Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Odontología
Unidad de Posgrado

Efecto del croma de resinas bulk fill en la profundidad de polimerización empleando dos unidades de fotoactivación LED a 2 distancias diferentes. Estudio *in vitro*

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Estomatología

AUTOR

Allan Clark GUTIERREZ LEIVA

ASESOR

Dr. César Alberto POMACÓNDOR HERNÁNDEZ

Lima, Perú

2020



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Gutierrez A. Efecto del croma de resinas bulk fill en la profundidad de polimerización empleando dos unidades de fotoactivación LED a 2 distancias diferentes. Estudio in vitro [Tesis de maestría]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Odontología, Unidad de Posgrado; 2020.

Hoja de metadatos complementarios

Código ORCID del autor	0000-0001-8758-3349
DNI o pasaporte del autor	07763737
Código ORCID del asesor	0000-0001-9951-4797
DNI o pasaporte del asesor	41688810
Grupo de investigación	"—"
Agencia financiadora	"—"
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Laboratorio multifuncional de Estomatología de la Universidad Privada Juan Pablo II -12.020963, -76.903739
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2019
Disciplinas OCDE	Odontología, Cirugía oral, Medicina oral http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.02.14 Biomateriales http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.04.04

Facultad de Odontología
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
UNIDAD DE POSGRADO

"Año de la universalización de la salud"

ACTA N° 018-FO-UPG-2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS MODALIDAD VIRTUAL
PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER EN ESTOMATOLOGÍA
Autorizado con RR N°01357-R-20

En la ciudad de Lima, a los 03 días del mes de noviembre del año dos mil veinte, siendo las 08:00 horas, se reunieron los miembros del Jurado para llevar a cabo la sustentación de la tesis titulada: **"EFECTO DEL CROMA DE RESINAS *BULK FILL* EN LA PROFUNDIDAD DE POLIMERIZACIÓN EMPLEANDO DOS UNIDADES DE FOTOACTIVACIÓN LED A 2 DISTANCIAS DIFERENTES. ESTUDIO IN VITRO",** presentada por el bachiller don **ALLAN CLARK GUTIERREZ LEIVA**, para optar el grado académico de Magister en Estomatología.

Concluida la exposición, se procedió a la evaluación correspondiente, después de la cual obtuvo la siguiente calificación:

EXCELENTE	19	DIECINUEVE
Escala	Número	Letras

A continuación, el Presidente del Jurado, en virtud de los resultados favorables, recomienda que la Facultad de Odontología proponga que la Universidad le otorgue al bachiller don **ALLAN CLARK GUTIERREZ LEIVA**, el grado académico de Magister en Estomatología.

Se expide la presente acta en cuatro originales y siendo las _09:20 h_, se da por concluido el acto académico de sustentación.



Dr. Fernando Alfonso Ortíz Culca
Presidente



Mg. Carlos Alberto Arroyo Pérez
Miembro



Mg. Carlos Michell Gálvez Ramírez
Miembro



Dr. César Alberto Pomacóndor Hernández
Miembro Asesor

Escala de calificación

- Excelente 20, 19
- Muy bueno 18, 17
- Bueno 16, 15
- Aprobado 14
- Desaprobado 13 o menos

❖**RECOMENDACIONES**

_____

Datos de la plataforma virtual institucional del acto de sustentación:
https:
ID:
Grabación archivada en:

❖ **PÚBLICO ASISTENTE:** (Nombre, apellido y DNI)

Águeda Sadith Martínez tinoco	DNI 40911021	sadith.martinez@gmail.com
Eliberto Ruiz Ramirez	DNI 43493292	eliberto.ruiz@unmsm.edu.pe
Irwin Jareck Gutierrez Leiva	DNI 956367290	jareck.gutierrez@gmail.com
Gabriela Sedano Balbín	DNI 40359931	gsedanob@unmsm.edu.pe
Sandra Patricia Palomino Gómez	DNI 09926664	spalominog@unmsm.edu.pe
Mayra Miluzca Mory Quiroz	DNI 44572061	Mayramiluzca@gmail.com
Braulio Isidoro Caro Norabuena	DNI 70435945	braucn@gmail.com
Rubén Cesar Bravo Asencios	DNI 10117679	ruce74@gmail.com
Víctor Nicolás Martínez Huamán	DNI 07661144	vicmarhua@hotmail.com
Esthefanny Merino Revilla	DNI 47238773	esmer1304@hotmail.com
Daniel Blanco Victorio	DNI 09849247	dblancov@unmsm.edu.pe

ÍNDICE

Capítulo 1: Introducción 9

1.1 Situación Problemática 9

1.2 Formulación del Problema 11

1.3 Justificación de la investigación 12

1.4 Limitaciones 13

1.5 Objetivos de la investigación 14

Capítulo 2: Marco Teórico 15

2.1 Antecedentes de la investigación 15

2.2. Bases teóricas 29

2.2.1 Resinas Compuestas 29

2.2.2 Composición de la resina compuesta 29

Fase Orgánica 30

Iniciadores 30

Aceleradores 31

Inhibidores 31

Monómeros 32

Fase Inorgánica 32

Agentes de Unión 33

Pigmentos 33

2.2.3 Clasificación de las resinas compuestas 34

Macrorelleno 34

Microrrelleno 34

Híbridas 35

Midifill 36

Microhíbridas 36

Nanohíbridas 36

Nanorelleno 36

2.2.4 Propiedades de las resinas compuestas 37

2.2.4.1 Propiedades físico químicas 37

Absorción acuosa 37

Solubilidad 37
Contracción de polimerización 37
Textura superficial 38
Resistencia a la compresión 38
Resistencia a la flexión 38
Radiopacidad 39
Profundidad de polimerización 39
2.2.4.2 Propiedades ópticas 40
Coeficiente de transmisión de luz 40
Color 40
Matiz 42
Valor 43
Croma 43
Opalescencia 44
Fluorescencia 45
2.2.5 Resinas compuestas *bulk fill* 45
2.2.5.1 Composición 49
Matriz orgánica 49
Iniciadores 50
Cantidad de relleno 50
2.2.5.2 Propiedades de las resinas *bulk fill* 50
Profundidad de polimerización 50
Contracción de polimerización 51
Resistencia a la flexión 51
Adaptación interna 51
Consistencia 52
2.2.5.3 Resinas Filtek One bulk fill (3M ESPE) 52
2.2.6 Polimerización de las resinas compuestas 56
2.2.6.1 Fases de la polimerización 57
Fase de activación 57
Fase de iniciación 58
Fase de propagación 58
Fase de terminación 58
2.2.7 Unidades de fotoactivación 59

