3	
	20 segundos		30 segundos		40 segundos	
	Superficial	Profunda	Superficial	Profunda	Superficial	Profunda
1	99	98	105	99	109	101
2	101	95	108	91	115	109
3	103	101	105	92	119	99
4	98	102	99	88	118	95
5	91	91	109	101	124	87
6	102	87	111	105	108	103
7	105	89	105	98	129	91
8	107	102	115	104	130	82

Observaciones:

Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante

Arequipa, 28 de enero del 2026


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

Ing. Guido Quispe Ampuero
CIP 103532

FICHA 4 Dictamen comité de ética



**Universidad
Católica de
Santa María**

Investigadora
Tatiana Fiorella Málaga Fuentes

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, 11 marzo 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: “Influencia del tiempo de polimerización en la dureza superficial y profunda de dos resinas nanohíbridas Bulk Fill. Arequipa 2025”.

INVESTIGADORA: Tatiana Fiorella Málaga Fuentes.

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

OBJETIVO: La investigación tiene como objetivo: Evaluar si existe influencia directa de los distintos tiempos de fotopolimerización en la dureza tanto superficial como profunda de las dos marcas de resina del estudio.

PROCEDIMIENTOS: Análisis laboratorial.

SUJETOS DE ESTUDIO: Resinas nanohíbridas Bulk Fill.

RIESGO DEL ESTUDIO: Mínimo.

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



DICTAMEN:



DICTAMEN FAVORABLE 121 - 2026 CIEI-UCSM

VIGENCIA: La aprobación tiene vigencia desde la emisión del presente dictamen hasta el 11 de marzo de 2027.

