

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE ODONTOLOGÍA



T E S I S

**Dureza superficial de tres resinas compuestas a diferentes densidades
de potencia, Pasco- 2025**

Para optar el título profesional de:
Cirujano Dentista

Autor:

Bach. Leo Anthony VARGAS SANCHEZ

Asesor:

Mg. Rodolfo Carlos CUEVAS MORENO

Cerro de Pasco – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE ODONTOLOGÍA



T E S I S

**Dureza superficial de tres resinas compuestas a diferentes densidades
de potencia, Pasco- 2025**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Jaime Alfredo ORTEGA ROMERO
PRESIDENTE

Mg. Jackie Marcelina ANDAMAYO FLORES
MIEMBRO

Mg. Franco Alfonso MEJIA VERASTEGUI
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Odontología
Unidad de Investigación



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 022-2026 DUI-FO/UNDAC

La Unidad de Investigación de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

VARGAS SANCHEZ, Leo Anthony

Escuela de Formación Profesional

ODONTOLOGÍA

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo:

Dureza superficial de tres resinas compuestas a diferentes densidades de potencia, Pasco- 2025

Asesor:

Mg. CUEVAS MORENO, Rodolfo Carlos

Índice de Similitud: **12%**

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 22 de setiembre del 2026.



Firmado digitalmente por
SALVATIERRA CELIS Marco Aurelio
FAU 20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.09.2026 12:43:07 -05:00

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por brindarme vida, salud, fortaleza y sabiduría para superar cada desafío y permitirme alcanzar una de las metas más importantes de mi formación profesional.

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante. Gracias por creer siempre en mí, por inculcarme valores y principios que han guiado mi camino, y por motivarme a perseverar hasta cumplir este sueño.

A mi familia, por su comprensión, paciencia y aliento durante todo este proceso académico. Su confianza y respaldo fueron fundamentales para no rendirme ante las dificultades.

A mi asesor y a mis docentes, por compartir sus conocimientos, orientación y experiencia, contribuyendo significativamente al desarrollo y culminación de esta investigación.

Finalmente, me dedico este logro a mí mismo, por el esfuerzo, la disciplina y la perseverancia demostrados a lo largo de este camino. Cada obstáculo superado representa un paso más hacia el cumplimiento de mis objetivos personales y profesionales.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional, su esfuerzo diario y los sacrificios que hicieron posible que pudiera cumplir mis sueños. Cada logro que alcanzo lleva su huella.

A mis hermanas, por su compañía, aliento y palabras de apoyo en los momentos difíciles. Su presencia constante fue una fuente de fortaleza a lo largo de esta etapa.

A mis abuelos, por su sabiduría, sus enseñanzas de vida y el amor con el que siempre me han cobijado. Su ejemplo de perseverancia y honestidad es una guía permanente en mi camino.

A mis tía, por su cálido apoyo, sus consejos oportunos y por creer siempre en mí. Su cariño ha sido un impulso invaluable durante toda mi formación profesional.

RESUMEN

El presente estudio experimental tuvo como propósito determinar el efecto de la densidad de potencia de fotopolimerización sobre la dureza superficial Vickers de tres resinas compuestas: Filtek Z350 XT, Tetric N-Ceram y Forma. Se empleó un diseño factorial 3×3, evaluando tres densidades de potencia (275, 500 y 600 mW/cm²) durante 20 segundos. Se confeccionaron noventa especímenes estandarizados (7 mm × 2 mm), distribuidos en nueve grupos con diez réplicas. La dureza se midió mediante microdurómetro Vickers tras 24 horas de almacenamiento a 37 °C.

El ANOVA factorial reveló efectos altamente significativos de la densidad de potencia ($F = 31.49$; $p < 0.001$; $\eta^2p = 0.438$) y del tipo de resina ($F = 37.34$; $p < 0.001$; $\eta^2p = 0.480$), así como interacción significativa entre ambos factores ($F = 2.77$; $p = 0.033$; $\eta^2p = 0.120$). La irradiancia de 275 mW/cm² produjo valores de dureza considerablemente inferiores (media global = 36.81 HV), mientras que 500 y 600 mW/cm² generaron resultados superiores sin diferencias entre sí ($p = 0.883$), sugiriendo un umbral óptimo alrededor de 500 mW/cm².

Filtek Z350 XT presentó la mayor dureza global (62.94 HV) con respuesta monotónica ascendente. Tetric N-Ceram mostró comportamiento intermedio y estable, alcanzando saturación polimérica a densidades intermedias. Forma evidenció el patrón más atípico, con valores extremadamente bajos a 275 mW/cm² (24.97 HV; DE = 15.71) y comportamiento no monotónico con máximo a 500 mW/cm² (53.83 HV) y disminución a 600 mW/cm² (47.09 HV), atribuible a fotoiniciadores alternativos y sobrecurado.

Se concluye que la densidad de potencia afecta significativamente la dureza superficial, pero dicho efecto depende del material. La irradiancia de 275 mW/cm² resultó insuficiente para los tres composites, mientras que 500 mW/cm² se perfila como umbral generalmente óptimo. Estos hallazgos evidencian la necesidad de individualizar los protocolos de fotocurado según el material empleado.

Palabras clave: resinas compuestas, fotopolimerización, densidad de potencia, dureza superficial Vickers, Filtek Z350 XT, Tetric N-Ceram, Forma, grado de conversión.

ABSTRACT

The present experimental study aimed to determine the effect of photopolymerization power density on the Vickers surface hardness of three composite resins: Filtek Z350 XT, Tetric N-Ceram, and Forma. A 3×3 factorial design was employed, evaluating three power densities (275, 500, and 600 mW/cm²) during 20 seconds of exposure. Ninety standardized specimens (7 mm × 2 mm) were fabricated, distributed into nine groups with ten replicates each. Hardness was measured using a Vickers microhardness tester after 24 hours of storage in darkness and dry conditions at 37 °C.

Two-way factorial ANOVA revealed highly significant effects of power density ($F = 31.49$; $p < 0.001$; $\eta^2p = 0.438$) and resin type ($F = 37.34$; $p < 0.001$; $\eta^2p = 0.480$), as well as a significant interaction between both factors ($F = 2.77$; $p = 0.033$; $\eta^2p = 0.120$). The irradiance of 275 mW/cm² produced considerably lower hardness values (global mean = 36.81 HV), whereas 500 and 600 mW/cm² yielded superior results with no differences between them ($p = 0.883$), suggesting an optimal threshold around 500 mW/cm².

Filtek Z350 XT exhibited the highest global hardness (62.94 HV) with a monotonic ascending response. Tetric N-Ceram showed intermediate and stable behavior, reaching polymeric saturation at intermediate densities. Forma displayed the most atypical pattern, with extremely low values at 275 mW/cm² (24.97 HV; SD = 15.71) and non-monotonic behavior with maximum hardness at 500 mW/cm² (53.83 HV) and decreased hardness at 600 mW/cm² (47.09 HV), attributable to alternative photoinitiators and overcuring phenomena.

It is concluded that power density significantly affects surface hardness, but this effect depends on the specific material. The irradiance of 275 mW/cm² was insufficient for all three composites, whereas 500 mW/cm² emerges as a generally optimal threshold. These findings highlight the need to individualize photopolymerization protocols according to the specific restorative material employed.

Keywords: composite resins, photopolymerization, power density, Vickers surface hardness, Filtek Z350 XT, Tetric N-Ceram, Forma, degree of conversion.

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de la odontología restauradora, las resinas compuestas representan uno de los materiales más utilizados para la rehabilitación estética y funcional de las piezas dentarias, debido a sus propiedades físicas, mecánicas y ópticas favorables. El desarrollo constante de nuevas formulaciones, sistemas de relleno y tecnologías de fotopolimerización ha permitido mejorar significativamente el desempeño clínico de estos biomateriales, incrementando su longevidad y predictibilidad terapéutica. No obstante, el éxito de una restauración con resina compuesta no depende únicamente de la composición del material, sino también de la calidad del proceso de fotopolimerización al que es sometida durante su colocación clínica. La fotopolimerización constituye una etapa crítica en la obtención de propiedades mecánicas adecuadas, ya que mediante este proceso los monómeros presentes en la matriz orgánica de la resina se transforman en una estructura polimérica tridimensional capaz de soportar las cargas funcionales del medio oral.

Diversos estudios han demostrado que factores como la intensidad luminosa, el tiempo de exposición, la distancia entre la fuente de luz y el material restaurador, el espectro de emisión de la lámpara y la densidad de potencia influyen directamente en el grado de conversión alcanzado durante la polimerización. Entre las propiedades mecánicas utilizadas para evaluar la calidad de la polimerización, la dureza superficial constituye uno de los indicadores más confiables y ampliamente empleados en investigaciones odontológicas. Esta propiedad permite estimar indirectamente el grado de conversión de los monómeros y el comportamiento mecánico final de la restauración. Se ha reportado que una polimerización insuficiente puede generar disminución de la dureza superficial, incremento del desgaste clínico, alteraciones dimensionales, mayor absorción de agua y reducción de la resistencia mecánica del material restaurador, comprometiendo su desempeño clínico a largo plazo.

En los últimos años, la introducción de lámparas LED de alta potencia ha modificado los protocolos convencionales de fotocurado, permitiendo reducir los tiempos de exposición sin afectar aparentemente la calidad de la polimerización. Sin embargo, la literatura científica muestra resultados variables respecto a la influencia de la densidad de potencia sobre las

propiedades mecánicas de diferentes resinas compuestas. Algunos estudios han evidenciado que mayores densidades de potencia favorecen un incremento en la microdureza superficial y en el grado de conversión, mientras que otras investigaciones sugieren que la respuesta puede variar según la composición química, el tipo de relleno y los fotoiniciadores presentes en cada material restaurador. Asimismo, investigaciones recientes han señalado que la densidad de potencia emitida por las unidades de fotocurado puede experimentar variaciones importantes debido a factores relacionados con la calibración del equipo, el diseño de la guía de luz y la distancia de aplicación clínica, generando diferencias significativas en las propiedades finales de las resinas compuestas.

En este contexto, las resinas compuestas Filtek Z350 XT de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent son materiales ampliamente utilizados en la práctica clínica restauradora; sin embargo, existe evidencia limitada sobre el comportamiento comparativo de su dureza superficial cuando son sometidas a diferentes densidades de potencia de fotopolimerización. La ausencia de información específica dificulta la toma de decisiones fundamentadas respecto a los protocolos de fotocurado más adecuados para cada material. No todas las resinas responden de manera uniforme frente a una misma densidad de potencia debido a diferencias en composición orgánica, contenido y tamaño de relleno, tipo de fotoiniciadores y características ópticas. En consecuencia, el efecto de la densidad de potencia podría depender del material restaurador empleado.

Por lo expuesto, surge la necesidad de desarrollar investigaciones orientadas a determinar la relación existente entre la densidad de potencia y la dureza superficial de las resinas compuestas Z350, Tetric N-Ceram y Forma, con la finalidad de aportar evidencia científica que contribuya a optimizar los procedimientos restauradores y mejorar la calidad de los tratamientos odontológicos basados en resinas compuestas. El presente estudio se justifica científicamente porque la evidencia comparativa existente resulta insuficiente para evaluar simultáneamente tres resinas compuestas comerciales bajo niveles controlados de irradiancia baja, intermedia y alta utilizando un diseño factorial estandarizado. Desde el punto de vista clínico, la correcta fotopolimerización de las resinas compuestas constituye uno de

los factores determinantes para el éxito y la durabilidad de las restauraciones dentales, y los hallazgos derivados de esta investigación permitirán proporcionar criterios objetivos para seleccionar protocolos de fotopolimerización más adecuados según el tipo de resina compuesta empleada. Socialmente, la calidad y durabilidad de las restauraciones odontológicas repercuten directamente en la salud bucal, la calidad de vida y el bienestar de la población, por lo que la generación de evidencia científica orientada a optimizar los protocolos de fotopolimerización permitirá mejorar la eficacia de los tratamientos restauradores y reducir las complicaciones asociadas a la falla temprana de las restauraciones.

El propósito de la presente investigación fue determinar el efecto de la densidad de potencia de fotopolimerización (275 mW/cm^2 , 500 mW/cm^2 y 600 mW/cm^2), aplicada durante un mismo tiempo de exposición, sobre la dureza superficial Vickers de tres resinas compuestas (Filtek Z350 XT de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent) en probetas estándar evaluadas in vitro, con el fin de aportar evidencia científica que contribuya a optimizar los procedimientos restauradores y mejorar la calidad de los tratamientos odontológicos basados en resinas compuestas.

INDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

INDICE DE TABLAS

INDICE DE GRAFICOS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	3
1.3.	Formulación del problema	4
1.3.1.	Problema general.....	4
1.3.2.	Problemas específicos	4
1.4.	Formulación de objetivos.....	4
1.4.1.	Objetivo general.....	4
1.4.2.	Objetivos específicos:	5
1.5.	Justificación de la investigación.....	5
1.6.	Limitaciones de la investigación	8

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio	10
2.2.	Bases teóricas-científicas	18
2.2.1.	Dureza superficial	18

2.2.2. Densidad de Potencia.....	19
2.2.3. Resinas Compuestas.....	20
2.2.4. Fotoiniciadores	22
2.2.5. Fotopolimerización.....	22
2.2.6. Longitud de Onda	23
2.2.7. Colimación de luz.....	24
2.2.8. Lámparas LED.....	24
2.2.9. Lámparas Halógenas.....	25
2.2.10. Radiómetro	25
2.3. Definición de términos básicos	25
2.4. Formulación de hipótesis.....	26
2.4.1. Hipótesis general	26
2.4.2. Hipótesis específicas	26
2.5. Identificación de variables	27
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	28

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación.....	30
3.2. Nivel de Investigación:.....	30
3.3. Métodos de investigación	31
3.4. Diseño de investigación.....	31
3.5. Población y muestra	33
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	34
3.8. Tratamiento estadístico	34

3.9.	Orientación ética filosófica y epistémica	35
------	---	----

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	36
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de los resultados.....	37
4.2.1.	Estadística descriptiva	37
4.2.2.	Evaluación de supuestos estadísticos.....	40
4.2.3.	Análisis de varianza factorial (ANOVA de dos vías 3×3)	40
4.2.4.	Análisis post-hoc (prueba de Tukey HSD).....	44
4.2.5.	Comparaciones entre los nueve grupos experimentales	45
4.2.6.	Análisis de sensibilidad no paramétrico	46
4.2.7.	Interpretación de los resultados	46
4.3.	Prueba de hipótesis.....	48
4.3.1.	Hipótesis general	48
4.3.2.	Hipótesis específica 1	49
4.3.3.	Hipótesis específica 2	49
4.3.4.	Hipótesis específica 3	50
4.3.5.	Hipótesis específica 4	51
4.4.	Discusión de resultados	

CONCLUSIÓN

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Estadística descriptiva de la dureza superficial Vickers (HV) por grupo experimental	37
Tabla 2. Resultados del ANOVA factorial de dos vías (3×3) para la dureza superficial Vickers.	41
Tabla 3. Comparaciones post-hoc Tukey HSD por tipo de resina compuesta (marginal). ...	44
Tabla 4. Comparaciones post-hoc Tukey HSD por densidad de potencia (marginal).	44

INDICE DE GRAFICOS

	Página
Gráfico 1. Medidas de Dureza Superficial Vickers +- Desviación Estándar	38
Gráfico 2. Distribución de la Dureza Superficial Vickers Grupo Experimental	39
Gráfico 3. Interacción: Resina X Densidad de Potencia	42
Gráfico 4. Mapa de Calor: Dureza Superficial Vickers (Media).....	43

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

En el contexto actual de la odontología restauradora, las resinas compuestas representan uno de los materiales más utilizados para la rehabilitación estética y funcional de las piezas dentarias debido a sus propiedades físicas, mecánicas y ópticas favorables. El desarrollo constante de nuevas formulaciones, sistemas de relleno y tecnologías de fotopolimerización ha permitido mejorar significativamente el desempeño clínico de estos biomateriales, incrementando su longevidad y predictibilidad terapéutica. No obstante, el éxito de una restauración con resina compuesta no depende únicamente de la composición del material, sino también de la calidad del proceso de fotopolimerización al que es sometida durante su colocación clínica.

La fotopolimerización constituye una etapa crítica en la obtención de propiedades mecánicas adecuadas, ya que mediante este proceso los monómeros presentes en la matriz orgánica de la resina se transforman en una estructura polimérica tridimensional capaz de soportar las cargas funcionales del medio oral. Diversos estudios han demostrado que factores como la intensidad luminosa, el tiempo de exposición, la distancia entre la fuente de luz y el material restaurador, el

espectro de emisión de la lámpara y la densidad de potencia influyen directamente en el grado de conversión alcanzado durante la polimerización

Entre las propiedades mecánicas utilizadas para evaluar la calidad de la polimerización, la dureza superficial constituye uno de los indicadores más confiables y ampliamente empleados en investigaciones odontológicas. Esta propiedad permite estimar indirectamente el grado de conversión de los monómeros y el comportamiento mecánico final de la restauración. Se ha reportado que una polimerización insuficiente puede generar disminución de la dureza superficial, incremento del desgaste clínico, alteraciones dimensionales, mayor absorción de agua y reducción de la resistencia mecánica del material restaurador, comprometiendo su desempeño clínico a largo plazo

En los últimos años, la introducción de lámparas LED de alta potencia ha modificado los protocolos convencionales de fotocurado, permitiendo reducir los tiempos de exposición sin afectar aparentemente la calidad de la polimerización. Sin embargo, la literatura científica muestra resultados variables respecto a la influencia de la densidad de potencia sobre las propiedades mecánicas de diferentes resinas compuestas. Algunos estudios han evidenciado que mayores densidades de potencia favorecen un incremento en la microdureza superficial y en el grado de conversión, mientras que otras investigaciones sugieren que la respuesta puede variar según la composición química, el tipo de relleno y los fotoiniciadores presentes en cada material restaurador

Asimismo, investigaciones recientes han señalado que la densidad de potencia emitida por las unidades de fotocurado puede experimentar variaciones importantes debido a factores relacionados con la calibración del equipo, el diseño de la guía de luz y la distancia de aplicación clínica, generando diferencias significativas en las propiedades finales de las resinas compuestas. Esta situación adquiere especial relevancia considerando que los fabricantes comercializan materiales restauradores

con composiciones y características estructurales diferentes, lo que podría condicionar respuestas distintas frente a una misma densidad de potencia.

En este contexto, las resinas compuestas Z350 de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent son materiales ampliamente utilizados en la práctica clínica restauradora; sin embargo, existe evidencia limitada sobre el comportamiento comparativo de su dureza superficial cuando son sometidas a diferentes densidades de potencia de fotopolimerización. La ausencia de información específica dificulta la toma de decisiones fundamentadas respecto a los protocolos de fotocurado más adecuados para cada material.