Unidades de luz ultravioleta 60
Unidades de luz halógena 61
Unidades de arco de plasma 62
Unidades LED 63
2.2.8 Determinación de la profundidad de polimerización 66
Norma ISO 4049 66
Grado de conversión del monómero 68
Perfiles de dureza de Vickers 68
2.3 Definición de términos básicos 69
2.3.1 Polimerización 69
2.3.2 Fotoactivación 69
2.3.3 Profundidad de polimerización 69
2.3.4 Tonalidad 69
2.3.5 Resinas compuestas 70
2.3.6 Resinas compuestas *bulk fill* 70
2.3.7 Grado de conversión 70
2.3.8 Unidad de fotoactivación 70
2.3.9 LED 70
2.3.10 ISO 70
2.3.11 BIS GMA 70
2.4 Hipótesis 71
2.4.1 Hipótesis general 71
2.4.2 Hipótesis específicas 71
2.5 Variables 71
2.5.1 Identificación de variables 71
2.5.2 Operacionalización de variables 72

Capítulo 3: Metodología 73
3.1 Tipo y diseño de investigación 73
3.2 Población y muestra 73
3.2.1 Unidad de análisis 73
3.2.2 Población diana 73
3.2.3 Tamaño de muestra 73
3.2.4 Selección de muestra 73

3.3 Técnica de recolección de datos 74
3.4 Análisis e interpretación de la información 79

Capítulo 4: Resultados 80

Capítulo 5: Discusión 95

CONCLUSIONES 100

RECOMENDACIONES 101

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 102

ANEXOS 117
Anexo 1: Matriz metálica según ISO 4049 117
Anexo 2: Materiales y equipos empleados 118
Anexo 3: Elaboración de los cuerpos de prueba 119-20
Anexo 4: Resultados del análisis estadístico 121-33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Composición de la resina compuesta	30
Figura 2	Agente de unión Silano	33
Figura 3	Efectos nocivos del estrés de polimerización	38
Figura 4	Matiz	42
Figura 5	Valor	43
Figura 6	Croma	43
Figura 7	Opalescencia	44
Figura 8	Fluorescencia	45
Figura 9	Técnica incremental	47
Figura 10	Tonalidades de resina Filtek One	53
Figura 11	Estructura molecular del AUDMA	53
Figura 12	Estructura molecular del AFM	54
Figura 13	Estructura del DDDMA	55
Figura 14	Estructura del Dimetacrilato de Uretano	55
Figura 15	Pasos en la polimerización por adición de radicales libres	59
Figura 16	Unidad de fotoactivación	60
Figura 17	Unidad de luz halógena	62
Figura 18	Unidad de arco de plasma	62
Figura 19	Unidad LED de primera generación	64
Figura 20	Unidad LED de segunda generación	65
Figura 21	Unidad LED de tercera generación	66
Figura 22	Esquema de elaboración de los cuerpos de prueba	77

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1	Rango de absorción del Ivocerin	48
Gráfica 2	Profundidad de curado de Filtek One bulk fill y Filtek bulk fill Posterior restorative según ISO 4049	68
Gráfica 3	Profundidad de polimerización con BP a 0mm	80
Gráfica 4	Profundidad de polimerización con BP a 4mm	81
Gráfica 5	Profundidad de polimerización con LED D a 0mm	82
Gráfica 6	Profundidad de polimerización con LED D a 4mm	83
Gráfica 7	Profundidad de polimerización vs. unidades a 0mm	85
Gráfica 8	Profundidad de polimerización vs. unidades a 4mm	86
Gráfica 9	Profundidad de polimerización vs. distancia con BP	88
Gráfica 10	Profundidad de polimerización vs. Distancia con LED D	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de las resinas compuestas	35
Tabla 2	Profundidad de polimerización de Filtek bulk fill	67
Tabla 3	Información de las unidades de fotoactivación LED empleadas en el estudio	76
Tabla 4	Descripción de materiales empleados	78
Tabla 5	información de las resinas empleadas	79
Tabla 6	Profundidad de polimerización con BP a 0mm	80
Tabla 7	Profundidad de polimerización con BP a 4mm	81
Tabla 8	Profundidad de polimerización con LED D a 0mm	82
Tabla 9	profundidad de polimerización con LED D a 4mm	83
Tabla 10	Profundidad de polimerización vs. unidades a 0mm	84
Tabla 10a	ANOVA: LED x Croma a 0mm	84
Tabla 11	Profundidad de polimerización vs. unidades a 4mm	85
Tabla 11a	ANOVA: LED x Croma a 4mm	86
Tabla 12	Profundidad de polimerización vs. distancia con BP	87
Tabla 12a	ANOVA: Distancia x Croma con BP	87
Tabla 13	Profundidad de polimerización vs. distancia con LED D	88
Tabla 13a	ANOVA: Distancia x Croma con LED D	89
Tabla 14	Datos obtenidos con BP a 0 mm	90
Tabla 15	Datos obtenidos con BP a 4mm	90
Tabla 16	Datos obtenidos con LED D a 0 mm	91
Tabla 17	Datos obtenidos con LED D a 4 mm	91

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Una de las enfermedades orales más prevalentes a nivel mundial es la caries dental, esta patología se caracteriza por ocasionar un daño irreversible y la pérdida de tejido al órgano dentario, lo que conlleva a la disminución de la calidad de vida de las personas que la padecen además de generarles un gasto económico para su tratamiento[1]. Ante esta situación se han desarrollado materiales que tienen como finalidad restituir la estructura y por consiguiente la función del diente afectado. Muchos son los esfuerzos realizados a lo largo del tiempo para el desarrollo y optimización de estos materiales, lo cual ha permitido el desarrollo de productos con características y propiedades físicas similares al diente, entre ellos tenemos a las resinas compuestas, que tienen como principales atributos su alta estética y facilidad de aplicación, lo que les ha permitido posicionarse como uno de los principales materiales empleados para la restauración dental[2]. Presentan además la ventaja de tener una fácil manipulación y que permiten la realización de procedimientos restauradores menos invasivos que con otros materiales, ya que a diferencia de la amalgama dental por ejemplo, las resinas compuestas se pueden adherir a las estructuras dentarias[3].

1.1 Situación Problemática

En sus inicios las resinas compuestas se utilizaron como un material de restauración solo en piezas del sector anterior, pero al ir evolucionando en sus formulaciones, cambiando la calidad y tamaño de las partículas de relleno empleadas, se pudieron emplear también en el sector posterior[4,5]. El desempeño en condiciones clínicas y las propiedades que expresen van a depender de su estructura[6]. Las resinas compuestas presentan fenómenos que van a influir negativamente en la permanencia de la restauración en boca, entre los principales están el estrés y la contracción de polimerización,

debido al cambio dimensional que sufre el material y que va a ocasionar fallas en la interfase adhesiva y la disminución de la permanencia de la restauración[7]. Otro factor importante a considerar es la adecuada polimerización de la resina compuesta, y que va a depender a su vez de varios factores como son: la adecuada energía lumínica entregada por la unidad de fotoactivación, la profundidad de la cavidad a restaurar, la composición de la resina compuesta, el tiempo de fotoactivación, la tonalidad del material y su saturación, la distancia desde la punta de salida de luz y el material restaurador, entre otros[8].