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

Arequipa, 11 marzo 2026

SECUENCIA GRÁFICA

IMAGEN 1 Preparación de muestras

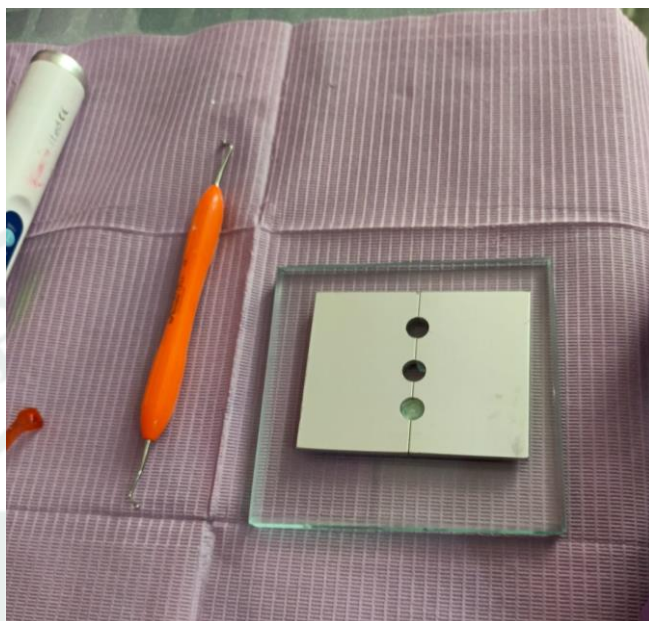


IMAGEN 2 Preparación de muestras



IMAGEN 3 Preparación de muestras

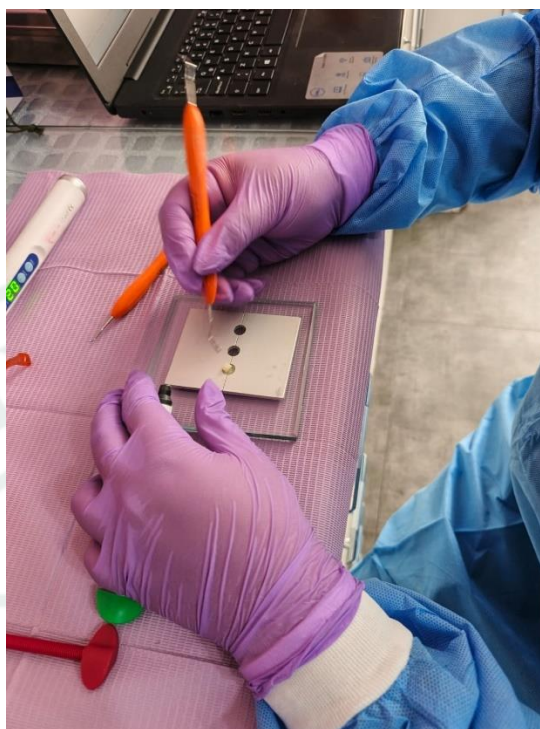


IMAGEN 4 Preparación de muestras



IMAGEN 5 Preparación de muestras



IMAGEN 6 Preparación de muestras

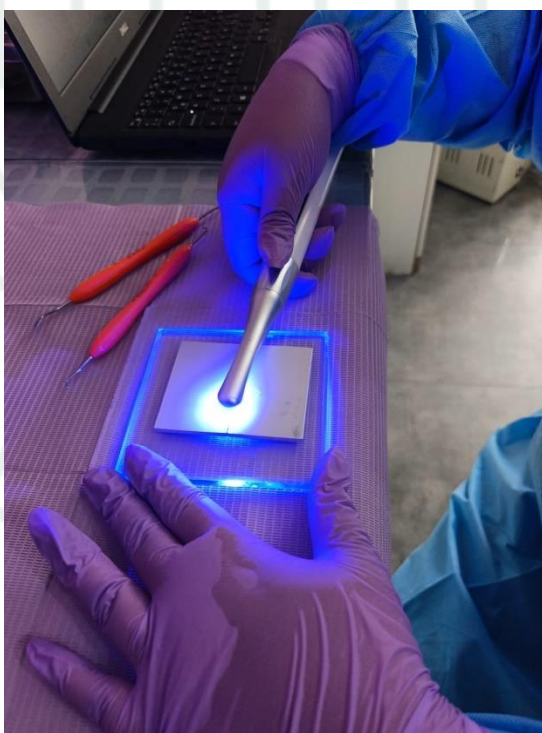


IMAGEN 7 Preparación de muestras



IMAGEN 8 Preparación de muestras



IMAGEN 9 Preparación de muestras



IMAGEN 10 Preparación de muestras



IMAGEN 11 Preparación de muestras

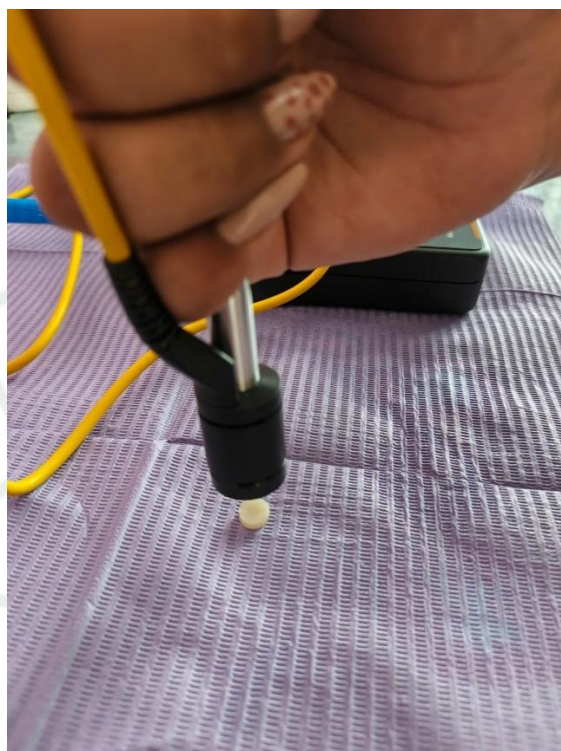


IMAGEN 12 Durómetro GOYOJO



IMAGEN 13 Filtek ONE Bulk Fill 3M



IMAGEN 14 OPUS Bulk Fill APS