Por lo expuesto, surge la necesidad haber realizado la presente investigación orientada a determinar la relación existente entre la densidad de potencia y la dureza superficial de las resinas compuestas Z350, Tetric N-Ceram y Forma, con la finalidad de aportar evidencia científica que contribuya a optimizar los procedimientos restauradores y mejorar la calidad de los tratamientos odontológicos basados en resinas compuestas

1.2. Delimitación de la investigación

- a) Delimitación geográfica: La presente investigación fue desarrollada en el Perú, teniendo dos espacios geográficos como lugar de desarrollo: distrito de Yanacancha, provincia de Cerro de Pasco, región Pasco, donde se desarrollarán y confeccionarán las muestras, las cuales también serán testeadas en los ambientes de la facultad de odontología de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- b) Delimitación temporal: El período en el cual se desarrollará este estudio comparativo será de abril a agosto del año 2025.
- c) Delimitación conceptual: Se propone la tesis con el propósito de comparar la microdureza superficial de las resinas compuestas fotopolimerizables 3M Filtek Z350 N. Ceram de Ivoclar VivaDent, Forma de Ultradent.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la densidad de potencia de fotopolimerización (275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm²), aplicada durante un mismo tiempo de exposición, sobre la dureza superficial Vickers de tres resinas compuestas (Filtek Z350 XT de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent) en probetas estándar evaluadas in vitro?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la dureza superficial Vickers de la resina compuesta Filtek Z350 XT de 3M al ser fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm²?
- b. ¿Cuál es la dureza superficial Vickers de la resina compuesta Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent al ser fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm²?
- c. ¿Cuál es la dureza superficial Vickers de la resina compuesta Forma de Ultradent al ser fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm²?
- d. ¿Existe interacción entre el tipo de resina compuesta (Filtek Z350 XT de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent) y la densidad de potencia de fotopolimerización (275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm²) sobre la dureza superficial Vickers?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la densidad de potencia de fotopolimerización (275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm²), aplicada durante un mismo tiempo de exposición, sobre la dureza superficial Vickers de tres resinas compuestas (Filtek Z350 XT de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent) en probetas estándar evaluadas in vitro.

1.4.2. Objetivos específicos:

- a. Evaluar la dureza superficial Vickers de la resina compuesta Filtek Z350 XT de 3M fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².
- b. Evaluar la dureza superficial Vickers de la resina compuesta Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².
- c. Evaluar la dureza superficial Vickers de la resina compuesta Forma de Ultradent fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².
- d. Determinar la interacción entre el tipo de resina compuesta (Filtek Z350 XT de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent) y la densidad de potencia de fotopolimerización (275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm²) sobre la dureza superficial Vickers.

1.5. Justificación de la investigación

La presente investigación sobre la dureza superficial de tres resinas compuestas sometidas a diferentes densidades de potencia se justifica desde varias perspectivas fundamentales: científica, clínica y social. Cada una de estas dimensiones resalta la importancia del estudio y su contribución al conocimiento en odontología restauradora.

Justificación Científica

La presente investigación se justifica científicamente porque la evidencia comparativa existente resulta insuficiente para evaluar simultáneamente tres resinas compuestas comerciales bajo niveles controlados de irradiancia baja, intermedia y alta utilizando un diseño factorial estandarizado.

Comparar tres materiales comerciales bajo un diseño factorial estandarizado utilizando tres niveles controlados de irradiancia contribuirá a ampliar el conocimiento existente sobre la influencia que ejercen diferentes densidades de potencia de

fotopolimerización sobre las propiedades mecánicas de diversas resinas compuestas utilizadas en odontología restauradora. La dureza superficial constituye un indicador indirecto del grado de conversión de los monómeros y, por consiguiente, de la calidad del proceso de polimerización alcanzado por el material restaurador

En la actualidad, el desarrollo tecnológico de las unidades de fotocurado ha permitido la incorporación de lámparas LED con mayores niveles de densidad de potencia y diferentes perfiles de emisión lumínica; sin embargo, la evidencia científica disponible muestra resultados heterogéneos respecto a la respuesta de los distintos materiales restauradores frente a estas variaciones energéticas. Asimismo, se ha demostrado que factores como la distancia de irradiación, la distribución del haz luminoso, la composición química de la resina y los sistemas fotoiniciadores influyen significativamente en las propiedades finales del material.

La presente investigación permitirá generar evidencia experimental comparativa sobre el comportamiento de tres resinas compuestas ampliamente utilizadas en la práctica clínica (Filtek Z350 XT, Tetric N-Ceram y Forma) sometidas a tres densidades de potencia específicas (275, 500 y 600 mW/cm²). Los resultados obtenidos contribuirán a fortalecer la base científica existente y a optimizar los protocolos de fotopolimerización empleados en odontología restauradora.

Además, esta investigación aportará información útil para futuras investigaciones relacionadas con el grado de conversión, las propiedades mecánicas y la longevidad clínica de las restauraciones realizadas con resinas compuestas, favoreciendo el desarrollo de protocolos basados en evidencia científica.

Justificación Clínica

Desde el punto de vista clínico, la presente investigación adquiere relevancia debido a que la correcta fotopolimerización de las resinas compuestas constituye uno de los factores determinantes para el éxito y la durabilidad de las restauraciones dentales. Una polimerización insuficiente puede ocasionar disminución de la dureza

superficial, mayor desgaste clínico, alteraciones dimensionales, incremento de la absorción de agua y reducción de la resistencia mecánica del material restaurado.

Diversos estudios han demostrado que las variaciones en la densidad de potencia emitida por las unidades de fotocurado afectan directamente las propiedades físicas y mecánicas de las resinas compuestas, pudiendo comprometer la estabilidad funcional y estética de las restauraciones a largo plazo [4,5,10]. Asimismo, la distancia de aplicación de la lámpara, la homogeneidad del haz luminoso y la calibración de los equipos influyen en la cantidad de energía que recibe el material restaurador.

Los hallazgos derivados de esta investigación permitirán proporcionar criterios objetivos para seleccionar protocolos de fotopolimerización más adecuados según el tipo de resina compuesta empleada, apoyando a optimizar los procedimientos restauradores y a mejorar el desempeño clínico de los tratamientos odontológicos.

De igual manera, la información obtenida favorecerá la toma de decisiones basada en evidencia científica por parte de los profesionales odontólogos, permitiendo disminuir la probabilidad de fallas prematuras y aumentando la longevidad de las restauraciones realizadas con materiales compuestos.

Justificación social

Esta investigación posee relevancia social debido a que la calidad y durabilidad de las restauraciones odontológicas repercuten directamente en la salud bucal, la calidad de vida y el bienestar de la población. Las restauraciones deficientemente polimerizadas pueden favorecer la aparición de filtración marginal, desgaste prematuro, fracturas restauradoras y caries secundarias, incrementando la necesidad de retratamientos y los costos de atención odontológica.

La generación de evidencia científica orientada a optimizar los protocolos de fotopolimerización permitirá mejorar la eficacia de los tratamientos restauradores y reducir las complicaciones asociadas a la falla temprana de las restauraciones. Esto beneficiará tanto a los profesionales de la salud como a los pacientes, quienes recibirán tratamientos más seguros, duraderos y predecibles.

Asimismo, los resultados de esta investigación sirvan como referencia para instituciones académicas, programas de formación profesional y centros asistenciales interesados en actualizar sus protocolos clínicos y fortalecer las prácticas basadas en evidencia científica.

En consecuencia, el estudio va a contribuir indirectamente a mejorar la salud oral de la población, optimizar el uso de los recursos sanitarios y promover una atención odontológica de mayor calidad y sostenibilidad.

1.6. Limitaciones de la investigación

Existen algunas limitaciones inherentes al diseño experimental de laboratorio de esta investigación.

En primer lugar, las condiciones experimentales controladas no reproducen completamente el ambiente clínico de la cavidad oral, donde intervienen múltiples factores biológicos y funcionales, tales como la humedad, las variaciones térmicas, la acción masticatoria, los cambios de pH y la presencia de saliva, los cuales podrían influir en el comportamiento final de los materiales restauradores.

En segundo lugar, el estudio evalúa únicamente tres tipos de resinas compuestas comerciales y tres niveles específicos de densidad de potencia (275, 500 y 600 mW/cm²), por lo que los resultados obtenidos no podrán extrapolarse de manera generalizada a todas las resinas disponibles en el mercado ni a otros protocolos de fotopolimerización.

Asimismo, la variable de estudio se limitará a la evaluación de la dureza superficial mediante microdureza Vickers, la cual constituye un indicador indirecto del grado de conversión, sin incluir otras propiedades mecánicas complementarias como resistencia flexural, resistencia al desgaste, contracción por polimerización o resistencia adhesiva.

Finalmente, la investigación se calibra correctamente y se garantizó el funcionamiento de los equipos utilizados, particularmente la lámpara LED, el radiómetro y el micro durómetro Vickers, por lo que fue necesario implementar

procedimientos rigurosos de estandarización y control de calidad durante todas las etapas experimentales.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

Sampaio C, Abreu JLBD, Batsheva Kornfeld, Silva EMD, Giannini M (2024)

El objeto de su estudio fue analizar la contracción volumétrica por polimerización, el grado de conversión y la dureza Vickers de cuatro resinas compuestas de relleno masivo activadas mediante luz. Se formaron cuatro grupos, clasificados según el tipo de material compuesto y el método de curado: Tetric EvoCeram Bulk-fill (TEBO) y Tetric EvoFlow Bulk-fill (TEBF) se curaron con luz usando el dispositivo Bluephase Style 20i durante 20 segundos en modo de alta potencia, mientras que Tetric Powerfill (TEPO) y Tetric Powerflow (TEPF) fueron curados con el equipo Bluephase PowerCure durante solo 3 segundos. Los resultados mostraron una disminución significativa tanto en el grado de conversión como en la dureza Vickers al comparar las superficies superior e inferior ($p < 0,05$). Las proporciones entre la superficie inferior y superior del grado de conversión oscilaron entre 0,8 (en TEBO y TEPO) y 0,9 (en TEBF y TEPF), mientras que para la dureza estas variaron entre 0,4 (en TEPO) y 0,7 (en TEBF y TEPF). Dicho de otro modo, las resinas compuestas analizadas presentaron una reducción en la dureza y en el grado de conversión desde la superficie superior hacia la inferior, incluso al emplear mayores intensidades de luz.

Cabe destacar que el material fluido TEPF demostró la menor contracción volumétrica entre los compuestos estudiados.

Chen F 1, Lijuan SD 2, Yu P 3, Lin J (2023)

Presentó una investigación que tuvo como propósito analizar el desgaste abrasivo y la dureza superficial de diversos materiales de restauración dental, clasificados según su tipo de relleno. Se incluyeron en la investigación resinas compuestas nanohíbridas (Harmonize [HM] y Tetric N-Ceram [TNC]), microhíbridas (Filtek Z250 [Z250]) y nanorrellenas (Filtek Z350 [Z350]).

Para las pruebas de desgaste abrasivo, se fabricaron doce muestras cilíndricas de resina compuesta, cada una con un diámetro de 10 mm y un espesor de 6 mm. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a ochocientos ciclos de desgaste final bajo una carga de 17 kg utilizando la máquina de desgaste CW3-1. Para garantizar la limpieza, las muestras se trataron con una unidad ultrasónica durante 3 minutos y luego se secaron cuidadosamente. Tras medir la pérdida de peso y la densidad de las muestras, estas se reservaron para proceder a evaluar la dureza superficial. La medición de la dureza se llevó a cabo mediante un probador de microdureza equipado con un penetrador de diamante Vickers, una vez que las muestras habían sido pulidas.

Varshney I, Jha P, Nikhil V (2022)

Analizó en su estudio, el impacto de las unidades de curado por luz (LCU) en el grado de conversión (DC) y la microdureza de materiales compuestos con diferentes sistemas de fotoiniciadores. Se formaron dos grupos basados en el tipo de LCU empleado: monoonda (Grupo M) y polionda (Grupo P). A su vez, cada grupo se subdividió en dos subgrupos según el sistema de fotoiniciadores: una combinación de canforquinona (CQ), ivocerina y óxido de 2,4,6-trimetilbenzoil difenilfosfina (Subgrupo CIT) o únicamente CQ (Subgrupo C). Las muestras experimentales, con un espesor de 4 mm, fueron evaluadas para determinar la microdureza en la superficie inferior mediante un probador de dureza Vickers, mientras que el grado de conversión se

analizó usando espectroscopia infrarroja por transformación de Fourier. Los resultados mostraron que tanto la microdureza como el grado de conversión del composite en el Subgrupo C presentaron valores similares ($PAG > 0,05$) en el Grupo M ($52,42 \pm 2,67$ y $48,30 \pm 5,81$, respectivamente) y en el Grupo P ($51,77 \pm 1,96$ y $48,50 \pm 4,87$, respectivamente). Sin embargo, el material compuesto que incorporaba una combinación de fotoiniciadores mostró una microdureza promedio significativamente mayor en el Grupo P ($57,09 \pm 2,61$) frente al Grupo M ($47,37 \pm 3,51$). Asimismo, el grado de conversión promedio fue más elevado en el Grupo P ($59,75 \pm 5,30$) en comparación con el Grupo M ($39,70 \pm 3,57$), siendo estas diferencias estadísticamente significativas ($PAG < 0,05$). La investigación observó que el tipo de unidad de curado por luz influye en el grado de conversión y en la microdureza únicamente en los compuestos que contienen una combinación de fotoiniciadores.

Oh S, Kim HJ, Kim HJ, Antonson SA, Kim SY (2022)

Analizó en su estudio, cómo el incremento en la distancia de irradiación afecta las propiedades mecánicas y estructurales de los materiales de relleno dental, específicamente la resistencia a la flexión (FS), la resistencia de la unión por microcizallamiento a la dentina (μ SBS) y el grado de conversión (DC). La investigación abarcó tanto materiales de relleno masivo fluidos como compuestos de resina convencionales.

Al-Zain AO, Platt JA. (2021)

Examinó en su estudio, cómo la distancia de curado influye en la resistencia a la flexión micro (μ -FS) de un composite nanohíbrido, utilizando el tiempo de curado recomendado por el fabricante (MCT) y comparándolo con una exposición radiante constante (CRE) empleando tres sistemas de fotocurado diferentes. Los tiempos de curado recomendados por el fabricante suelen basarse en pruebas realizadas en laboratorio a una distancia de 0 mm entre la superficie del material y la unidad de fotopolimerización (LCU). Sin embargo, esta condición no es clínicamente realista. El aumento de la distancia de curado reduce tanto la densidad de potencia recibida como

los valores de exposición radiante (RE), lo que puede tener un impacto negativo en la longevidad y las propiedades finales de la restauración. Al emplear el MCT a distancias mayores, la disminución de densidad de potencia y RE afecta la calidad del curado que recibe el material restaurador. Lamentablemente, los fabricantes rara vez proporcionan protocolos específicos de curado para diferentes materiales a diversas distancias, a pesar de que la literatura científica lo recomienda. Por esta razón, los clínicos tienden a emplear el MCT establecido o incrementan el tiempo de curado de manera subjetiva cuando la distancia de curado aumenta.

Shimokawa C, Turbino M, Giannini M, Braga R, Price R (2020)

En este estudio se evaluó el impacto de la homogeneidad del haz de luz sobre la resistencia de unión por microtensión (TBS) de dos resinas adhesivas aplicadas a dentina. Para ello, se emplearon dos tipos de guías de luz: una punta estándar (RT), con una emitancia de 1010 mW/cm², y una punta homogeneizadora (HT), con una emitancia de 946 mW/cm². Además, se analizaron los espectros de emisión y los perfiles del haz producidos por ambas guías de luz.

Cadenaro M, Maravic T, Comba A, Mazzoni A, Fanfoni L, Hilton T, Ferracane J, Breschi L (2018)

El estudio de este investigador analiza los factores que influyen en la polimerización de los sistemas adhesivos en odontología y su impacto en la estabilidad de la interfaz resina-dentina.

La investigación destaca que los sistemas adhesivos son materiales a base de resina que alcanzan sus propiedades mecánicas finales a través de la polimerización. Sin embargo, la literatura previa ha relacionado la falla de la interfaz adhesiva con una polimerización deficiente. Los adhesivos contienen una mezcla compleja de moléculas hidrofílicas e hidrofóbicas diseñadas para infiltrarse en el sustrato dental y prolongar la estabilidad de la capa adhesiva. Cada componente del adhesivo puede influir en la reacción de polimerización y, por ende, en la durabilidad del material.

Uno de los hallazgos clave del estudio es que la evaporación adecuada de los solventes mejora la polimerización del sistema adhesivo. Además, se determinó que un tiempo de curado prolongado incrementa el rendimiento y la estabilidad de los adhesivos. También se menciona que ciertos aditivos incorporados en las formulaciones adhesivas pueden contrarrestar la degradación de la interfaz adhesiva con el tiempo, aunque su efecto en la reacción de curado aún no está completamente esclarecido.

Souza MBDA, Briso AL, Oliveira Reis BD, Dos Santos PH , Fagundes TC (2019)

En su estudio, este investigador analiza la microdureza y el cambio de color (ΔE) de diversas resinas compuestas fotopolimerizables empleando distintos diodos de emisión de luz (LED). Para la investigación, se seleccionaron dos resinas compuestas que contenían el fotoiniciador Lucirin-TPO: Tetric N-Ceram (Ivoclar Vivadent, A1) y Vit-I-escence (Ultradent, WO). Como control negativo, se utilizó la resina Filtek Z350XT (3M ESPE, WD), que contiene únicamente canforquinona como fotoiniciador. Se prepararon muestras en forma de disco con un diámetro de 5 mm y un espesor de 1,5 mm, las cuales fueron fotopolimerizadas utilizando un LED de longitud de onda única (Radii-Cal, SDI) o uno de múltiples longitudes de onda (Valo, Ultradent), según el material compuesto ($n = 10$). En cuanto a los resultados de microdureza, se identificó una diferencia estadísticamente significativa entre los dos sistemas de LED para Vit-I-escence después del envejecimiento acelerado artificial (AAA). Al comparar las resinas compuestas curadas con el mismo dispositivo, Filtek Z350XT mostró los valores más altos de microdureza. Cabe destacar que todos los grupos experimentaron una disminución estadísticamente significativa en los valores de microdureza.

Souza MBDA, Briso AL, Oliveira Reis BD, Dos Santos PH , Fagundes TC (2019)

Analizó el rendimiento lumínico de seis dispositivos de curado dental equipados con diodos emisores de luz (LED). Se evaluó su desempeño tras 25 exposiciones consecutivas a la luz, sin recargar la batería, considerando aspectos como la accesibilidad de la punta en la región posterior y la propagación del haz de luz desde las unidades de fotopolimerización. Las mediciones incluyeron la irradiancia, el pico espectral y la exposición radiante utilizando dispositivos con baterías completamente cargadas (Bluephase Style, ESPE inalámbrico, Elipar S10, Demi Ultra, Valo inalámbrico y Radium-Cal). Además, se monitorearon estas variables a lo largo de 25 ciclos de exposición, cada uno con una duración de 10 segundos. Se registró el diámetro de las puntas para determinar el tamaño del haz de luz y se evaluó la capacidad de las seis unidades de fotopolimerización para alcanzar todas las áreas del segundo molar inferior en la configuración de salida estándar. Los resultados mostraron que no todas las luces que emiten en el espectro azul poseen la misma distribución espectral. Algunas lámparas de fotopolimerización presentaron una reducción en la irradiancia, de hasta un 8% menos, después de la exposición número 25.