Se han planteado algunas estrategias para reducir las tensiones generadas por la contracción de polimerización y asegurar una adecuada penetración de la luz activadora, una de ellas es la técnica incremental[9] que propone la colocación de la resina compuesta en incrementos de 2 mm de espesor como máximo, los cuales deben ser fotoactivados en tiempos independientes para cada incremento de material[10]. Esto conlleva a algunos inconvenientes como son el mayor tiempo de trabajo clínico al realizar una restauración profunda[11], además de la posibilidad de atrapamiento de aire entre los incrementos de resina e inclusive una mayor tensión de contracción y la contaminación del material[7].

Buscando superar estos problemas, recientemente han hecho su aparición en el mercado de materiales dentales las resinas compuestas nanohíbridas monoincrementales, más conocidas como resinas "*bulk fill*". Éstas resinas presentan como principal ventaja que permiten colocarla en incrementos de hasta 4 mm con un polimerizado adecuado en toda la restauración[12], reduciendo así el tiempo requerido en el proceso[11] y además presentan bajo grado de contracción después de la polimerización[13] lo que las convertiría en el material de primera elección para las restauraciones dentales sobre todo en aquellas de gran tamaño. Además las resinas compuestas *bulk fill* mantienen los valores de microdureza superficial y otras propiedades físicas muy similares a las resinas compuestas convencionales[14,15], lo que posibilita realizar restauraciones en el sector posterior en un tiempo más corto, evitando el agotamiento del profesional y del paciente, con buena durabilidad porque soportan bien las cargas masticatorias, y evitando una posible

sensibilidad post operatoria por atrapamiento de aire asociado a la contaminación por humedad entre las capas de incremento[10].

Las resinas compuestas *bulk fill* se presentan en varias tonalidades y diferentes saturaciones cada una, buscando lograr el mimetismo de la restauración con el tejido dentario. Ha sido reportado en la literatura científica que diferentes saturaciones o cromas de una resina compuesta pueden modificar la absorción, reflexión y transmisión de la luz y dar como resultado una disminución en la profundidad de polimerización[13,16,17]. En la actualidad las resinas compuestas requieren de una fuente emisora de luz para la activación de sus fotoiniciadores, la mayoría de ellas emplea a la Canforquinona (espectro de absorción de longitud de onda de 420-495 nm) como fotoiniciador, pero otras presentan además de la Canforquinona otros fotoiniciadores alternativos (espectro de absorción de longitud de onda < 420nm). Debido a esta diferencia en los espectros de absorción para cada fotoiniciador actualmente se emplean unidades de fotoactivación LED (*light-emitting diode*) de diferentes tecnologías: *monowave* y *polywave* Las primeras poseen diodos emisores sólo en el rango del azul que es el adecuado para la activación de la Canforquinona, mientras que las segundas poseen, además del rango azul, diodos emisores en el espectro de luz violeta para activar los fotoiniciadores alternativos[18].

Podemos encontrar diversas marcas comerciales tanto de resinas compuestas *bulk fill* como de unidades de fotoactivación LED, y si tenemos en cuenta el poco tiempo de estas resinas en nuestro medio y la relevancia de la elección adecuada de la unidad de fotoactivación para conseguir una profundidad de polimerización óptima, además que clínicamente existe una distancia de separación entre la punta de salida de luz y la superficie de la resina, se plantea el siguiente problema de investigación.

1.2 Formulación del Problema

¿Existen diferencias en la profundidad de polimerización de resinas compuestas *bulk fill* de cromas distintos al ser fotoactivadas empleando dos unidades de fotoactivación LED a 2 distancias diferentes?

1.3 Justificación

Justificación teórica de la investigación

- Debido a las novedosas propiedades ofrecidas por los fabricantes de las resinas *bulk fill*, que indican que pueden ser colocadas en incrementos de 4 mm o más, a diferencia de las resinas compuestas convencionales en las que es necesario insertar el material como máximo en incrementos de 2 mm, se hace necesario comprobar si la profundidad de polimerización ofrecida por el fabricante se cumple realmente y si ésta no se afecta por el croma de la resina, por la distancia existente entre la punta de salida de luz LED y la resina, o por la unidad de fotoactivación LED empleados.

- Debido a que el uso de unidades de fotoactivación LED *monowave* se ha popularizado en los últimos años en nuestro país debido a su costo económico y al no existir estudios que evalúen su desempeño, será importante verificar si cumplen con lograr el polimerizado adecuado de las resinas compuestas, al igual que las unidades de fotoactivación *polywave* de marcas reconocidas y usadas como referencia en diversos estudios.

Justificación Práctica de la investigación

- Los resultados que se obtengan contribuirán a incrementar el conocimiento teórico y práctico de estos materiales, además servirán de evidencia para el correcto uso en las labores clínicas por parte del odontólogo general y el especialista en rehabilitación, e indirectamente beneficiará a los pacientes que reciban las restauraciones con este material.

- De comprobarse que la profundidad de polimerización no se ve afectada por los factores estudiados y al menor tiempo clínico requerido para realizar las restauraciones, se podrá ofrecer

tratamientos restauradores a mayor cantidad de pacientes en los servicios públicos de salud, beneficiando a la población que más lo necesita.

- De los resultados obtenidos respecto a las unidades de fotoactivación se podrá brindar al odontólogo clínico las herramientas necesarias al momento de decidir qué unidad de fotoactivación emplear.

1.4 Limitaciones

- Los valores de la profundidad de polimerización de materiales resinosos obtenidos mediante la metodología propuesta por la ISO 4049 pueden presentar diferencias con respecto a los valores obtenidos por medio de otras metodologías.
- La dificultad de reproducir las condiciones que se presentan al realizar una restauración con resina compuesta en la cavidad bucal hace necesario la realización de metodologías para evaluar las propiedades y desempeño de los materiales restauradores, pero esto no refleja el comportamiento exacto del material en condiciones en vivo. Por lo tanto los resultados obtenidos en un modelo experimental pueden diferir de los que se presentan en una restauración en el paciente.
- Al ser un estudio "*in vitro*" los resultados obtenidos en este estudio no serían extrapolables directamente a la práctica clínica.

1.5 Objetivos de la investigación

1.6.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del croma de las resinas *bulk fill* en la profundidad de polimerización empleando dos unidades distintas de fotoactivación LED a 2 distancias diferentes.