Rueggeberg FA, Giannini M, Arrais CAG, Price RBT (2017)

El propósito del estudio de este investigador fue analizar cómo la distancia de irradiación influye en la pérdida de densidad de potencia. Es esencial que los odontólogos comprendan la relevancia clínica de las distancias utilizadas durante el proceso de polimerización y cómo estas afectan la irradiancia que las lámparas de fotopolimerización entregan a las restauraciones. Esta información resulta especialmente crucial en la región gingival del margen, una zona con alto riesgo de caries recurrentes. Dicha región no solo es la más difícil de alcanzar con la luz de curado, sino que también está más alejada de la fuente lumínica. Como consecuencia, la resina en esta área recibe menor cantidad de luz, lo que puede ocasionar un curado insuficiente. Esto, a su vez, podría comprometer la fuerza de adhesión en esta parte crítica de la restauración.

Xu X, Sandras DA, Burgess JO. (2017)

Este autor y sus colaboradores investigaron cómo la distancia entre la guía de luz y la superficie afectaba la adhesión de las resinas compuestas. Concluyeron que, al polimerizar adhesivos en cajas proximales profundas con una lámpara de 600 mW/cm², el tiempo de exposición debe incrementarse de 40 a 60 segundos para lograr un curado óptimo. Otros estudios han propuesto recomendaciones similares para aumentar el tiempo de curado, incluso al usar lámparas que entregan irradiancias superiores a 1.000 mW/cm².

ALShaafi MM, Haenel T, Sullivan B, Labrie D, Alqahtani MQ, Price RB. (2017)

Realizó muchos estudios in vitro para determinar el efecto de duración del fotocurado sobre las propiedades mecánicas de las resinas compuestas. Para que un incremento de 2 mm en el espesor de la resina compuesta para tener una polimerización adecuada debe recibir una densidad de energía dentro del rango de 16 a 24 J/cm². Esta energía (E) se calcula multiplicando el nivel de densidad de potencia (I) procedente de la unidad de control de iluminación (LCU) (mW/cm²) por su duración (T). El tiempo de polimerización se establece dependiendo del nivel de densidad de potencia.

Shimokawa C, Sullivan B, Turbino M, Soares C, Price R. (2017).

Menciona que la tensión de contracción por polimerización de materiales a base de resina, se han relacionado con varias consecuencias clínicas no deseadas, como propagación de grietas en el esmalte, desviación de la cúspide, espacios marginales e internos, y disminución de la fuerza de unión. Por lo tanto, puede surgir una correlación indirecta entre la tensión de contracción y la longevidad de las restauraciones compuestas.

Beolchi RS, Moura-Netto C, Palo RM, Torres CRG, Pelissier B. (2015)

El estudio de este investigador y sus colaboradores se centró en evaluar cómo la distancia entre la fuente de luz de fotopolimerización y el material restaurador afecta la irradiancia y la densidad de energía. Se utilizaron cuatro dispositivos de curado

dental: Valo, Elipar 2, Radium-Cal y Optilux-401, y se midió su rendimiento a diferentes distancias (0 mm, 4 mm y 8 mm) para determinar cómo la emisión de luz varía en función de la separación con la superficie a curar.

Para llevar a cabo la investigación, los autores emplearon un simulador MARC, un sistema avanzado capaz de registrar con precisión la irradiancia de cada dispositivo. Cada lámpara fue sometida a diez mediciones en cada distancia, y se calculó el tiempo necesario para alcanzar 16 J/cm^2 , el umbral energético considerado adecuado para la polimerización de composites odontológicos. Los datos obtenidos fueron analizados con ANOVA unidireccional y pruebas de Tukey, estableciendo diferencias significativas entre los dispositivos y las condiciones de curado.

Los resultados mostraron una relación clara entre la distancia y la pérdida de irradiancia. A medida que la fuente de luz se alejaba del material, la densidad de potencia disminuía significativamente, lo que generaba un aumento del tiempo necesario para alcanzar los 16 J/cm^2 . Esta pérdida de energía puede afectar la calidad del curado, comprometiendo la estabilidad mecánica y la longevidad de la restauración. Entre los dispositivos evaluados, Valo en modo de potencia extra mostró los mejores resultados en todas las distancias, seguido por Valo en modo de alta potencia, Valo en modo estándar, Elipar 2, Radium-Cal y Optilux-401.

El estudio enfatiza la importancia de posicionar correctamente la lámpara de fotopolimerización, evitando distancias excesivas que puedan comprometer la efectividad del curado.

Asmussen E, Peutzfeldt A. (2003)

Su estudio midió la contracción de polimerización de un compuesto de resina curado a tres niveles de densidad de energía, cada uno alcanzado en seis niveles diferentes de densidad de potencia. La contracción de polimerización del composite se registró mediante el método de la disco deflector ($n = 5$) durante 1 h después del inicio de la irradiación. Densidades de potencia de 50, 100, 200, 400, 800 y 1.000

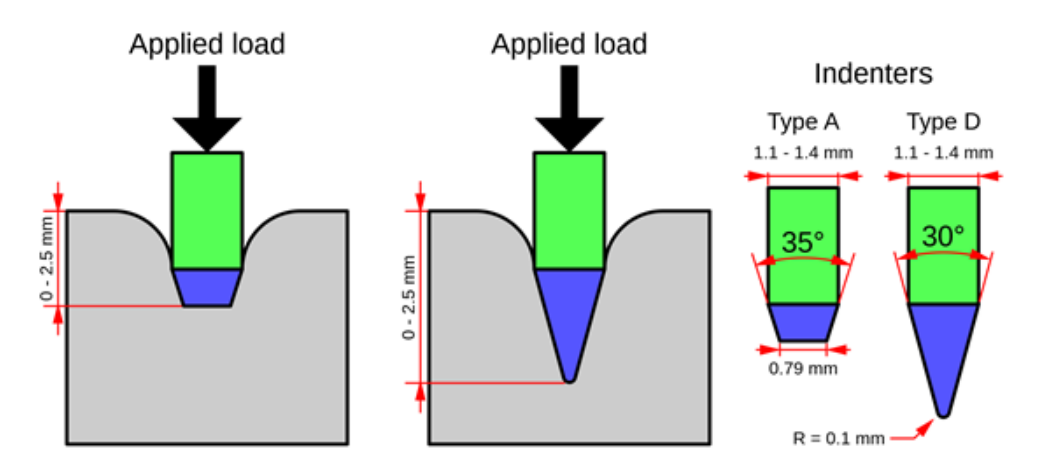
mW/cm², medidos en un radiómetro dental, fueron obtenidos por variación de la distancia y el voltaje de suministro de una unidad de fotopolimerización comercial.

2.2. Bases teóricas-científicas

2.2.1. Dureza superficial

La dureza se puede definir como la resistencia de un material al que se le realice una “indentación” (depresión o marca). En ocasiones, interesa el comportamiento de la superficie del material para saber la mayor o menor dificultad con que puede ser dañada o desgastada, esta característica es definida como dureza superficial [¡Error! Marcador no definido.]. La dureza es un concepto muy relacionado en odontología con el mantenimiento de la integridad y desgaste. Existen diversos procedimientos para medir la dureza. Su diversidad estriba en la gran variedad existente de materiales, desde la escala de Mohs, hasta escalas cuantificables apta para trabajos científicos de precisión. Por ello, fueron apareciendo escalas de medición de dureza, basados todos ellos en la medición de las dimensiones de una marca geométrica, impresa sobre la superficie del material, mediante una carga transmitida a través de una esfera metálica, una pequeña pirámide de diamante, etc.

Los procedimientos más usados, para medir la dureza superficial, son los de Brinell, Vickers, Rockwell y Knoop, los cuales se denotan posponiendo las letras HN (“hardness number”) a la inicial del nombre respectivo: así, 400 VHN quiere decir “400 Vickers Hardness Number”].



El ensayo de dureza según la escala Shore de conformidad con ASTM D2240 e ISO 48-4 e ISO 868 es un método de ensayo estático normalizado para medir la dureza del caucho mediante un durómetro. Por ello, la dureza Shore **no** es el estándar para medir las resinas compuestas de restauración (las que se usan para obturaciones o caras). Las resinas compuestas de restauración son demasiado rígidas y pequeñas para el dúrometro Shore, por lo que se requiere la microindentación (Vickers o Knoop).

2.2.2. Densidad de Potencia

Que está dada en mW/cm^2 , cuando las LCU presentan un adecuado nivel de densidad de potencia se garantiza la presencia de una cantidad óptima de fotones, lo cual hace posible que se estimule una mayor cantidad de CQ u otro fotoiniciadores que contenga el material. En caso de que la densidad de potencia de la luz esté por debajo de los niveles adecuados, habrá una cantidad de fotones insuficiente para penetrar las partes más profundas de la restauración, lo cual trae como resultado la inactivación del iniciador presente en esas zonas, generando así una polimerización superficial e inadecuada. Si una LCU presenta un nivel bajo de densidad de potencia puede compensarse aumentando el tiempo de fotopolimerización, sin embargo, múltiples estudios han nombrado los niveles mínimos de densidad de potencia que deben tener las LCU para polimerizar adecuadamente. Se plantea que la densidad de potencia apropiada para lograr una adecuada polimerización de los materiales odontológicos, se alcanza con lámparas que generan una potencia mayor de 300

mW/cm², puesto que con potencias de 200 a 300 mW/cm² se hace imperioso un aumento de la exposición del material a la luz, para adquirir el mismo efecto catalizador; y potencias menores a 200mW/ cm² no sólo son imperfectas, sino que presentan un mayor riesgo, siendo más nocivas, por aumento en la emisión de radiación UV de tipo C, determinada como la más perjudicial para el ojo humano. Éste último caso corresponde a los equipos más antiguos, los cuales pueden aún ser utilizados en la práctica odontológica diaria. Ruggeberg, Myers, & Caughman (1994) recomiendan una densidad de potencia mínima de 400 mW/cm².

2.2.3. Resinas Compuestas

“Las resinas compuestas, o composites, son materiales sintéticos compuestos por elementos variados. Se definen como combinaciones tridimensionales de por lo menos dos materiales químicamente diferentes, con una interfaz distinta, obteniéndose propiedades superiores a las que presentan sus constituyentes de manera individual”. Esta combinación de materiales aporta propiedades que no se podrían conseguir con los materiales individuales. El material de restauración está compuesto, en el momento que se ha añadido un relleno inorgánico a la matriz de resina, de esta manera sus propiedades son mejoradas [¡Error! Marcador no definido.] [¡Error! Marcador no definido.].

Los componentes básicos que conforman las resinas compuestas son:

- Matriz: material de resina plástica que forma una fase continua.
- Relleno o fase inorgánica: partículas / fibras de refuerzo que forman una fase dispersa.
- Agente de conexión o acoplamiento: es quien favorece la unión del relleno con la matriz (conocido como Silano).
- Sistema activador: es el iniciador de la polimerización.

Matriz: está formada por un monómero de dos funciones y los más utilizados son Bis-GMA y el DMU (dimetacrilato de uretano) o una mezcla de ambos tipos de

monómeros. El metilmetacrilato en comparación con el Bis-GMA tiene un mayor peso molecular por lo que su contracción durante su polimerización resulta ser menor. Estos suelen ser muy viscosos a temperatura ambiente por lo que es una desventaja y dificultad la manipulación de este, entonces se encuentra diluido otro monómero bifuncional de menos viscosidad denominado TEGMA (Tietilenglico 6 dimetacrilato), lo que permite un resultado clínicamente manejable. Los principales monómeros que han sido utilizados desde la antigüedad hasta el momento para la confección de resinas dentales son: Metilmetacrilato (MMA), Bisfenol Glicidil Metacrilato (Bis-GMA), Uretano dimetil metacrilato (UDMA) y el Trietilenglicol Dimetacrilato (TEGDMA). El monómero base más utilizado durante los últimos años ha sido el Bis-GMA. Partículas de relleno: corresponde a las partículas que la conforman, las partículas usualmente que están presente son de cuarzo y de vidrio, pero también están de aluminio, silicatos de litio, cristales de bario, sílice. El relleno que tiene la resina compuesta le ofrece unas propiedades mecánicas mejores. Cabe destacar que cuanto mayor sea el relleno a la matriz mejor serán las propiedades y se disminuye la contracción de polimerización. Agentes de unión: para que los componentes mencionados anteriormente sean compatibles entre sí, estas partículas de relleno son empapadas de un agente de acoplamiento o un agente de conexión, en este caso llamado vinil silano y su única función es unificar químicamente la matriz orgánica del relleno que es inorgánico. Esta unión se da por grupos químicos funcionales que están capacitados para reaccionar por un lado con la matriz orgánica y por otro lado con partículas del relleno teniendo como resultado el acoplamiento de ambas partes. Sistema iniciador de polimerización: para que las resinas compuestas puedan endurecer los monómeros tienen que transformarse en polímeros, y por lo tanto necesitan ser activados y que exista un agente iniciador. Las resinas compuestas polimerizan por un mecanismo de adición iniciado por radicales libres, y los iniciadores y activadores determinan la forma en que se realiza la reacción de polimerización. La activación de la resina compuesta es actualmente con luz visible, un sensibilizador del

sistema de iniciación, usualmente la canforquinona en su estado de excitación interactúa con una amina alifática como un iniciador para la presencia de luz. La canforquinona tiene una absorción de luz de longitudes de 400 y 500 nm de ondas y un peak de 468 nm y se utiliza en cantidades pequeñas, por lo general en menos de 0,2% 22.

Aparte de los agentes antes mencionados, también se pueden encontrar otros agentes presentes en las resinas compuestas:

- Pigmentos: sirven para dar los distintos tonos del material restaurador.
- Opacificadores y modificadores: se usan para el control del color y la translucidez de la resina compuesta.
- Radioopacificadores: las resinas compuestas son radiolúcidas, lo que conlleva a una desventaja ante exámenes diagnósticos radiológicos. Por esto se agregan sales de bario para dar las características radiopacas al sistema 20.

2.2.4. Fotoiniciadores

Los fotoiniciadores son moléculas presentes en los materiales odontológicos fotopolimerizables. Éstos son activados por la energía radiante brindada por las LCU, causando así la generación y estímulo de los radicales libres

Canforquinonas (CQ): Son el fotoiniciador más comúnmente encontrado en las resinas compuestas; para activarse, éstas requieren ser expuestas a una luz con rango de longitud de onda de entre 450-500 nanómetros (nm), teniendo un pico de 468 nm [**Error! Marcador no definido.**].

Trimethylbenzoyl-diphenylphosphine (TPO). Estas lucerinas han surgido como alternativa a la CQ, tienen un rango de activación en una longitud de onda de entre 375 y 410 nm [**Error! Marcador no definido.**].

Phenyl-propanedione (PPD): Este fotoiniciador requiere un rango de longitud de onda de 400-410 nm para ser activado efectivamente

Ivocerin es otro fotoiniciador nuevo, comparado con la Canforquinona, Ivocerin ofrece un mayor índice de absorción en el rango visible de luz, una fotoreactividad

significativamente mayor y una excelente estabilidad de color. Teniendo estas cualidades, Ivocerin ha permitido el desarrollo de composites estéticos como por ejemplo Tetric EvoCeram® Bulk Fill y Tetric EvoFlow® Bulk Fill. Estos composites permiten una profundidad de polimerización de hasta cuatro milímetros y pueden ser fotopolimerizados con todas las lámparas de polimerización del mercado en 10 segundos.

2.2.5. Fotopolimerización

La fotopolimerización es un proceso fotoquímico mediante el cual los monómeros presentes en la matriz orgánica de las resinas compuestas se transforman en una red polimérica tridimensional mediante la acción de radicales libres generados por la activación de los fotoiniciadores presentes en el material restaurador

Este proceso ocurre cuando la energía luminosa emitida por las unidades de fotocurado es absorbida por los fotoiniciadores, principalmente la canforquinona, desencadenando una reacción en cadena que permite la conversión de los enlaces dobles carbono-carbono en enlaces simples, dando lugar a la formación del polímero definitivo.

La eficacia de la fotopolimerización depende de diversos factores, entre los que destacan la densidad de potencia, la longitud de onda, el tiempo de exposición, la distancia entre la fuente luminosa y la superficie restauradora, la homogeneidad del haz de luz y la composición química de la resina compuesta

Una fotopolimerización adecuada es indispensable para alcanzar propiedades mecánicas óptimas, mejorar la estabilidad dimensional y aumentar la longevidad clínica de las restauraciones odontológicas

Fibra óptica

El tamaño de la fibra óptica de la LCU es otro factor a tener en cuenta, ya que, si éste es muy pequeño y la restauración es grande, podrían quedar zonas sin polimerizar; para contrarrestar esto se requeriría una exposición a la luz dividida por

zonas, lo cual aumentaría el tiempo necesario. Además, la acumulación de residuos y posibles daños o roturas en la salida de la luz pueden generar pérdidas significativas de niveles de densidad de potencia.

2.2.6. Longitud de Onda

La longitud de onda es la distancia existente entre dos puntos, cada uno de estos ubicado en el mismo lugar del ciclo continuo de repetición de la onda, ésta se mide en nanómetros (nm) y dependiendo de este espectro es el color de luz irradiado. Las CQ son el fotoiniciador más comúnmente encontrado en los materiales fotopolimerizables, éstas se activan de manera más efectiva cuando se exponen a una luz cuya longitud de onda sea de 468 nm o cercana; las LCU LED tradicionales tienen un promedio de longitud de onda de entre 450 y 500 nm, lo cual las hace idóneas para activar las CQ.

2.2.7. Colimación de luz

La colimación de la luz es la propiedad mediante la cual los rayos luminosos se mantienen paralelos entre sí durante su propagación, permitiendo una distribución más uniforme y eficiente de la energía emitida por las unidades de fotopolimerización

Una adecuada colimación favorece que la mayor cantidad posible de energía luminosa alcance la superficie restauradora, minimizando la dispersión del haz y reduciendo las pérdidas de densidad de potencia asociadas al incremento de la distancia entre la lámpara y el material restaurador

Se ha demostrado que las unidades de fotocurado con haces luminosos homogéneos y mejor colimados proporcionan una distribución energética más uniforme, lo que contribuye a obtener una polimerización más eficiente y mejores propiedades mecánicas en los materiales restauradores

Por el contrario, una colimación deficiente puede generar zonas con menor exposición lumínica, originando diferencias en el grado de conversión y afectando negativamente la calidad final de la restauración odontológica

2.2.8. Lámparas LED

Lámparas de fotocurado (LCU) Las lámparas de uso odontológico para fotopolimerización o lámparas de fotocurado, son los aparatos de uso más común, utilizados en las clínicas dentales para robustecer o polimerizar materiales restauradores y también como agentes aceleradores para el blanqueamiento dental. Dichas lámparas, son unidades emisoras de luz que, al cumplir con ciertos parámetros, polimerizan diferentes biomateriales fotosensibles. Esta fuente de luz, activa los componentes de los materiales odontológicos, haciendo que los monómeros al enlazarse, se conviertan en polímeros, logrando así la obtención de materiales similares y biocompatibles con la naturaleza del diente.