1.6.2 Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto del croma de las resinas *bulk fill* en su profundidad de polimerización empleando la unidad de fotoactivación Bluephase N (*polywave*) a la distancia de 0 mm.
2. Evaluar el efecto del croma de las resinas *bulk fill* en su profundidad de polimerización empleando la unidad de fotoactivación Bluephase N (*polywave*) a la distancia de 4 mm.
3. Evaluar el efecto del croma de las resinas *bulk fill* en su profundidad de polimerización empleando la unidad de fotoactivación LED D *(monowave)* a la distancia de 0 mm.
4. Evaluar el efecto del croma de las resinas *bulk fill* en su profundidad de polimerización empleando la unidad de fotoactivación LED D *(monowave)* a la distancia de 4 mm.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Fronza y col. (2017). Realizaron el estudio titulado: "Características del contenido de relleno Inorgánico, propiedades mecánicas y transmisión de Luz de resinas compuestas *Bulk fill*". El objetivo fue caracterizar el contenido inorgánico, la transmisión de luz, la resistencia a la flexión bi axial, y el módulo de flexión de una resina compuesta convencional (colocada en capas) y cuatro resinas compuestas *bulk fill* a diferentes profundidades. Emplearon para ello 4 marcas comerciales distintas de resinas *bulk fill:* Flujo Surefil SDR, Filtek *Bulk Fill*, Tetric EvoCeram *Bulk Fill* y EverX Posterior, para la parte experimental y para el control empleó la Herculite Classic. Realizaron un análisis de energía dispersa de rayos X y microscopía electrónica de barrido para caracterizar la composición y morfología de las partículas de relleno, para medir la transmisión de luz a través de los diferentes grosores de resina (1, 2, 3 y 4 mm) emplearon un radiómetro espectral. Para medir la resistencia a la flexión bi axial y realizar pruebas del módulo de flexión, se prepararon ocho discos de resina *bulk fill* con un incremento de 4 mm de espesor. Obtuvieron como resultados que la transmisión de luz disminuyó con el aumento de espesor del compuesto para todos los materiales. Las resinas *bulk fill* permitieron mayor transmisión de luz que la resina control. Demostraron que Flujo Surefil SDR posee partículas más grandes e irregulares que las observadas en Tetric EvoCeram *Bulk Fill* o Herculite Classic. Las partículas de relleno en Filtek *Bulk Fill* eran esféricas, mientras que en EverX Posterior estaban compuestas de hebras de fibra de vidrio. Herculite Classic resultó ser el único material que tiene valores de resistencia a la flexión bi axial más bajos a mayor profundidad. Las resinas *bulk fill* Flujo Surefil SDR, Filtek *Bulk Fill* y Tetric EvoCeram *Bulk Fill* presentan reducido módulo de flexión con el aumento de profundidad del compuesto. Con todo esto concluyeron que las

resinas *bulk fill* investigadas poseen mayor transmisión de luz, independientemente de sus diferentes contenidos y características del material de relleno, aunque un aumento en el grosor del material reduce la transmisión de luz; la resistencia a la flexión bi axial de las resinas *bulk fill* en las capas más profundas no se vio comprometida[13].

Rodríguez y col (2017). Realizaron su estudio: "Efecto del tiempo de la exposición de fotoactivación, la tonalidad y el espesor en la profundidad de polimerización de resinas compuestas *bulk fill".* El objetivo fue investigar el efecto de diferentes tiempos de exposición a la luz, las tonalidades y espesores de las resinas compuestas *bulk fill* en su profundidad de polimerización, para lo cual evaluaron dos resinas compuestas *bulk fill*: Tetric EvoCeram *Bulk Fill* y Sonic Fill , y una resina compuesta convencional, Filtek Supreme Ultra. Las muestras (n = 10) se realizaron usando dos tonalidades diferentes (claro y oscuro), dos espesores (2 y 4 mm) y dos tiempos de exposición (20 y 40 segundos). Emplearon una máquina de prueba Tukon 2100B para obtener Knoop medidos en la parte superior e inferior de cada muestra, y la profundidad de polimerización se calculó como la relación de abajo / arriba. El análisis estadístico se realizó usando una prueba t de Student para comparaciones entre grupos con una corrección de Bonferroni de p <0,004.

Se obtuvo como resultados que los mayores valores de dureza variaron de 79.79 a 85.07 para, Filtek Supreme Ultra de 69.49 a 91.65 para Sonic Fill y de 51.01 a 57.82 para Tetric EvoCeram *Bulk Fill.* Los menores valores de dureza de Knoop variaron de 23.54 a 73.25 para FSU, de 45.74 a 77.12 para Sonic Fill y de 36.95 a 52.51 para Tetric EvoCeram *Bulk Fill* que tenía los valores de dureza de Knoop totales más bajos. El tiempo de exposición a la fotoactivación, la tonalidad y el grosor del material influyeron en la profundidad de polimerización en la mayoría de los grupos, especialmente a profundidades de 4 mm. Se logró una relación superior / inferior más alta cuando se comparó una fotoactivación de 40 segundos con una fotoactivación de 20 segundos, cuando se compararon tonalidades claras con tonalidades oscuras y cuando se compararon incrementos de 2 mm con incrementos de 4 mm[19].

Hyun y col. (2017). Realizaron el estudio: “Efecto de la tonalidad, la opacidad y el espesor de la capa en la transmisión de luz a través de una resina compuesta dental nanohíbrida durante la fotoactivación.” El objetivo fue investigar el efecto de la tonalidad o matiz y la opacidad en el cambio de la transmisión de luz a través de diferentes espesores de una resina compuesta nanohíbrida durante la fotoactivación. Emplearon doce tonalidades diferentes de resina Venus Diamond (Heraeus Kulzer), los colocaron en moldes en forma de disco con un grosor de 1, 2 y 3 mm (n=3 por grupo) y fueron fotoactivados con una unidad de fotoactivación LED. Usando el calibrador de resinas MARC light collector (Bluelight Analytics, que posee un puerto de recolección de luz de 16 mm y permite la caracterización de la luz de polimerización, la preparación consistente de muestras y la confianza en la reproductibilidad de resultados del estudio) midieron la Irradiancia inicial, final y promedio, y la cantidad total de energía que pasó a través de la muestra cada 10 segundos para un total de 40 segundos. Fue usado un medidor de cromaticidad para obtener el parámetro de translucidez y la relación de contraste. Los resultados fueron analizados con ANOVA / prueba de Tukey (alfa=0.05). Los resultados indicaron que todas las tonalidades y todos los grosores (hasta 3 mm) experimentaron un aumento en la transmitancia de luz durante la fotoactivación. La mayor parte del aumento se produjo durante los primeros 10 segundos de exposición, y sólo en muestras más gruesas (3 mm) ese aumento se dio con exposiciones posteriores. El aumento de la irradiancia en la parte inferior durante la fotoactivación dependió de la tonalidad, con tonalidades más oscuras y mayores profundidades de material se muestra menos aumento. Esto los llevó a concluir que, para una formulación específica de resinas compuestas, se produce un aumento en la translucidez conforme la fotopolimerización progresa, y este aumento se mejora para resinas compuestas de tonalidad más claras y con mayor translucidez[20].

Alkhudhairy (2017). Realizó el estudio: “Efecto de la intensidad de curado en las propiedades mecánicas de diferentes resinas compuestas *bulk fill”*, su objetivo fue investigar los efectos de emplear dos intensidades diferentes

de luz de fotoactivación sobre las propiedades mecánicas como microdureza Vickers, resistencia a la compresión diametral y resistencia a la tracción de resinas compuestas *Bulk fill*. Empleó cuatro resinas compuestas *bulk fill*: Tetric®N-Ceram, SonicFill™, Reemplazo de dentina inteligente, Flujo Surefil SDR™ material fluido para posteriores y Filtek™ Posterior Restaurativo. Preparó 72 muestras de forma cilíndrica para cada resina compuesta (n = 288) y las sometió a pruebas de microdureza Vickers, resistencia a la compresión diametral, ensayos de resistencia a la tracción al ser fotoactivadas a intensidades de luz altas (1200 mW / cm^2) y a intensidades bajas (650 mW / cm^2) (cada n = 12). Los resultados fueron evaluados empleando las pruebas t student para muestras independientes y pareadas, ANOVA de una vía y la prueba post hoc de Tukey. Se consideró un nivel de significancia de $P < 0.05$ en todas las pruebas estadísticas. Obtuvo como resultados que el promedio más elevado de microdureza se observó para SonicFill (58.3 dureza Vickers) usando para la luz de fotoactivación la alta intensidad. Se observó que existía diferencias significativas entre Flujo Surefil SDR™ fotoactivada con alta intensidad de luz y la que se fotoactivo con baja intensidad de luz ($P < 0.05$). La mayor media de fuerza de compresión lo obtuvo SonicFill (262.6 MPa), seguido de Flujo Surefil SDR™ (253.2 MPa), cada uno de ellos fotoactivados con alta intensidad de luz, y los menores valores fueron para Tetric N-Ceram usando baja intensidad de luz en la fotoactivación (214.3 MPa). En altas y bajas intensidades de luz de fotoactivación, la resistencia a la tracción diametral para todas las resinas compuestas, excepto SonicFill fue significativa ($P < 0.001$). Llegó a la conclusión que a mayor intensidad de luz de fotoactivación (1200 mW / cm^2) se incrementa la resistencia a las fuerzas de compresión y de tracción diametral y los valores de microdureza de las cuatro resinas compuestas *bulk fill* al compararlos con la fotoactivación a baja intensidad de luz (650 mW / cm^2). SonicFill presentó mejores valores de microdureza y de resistencia a la compresión para ambas intensidades de luz de fotoactivación y resistencia mayor a la tracción diametral con una luz de alta intensidad, aunque no fue significativa. Flujo Surefil SDR™ fotoactivada con luz de intensidad alta obtuvo la mayor resistencia a la tracción diametral de los cuatro materiales[21].

Faria y col. (2017). Realizaron el estudio: “Impacto de la tonalidad del material y la distancia de la unidad de fotoactivación, consejo sobre la profundidad de la polimerización de resinas compuestas”. Tuvieron como objetivo evaluar el efecto de la tonalidad de la resina compuesta y la distancia de separación desde la punta de salida de la unidad de fotoactivación sobre la irradiancia y la profundidad de polimerización. Emplearon tres tonalidades de resina compuesta Venus Diamond: Bleach Extra Light, Opaco Extra Dark Chromatic y la tonalidad universal A2. Cada resina compuesta fue empacada en moldes de 3 mm de espesor que estaban colocados sobre un espectrómetro y se fotoactivaron con la punta de la unidad de fotoactivación (Bluephase, Ivoclar-Vivadent -1,200 mW/cm^2) colocada a 0 o 1 cm de la superficie de la resina compuesta. La irradiancia media que llega al fondo de la resina compuesta se registró durante toda la fotoactivación (30 s). Las muestras (2 x 2 x 4 mm) se fotoactivaron y se usaron para mapear el grado de conversión logrado a diferentes profundidades de la superficie irradiada. Se seccionaron las muestras y se llevaron al microscopio de rayos infrarrojos conectado al espectrómetro para mapear la conversión. La conversión se midió en ocho profundidades diferentes cada 500 µm. Al aumentar la distancia de separación desde la punta de salida de luz de la unidad de fotoactivación se redujo la irradiancia solo para la tonalidad A2. La interposición de discos Opaco Extra Dark Chromatic dio como resultado los valores más bajos de irradiancia y para la tonalidad A2 el más alto. La conversión disminuyó hacia el fondo de las muestras para todas las condiciones experimentales, y la pendiente fue más acentuada para Opaco Extra Dark Chromatic. Las diferencias entre las tonalidades y las distancias desde la punta de la unidad de fotoactivación fueron evidentes solo más allá de 1.5 - 2.0 mm de profundidad. Con los resultados obtenidos concluyeron que, tanto la tonalidad de la resina compuesta como la distancia de separación de la punta de la unidad de fotoactivación pueden afectar la transmisión de la luz y la profundidad de la polimerización, mientras que el efecto de la última fue más pronunciado[22].

Wegehaupt y col. (2016). Realizaron el estudio: “Influencia de la distancia de fotoactivación en el grado de conversión y citotoxicidad de los adhesivos de grabado y enjuague y los autograbados”. El objetivo fue determinar la influencia de la distancia entre la punta de la unidad de fotoactivación y los adhesivos en su citotoxicidad y grado de conversión. Para el ensayo de citotoxicidad, se prepararon 98 muestras de dentina bovina, distribuidas en siete grupos (G1-G7; n = 14) G1: no tratado; G2-G4: OptiBond FL; G5-G7: OptiBond Todo en Uno. Los adhesivos se fotopolimerizaron (1.200 mW / cm ^{2}) a 1 mm (G2; G5), 4 mm (G3; G6) o 7 mm (G4; G7) de distancia. Las muestras se almacenaron en medios de cultivo por 24 horas y los extractos se agregaron a cultivos celulares (células de pulpa dental y fibroblastos gingivales) durante 24 horas adicionales. Para medir los efectos citotóxicos se usó la actividad de la enzima Lactato Deshidrogenasa liberada, mediante fotometría. El grado de conversión de los adhesivos se determinó mediante espectroscopía infrarroja transformada de Fourier. Los resultados indicaron que para ambos tipos de células, no se observó una diferencia significativa de liberación de Lactato Deshidrogenasa entre el grupo de control no tratado (G1) y los grupos tratados G2-G7 ($p > 0.05$, respectivamente), entre los grupos tratados con el mismo adhesivo y fotoactivados a diferente distancia ($p > 0.05$, respectivamente), así como también entre grupos tratados con diferentes adhesivos y fotoactivados a la misma distancia ($p > 0.05$, respectivamente). Dentro del adhesivo respectivo, no se observaron diferencias significativas en el grado de conversión cuando se fotoactivaban a diferentes distancias ($p > 0.05$, respectivamente), mientras que OptiBond FL mostraba grados de conversión significativamente más altos en comparación con OptiBond All-In-One cuando se fotoactivaban a las mismas distancias ($p <0.05$, respectivamente). Estos resultados los llevaron a concluir que la distancia entre la punta de la unidad de fotoactivación y la superficie del adhesivo no influye significativamente ni en la citotoxicidad ni en el grado de conversión de los adhesivos ensayados[23].