2.2.9. Lámparas Halógenas

A mediados de los años ochenta aparecen las lámparas QTH, siendo éstas las predilectas hasta mediados de los noventa; con respecto a estos dispositivos, no se presentaron muchos avances puesto que los esfuerzos para la mejora de la polimerización se centraron en avances de la composición de los materiales

2.2.10. Radiómetro

Es el instrumento que permite medir la densidad de potencia de las LCU, el objetivo de estos es proporcionar un método sencillo para evaluar el rendimiento de la luz emitida por la unidad, para que el odontólogo pueda establecer si la salida de luz ha presentado cambios considerables y, de ser así, se tomen las medidas necesarias para contrarrestarlo

2.3. Definición de términos básicos

Grado de conversión

Porcentaje de enlaces dobles de los monómeros que son transformados en enlaces simples durante el proceso de polimerización. Un mayor grado de conversión se relaciona con mejores propiedades físicas y mecánicas del material restaurador

Megapascal (MPa)

Unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades utilizada para expresar presión, tensión o esfuerzo mecánico. En odontología restauradora se emplea frecuentemente para evaluar propiedades mecánicas de biomateriales dentales

Bis-GMA (Bisfenol A glicidil metacrilato)

Monómero de elevada viscosidad que constituye uno de los principales componentes de la matriz orgánica de numerosas resinas compuestas, proporcionando estabilidad estructural y resistencia mecánica al material restaurador

UDMA (Uretano dimetacrilato)

Monómero empleado en la formulación de resinas compuestas por presentar menor viscosidad que el Bis-GMA y contribuir a mejorar las propiedades mecánicas y el grado de conversión del material restaurador

TEGDMA (Trietilenglicol dimetacrilato)

Monómero diluyente utilizado para reducir la viscosidad de la matriz resinosa y facilitar la manipulación clínica de los materiales restauradores]

Resistencia mecánica

Capacidad de un material para soportar cargas o fuerzas externas sin sufrir fracturas o deformaciones permanentes que comprometan su integridad estructural y funcionalidad clínica [¡Error! Marcador no definido., ¡Error! Marcador no definido., ¡Error! Marcador no definido.].

Microdureza Vickers

Método de ensayo empleado para determinar la dureza superficial de materiales dentales mediante la aplicación de una carga controlada sobre un indentador piramidal de diamante. Es una de las técnicas más utilizadas para evaluar indirectamente el grado de conversión de las resinas compuestas fotopolimerizadas

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La densidad de potencia de fotopolimerización produce un efecto estadísticamente significativo sobre la dureza superficial Vickers de las resinas

compuestas Filtek Z350 XT de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent, efecto que depende del tipo de resina evaluada.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. La dureza superficial Vickers de la resina compuesta Filtek Z350 XT de 3M presenta diferencias estadísticamente significativas cuando es fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².
- b. La dureza superficial Vickers de la resina compuesta Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent presenta diferencias estadísticamente significativas cuando es fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².
- c. La dureza superficial Vickers de la resina compuesta Forma de Ultradent presenta diferencias estadísticamente significativas cuando es fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².
- d. Existe una interacción estadísticamente significativa entre el tipo de resina compuesta y la densidad de potencia de fotopolimerización sobre la dureza superficial Vickers.

2.5. Identificación de variables

Variable independiente 1: Densidad de potencia (factor A)

Tipo: Cuantitativa

Escala: Razón continua

Indicador: mW/cm²

Instrumento: Radiómetro calibrado

Variable independiente 2: Tipo de resina compuesta (factor B)

Tipo: Cualitativa

Escala: Nominal

Indicador: Nombre comercial y lote del material

Instrumento: Ficha de registro y envase del material

Variable dependiente: Dureza superficial (Microdureza Vickers)

Tipo: Cuantitativo

Escala: Razón continua

Indicador: Número de dureza Vickers (HV)

Instrumento: Microdurómetro Vickers

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS	DEFINICIÓN OPERATIVA	TIPO VARIABLE / ESCALA	INDICADOR	VALORES / NIVELES
(Factor A) Densidad de potencia (irradiancia)	Potencia radiante por unidad de área que incide sobre la superficie del material restaurador. Determina la cantidad de fotones disponibles para activar los fotoiniciadores en la unidad de tiempo.	Se trabajará con densidades de potencia de nivel bajo, medio y alto, las cuales se han seleccionado arbitrariamente a partir de distancias fijas de 2, 4 y 6 mm entre la punta y el sensor de un radiómetro calibrado.	Cuantitativa / Escala de razón	mW/cm ²	Nivel bajo: 275 mW/cm ² Nivel medio: 500 mW/cm ² Nivel alto: 600 mW/cm ²
(Factor B) Tipo de resina compuesta	Material sintético odontológico compuesto por una matriz orgánica de monómeros (Bis-GMA, UDMA, TEGDMA), relleno inorgánico (sílice, zirconia) y sistema de fotoiniciadores (Canforoquinona, TPO, Lucirina-TPO), que determina su comportamiento mecánico frente a la	Se elaborarán especímenes estandarizados con tres marcas comerciales disponibles en el mercado, siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante para su manipulación e inserción en los moldes.	Cualitativa / Escala nominal	Nombre comercial y lote del material	G1: 3M Filtek™ Z350 XT G2: Ivoclar Vivadent Tetric® N-Ceram G3: Ultradent® Forma™

	fotopolimerización.				
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS	DEFINICIÓN OPERATIVA	TIPO VARIABLE / ESCALA	INDICADOR	VALORES / NIVELES
Dureza superficial (Microdureza Vickers)	Resistencia que ofrece la superficie del material restaurador a la deformación plástica localizada producida por un indentador. Es un indicador indirecto del grado de conversión de los monómeros y de la calidad de la polimerización.	Se medirá la dureza en la superficie superior de cada espécimen utilizando un microdurómetro Vickers. Se aplicará una carga estándar con un tiempo de indentación fijo.	Cuantitativa / Escala de razón	Número de dureza Vickers (HV)	Valor numérico continuo (50 HV)

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo **aplicada**, debido a que busca generar evidencia científica orientada a resolver un problema específico relacionado con el comportamiento mecánico de materiales restauradores utilizados en la práctica odontológica. Asimismo, corresponde a una **investigación cuantitativa**, ya que la medición de las variables se realizará mediante procedimientos objetivos y expresados numéricamente.

3.2. Nivel de Investigación:

La investigación tuvo un enfoque **cuantitativo-experimental** de laboratorio, caracterizado por la manipulación controlada de la variable independiente (densidad de potencia de fotopolimerización) y la evaluación de sus efectos sobre la variable dependiente (dureza superficial de las resinas compuestas)

Fue **prospectiva** porque los datos serán obtenidos específicamente para el desarrollo del estudio; **analítica** porque permitirá establecer relaciones entre variables; y **comparativa** porque se contrastará el comportamiento de tres tipos de resinas compuestas sometidas a diferentes densidades de potencia.

3.3. Métodos de investigación

Se empleo el método científico como procedimiento general para la generación del conocimiento. Asimismo, se utilizo el método experimental, debido a que se manipularán deliberadamente diferentes densidades de potencia de fotopolimerización para observar sus efectos sobre la dureza superficial de las resinas compuestas

Complementariamente, se aplico el método deductivo al contrastar las hipótesis formuladas a partir de fundamentos teóricos previamente establecidos sobre la polimerización de materiales restauradores

3.4. Diseño de investigación

Esta investigación corresponde a un diseño experimental, prospectivo, de laboratorio y de corte transversal. Es experimental porque se manipulo deliberadamente las variables independientes (densidad de potencia y tipo de resina compuesta) para observar sus efectos sobre la variable dependiente (dureza superficial), estableciendo relaciones de causa-efecto en condiciones controladas. Es prospectivo porque los datos fueron recolectados específicamente para los fines de la investigación, y transversal porque las mediciones se realizarán en un único momento temporal tras la fotopolimerización de las muestras.

Específicamente, se empleó un **diseño factorial completamente aleatorizado 3 × 3**, el cual permite evaluar simultáneamente el efecto de dos factores experimentales:

- **Factor A (densidad de potencia):** tres niveles (275, 500 y 600 mW/cm²).
- **Factor B (tipo de resina compuesta):** tres niveles (Z350 de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent).

La combinación de ambos factores da lugar a 9 grupos experimentales (3 tipos de resina × 3 densidades de potencia). Las unidades experimentales (especímenes) fue asignado aleatoriamente a cada uno de estos grupos que

respalda la validez interna del estudio y minimizar sesgos de selección. El número de réplicas por grupo fue determinado mediante cálculo de potencia estadística ($n \geq 10$ por grupo, según los parámetros de estudios previos), asegurando así la robustez de los contrastes estadísticos.

Esquema del diseño:

G1 → X1, X2, X3 → O1

G2 → X1, X2, X3 → O2

G3 → X1, X2, X3 → O3

Donde:

G1: Resina compuesta Z350 de 3M.

G2: Resina compuesta Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent.

G3: Resina compuesta Forma de Ultradent.

X1, X2 y X3: niveles de densidad de potencia a 275, 500 y 600 mW/cm² respectivamente.

O1, O2 y O3: Medición de la dureza superficial de cada grupo

Control de variables intervinientes:

Para aislar el efecto de los factores en estudio y posibilitar la reproducibilidad de los resultados, se estandarizaron rigurosamente las siguientes condiciones experimentales:

- Tiempo de exposición lumínica: **20 segundos** (constante para todas las muestras).
- Distancia entre la punta de la lámpara LED y la superficie de la muestra: **2, 4 y 6 mm** (fijada con un espaciador calibrado).
- Dimensiones de los especímenes: discos de **7 mm de diámetro y 2 mm de espesor**, confeccionados con moldes de teflón estandarizados.
- Temperatura ambiental durante la confección y fotopolimerización: **23 ± 1 °C**.
- Almacenamiento post-curado: **24 horas en oscuridad y ambiente seco a**

37 °C, previo a la medición de dureza, para permitir la estabilización de la polimerización.

3.5. Población y muestra

La **población** fue constituida por todas las muestras experimentales de resina compuesta de 7 mm × 2 mm fotopolimerizados en condiciones controladas para el estudio

El muestreo fue no probabilístico e intencional, debido a que las unidades experimentales serán seleccionadas de acuerdo con criterios previamente establecidos por el investigador

La **muestra** estuvo conformada por especímenes confeccionados con las resinas Z350 (3M), Tetric N-Ceram (Ivoclar Vivadent) y Forma (Ultradent), distribuidos en grupos de 10 unidades, según la densidad de potencia aplicada durante la fotopolimerización. Un total de 90 unidades de análisis.

Criterios de inclusión:

Sólo las resinas compuestas de las marcas: 3M Filtek Z350, Tetric N Ceram de Ivoclar VivaDent y Forma de Ultradent.

Criterios de exclusión:

Cilindros de prueba de 7 mm × 2 mm, distintas a las resinas que son objeto del estudio.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La **técnica** de recolección de datos fue la observación experimental estructurada [**Error! Marcador no definido.**].

Como **instrumentos** se utilizó:

- Moldes estandarizados para la confección de especímenes.
- Lámpara LED de fotopolimerización con densidades de potencia previamente calibradas.
- Radiómetro para verificar la intensidad luminosa emitida.
- Microdurómetro Vickers para medir la dureza superficial.

- Ficha de registro de datos diseñada específicamente para el estudio.

La validez de contenido de la ficha de registro fue evaluada mediante juicio de expertos [¡Error! Marcador no definido.]. La confiabilidad se verificó mediante procedimientos de calibración y estandarización de las mediciones.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos fueron codificados, depurados y registrados en una base de datos electrónica utilizando IBM SPSS Statistics v27 y posteriormente procesados en el mismo software.

Se realizó control de calidad de la información mediante revisión de consistencia, detección de valores atípicos y verificación de errores de digitación.

Los resultados fueron organizados en tablas de frecuencia, cuadros comparativos y gráficos estadísticos para facilitar su interpretación [¡Error! Marcador no definido., ¡Error! Marcador no definido.].

3.8. Tratamiento estadístico

Se realizó inicialmente estadística descriptiva mediante el cálculo de medias, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos para la variable dureza superficial.

La normalidad de los datos fue evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilk. La homogeneidad de varianza (homocedasticidad) fue evaluada mediante la prueba de Levene.

Los datos presentaron distribución normal, y se utilizó ANOVA factorial de dos vías (3 x 3) para comparar las medias entre grupos y prueba post-hoc Tukey.

Se realizó un análisis de correlación (Spearman o Pearson) o una regresión lineal para explorar la posible relación entre la densidad de potencia y la dureza superficial.

Asimismo, la asociación entre ambas variables se evaluó mediante el coeficiente de correlación más adecuado según la distribución de los datos.

Se considero estadísticamente significativo un valor de $p < 0,05$.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación se desarrolló de conformidad con los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y las normas institucionales vigentes para la investigación científica.

Debido a que el estudio se realizó sobre materiales dentales en condiciones de laboratorio y no involucro seres humanos ni animales de experimentación, se considera una investigación de riesgo mínimo. No obstante, se avaluó la integridad científica del estudio mediante el registro fiel de los datos, la transparencia metodológica y el respeto de los principios de honestidad académica.

Asimismo, se respeto los principios de beneficencia, no maleficencia, justicia y responsabilidad científica durante todas las etapas del proceso investigativo.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El presente estudio experimental se desarrolló en el Laboratorio de la Facultad de Odontología de la UNDAC, siguiendo estrictamente el protocolo metodológico previamente establecido. Se confeccionaron un total de noventa (90) especímenes estandarizados en forma de discos de 7 mm de diámetro y 2 mm de espesor, distribuidos en nueve grupos experimentales conforme a un diseño factorial completamente aleatorizado 3×3 , con diez (10) réplicas por grupo. Los especímenes fueron fotopolimerizados con una lámpara LED calibrada, empleando densidades de potencia de 275, 500 y 600 mW/cm² durante un tiempo de exposición constante de 20 segundos. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas durante 24 horas en oscuridad y ambiente seco a 37 °C, para luego ser evaluadas mediante microdurómetro Vickers. La recolección de datos se realizó mediante observación experimental estructurada, registrándose la dureza superficial de cada espécimen en una ficha de registro diseñada para el estudio.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de los resultados

4.2.1. Estadística descriptiva

En la Tabla 1 se presenta la estadística descriptiva de la variable dependiente (dureza superficial Vickers) para cada uno de los nueve grupos experimentales, así como los valores agregados por factor.

Tabla 1. *Estadística descriptiva de la dureza superficial Vickers (HV) por grupo experimental*

Grupo	Resina	Densidad	N	Media	DE	Mediana	Mín	Máx
1	Filtek Z350 XT	275	10	49.88	14.01	52.35	30.3	67.7
2	Filtek Z350 XT	500	10	66.61	3.93	65.55	61.1	72.4
3	Filtek Z350 XT	600	10	72.33	3.96	73.85	65.2	76.6
4	Tetric N-Ceram	275	10	35.58	3.19	36.00	30.9	40.5
5	Tetric N-Ceram	500	10	43.51	4.26	44.85	36.3	49.0
6	Tetric N-Ceram	600	10	49.93	13.70	51.30	31.9	67.7
7	Forma	275	10	24.97	15.71	18.20	11.6	53.3
8	Forma	500	10	53.83	12.99	56.85	18.2	64.3
9	Forma	600	10	47.09	12.32	53.05	24.1	56.6
Total	—	—	90	49.30	17.02	52.50	11.6	76.6

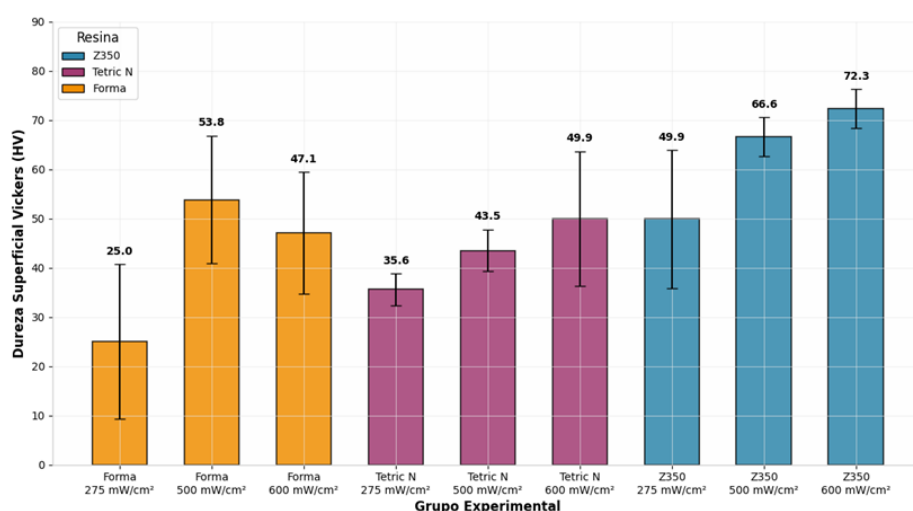
Nota: DE = desviación estándar; n = número de especímenes.

De manera global, la dureza superficial presentó una media de 49.30 ± 17.02 HV, con valores que oscilaron entre 11.60 y 76.60 HV. Al analizar los resultados por factor, se observó que la resina Filtek Z350 XT de 3M alcanzó la mayor dureza promedio (62.94 ± 12.82 HV), seguida de Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent (43.01 ± 10.13 HV) y Forma de Ultradent (41.96 ± 18.25 HV). Respecto a la densidad de potencia, las medias fueron 36.81 ± 15.76 HV para 275 mW/cm², 54.65 ± 12.46 HV para 500 mW/cm² y 56.45 ± 15.56 HV para 600 mW/cm², evidenciando un incremento progresivo de la dureza conforme aumentaba la densidad de potencia, con una meseta entre 500 y 600 mW/cm².

Un hallazgo notable fue la alta variabilidad observada en la resina Forma, especialmente a la densidad de 275 mW/cm² (DE = 15.71), donde los valores oscilaron

entre 11.6 y 53.3 HV. Esta dispersión sugiere una respuesta heterogénea del material a bajas densidades de potencia, posiblemente relacionada con la composición de sus fotoiniciadores y su capacidad de activación a niveles energéticos reducidos. Por el contrario, Filtek Z350 XT mostró la mayor consistencia a 500 y 600 mW/cm² (DE < 4), indicando una polimerización más homogénea y predecible a densidades intermedias y altas.