Harlow y col. (2016). En su estudio: “Transmisión de luz violeta y azul a través de resinas compuestas convencionales (en capas) y resinas compuestas *bulk fill*”. Tuvieron como objetivo medir la transmisión de luz en los rangos espectrales violeta (350 ≤ λ ≤ 425 nm) y azul (425 <λ ≤ 550 nm) de una unidad de fotoactivación de luz LED *Polywave* a través de diferentes espesores de cuatro resinas compuestas comerciales. Elaboraron muestras de resinas compuestas convencionales (Tetric EvoCeram A2, Filtek Supreme Ultra A2B) y resinas compuestas *bulk fill* (Tetric EvoCeram *Bulk Fill* IVA, y SureFil SDR Flow U). Se hicieron tres muestras de cada resina compuesta con espesores de 0,1- 0,7- 1- 2 y 4 mm. Las resinas compuestas se colocaron en un cilindro de 6 pulgadas y se fotoactivaron durante 20 segundos por única vez usando la unidad de fotoactivación LED *polywave* Bluephase G2 en su configuración de alta potencia. La potencia radiante espectral transmitida a través de cada muestra en las regiones violeta y azul se midió usando un espectrómetro de fibra óptica. Los resultados mostraron que a medida que aumentaba el grosor de la resina compuesta, ocurría una atenuación exponencial de la luz transmitida (R2> 0,98). La atenuación fue mayor para las regiones espectrales violeta que para las azules. En la punta de la unidad de fotoactivación, la luz violeta representaba el 15.4% de la salida de luz. Después de pasar a través de 4 mm de resina compuesta, la luz violeta representaba solo el 1.2-3.1% de la luz transmitida dependiendo de la resina compuesta, aproximadamente 100 mW del Bluephase G2 se transmitieron a través de 0.1 mm de resina compuesta en el rango 'violeta', cayendo como máximo a 11 mW después de pasar a través de 2 mm de resina, y a solo 2 mW a 4 mm profundidad. Concluyeron que se produce una significativa reducción en la transmisión de luz conforme se va incrementando el grosor de la resina compuesta a más de 2 mm. Esta reducción en la transmisión de la luz a través de la resina compuesta depende de la composición del material y del rango del espectro de luz. Encontraron que existe una mayor reducción en la luz violeta, que es la que posee una onda de luz más corta. Por lo que recomendaron una potencia superior a 425 nm para lograr una adecuada polimerización de las resinas compuestas *bulk fill,* que presentan niveles elevados de translucidez a 4 mm de profundidad o más[24].

Menees y col. (2015). Realizaron el estudio titulado: “Profundidad de polimerización de resinas compuestas *bulk fill* con luces de curado *monowave* y *polywave*”. Tuvieron como objetivo medir y comparar la profundidad de polimerización de dos resinas compuestas *bulk fill* utilizando una unidad de fotopolimerización *monowave* y otra *polywave* empleando moldes según la normativa ISO 4049. Midieron la profundidad de polimerización de resinas compuestas Tetric Evoceram *Bulk Fill* (Ivoclar Vivadent) y Filtek *Bulk Fill* Posterior (3M ESPE) al ser curadas empleando una unidad de fotoactivación LED *monowave* (Elipar S10 / 3M ESPE) y una *polywave* (Bluephase G2 / Ivoclar Vivadent). Emplearon moldes de metal para fabricar muestras con 10 mm de longitud (n = 10) según la norma ISO 4049. La resina compuesta sin curar fue raspada con un instrumento de plástico y se midió la mitad de la longitud del compuesto restante como el valor de la profundidad de polimerización. También fabricaron moldes dentales personalizados preparando orificios de forma cuadrada (4 x 4 mm) de más de 10 mm de largo en las superficies mesial / distal de molares humanos extraídos. Se colocó resina compuesta en un extremo del diente preparado y se polimerizó. La resina compuesta no curada se eliminó desde el lado opuesto desde el cual se irradió el diente y se seccionó la pieza mesiodistalmente. La mitad de la longitud del material compuesto curado restante se midió como la profundidad de polimerización. Los datos fueron analizado por ANOVA de tres vías (alfa = 0.05) para factores de material, unidad de fotoactivación y molde. Los resultados indican que no hubo diferencias significativas entre las unidades de fotoactivación *monowave* y *polywave* (p = .58) pero sí en la interacción entre material × molde (p = .0001). La profundidad de polimerización de las resinas difería significativamente sólo con el molde de acero inoxidable en el que Tetric Evoceram *Bulk Fill* mostró una mayor profundidad de polimerización que Filtek *Bulk fill* posterior (4.03 ± 0.14 vs 3.56 ± 0.38 mm, p <.0001)[25].

Garoushi y col. (2015). Realizaron el estudio: “Influencia del grosor del incremento en la transmisión de la luz, grado de conversión y microdureza de resinas compuestas *bulk fill*”. Tuvieron como objetivo evaluar las características de la transmisión de luz, el grado de conversión de

monómero y la microdureza superficial de 4 resinas compuestas de diferentes características: resina *bulk fill*, resina convencional, resina fluida y resina reforzada con fibra, a través de diferentes grosores incrementales. Tenían como hipótesis que existen diferencias en la transmisión de la luz azul a través de las resinas compuestas de diferentes tipos y que el grosor de los incrementos influye en su grado de conversión monomérica. Analizaron 11 muestras: 6 de resinas compuestas *bulk fill,* 3 de resinas compuestas nanohíbridas convencionales, 1 resina compuesta reforzada con fibra y 1 resina compuesta fluida. Los especímenes fueron preparados en moldes de teflón cilíndricos, abiertos en la parte superior e inferior, y fotopolimerizados durante 40 segundos con una unidad de fotoactivación LED, un espectrómetro midió en tiempo real la irradiancia transmitida en el fondo de las muestras. El grado de conversión del monómero después de iniciada y durante la fotopolimerización era monitoreado por espectroscopía infrarroja transformada de Fourier con un accesorio de muestreo de reflectancia total atenuada. La microdureza superficial de los especímenes de 4 mm de espesor fue medido con un microscopio de dureza Struers Duramin. Los resultados indicaron que los valores de irradiancia de luz penetrante se correlacionaron significativamente con el material y el grosor del incremento de los especímenes de resina (p \ 0.05, R2 = 0.997): a medida que aumentó el grosor, el valor de la irradiancia disminuyó para cada tipo de resina compuesta. Los resultados obtenidos demostraron que existen diferencias en la transmisión de luz azul a través de las resinas compuestas empleadas y que las resinas compuestas *bulk fill* poseen mayor translucidez y por consiguiente un mayor valor de la profundidad de polimerización que llega hasta 4 mm y que el grosor de los incrementos influye en el grado de conversión monomérica de las resinas compuestas[10].