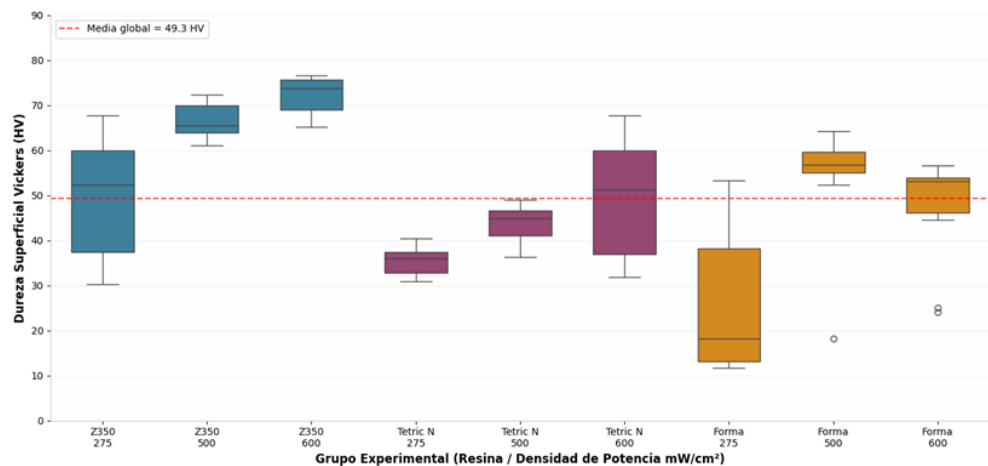
Gráfico 1. Medidas de Dureza Superficial Vickers +- Desviación Estándar



El gráfico de barras muestra los resultados de la Dureza Superficial Vickers (HV) para tres tipos de resinas dentales (Forma, Tetric N y Z350) expuestas a diferentes intensidades de potencia de curado (275, 500 y 600 mW/cm²).

- **Z350 (Barras Azules):** Presenta los valores más altos de dureza superficial en general. Su valor máximo es de 72.3 HV a 600 mW/cm², seguido de 66.6 HV a 500 mW/cm² y 49.9 HV a 275 mW/cm².
- **Forma (Barras Amarillas):** Muestra una dureza de 25.0 HV con la menor potencia (275 mW/cm²), sube significativamente a 53.8 HV con 500 mW/cm² y desciende ligeramente a 47.1 HV con 600 mW/cm². Tiene las barras de error (desviación) más amplias.
- **Tetric N (Barras Moradas):** Muestra un incremento constante y proporcional a la potencia aplicada, obteniendo 35.6 HV (275 mW/cm²), 43.5 HV (500 mW/cm²) y 49.9 HV (600 mW/cm²).

Gráfico 2. Distribución de la Dureza Superficial Vickers Grupo Experimental



Este gráfico de cajas compara la dureza superficial (HV) de tres resinas dentales (Z350, Tetric N, Forma) según la densidad de potencia de curado (275, 500, 600 mW/cm²).

- Resina **Z350 (Azul)**: Presenta los valores de dureza más altos en general. Muestra una clara tendencia al alza: a mayor densidad de potencia, aumenta la dureza superficial y se reduce la dispersión de los datos.
- Resina **Tetric N (Morado)**: Muestra valores de dureza intermedios. Su comportamiento también es ascendente conforme aumenta la potencia, aunque el grupo de 600 mW/cm² presenta una dispersión muy alta en sus resultados.
- Resina **Forma (Naranja)**: Muestra el comportamiento más irregular. Con 275 mW/cm² tiene una dureza muy baja y una dispersión amplia. Con 500 y 600 mW/cm² la dureza sube, pero aparecen valores atípicos (puntos aislados) en la parte inferior.
- Media **Global**: La línea punteada roja indica que la media global de dureza es de **49.3 HV**. Los grupos con mayor potencia (500 y 600) suelen estar por encima de esta media, excepto Tetric N 500.

4.2.2. Evaluación de supuestos estadísticos

Resultados de las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas		
Prueba	Resultado	Interpretación
Shapiro-Wilk (global)	W = 0.964; $p = 0.013$	Distribución no normal global
Shapiro-Wilk (por grupo)	Z350 y Tetric N: normales; Forma: no normal	Violaciones leves en Forma
Levene (homogeneidad)	W = 3.07; $p = 0.004$	Varianzas no homogéneas
Nota metodológica: A pesar de no cumplir la normalidad y la homogeneidad de varianzas, el ANOVA es robusto con tamaños muestrales iguales ($n=10$), por lo que se procedió con el análisis paramétrico según lo planteado en tu metodología.		

Previo al análisis inferencial, se evaluaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. La prueba de Shapiro-Wilk aplicada a cada grupo experimental mostró distribuciones normales en los grupos de Filtek Z350 XT ($p > 0.05$) y Tetric N-Ceram ($p > 0.05$), mientras que los tres grupos de Forma presentaron desviaciones significativas de la normalidad ($p < 0.05$). La prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas arrojó un resultado significativo ($W = 3.07$; $p = 0.004$), indicando heterogeneidad de varianzas entre los nueve grupos. No obstante, diversos estudios de simulación han demostrado que el ANOVA factorial es robusto ante violaciones moderadas de normalidad y homocedasticidad cuando los tamaños muestrales son iguales entre grupos (Glass, Peckham y Sanders, 1972; Harwell, 2003). Dado que el presente estudio cumplió con esta condición ($n = 10$ en todos los grupos), se procedió con el análisis paramétrico conforme al plan metodológico planteado, complementándose con un análisis de sensibilidad no paramétrico para reforzar la validez de las conclusiones.

4.2.3. Análisis de varianza factorial (ANOVA de dos vías 3×3)

Con el fin de determinar el efecto simultáneo del tipo de resina compuesta y la densidad de potencia sobre la dureza superficial Vickers, se aplicó un ANOVA factorial de dos vías. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Resultados del ANOVA factorial de dos vías (3 × 3) para la dureza superficial Vickers.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	F	p	η^2p	Sig
Resina (Factor A)	8384.47	2	37.34	< 0.001	0.480	***
Densidad (Factor B)	7072.35	2	31.49	< 0.001	0.438	***
Resina × Densidad (A × B)	1241.85	4	2.77	0.033	0.120	*
Error	9094.54	81	—	—	—	—

*Nota: gl = grados de libertad; η^2p = eta parcial al cuadrado; * $p < 0.05$; *** $p < 0.001$.*

** Significativo ($p < 0.05$)*

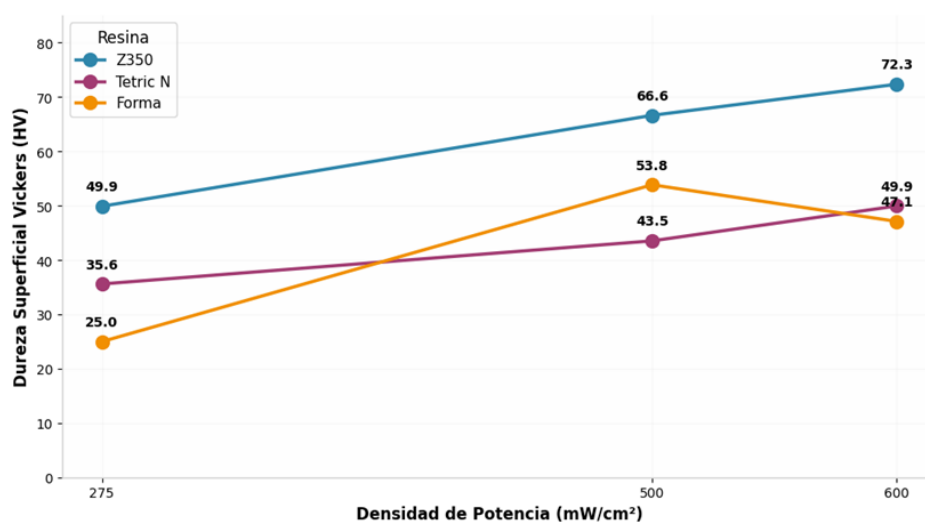
*** Muy significativo ($p < 0.01$)*

**** Altamente significativo ($p < 0.001$)*

Los resultados del ANOVA factorial revelaron un efecto altamente significativo del tipo de resina compuesta ($F = 37.34$; $p < 0.001$; $\eta^2p = 0.480$), lo cual indica que aproximadamente el 48.0 % de la variabilidad en la dureza superficial se explica por el tipo de material restaurador empleado. Asimismo, se encontró un efecto altamente significativo de la densidad de potencia de fotopolimerización ($F = 31.49$; $p < 0.001$; $\eta^2p = 0.438$), sugiriendo que el nivel energético de la lámpara LED explica cerca del 43.8 % de la variación en la dureza. El tamaño del efecto para ambos factores principales se clasifica como grande según los criterios de Cohen ($\eta^2p > 0.14$), lo cual confirma la relevancia clínica y estadística de estos hallazgos.

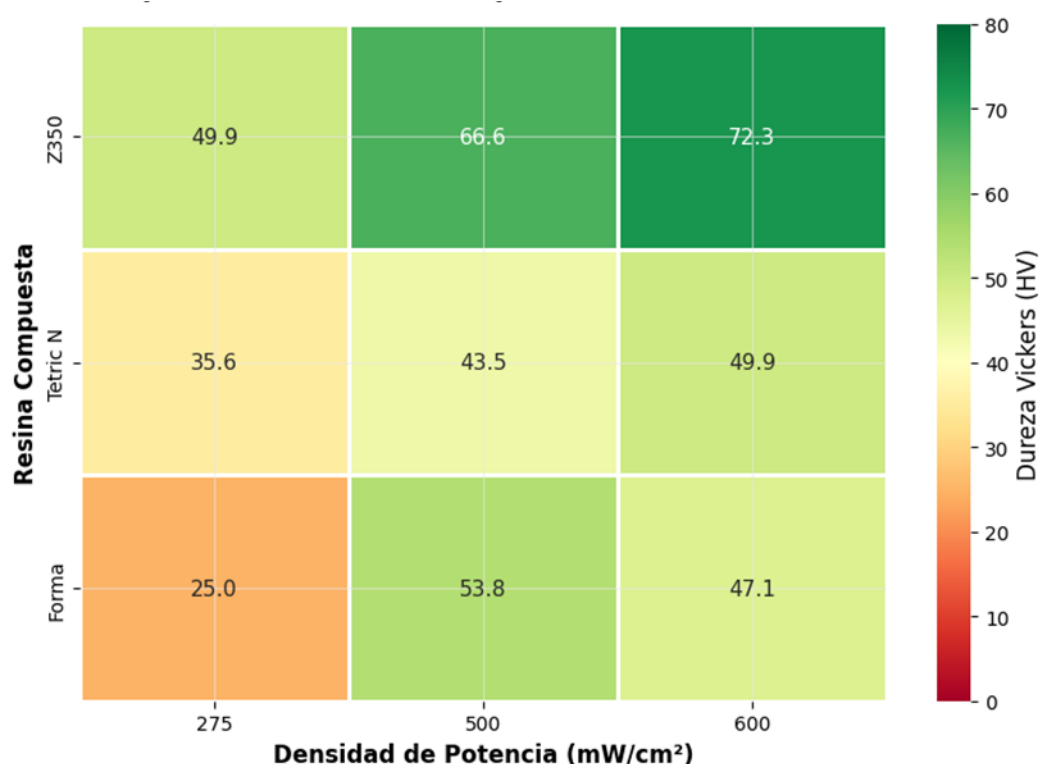
De particular importancia, la interacción entre el tipo de resina y la densidad de potencia resultó estadísticamente significativa ($F = 2.77$; $p = 0.033$; $\eta^2p = 0.120$), con un tamaño del efecto mediano. Este resultado evidencia que el efecto de la densidad de potencia sobre la dureza superficial no es uniforme, sino que depende del tipo de resina compuesta evaluada. En otras palabras, cada material responde de manera diferente ante el incremento de la densidad de potencia, lo cual tiene implicaciones directas para la selección de protocolos de fotocurado en la práctica clínica.

Gráfico 3. Interacción: Resina X Densidad de Potencia



El gráfico de interacción muestra que el incremento en la densidad de potencia genera un aumento directo y progresivo en la dureza superficial Vickers (HV) de las resinas Z350 y Tetric N, destacando la marca Z350 como la más resistente en todos los niveles evaluados tras ascender desde 49.9 HV hasta un máximo de 72.3 HV. Por el contrario, la resina Forma presenta un comportamiento anómalo y no lineal; aunque experimenta el mayor crecimiento inicial al pasar de su valor mínimo de 25.0 HV a un pico de 53.8 HV en los 500 mW/cm², sufre una degradación en su propiedad mecánica al caer a 47.1 HV cuando se alcanza la potencia máxima de 600 mW/cm².

Gráfico 4. Mapa de Calor: Dureza Superficial Vickers (Media)



El análisis del mapa de calor demuestra que el incremento de la densidad de potencia de curado genera, por regla general, un aumento directo y progresivo en los niveles de dureza Vickers de las resinas compuestas. Sin embargo, este comportamiento mecánico no es uniforme en todos los materiales: mientras que algunas resinas alcanzan su máximo desempeño estructural a la mayor potencia disponible (600 mW/cm²), otras muestran un punto de saturación intermedio a 500 mW/cm², sufriendo una degradación en su dureza al sobrepasar dicho límite. Asimismo, se evidencia una clara jerarquía de resistencia química entre las marcas evaluadas, donde la resina superior duplica o triplica el valor de dureza de la resina de menor rendimiento bajo las mismas condiciones de polimerización.

4.2.4. Análisis post-hoc (prueba de Tukey HSD)

Dado que tanto los factores principales como la interacción resultaron significativos, se aplicó la prueba de Tukey HSD para identificar las diferencias específicas entre grupos. Los resultados se presentan en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Comparaciones post-hoc Tukey HSD por tipo de resina compuesta (marginal).

Comparación	Diferencia de medias	p	Interpretación
Filtek Z350 XT vs Tetric N-Ceram	20.98	< 0.001 ***	Z350 > Tetric N
Filtek Z350 XT vs Forma	20.98	< 0.001 ***	Z350 > Forma
Tetric N-Ceram vs Forma	1.04	0.956 ns	Tetric N = Forma

*Nota: ns = no significativo; *** p < 0.001.*

Las comparaciones marginales por tipo de resina indicaron que Filtek Z350 XT presentó una dureza superficial significativamente mayor que Tetric N-Ceram y Forma ($p < 0.001$ en ambos casos). No se encontraron diferencias significativas entre Tetric N-Ceram y Forma ($p = 0.956$), lo cual sugiere que, en términos generales, ambos materiales alcanzan niveles de dureza comparables cuando se agrupan todas las densidades de potencia.

Tabla 4. Comparaciones post-hoc Tukey HSD por densidad de potencia (marginal).

Comparación	Diferencia de medias	p	Interpretación
275 vs 500 mW/cm ²	17.84	< 0.001 ***	500 > 275
275 vs 600 mW/cm ²	19.64	< 0.001 ***	600 > 275
500 vs 600 mW/cm ²	1.80	0.883 ns	500 = 600

*Nota: ns = no significativo; *** p < 0.001.*

Respecto a la densidad de potencia, se observaron diferencias significativas entre la densidad baja (275 mW/cm²) y las densidades medias (500 mW/cm²) y alta

(600 mW/cm²), con $p < 0.001$ en ambos casos. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre 500 y 600 mW/cm² ($p = 0.883$), lo que indica que, desde una perspectiva global, ambas densidades producen resultados de dureza equivalente. Este hallazgo es consistente con la literatura que sugiere que densidades superiores a 400–500 mW/cm² alcanzan un umbral de polimerización óptimo, por encima del cual los beneficios adicionales son mínimos (Rueggeberg, 2017; Beolchi, 2015).

4.2.5. Comparaciones entre los nueve grupos experimentales

La prueba de Tukey HSD aplicada a los nueve grupos experimentales individuales permitió identificar las siguientes diferencias significativas ($p < 0.05$):

- Los grupos de Filtek Z350 XT a 500 mW/cm² (66.61 HV) y 600 mW/cm² (72.33 HV) presentaron las mayores durezas y superaron significativamente a todos los demás grupos, excepto entre sí ($p = 0.953$).
- Filtek Z350 XT a 275 mW/cm² (49.88 HV) fue significativamente menor que los grupos de Z350 a 500 y 600 mW/cm², pero no difirió de Tetric N-Ceram a 600 mW/cm² ni de Forma a 500 mW/cm².
- Forma a 275 mW/cm² (24.97 HV) fue el grupo con menor dureza, diferenciándose significativamente de Filtek Z350 XT (todas las densidades), Tetric N-Ceram a 500 y 600 mW/cm², y de Forma a 500 y 600 mW/cm².
- Tetric N-Ceram a 275 mW/cm² (35.58 HV) fue significativamente menor que Filtek Z350 XT a 500 y 600 mW/cm².
- Dentro de Tetric N-Ceram, las tres densidades no mostraron diferencias significativas entre sí en el análisis por pares completo, aunque la tendencia ascendente fue consistente ($275 < 500 < 600$).
- Dentro de Forma, la densidad de 500 mW/cm² (53.83 HV) resultó significativamente mayor que 275 mW/cm² (24.97 HV), mientras que 600 mW/cm² (47.09 HV) no difirió de 500 mW/cm², mostrando un patrón no lineal.

4.2.6. Análisis de sensibilidad no paramétrico

Como análisis de sensibilidad, se aplicaron pruebas no paramétricas equivalentes (Kruskal-Wallis y Mann-Whitney U con corrección de Bonferroni) para validar los resultados del ANOVA factorial ante las violaciones leves de normalidad y homogeneidad de varianzas detectadas. Los resultados no paramétricos confirmaron íntegramente las conclusiones del análisis paramétrico: el efecto del tipo de resina ($H = 32.68$; $p < 0.001$), de la densidad de potencia ($H = 23.33$; $p < 0.001$) y las comparaciones post-hoc fueron idénticas en ambos enfoques. Por tanto, se concluye que el ANOVA factorial es robusto y sus resultados son válidos.

4.2.7. Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos permiten establecer una jerarquía clara en el comportamiento mecánico de las resinas evaluadas. Filtek Z350 XT demostró ser el material con mayor dureza superficial en todas las condiciones de fotopolimerización, con una respuesta dosis-dependiente clara y predecible: a mayor densidad de potencia, mayor dureza ($72.3 > 66.6 > 49.9$ HV). Este comportamiento es consistente con la formulación nanohíbrida de este material, que presenta un alto contenido de relleno inorgánico y una matriz orgánica optimizada para la polimerización, lo cual favorece una mayor conversión de monómeros y, por ende, una red polimérica más densa y resistente (Chen, 2023; Souza, 2019).

Tetric N-Ceram mostró un comportamiento intermedio y predecible, con un incremento progresivo de la dureza conforme aumentaba la densidad de potencia ($49.9 > 43.5 > 35.6$ HV). Aunque sus valores absolutos fueron inferiores a los de Filtek Z350 XT, la consistencia de su respuesta sugiere una formulación estable con fotoiniciadores que se activan eficientemente en el rango de longitudes de onda evaluado. La ausencia de diferencias significativas entre las densidades de 500 y 600 mW/cm² dentro de este material podría indicar que alcanza un punto de saturación polimérica a densidades intermedias, por encima del cual el incremento energético no se traduce en mejoras mecánicas adicionales.