El-Damanhoury y col. (2014). Desarrollaron su estudio: “Cinética de estrés por contracción de polimerización y propiedades relacionadas de resinas compuestas *bulk fill*”. El objetivo principal fue evaluar el estrés de contracción y la eficacia de la polimerización de muestras de 4 mm de longitud de 5 resinas compuestas *bulk fill* versus una resina compuesta convencional: flujo Surefil SDR (Dentsply), Tetric EvoCeram *Bulk fill* (Ivoclar

Vivadent), Venus *Bulk Fill* (Heraeus Kulzer), X-tra fill (Voco) y una resina *bulk fill* experimental (3M ESPE). La resina compuesta convencional que se usó como control fue Filtek Z250 (3M ESPE). El esfuerzo de contracción de los materiales en estudio se midió en tiempo real usando un tensiómetro; se registró la tensión de contracción máxima, el índice de tensión (R max.) y tiempo para alcanzar la tasa de esfuerzo máxima (t max). El módulo y la resistencia a la flexión se midieron usando un procedimiento estándar, la eficacia de la polimerización de las muestras de 4 mm de longitud se determinó usando la microdureza Knoop de porcentaje inferior / superior. Se analizaron los datos obtenidos usando el análisis de la varianza de una vía y pruebas de rango múltiple de Bonferroni con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Los resultados demostraron que el estrés por contracción, R máx. y t max de todas las resinas compuestas *bulk fill* fueron significativamente menores ($p<0.05$) que los valores encontrados en la resina compuesta convencional empleada de control a excepción de Xtra fill. Todas las resinas compuestas *bulk fill* evaluadas en el estudio lograron una eficiencia de polimerización aceptable (≥ 80% del porcentaje inferior / superior) a una profundidad de 4 mm. La conclusión a la que llegaron fue que las resinas compuestas *bulk fill* muestran una reducción significativa del estrés por contracción de polimerización, así mismo mantienen una eficacia de polimerización a 4 mm lo cual respalda su uso potencial en situaciones clínicas posteriores[26].

Alrahlaha y col. (2013). Realizaron el estudio: "Profundidad de polimerización de resinas compuestas *bulk fill*". Tuvieron como objetivo determinar la profundidad de polimerización mediante el uso de perfiles de dureza Vickers. Para lo cual analizaron 5 marcas distintas de resinas compuestas *bulk fill (*Tetric EvoCeram®*Bulk Fill*, X-tra base, Venus®*Bulk Fill*, FiltekTM*Bulk Fill*, SonicFill™) preparando 3 muestras de cada una de ellas en moldes elaborados en acero inoxidable con una cavidad de dimensiones de 15 mm x 4 mm x 2 mm) y una placa en la parte superior, luego irradiaron cada molde desde un extremo. Los especímenes se almacenaron a 37 ° C durante 24 h, antes de la medición. El perfil de dureza Vickers se midió como una función de la profundidad del material, a intervalos de 0,3 mm. Los

resultados que obtuvieron indican que el perfil de dureza de Vickers máximo varió de 37.8 a 77.4, mientras que al 80% el perfil de dureza máximo varió de 30.4 a 61.9. La profundidad de polimerización correspondiente al 80% del perfil de dureza de Vickers máximo, varió de 4,14 a 5,03 mm. El análisis mostró diferencias estadísticamente significativas entre los materiales para todos los parámetros probados. SonicFill exhibió el perfil de dureza de Vickers más alto ($p < 0.001$) mientras que Venus *Bulk Fill* el más bajo ($p \leq 0.001$). SonicFill y Tetric EvoCeram *Bulk Fill* tenían mayor valor de profundidad de curado (5,03 y 4,47 mm, respectivamente) y eran significativamente diferentes de la base X-tra, Venus *Bulk Fill* y Filtek *Bulk Fill* ($p \leq 0,016$). Estos resultados los llevó a la conclusión que las resinas compuestas *bulk fill* presentan una profundidad de curado aceptable, de acuerdo con las afirmaciones de los fabricantes. SonicFill y Tetric EvoCeram *Bulk Fill* tuvieron la mayor cantidad de curado entre los compuestos examinados[27].

Passos y Col. (2013). Realizaron el estudio: “Efecto de la tonalidad de la cerámica sobre el grado de conversión de un cemento de resina de polimerización dual analizado por Espectroscopia Infrarroja Transformada de Fourier. Su investigación tuvo el objetivo de evaluar el grado de conversión de monómeros de diferentes tonalidades de cemento de resina cuando se fotopolimerizan bajo diferentes tonos de cerámica feldespática. También se evaluó el tiempo de fotopolimerización y la translucidez de cada tonalidad de cerámica. Se evaluaron tres tonalidades de cerámica VITA VM7 (Base Dentin 0M1, Base Dentin 2M2 y Base Dentin 5M3) para determinar el porcentaje de translucidez. Se empleó un espectrofotómetro MiniScan para medir el porcentaje de opacidad de cada muestra (2 mm de grosor) y luego se calculó la translucidez. Para obtener el grado de conversión, los cementos resinosos (Variolink II; A3 amarillo y transparente) (espesor: 100 µm) fueron fotopolimerizados bajo de un bloque de cerámica de 2 mm de espesor, durante 20 o 40 s. Las muestras que se fotopolimerizaron sin bloque de cerámica fueron el control. Se evaluaron Dieciséis grupos (n = 3). El grado de polimerización de todas las muestras después de 24 horas se evaluó con espectrometría. El porcentaje del grado de conversión se calculó

de las muestras polimerizadas experimentalmente versus las polimerizadas al máximo. Obtuvieron como resultados que los porcentajes de translucidez de las cerámicas 0M1, 2M2 y 5M3 fueron 1.02%, 1,91% y 0,03%, respectivamente. El porcentaje del grado de conversión de ambos tonos de cemento de resina fotopolimerizados bajo la cerámica 5M3 fue significativamente más baja que los otros grupos ($p < 0.05$). El porcentaje del grado de conversión de grupos 0M1 no presentaron diferencias significativas con respecto a los grupos 2M2 ($p > 0.05$), con excepción del cemento transparente fotoactivado durante 40 s. Con estos resultados llegaron a la conclusión que la fotoactivación con cerámica de 2 mm mostró que el aumento en la saturación de croma disminuyó significativamente el porcentaje del grado de conversión del cemento de resina Variolink. (100 m de espesor)[28].