Forma presentó el comportamiento más variable y, en ciertos aspectos, atípico. A 275 mW/cm², esta resina alcanzó valores de dureza extremadamente bajos (media = 24.97 HV; mínimo = 11.6 HV), con una variabilidad muy alta (DE = 15.71), lo cual sugiere una polimerización severamente comprometida a bajas densidades de potencia. Este hallazgo podría explicarse por la presencia de fotoiniciadores alternativos (como Lucirin-TPO) que requieren longitudes de onda específicas para su activación óptima, y que a densidades energéticas insuficientes no generan la cantidad de radicales libres necesaria para una polimerización completa (Varshney, 2022; Souza, 2019). Curiosamente, a 600 mW/cm² la dureza de Forma (47.09 HV) fue menor que a 500 mW/cm² (53.83 HV), un patrón no monotónico que podría atribuirse a fenómenos de sobrecurado o generación excesiva de calor que alteran la cinética de polimerización, generando tensiones internas o degradación parcial de la red polimérica (Soares, 2017; Asmussen, 2003). Este resultado coincide con reportes previos que señalan que densidades de potencia excesivamente altas pueden comprometer las propiedades mecánicas finales de ciertos composites, especialmente aquellos con sistemas fotoiniciadores sensibles a la sobreactivación.

La **interacción significativa** entre resina y densidad de potencia ($p = 0.033$) es, sin duda, el hallazgo más relevante desde una perspectiva clínica. Este resultado demuestra de manera contundente que no es posible generalizar un único protocolo de fotocurado para todas las resinas compuestas. Cada material, en función de su composición química, tipo de fotoiniciadores, contenido de relleno y características ópticas, responde de manera particular a las variaciones en la densidad de potencia. Por tanto, los protocolos de fotopolimerización deben ser individualizados según el material restaurador específico, y las recomendaciones de los fabricantes deben ser seguidas rigurosamente para garantizar una polimerización óptima.

La densidad de 275 mW/cm² resultó insuficiente para las tres resinas evaluadas, produciendo valores de dureza considerablemente inferiores a los obtenidos con densidades mayores. Este resultado corrobora las recomendaciones

de la literatura, que establecen densidades mínimas de 300–400 mW/cm² para una polimerización adecuada (Rueggeberg, 1994; Alshaafi, 2017). La utilización de densidades inferiores a este umbral, aunque se compensen con tiempos de exposición prolongados, conlleva un riesgo elevado de polimerización incompleta, con las consecuentes repercusiones clínicas: mayor desgaste, filtración marginal, absorción de agua y reducción de la longevidad de la restauración (Breschi, 2019; Rueggeberg, 2017).

4.3. Prueba de hipótesis

En esta sección se presentan los resultados del contraste de las hipótesis planteadas en el estudio, sustentados en el análisis estadístico realizado.

4.3.1. Hipótesis general

H₀: La densidad de potencia de fotopolimerización no produce un efecto estadísticamente significativo sobre la dureza superficial Vickers de las resinas compuestas Filtek Z350 XT de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent, o dicho efecto no depende del tipo de resina evaluada.

H₁: La densidad de potencia de fotopolimerización produce un efecto estadísticamente significativo sobre la dureza superficial Vickers de las resinas compuestas Filtek Z350 XT de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent, efecto que depende del tipo de resina evaluada.

Prueba estadística: ANOVA factorial de dos vías (3 × 3).

Resultado: El ANOVA factorial reveló un efecto altamente significativo de la densidad de potencia ($F = 31.49$; $p < 0.001$) y una interacción significativa entre densidad de potencia y tipo de resina ($F = 2.77$; $p = 0.033$).

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Conclusión: La densidad de potencia de fotopolimerización produce un efecto estadísticamente significativo sobre la dureza superficial Vickers de las resinas

evaluadas, y este efecto depende del tipo de resina compuesta empleada. Por tanto, la hipótesis general se acepta.

4.3.2. Hipótesis específica 1

H₀: La dureza superficial Vickers de la resina compuesta Filtek Z350 XT de 3M no presenta diferencias estadísticamente significativas cuando es fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².

H₁: La dureza superficial Vickers de la resina compuesta Filtek Z350 XT de 3M presenta diferencias estadísticamente significativas cuando es fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².

Prueba estadística: ANOVA de una vía (dentro de Z350) / Kruskal-Wallis (análisis de sensibilidad).

Resultado: El análisis dentro de la resina Filtek Z350 XT mostró diferencias significativas entre las tres densidades ($F = 37.34$; $p < 0.001$ en ANOVA factorial; $H = 18.25$; $p < 0.001$ en Kruskal-Wallis). Las comparaciones post-hoc indicaron que 600 mW/cm² (72.33 HV) > 500 mW/cm² (66.61 HV) > 275 mW/cm² (49.88 HV), siendo todas las diferencias significativas ($p < 0.05$).

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se acepta la hipótesis alternativa (H₁).

Conclusión: La dureza superficial Vickers de la resina Filtek Z350 XT presenta diferencias estadísticamente significativas entre las tres densidades de potencia evaluadas, con una respuesta dosis-dependiente positiva. La hipótesis específica 1 se acepta.

4.3.3. Hipótesis específica 2

H₀: La dureza superficial Vickers de la resina compuesta Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent no presenta diferencias estadísticamente significativas cuando es fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².

H₁: La dureza superficial Vickers de la resina compuesta Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent presenta diferencias estadísticamente significativas cuando es fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².

Prueba estadística: ANOVA de una vía (dentro de Tetric N) / Kruskal-Wallis (análisis de sensibilidad).

Resultado: El análisis dentro de la resina Tetric N-Ceram evidenció diferencias significativas entre las tres densidades ($H = 10.18$; $p = 0.006$ en Kruskal-Wallis). La tendencia observada fue 600 mW/cm² (49.93 HV) > 500 mW/cm² (43.51 HV) > 275 mW/cm² (35.58 HV).

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Conclusión: La dureza superficial Vickers de la resina Tetric N-Ceram presenta diferencias estadísticamente significativas entre las tres densidades de potencia evaluadas, con un incremento progresivo de la dureza conforme aumenta la densidad. La hipótesis específica 2 se acepta.

4.3.4. Hipótesis específica 3

H₀: La dureza superficial Vickers de la resina compuesta Forma de Ultradent no presenta diferencias estadísticamente significativas cuando es fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².

H₁: La dureza superficial Vickers de la resina compuesta Forma de Ultradent presenta diferencias estadísticamente significativas cuando es fotopolimerizada con densidades de potencia de 275 mW/cm², 500 mW/cm² y 600 mW/cm².

Prueba estadística: ANOVA de una vía (dentro de Forma) / Kruskal-Wallis (análisis de sensibilidad).

Resultado: El análisis dentro de la resina Forma reveló diferencias altamente significativas entre las tres densidades ($H = 16.47$; $p < 0.001$ en Kruskal-Wallis). El

patrón observado fue 500 mW/cm^2 (53.83 HV) > 600 mW/cm^2 (47.09 HV) > 275 mW/cm^2 (24.97 HV), con diferencias significativas entre 275 mW/cm^2 y las otras dos densidades.

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Conclusión: La dureza superficial Vickers de la resina Forma presenta diferencias estadísticamente significativas entre las tres densidades de potencia evaluadas. No obstante, el patrón de respuesta difiere de las otras dos resinas, alcanzando su valor máximo a 500 mW/cm^2 y disminuyendo levemente a 600 mW/cm^2 . La hipótesis específica 3 se acepta.

4.3.5. Hipótesis específica 4

H_0 : No existe una interacción estadísticamente significativa entre el tipo de resina compuesta (Filtek Z350 XT de 3M, Tetric N-Ceram de Ivoclar Vivadent y Forma de Ultradent) y la densidad de potencia de fotopolimerización (275 mW/cm^2 , 500 mW/cm^2 y 600 mW/cm^2) sobre la dureza superficial Vickers.

H_1 : Existe una interacción estadísticamente significativa entre el tipo de resina compuesta y la densidad de potencia de fotopolimerización sobre la dureza superficial Vickers.

Prueba estadística: ANOVA factorial de dos vías (3×3), término de interacción.

Resultado: El término de interacción en el ANOVA factorial resultó estadísticamente significativo ($F = 2.77$; $gl = 4$; $p = 0.033$; $\eta^2 p = 0.120$). Este resultado indica que la magnitud del efecto de la densidad de potencia sobre la dureza varía según el tipo de resina evaluada. Filtek Z350 XT mostró una respuesta lineal ascendente ($275 < 500 < 600$), Tetric N-Ceram una tendencia ascendente más moderada, y Forma un patrón no lineal con máximo a 500 mW/cm^2 .

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Conclusión: Existe una interacción estadísticamente significativa entre el tipo de resina compuesta y la densidad de potencia de fotopolimerización sobre la dureza superficial Vickers. Las resinas compuestas responden de manera diferente ante una misma densidad de potencia, lo cual confirma que la selección del protocolo de fotocurado debe ser individualizada según el material restaurador. La hipótesis específica 4 se acepta.

Resumen de la prueba de hipótesis

Hipótesis	Planteamiento	Prueba	Resultado estadístico	Decisión
General	La densidad de potencia afecta la dureza de forma diferente según la resina (interacción significativa).	ANOVA factorial 3×3	F = 2.77 (interacción); p = 0.033	Aceptada
Específica 1 (Z350)	Diferencias significativas entre las 3 densidades (72.3 > 66.6 > 49.9 HV).	Kruskal-Wallis	H = 18.25; p < 0.001	Aceptada
Específica 2 (Tetric N)	Diferencias significativas (49.9 > 43.5 > 35.6 HV).	Kruskal-Wallis	H = 10.18; p = 0.006	Aceptada
Específica 3 (Forma)	Diferencias significativas, con patrón atípico: 500 (53.8) > 600 (47.1) > 275 (25.0).	Kruskal-Wallis	H = 16.47; p < 0.001	Aceptada
Específica 4 (Interacción)	Existe interacción resina × densidad	ANOVA factorial	F = 2.77; p = 0.033	Aceptada

Todas las hipótesis planteadas en el presente estudio fueron aceptadas, lo cual confirma que la densidad de potencia de fotopolimerización ejerce un efecto significativo y diferenciado sobre la dureza superficial Vickers de las resinas compuestas evaluadas.

4.4. Discusión de resultados

El presente estudio experimental se propuso determinar el efecto de la densidad de potencia de fotopolimerización sobre la dureza superficial Vickers de tres resinas compuestas ampliamente utilizadas en odontología restauradora. Los resultados obtenidos permiten confirmar que la densidad de potencia constituye un factor determinante en las propiedades mecánicas finales de los composites evaluados, aunque su efecto se modula significativamente según la composición química y el sistema fotoiniciador de cada material. El ANOVA factorial de dos vías reveló efectos altamente significativos tanto para la densidad de potencia como para el tipo de resina, así como una interacción estadísticamente significativa entre ambos factores, lo cual responde de manera contundente al problema de investigación planteado y confirma la hipótesis general de que el efecto de la irradiancia depende del material restaurador específico empleado.

Respecto al efecto de la densidad de potencia, los hallazgos evidenciaron que la irradiancia de 275 mW/cm² produjo valores de dureza significativamente inferiores en las tres resinas evaluadas, con una media global de 36.81 HV que denota una polimerización severamente comprometida. Este resultado es consistente con reportes previos que establecen densidades mínimas de 300 a 400 mW/cm² como umbral necesario para una activación eficiente de los fotoiniciadores y una conversión adecuada de los monómeros (Rueggeberg, Myers y Caughman, 1994; Alshaafi, 2017). A densidades inferiores a este umbral, la cantidad de fotones disponibles resulta insuficiente para activar la totalidad del espesor del material, generando una red polimérica incompleta con monómeros residuales que aumentan la susceptibilidad a la degradación hidrolítica y la filtración marginal (Breschi, 2019). Por el contrario, las densidades de 500 y 600 mW/cm² generaron valores de dureza significativamente superiores, sin diferencias estadísticamente relevantes entre ambas a nivel global. Este patrón de meseta sugiere un umbral de polimerización óptimo alrededor de los 500 mW/cm², por encima del cual los incrementos adicionales de irradiancia no se

traducen en mejoras mecánicas proporcionales, hallazgo que concuerda con la cinética de polimerización descrita en la literatura (Beolchi, 2015; Asmussen, 2003).

El análisis comparativo entre materiales reveló una jerarquía clara en el comportamiento mecánico de las resinas evaluadas, respondiendo así a los objetivos específicos orientados a evaluar la dureza de cada composite por separado. Filtek Z350 XT demostró ser el material con mayor dureza superficial en todas las condiciones experimentales, exhibiendo una respuesta dosis-dependiente monotónica y predecible, con valores que se incrementaron progresivamente desde 49.88 HV a 275 mW/cm² hasta 72.33 HV a 600 mW/cm². Este comportamiento puede atribuirse a su formulación nanohíbrida, caracterizada por un alto contenido de relleno inorgánico y una matriz orgánica optimizada que favorece una red polimérica densa y homogénea ante una energía lumínica adecuada (Chen, 2023). La presencia de canforquinona como fotoiniciador principal, cuyo pico de absorción coincide con la emisión de las lámparas LED convencionales, explica además la eficiencia de activación y la consistencia de los resultados a densidades intermedias y altas (Souza, 2019). En segundo lugar, Tetric N-Ceram presentó un comportamiento intermedio y estable, con una tendencia ascendente consistente conforme aumentaba la densidad de potencia, aunque sin alcanzar los valores absolutos de Filtek Z350 XT. La formulación de este material, que incorpora Ivocerin además de la canforquinona tradicional, le confiere una mayor reactividad fotoiniciadora; no obstante, la ausencia de diferencias significativas entre 500 y 600 mW/cm² sugiere que alcanza un punto de saturación polimérica a densidades intermedias, por encima del cual el aporte energético adicional no incrementa sustancialmente sus propiedades mecánicas superficiales (Sampaio, 2024; Varshney, 2022).

El caso de la resina Forma resulta particularmente revelador y constituye el hallazgo más atípico del presente estudio, respondiendo al objetivo específico referido a este material. A la densidad de 275 mW/cm², este composite alcanzó valores de dureza extremadamente bajos, con una media de 24.97 HV y una desviación estándar

de 15.71, lo cual indica no solo una polimerización severamente comprometida, sino una alta heterogeneidad en la respuesta ante condiciones de baja energía. Este fenómeno podría explicarse por la presencia de fotoiniciadores alternativos, como Lucirin-TPO, cuyo rango de activación en longitudes de onda de 375 a 410 nm difiere del espectro de emisión predominante de las lámparas LED convencionales, generando una activación ineficiente cuando la densidad de potencia es insuficiente (Souza, 2019; Varshney, 2022). De particular interés fue el patrón no monotónico observado en esta resina, la cual alcanzó su máxima dureza a 500 mW/cm² (53.83 HV) pero experimentó una disminución a 600 mW/cm² (47.09 HV). Este comportamiento, no observado en las otras dos resinas, podría atribuirse a fenómenos de sobrecurado o a la generación excesiva de calor a densidades elevadas, factores que pueden acelerar la terminación de la reacción de polimerización, generar tensiones internas o degradar parcialmente la red polimérica formada (Asmussen, 2003; Soares, 2017).

La interacción estadísticamente significativa entre el tipo de resina y la densidad de potencia constituye, sin duda, el hallazgo de mayor trascendencia clínica del presente estudio, confirmando la hipótesis específica que planteaba dicha interacción. Este resultado demuestra de manera fehaciente que no es posible establecer un protocolo universal de fotocurado aplicable indistintamente a todos los composites comerciales, ya que cada material responde de manera particular a las variaciones en la irradiancia en función de su composición química específica y su sistema de fotoiniciadores. Desde una perspectiva práctica, esta individualización de la respuesta implica que el profesional odontólogo debe conocer las características técnicas del material seleccionado y ajustar el protocolo de polimerización según las recomendaciones del fabricante, verificando periódicamente la emitancia de la unidad de fotocurado mediante radiómetros calibrados (Giannini, 2020; Price, 2018). Asimismo, resulta imperativo mantener la punta de la lámpara lo más cercana posible a la superficie restauradora, dado que la densidad de potencia disminuye

exponencialmente con la distancia, y compensar adecuadamente las condiciones de difícil acceso donde la irradiancia efectiva se ve reducida (Al-Zain, 2021; Xu, 2017).

La dureza superficial Vickers, empleada en el presente estudio como variable dependiente, constituye un indicador indirecto pero confiable del grado de conversión de los monómeros durante la fotopolimerización, tal como ha sido establecido en investigaciones previas (Ferracane, 1985). Los valores reducidos observados a 275 mW/cm², especialmente en la resina Forma, permiten inferir la presencia de una proporción significativa de monómeros no reaccionados que permanecen en la matriz orgánica, incrementando la permeabilidad del material y su susceptibilidad a la absorción de agua (Breschi, 2019; Rueggeberg, 2017). Por el contrario, los valores elevados de dureza alcanzados por Filtek Z350 XT a 500 y 600 mW/cm² reflejan un grado de conversión cercano al óptimo. No obstante, cabe señalar que un grado de conversión excesivamente alto, potencialmente inducido por irradiancias muy elevadas, también puede conllevar efectos adversos relacionados con el incremento de la tensión de contracción por polimerización, la cual se ha asociado con la propagación de grietas en el esmalte y la formación de espacios marginales que comprometen la integridad adhesiva de la restauración (Soares, 2017; Asmussen, 2003).

Como toda investigación experimental de laboratorio, el presente estudio presenta limitaciones inherentes que deben considerarse al interpretar sus resultados. En primer lugar, las condiciones controladas del ensayo in vitro no reproducen completamente el ambiente clínico de la cavidad oral, donde factores biológicos como la humedad, las variaciones térmicas y la acción masticatoria pueden modificar el comportamiento final de los materiales restauradores (Breschi, 2019). En segundo lugar, la evaluación se limitó a la dureza superficial como único indicador indirecto del grado de conversión, sin incluir mediciones complementarias como espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier o análisis de la profundidad de polimerización, las cuales habrían permitido una caracterización más integral. Asimismo, el diseño

experimental se circunscribió a tres resinas compuestas y tres niveles específicos de densidad de potencia, con un tiempo de exposición fijo, por lo que los hallazgos no pueden extrapolarse de manera generalizada a todos los materiales disponibles ni a protocolos con diferentes tiempos de curado (Sampaio, 2024).

En síntesis, los resultados del presente estudio confirman que la densidad de potencia de fotopolimerización ejerce un efecto significativo sobre la dureza superficial de las resinas compuestas, pero que este efecto está modulado por las características específicas de cada material. La irradiancia de 275 mW/cm^2 resultó insuficiente para los tres composites evaluados, confirmando que densidades por debajo de 300 mW/cm^2 comprometen la calidad de la polimerización y, por ende, la longevidad clínica de las restauraciones. Por su parte, la densidad de 500 mW/cm^2 se perfila como un umbral generalmente óptimo para la mayoría de las resinas, aunque con las salvedades individuales evidenciadas, particularmente en el caso de Forma, cuyo comportamiento no lineal sugiere la necesidad de protocolos de fotocurado específicos. Estos hallazgos fortalecen la base científica para la toma de decisiones clínicas basada en evidencia, promoviendo la individualización de los protocolos de fotopolimerización según el material restaurador empleado, con el fin de optimizar las propiedades mecánicas de las restauraciones y, en última instancia, mejorar la calidad de la atención odontológica y la salud bucal de la población.

CONCLUSIÓN

El presente estudio experimental tuvo como propósito determinar el efecto de la densidad de potencia de fotopolimerización (275, 500 y 600 mW/cm²) sobre la dureza superficial Vickers de tres resinas compuestas evaluadas in vitro. El análisis estadístico mediante ANOVA factorial de dos vías confirmó que la densidad de potencia ejerce un efecto altamente significativo sobre la dureza superficial ($F = 31.49$; $p < 0.001$; $\eta^2p = 0.438$), evidenciando que la irradiancia de 275 mW/cm² produjo valores considerablemente inferiores en los tres materiales (media global = 36.81 HV), mientras que las densidades de 500 y 600 mW/cm² generaron resultados significativamente superiores sin diferencias entre ambas a nivel global ($p = 0.883$). Asimismo, se confirmó que el tipo de resina constituye un factor determinante ($F = 37.34$; $p < 0.001$; $\eta^2p = 0.480$), estableciéndose una jerarquía en la que Filtek Z350 XT presentó la mayor dureza global (62.94 HV), seguida de Tetric N-Ceram (43.01 HV) y Forma (41.96 HV). De manera central, la interacción significativa entre ambos factores ($F = 2.77$; $p = 0.033$; $\eta^2p = 0.120$) demostró que el efecto de la densidad de potencia depende del tipo de resina evaluada, respondiendo al objetivo general y confirmando que los protocolos de fotocurado deben individualizarse según cada material.

En relación con el primer objetivo específico, orientado a evaluar la dureza superficial de Filtek Z350 XT, se concluye que este material presentó diferencias estadísticamente significativas entre las tres densidades evaluadas, con una respuesta dosis-dependiente monótonica: 72.33 HV a 600 mW/cm², 66.61 HV a 500 mW/cm² y 49.88 HV a 275 mW/cm². La formulación nanohíbrida de este composite, con alto contenido de relleno inorgánico y canforquinona como fotoiniciador principal, favoreció una polimerización homogénea y predecible, particularmente a densidades intermedias y altas donde la coincidencia espectral garantizó una activación eficiente. Estos hallazgos confirman que Filtek Z350 XT se beneficia de densidades de potencia elevadas, alcanzando su máxima dureza a 600 mW/cm², lo cual la posiciona como el material más resistente mecánicamente entre los evaluados.

Respecto al segundo objetivo específico, referido a evaluar la dureza superficial de Tetric N-Ceram, se concluye que este material presentó diferencias estadísticamente

significativas entre las tres condiciones energéticas, con una tendencia ascendente consistente: 49.93 HV a 600 mW/cm², 43.51 HV a 500 mW/cm² y 35.58 HV a 275 mW/cm². Aunque mostró un comportamiento mecánico inferior a Filtek Z350 XT en términos absolutos, su respuesta fue estable y predecible, evidenciando una formulación química robusta que incorpora Ivocerin como fotoiniciador complementario. La ausencia de diferencias significativas entre 500 y 600 mW/cm² sugiere que alcanza un punto de saturación polimérica a densidades intermedias, por encima del cual el incremento energético adicional no se traduce en mejoras mecánicas sustanciales, indicando que 500 mW/cm² resulta suficiente para optimizar sus propiedades sin necesidad de irradiancias mayores.

En cuanto al tercer objetivo específico, concerniente a evaluar la dureza superficial de Forma de Ultradent, los resultados permiten concluir que este material presentó diferencias estadísticamente significativas entre las tres densidades, aunque con un patrón de respuesta atípico y no monotónico. Forma alcanzó valores extremadamente bajos a 275 mW/cm² (media = 24.97 HV; DE = 15.71), evidenciando una polimerización severamente comprometida probablemente por la presencia de fotoiniciadores alternativos como Lucirin-TPO, cuyo rango de activación espectral difiere del emitido por las lámparas LED convencionales. De particular relevancia fue que Forma alcanzó su máxima dureza a 500 mW/cm² (53.83 HV) pero disminuyó a 600 mW/cm² (47.09 HV), comportamiento atribuible a fenómenos de sobrecurado o generación excesiva de calor, lo cual subraya la necesidad de protocolos de fotocurado específicos para este material desaconsejando irradiancias superiores a 500 mW/cm².

Finalmente, en relación con el cuarto objetivo específico, orientado a determinar la interacción entre el tipo de resina y la densidad de potencia, el ANOVA factorial confirmó una interacción estadísticamente significativa ($F = 2.77$; $p = 0.033$; $\eta^2p = 0.120$), demostrando que las resinas responden diferente ante una misma densidad de potencia. Filtek Z350 XT mostró una respuesta lineal ascendente, Tetric N-Ceram una tendencia con meseta a densidades intermedias, y Forma un patrón no lineal con máximo a 500 mW/cm². Estos hallazgos confirman que no es posible generalizar un único protocolo de fotocurado universal y que la selección de la densidad de potencia debe individualizarse según el material específico,

verificando periódicamente la emitancia de la unidad con radiómetros calibrados. En síntesis, la irradiancia de 275 mW/cm² resultó insuficiente para los tres materiales, confirmando que densidades por debajo de 300 mW/cm² comprometen la polimerización, mientras que 500 mW/cm² se perfila como umbral generalmente óptimo con las salvedades individuales evidenciadas. Estos resultados fortalecen la base científica para la toma de decisiones clínicas basada en evidencia, promoviendo protocolos individualizados que optimicen las propiedades mecánicas de las restauraciones y contribuyan a mejorar la calidad de la atención odontológica.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos y las conclusiones establecidas en el presente estudio, se formulan las siguientes recomendaciones:

1. Individualizar los protocolos de fotopolimerización según el tipo de resina compuesta empleado. No todas las resinas responden de manera idéntica ante una misma densidad de potencia, por lo que los clínicos deben conocer las características específicas de cada material, especialmente su composición de fotoiniciadores, para seleccionar la densidad de potencia y el tiempo de exposición más adecuados.
2. Evitar el uso de densidades de potencia inferiores a 300 mW/cm², independientemente del material restaurador seleccionado. El presente estudio demostró que 275 mW/cm² produce polimerizaciones severamente comprometidas en todas las resinas evaluadas, con valores de dureza que comprometen la integridad mecánica y la longevidad clínica de las restauraciones.
3. Considerar que densidades de 500 mW/cm² son generalmente suficientes para alcanzar propiedades mecánicas óptimas en la mayoría de las resinas compuestas, evitando los posibles efectos adversos asociados a densidades excesivamente altas, como la generación de calor, el sobrecurado y el aumento de la tensión de contracción por polimerización.
4. Realizar la calibración periódica de las unidades de fotocurado mediante radiómetros, verificando que la densidad de potencia emitida corresponda a los valores indicados por el fabricante. La degradación de las puntas de fibra óptica, la acumulación de residuos y el desgaste de los diodos emisores de luz pueden reducir significativamente la irradiancia efectiva, comprometiendo la calidad de la polimerización.
5. Mantener la distancia de aplicación de la punta de la lámpara lo más cercana posible a la superficie del material restaurador (0-2 mm), dado que la densidad de potencia disminuye exponencialmente con la distancia. En zonas de difícil acceso, como la región gingival del margen proximal, se recomienda incrementar el tiempo de exposición o utilizar lámparas con mayor emitancia para compensar la pérdida de irradiancia.

6. Seguir rigurosamente las recomendaciones de los fabricantes respecto a los protocolos de fotocurado específicos para cada material, incluyendo el tiempo de exposición, la densidad de potencia óptima y la distancia de aplicación. Los fabricantes deben proporcionar información detallada sobre el tipo de fotoiniciadores presentes en sus formulaciones y las características espectrales de las lámparas más adecuadas para su activación.

Este estudio no solo contribuye al conocimiento científico sobre la influencia de la densidad de potencia en las propiedades mecánicas de las resinas compuestas, sino que también proporciona lineamientos prácticos orientados a mejorar la calidad de las restauraciones odontológicas y, en última instancia, a promover la salud bucal y el bienestar de la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Sampaio C, Abreu JLBD, Batsheva Kornfeld, Silva EMD, Giannini M, Universidad de Nueva York, Facultad de Odontología, Departamento de Biomateriales y Biomimética, Hirata R, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Facultad de Odontología de Piracicaba, Departamento de Odontología Restauradora. Sistemas compuestos de relleno en bloque con tiempos de curado cortos: contracción volumétrica, grado de conversión y dureza Vickers [Internet]. 2021 Dec. Available from: <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2024.vol38.0030>
2. Chen F 1, Lijuan SD 2, Yu P 3, Lin J 1. Influencia de los tipos de relleno en el desgaste y la dureza superficial de las restauraciones de resina compuesta. Revista De Biomateriales Aplicados Y Materiales Funcionales [Internet]. 2023;1–8. Available from: <https://doi.org/10.1177/22808000231193524>
3. Varshney I, Jha P, Nikhil V, Departamento de Odontología Conservadora y Endodoncia, Subharti Dental College and Hospital, Swami Vivekanand Subharti University, Meerut, Uttar Pradesh, India. Efecto del curado por luz monoonda y polionda sobre el grado de conversión y microdureza de compuestos con diferentes fotoiniciadores: Un estudio in vitro. J Conserv Dent [Internet]. 2022 Oct 13; Available from: <http://www.jcd.org.in>
4. Oh S, Kim HJ, Kim HJ, Antonson SA, Kim SY. Influence of irradiation distance on the mechanical performances of resin composites polymerized with high-irradiance light curing units. Biomaterials Research [Internet]. 2022 May 20;26(1). Available from: <https://doi.org/10.1186/s40824-022-00267-5>
5. Al-Zain AO, Platt JA. Effect of light-curing distance and curing time on composite microflexural strength. Dental Materials Journal [Internet]. 2020 Sep 30;40(1):202–8. Available from: <https://doi.org/10.4012/dmj.2020-002>
6. Shimokawa C, Turbino M, Giannini M, Braga R, Price R. Effect of curing light and exposure time on the polymerization of Bulk-Fill Resin-Based composites in molar teeth. Operative Dentistry [Internet]. 2020 Feb 13;45(3):E141–55. Available from: <https://doi.org/10.2341/19-126-l>

7. Cadenaro M, Maravic T, Comba A, Mazzoni A, Fanfoni L, Hilton T, Ferracane J, Breschi L. The role of polymerization in adhesive dentistry. *Dental Materials* [Internet]. 2018 Dec 13;35(1):e1–22. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.11.012>
8. Souza MBDA none, Briso AL none, Oliveira Reis BD none, Dos Santos PH none, Fagundes TC none. Influencia de las unidades de fotocurado en la microdureza de la superficie y el cambio de color de las resinas compuestas después del desafío [Internet]. Vols. 2–2, J Contemp Dent Pract. 2019 p. 204–10. Available from: <https://10.5005/revistas-en-japon-10024-2498>
9. Price, Richard & Fahey, John & Felix, C.. (2010). Knoop hardness of five composites cured with single-peak and polywave LED curing lights. *Quintessence international* (Berlin, Germany : 1985). 41. e181-91.
10. Rueggeberg FA, Giannini M, Arrais CAG, Price RBT. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Brazilian Oral Research* [Internet]. 2017 Aug 26;31(suppl 1). Available from: <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2017.vol31.0061>
11. Xu X, Sandras DA, Burgess JO. Shear Bond Strength with Increasing Light-Guide Distance from Dentin. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* [Internet]. 2006 Jan 1;18(1):19–28. Available from: <https://doi.org/10.2310/6130.2006.00007>
12. ALShaafi MM, Haenel T, Sullivan B, Labrie D, Alqahtani MQ, Price RB. Effect of a broad-spectrum LED curing light on the Knoop microhardness of four posterior resin based composites at 2, 4 and 6-mm depths. *Journal of Dentistry* [Internet]. 2015 Nov 22;45:14–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.11.004>
13. J.L. Ferracane, Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins, *Dent. Mater.* 1 (1985) 11–14.
14. R.L. Erickson, W.W. Barkmeier, R.H. Halvorson, Curing characteristics of a composite—part 1: cure depth relationship to conversion, hardness and radiant exposure, *Dent. Mater.* 30 (2014) e125–e133.
15. K.J. Anusavice, R.W. Phillips, C. Shen, H.R. Rawls, *Phillips' Science of Dental Materials*, 12th ed., Elsevier/Saunders, St. Louis, MO, 2013.

16. S.A. Shahdad, J.F. McCabe, S. Bull, S. Rusby, R.W. Wassell, Hardness measured with traditional vickers and martens hardness methods, *Dent. Mater.* 23 (2007) 1079–1085.
17. J.G. Leprince, W.M. Palin, J. Vanacker, J. Sabbagh, J. Devaux, G. Leloup, Physico mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites, *J. Dent.* 42 (2014) 993–1000.
18. Shimokawa C, Sullivan B, Turbino M, Soares C, Price R. Influence of emission spectrum and irradiance on light curing of Resin-Based composites. *Operative Dentistry* [Internet]. 2017 Jun 5;42(5):537–47. Available from: <https://doi.org/10.2341/16-349-l>
19. Beolchi RS, Moura-Netto C, Palo RM, Torres CRG, Pelissier B. Changes in irradiance and energy density in relation to different curing distances. *Brazilian Oral Research* [Internet]. 2015 May 17;29(1):1–7. Available from: <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2015.vol29.0060>
20. Asmussen E, Peutzfeldt A. Light-emitting diode curing: influence on selected properties of resin composites. *Quintessence Int.* 2003;34(1):71-75. PMID: 12674362.
21. Galvão MR, Caldas SG, Bagnato VS, de Souza Rastelli AN, de Andrade MF. Evaluation of degree of conversion and hardness of dental composites photo-activated with different light guide tips. *Eur J Dent.* 2013 Jan;7(1):86-93. PMID: 23407620; PMCID: PMC3571515.
22. Kim EH, Jung KH, Son SA, Hur B, Kwon YH, Park JK. Effect of resin thickness on the microhardness and optical properties of bulk-fill resin composites. *Restorative Dentistry & Endodontics* [Internet]. 2015 Jan 1;40(2):128. Available from: <https://doi.org/10.5395/rde.2015.40.2.128>
23. Villarroel M, Fahl N, De Sousa AM, De Oliveira OB. Direct esthetic restorations based on translucency and opacity of composite resins. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* [Internet]. 2011 Feb 25;23(2):73–87. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2010.00392.x>

24. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent*. 1994 Jan-Feb;19(1):26-32. PMID: 8183730.
25. Kowalska A, Sokolowski J, Bociong K. The photoinitiators used in resin based Dental Composite—A review and future Perspectives. *Polymers* [Internet]. 2021 Feb 2;13(3):470. Available from: <https://doi.org/10.3390/polym13030470>
26. Guzmán Báez HJ, R GB, T MRB, R JNC, P DH, G GA. Biomateriales odontológicos de uso clínico. 2011.
27. Price RBT. Light curing in dentistry. *Dental Clinics of North America* [Internet]. 2017 Sep 5;61(4):751–78. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cden.2017.06.008>
28. Chaple Gil Alain Manuel, Montenegro Ojeda Yadira, Álvarez Rodríguez Javier. Evolución histórica de las lámparas de fotopolimerización. *Rev haban cienc méd* [Internet]. 2016 Feb [citado 2025 Jun 01] ; 15(1): . Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2016000100003&lng=es.
29. Giannini M, André CB, Gobbo VC, Rueggeberg FA. Accuracy of irradiance and power of Light-Curing units measured with handheld or laboratory grade radiometers. *Brazilian Dental Journal* [Internet]. 2019 Jul 1;30(4):397–403. Available from: <https://doi.org/10.1590/0103-6440201902430>
30. Medina M, Rojas R, Bustamante W, Loaiza R, Martel C, Castillo R. Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. Puno: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú; 2023. doi: 10.35622/inudi.b.080
31. Arias J, Holgado J, Tafur T, Vasquez M. Metodología de la investigación: El método ARIAS para desarrollar un proyecto de tesis. Puno: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú; 2022. doi: 10.35622/inudi.b.016
32. Hadi M, Martel C, Huayta F, Rojas R, Arias J. Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis. Puno: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú; 2023. doi: 10.35622/inudi.b.073

33. Hernandez. Metodología de la Investigacion Mexico: Mc Graw Hill; 2018.
34. Fonseca A. et.al. Investigación Científica en Salud con enfoque cuantitativo. 1st ed. Gráfica D&S E.I.R.L; 2012.
35. Macchi Ricardo Luis. Introducción a la Estadística en Ciencias de la Salud. 2nd Ed. Editorial Médica Panamericana; 2013.

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos

Página 1 de 5

INFORME DE ENSAYO N°	IEO-0144-2025	VERSIÓN N° 01	Fecha de emisión:	12-08-2025
ENSAYO DE DUREZA MICROVICKERS EN RESINAS COMPUESTAS				
1. DATOS DEL SOLICITANTE				
Nombre de tesis	: "DUREZA SUPERFICIAL DE TRES RESINAS COMPUESTAS A DIFERENTES DENSIDADES DE POTENCIA PASCO- 2025"			
Nombres y Apellidos	: Leo Anthony Vargas Sanchez			
D.N.I.	: 73107543			
Dirección	: Psj. Tupac Amaru N° 169 – Chaupimarca - Pasco			
2. EQUIPOS UTILIZADOS				
Instrumento	Marca	Aproximación	Calibración	
Microdurómetro Vickers Electrónico	LG - HV-1000	1 µm - 40X	CC-061-2024	Los resultados del informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
3. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA				
Muestras de resinas odontológicas	Cantidad	: Noventa (90) muestras		HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este documento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados del informe aquí declarados.
	Material	: Resinas odontológicas		
	Grupo 1	: 3M - Z350		
	Grupo 2	: Ivoclar - Tetric N-Ceram		
	Grupo 3	: Ultradent - Forma		
<i>*Información proporcionada por el solicitante.</i>				
4. DATOS DE ENSAYO				
Fecha de Recepción de muestras	11 de Agosto del 2025			Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del Sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Analista asignado	RET			
Condiciones de la muestra	---			
Fecha de Ensayo	12 de Agosto del 2025			
Lugar de Ensayo	HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C. Jr. Nenentas 364 Urb. San Silvestre. San Juan de Lurigancho. Lima.			
5. CONDICIONES DE ENSAYO				
	Inicial	Final		
Temperatura	18,7 °C	18,7 °C		
Humedad Relativa	76.0 %HR	76.0 %HR		
6. REFERENCIA DE PROCEDIMIENTO				
El ensayo se realizó bajo la siguiente Norma:				
NORMA	DESCRIPCIÓN		CAPITULO/NUMERAL	
ASTME384-17	Método de prueba estándar para la dureza de materiales por microindentación		--	

INFORME DE ENSAYO N°	IEO-0144-2025	VERSIÓN N° 01	Fecha de emisión:	12-08-2025
-----------------------------	----------------------	----------------------	--------------------------	-------------------

7. RESULTADOS DE ENSAYOS DE MICRODUREZA VICKERS

Grupo 1: 3M - Z350 (distancia de fotocurado de 2 mm)					
Espécimen	Carga de Ensayo g (N)	Punto 1 Hv (Kg/mm2)	Punto 2 Hv (Kg/mm2)	Punto 3 Hv (Kg/mm2)	Promedio Hv (Kg/mm2)
1	50 (0.49033)	70.2	68.4	65.9	68.2
2		66.5	67.5	61.7	65.2
3		76.2	73.4	72.5	74.0
4		76.7	75.9	75.9	76.2
5		75.2	73.9	73.0	74.0
6		77.3	76.1	75.9	76.4
7		69.6	70.1	72.5	70.7
8		77.9	74.8	75.8	76.2
9		77.9	73.1	70.0	73.7
10		68.6	69.4	67.4	68.5

Grupo 1: 3M - Z350 (distancia de fotocurado de 4 mm)					
Espécimen	Carga de Ensayo g (N)	Punto 1 Hv (Kg/mm2)	Punto 2 Hv (Kg/mm2)	Punto 3 Hv (Kg/mm2)	Promedio Hv (Kg/mm2)
1	50 (0.49033)	64.6	66.8	64.8	65.4
2		71.5	69.6	71.9	71.0
3		70.5	69.6	70.5	70.2
4		64.2	62.0	64.9	63.7
5		73.5	71.9	71.8	72.4
6		70.5	69.6	69.6	69.9
7		61.7	67.7	67.7	65.7
8		60.8	61.8	60.8	61.1
9		61.9	62.7	61.9	62.2
10		66.8	63.4	63.9	64.7

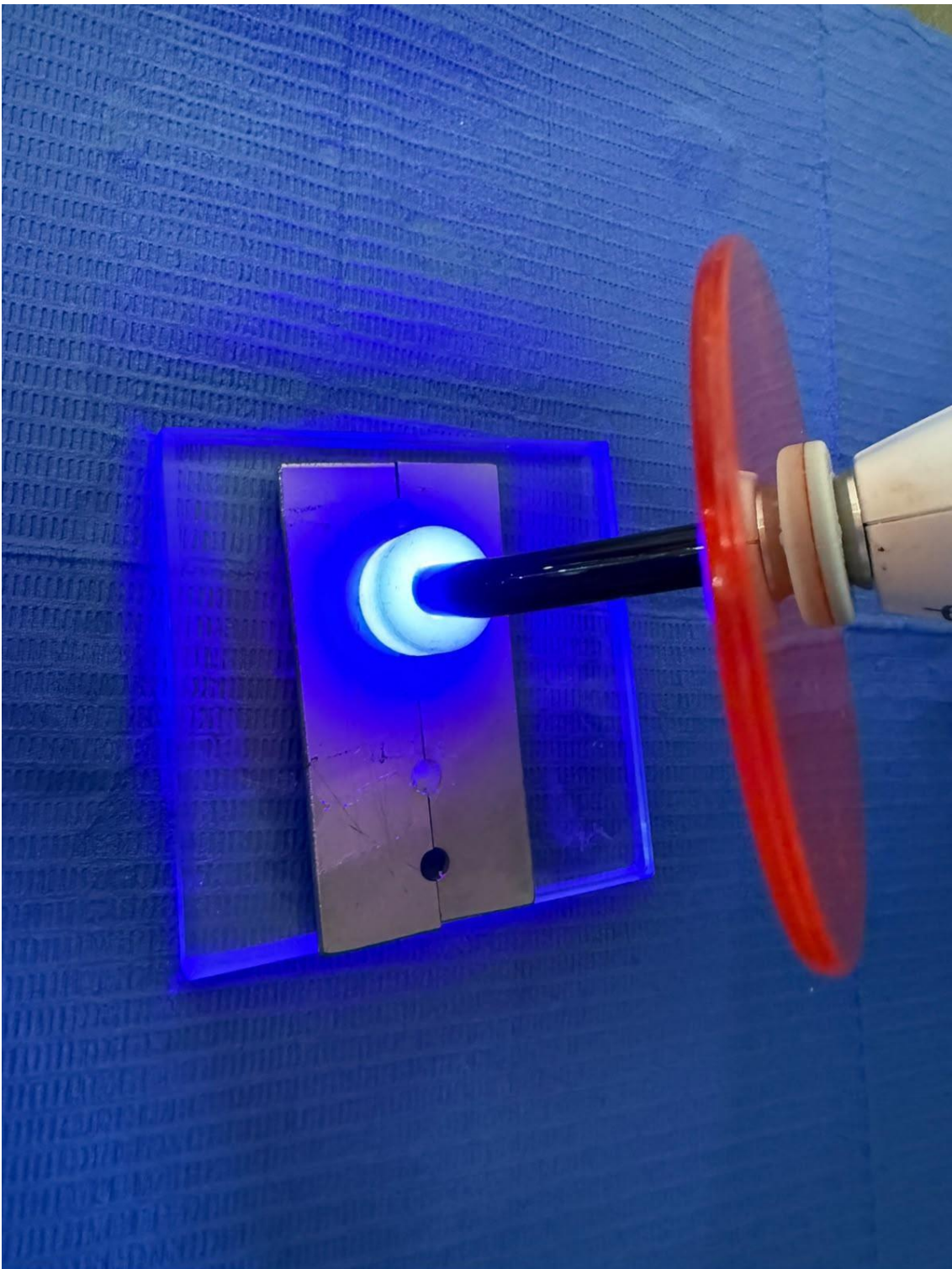
Grupo 1: 3M - Z350 (distancia de fotocurado de 6 mm)					
Espécimen	Carga de Ensayo g (N)	Punto 1 Hv (Kg/mm2)	Punto 2 Hv (Kg/mm2)	Punto 3 Hv (Kg/mm2)	Promedio Hv (Kg/mm2)
1	50 (0.49033)	55.8	56.9	57.9	56.9
2		60.1	60.8	59.3	60.1
3		31.2	33.4	33.4	32.7
4		64.2	59.5	55.1	59.6
5		38.0	42.9	45.1	42.0
6		64.2	68.4	70.5	67.7
7		36.7	37.5	33.3	35.8
8		66.8	65.1	65.9	65.9
9		30.1	30.4	30.3	30.3
10		40.4	45.1	57.9	47.8

INFORME DE ENSAYO N°		IEO-0144-2025	VERSIÓN N° 01	Fecha de emisión:	12-08-2025
Grupo 1: Ivoclar - Tetric N-Ceram (distancia de fotocurado de 2 mm)					
Espécimen	Carga de Ensayo g (N)	Punto 1 Hv (Kg/mm2)	Punto 2 Hv (Kg/mm2)	Punto 3 Hv (Kg/mm2)	Promedio Hv (Kg/mm2)
1	50 (0.49033)	55.8	54.8	57.9	56.2
2		60.1	60.5	59.3	60.0
3		31.8	32.8	33.4	32.7
4		64.2	59.4	55.1	59.6
5		38.0	38.5	45.1	40.5
6		64.2	68.4	70.5	67.7
7		36.7	37.0	33.3	35.7
8		66.8	67.1	65.9	66.6
9		30.1	35.3	30.3	31.9
10		40.4	40.8	57.9	46.4
Grupo 2: Ivoclar - Tetric N-Ceram (distancia de fotocurado de 4 mm)					
Espécimen	Carga de Ensayo g (N)	Punto 1 Hv (Kg/mm2)	Punto 2 Hv (Kg/mm2)	Punto 3 Hv (Kg/mm2)	Promedio Hv (Kg/mm2)
1	50 (0.49033)	41.9	40.5	41.0	41.1
2		33.6	38.1	37.1	36.3
3		42.2	41.3	39.4	41.0
4		46.3	45.8	42.8	45.0
5		49.5	49.5	48.1	49.0
6		47.8	47.0	45.2	46.7
7		44.8	44.7	44.7	44.7
8		38.1	39.5	35.5	37.7
9		47.3	46.1	46.4	46.6
10		47.3	46.8	46.8	47.0
Grupo 2: Ivoclar - Tetric N-Ceram (distancia de fotocurado de 6 mm)					
Espécimen	Carga de Ensayo g (N)	Punto 1 Hv (Kg/mm2)	Punto 2 Hv (Kg/mm2)	Punto 3 Hv (Kg/mm2)	Promedio Hv (Kg/mm2)
1	50 (0.49033)	28.0	31.5	33.3	30.9
2		33.9	36.1	36.1	35.4
3		31.4	38.1	42.8	37.4
4		38.5	37.5	36.6	37.5
5		35.3	40.9	41.5	39.2
6		38.2	36.7	34.9	36.6
7		36.3	31.6	28.9	32.3
8		39.0	40.5	41.9	40.5
9		31.8	32.8	32.8	32.5
10		33.4	33.4	33.6	33.5

INFORME DE ENSAYO N°	IEO-0144-2025	VERSIÓN N° 01	Fecha de emisión:	12-08-2025
ROBERT NICK EUSEBIO TEHERAN CIP: 193364 INGENIERO MECÁNICO Jefe de Laboratorio	 HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE			
El resultado es solo válido para las muestras proporcionadas por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe de ensayo.				
FIN DEL DOCUMENTO				

PANEL FOTOGRÁFICO

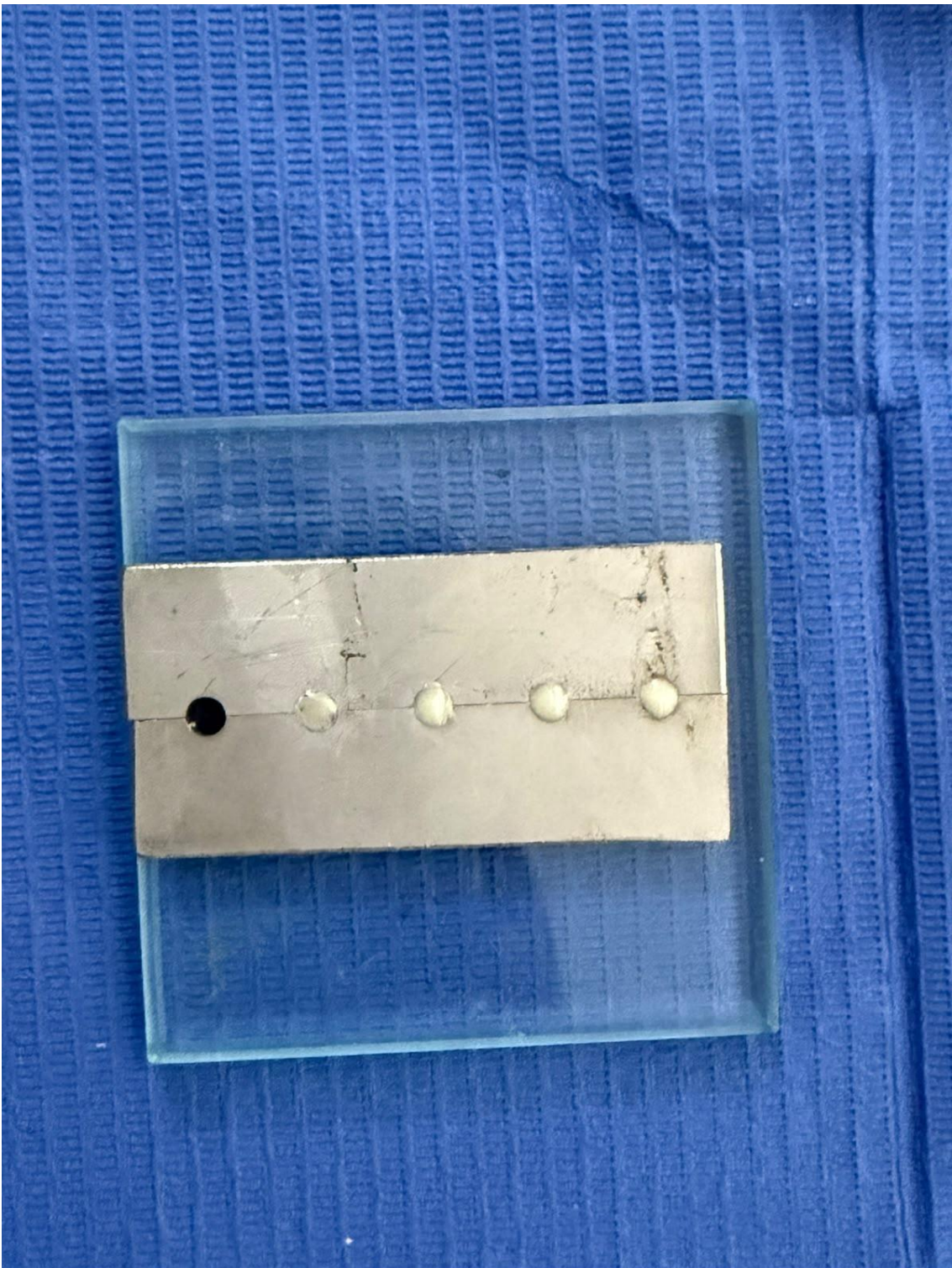




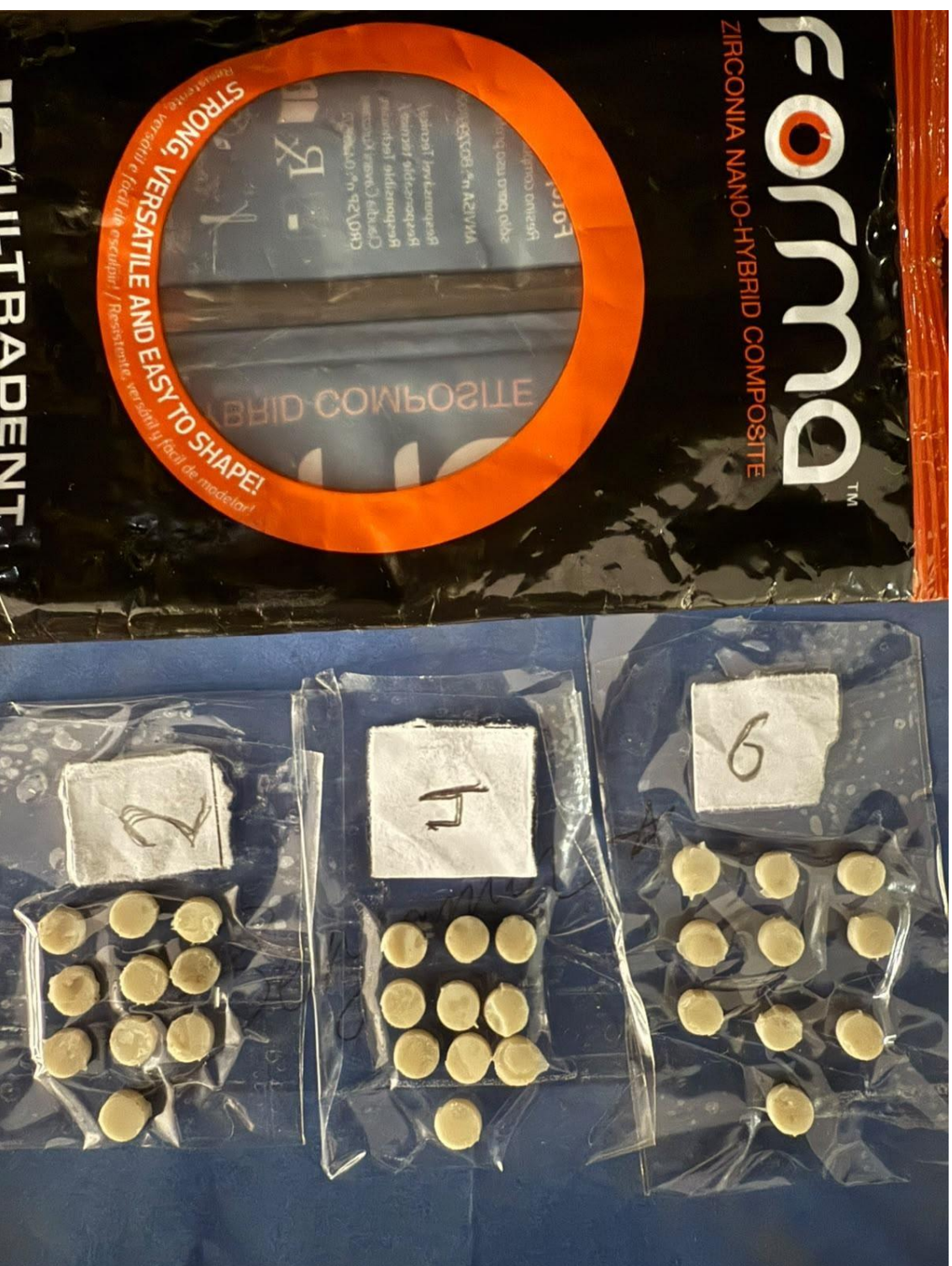












3M | Filtek™

ESPE

Z350 XT
Universal Restorative

A1B

⑨ Universal Restorative – A1 Body Shade
⑩ Restaurativo Universal – Tono A1 del cuerpo

⑪ Restaurador Universal – Corpo Cor A1

⑫ 전구치용 수복재 – A1 몸체 색조

⑬ 通用複形材料 – A1 牙體色調

⑭ วัสดุบูรณะฟันหน้า และฟันหลัง – เฉดสีฟัน A1

⑮ Matériau de restauration universel – Corps/Body A1



4g / 1 —

REF

7018A1B



Tetric® N-Ceram

Refill
A1

Syringe 1 x 3.5 g

ivoclar

REF 604025AN

LOT Z07GM9

EXP 2024-09-19

EXP 2028-09-18



(01)07616208008665
(11)240919
(17)280918
(10)Z07GM9
(24)604025AN

[en] Polymer-based dental restorative material (intraoral light-curing) [fr]
Matériau de restauration dentaire à base de polymères (photopolymérisation
intraorale) [es] Material restaurador dental basado en polímeros
(fotopolimerización intraoral) [pt] Material restaurador odontológico baseado
em polímero (fotopolimerização intraoral) [ru] Полимерный стоматологический
материал (ажиз ізкіа сертєсен) [ru] Полимерный стоматологический
материал (световое отверждение в полости рта)

IMPORTADO POR E. V. PAREJA LECAROS S. A.
CALLE LOS NEGOCIOS No. 281 - SURULLILLAMA
RUC: 26100375228 T. 6119130 R. S. NORRINZECSO