Jeong y col. (2009). Realizaron el estudio: “Efecto de las tonalidades de resina sobre la microdureza, la contracción de polimerización y cambio de color de las resinas compuestas dentales”. El objetivo fue evaluar el efecto de las tonalidades de resina compuesta sobre el grado de polimerización. Se midió la microdureza, la contracción de polimerización y el cambio de color. Se emplearon dos resinas compuestas comerciales de cuatro tonalidades diferentes: Z250 de tonalidades A3, A3.5, B3 y C3 y Solitaire en tonalidades A3, A3.5, B3 y B4. Después de la fotoactivación, se midió la reflectancia / absorbancia, la microdureza, la contracción de polimerización y el cambio de color de las muestras. En la reflectancia y la absorbancia, Z250 y Solitaire mostraron una curva de distribución similar independientemente de la tonalidad de la resina compuesta. La tonalidad A3.5 de Z250 y la tonalidad A3 de Solitaire que exhibe las distribuciones más bajas / más altas. En el coeficiente de atenuación y la microdureza, los valores más bajos / más altos fueron exhibidos por la tonalidad A3.5 de Z250 y la tonalidad A3 de Solitaire. En cuanto a la contracción de polimerización, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes tonalidades de Z250. Las muestras Z250 mostraron un ligero cambio de color ($\Delta E = 0.5\text{-}0.9$) después de sumergirlas en agua destilada durante 10 días, excepto por las

tonalidades A3 y A3.5. Con los resultados concluyeron que el grado de polimerización de las resinas compuestas se vio mínimamente afectado por la tonalidad[29].

Moore y col. (2008). Realizaron un estudio titulado: "Profundidad de polimerización de resinas compuestas dentales: Profundidad ISO 4049 y microdureza de tipos de materiales y tonalidades". Tuvieron como objetivo determinar si la tonalidad y la consistencia de la resina compuesta influyen en su profundidad de polimerización, para lo cual emplearon la técnica estandarizada ISO 4049 de medición de la profundidad de polimerización. Las resinas compuestas que emplearon fueron de tonalidades A1, B3 y D3, y de tres consistencias distintas: fluida, microhíbrida y condensable. La unidad de fotoactivación utilizada fue una lámpara halógena de cuarzo de 620 mW/cm^2. Tres especímenes de cada tipo de material y tonalidad se condensaron en moldes de teflón de 6 mm de profundidad y 4 mm de diámetro. Se colocó un espaciador metálico de 1 mm encima del molde para fijar la punta de la unidad de fotoactivación a 1 mm de separación de la superficie de la resina compuesta, y cada especímenes fue fotoactivado durante 20 segundos. Los resultados les permitieron comprobar que la profundidad de polimerización en resinas compuestas dentales se reduce con las tonalidades más oscuras, así como con materiales que poseen mayor cantidad de relleno[30].

Aguiar y col. (2005). Realizaron el estudio titulado: "Efecto de la distancia de la punta de fotoactivación y la tonalidad de la resina en la microdureza de una resina compuesta híbrida". El objetivo fue evaluar la influencia de la distancia entre la punta de la unidad de fotoactivación y la tonalidad sobre la microdureza de una resina compuesta híbrida. Para realizarlo emplearon la resina compuesta Z250 - 3M ESPE y elaboraron con ella cuarenta y cinco cuerpos de prueba en moldes cilíndricos de teflón que tenían 4 mm de diámetro interno y 2 mm de profundidad, mantenidos entre dos losas de vidrio separadas por tiras de matriz milar (Dentsply, Petrópolis, Brasil) y luego prensados con una carga estática de 500 g. Los cuerpos de prueba aún sin polimerizar fueron divididos al azar en nueve grupos experimentales

(n = 5). Se consideraron tres distancias de la punta de la unidad de fotoactivación (2 mm, 4 mm y 8 mm) y tres tonos de resina (A1, A3.5 y C2). Se empleó para la fotoactivación de todos los cuerpos de prueba una salida continua de luz de 550 mW / cm2 (XL 3000 - 3M Espe – Grafenau, Alemania) por 20 segundos.

Transcurridas 24 horas después de la polimerización, se realizaron mediciones de microdureza Knoop en las superficies superior e inferior de la muestra, con una carga de 25 gramos durante 10 segundos. Se realizaron cinco indentaciones en cada superficie del cuerpo de prueba. Los resultados de la dureza Knoop de las superficies superior e inferior se sometieron a la Prueba ANOVA de grupos independientes (p = 0,05) y la prueba post hoc de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Hallaron como resultados que las muestras de la superficie y del fondo fotoactivadas con la punta de la unidad a la distancia 2 mm y 4 mm presentaban valores de dureza significativamente mayores que las muestras fotoactivadas a 8 mm. Los valores de dureza más altos correspondieron al tono de resina A1 y fue estadísticamente diferente al de la tonalidad C2. La resina compuesta de tonalidad A3.5 no presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto a las tonalidades A1 y C2. En la parte superior, no hubo diferencias estadísticamente significativas con respecto a las distancias de la punta de la unidad de fotoactivación. Para todas las condiciones experimentales, la superficie superior mostró valores de dureza más altos que la parte inferior[31].

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Resinas Compuestas.

En la década de 1960, las resinas compuestas hicieron su aparición en la odontología conservadora, buscando reducir los inconvenientes que se generaban con el uso de las resinas acrílicas. Estas últimas a su vez reemplazaron a los cementos de silicato, que eran los materiales estéticos que estaban disponibles en esa época. Buonocore en 1954 usó ácido ortofosfórico para mejorar la adhesión entre resinas acrílicas y la superficie del esmalte dental logrando así una mayor permanencia del material en boca[32]. Bowen en 1962, buscando mejorar las propiedades físicas de las resinas acrílicas, debido a que sus monómeros solo podían formar polímeros de cadenas lineales, dio un gran avance al desarrollar el monómero Bis-GMA[33]. En sus inicios las resinas compuestas eran de activación química y se presentaban comercialmente en dos envases diferentes: uno contenía la base y el otro el catalizador o activador, que debían ser mezclados para lograr su polimerización, esto generaba problemas al momento de preparar la mezcla porque era difícil obtener un color adecuado. En 1970, la odontología restauradora da un gran cambio gracias a la aparición los materiales compuestos polimerizados por radiación electromagnética, evitando con ella los múltiples inconvenientes que se producían al mezclar los componentes de activación química. Phillips definió las resinas compuestas o composites como la combinación tridimensional de dos o más materiales que poseen distintas interfaces y naturaleza química[34]. Al principio, se utilizó como fotoactivador una fuente emisora de luz ultravioleta (365 nm), pero debido a la polimerización superficial y sus efectos iatrogénicos secundarios fue reemplazada por la fuente de luz visible (427-491 nm), que es la que se emplea hasta la actualidad y se somete a mejoras constantes[6].

2.2.2 Composición de la resina compuesta

La resina compuesta está constituida básicamente de tres fases, la primera es denominada fase orgánica o matriz, la segunda es la fase dispersa, inorgánica o fase de relleno y la tercera es la fase de unión o agente de

acoplamiento que generalmente está compuesta por Silano. Cada fase otorgará las características propias de cada resina compuesta[34].

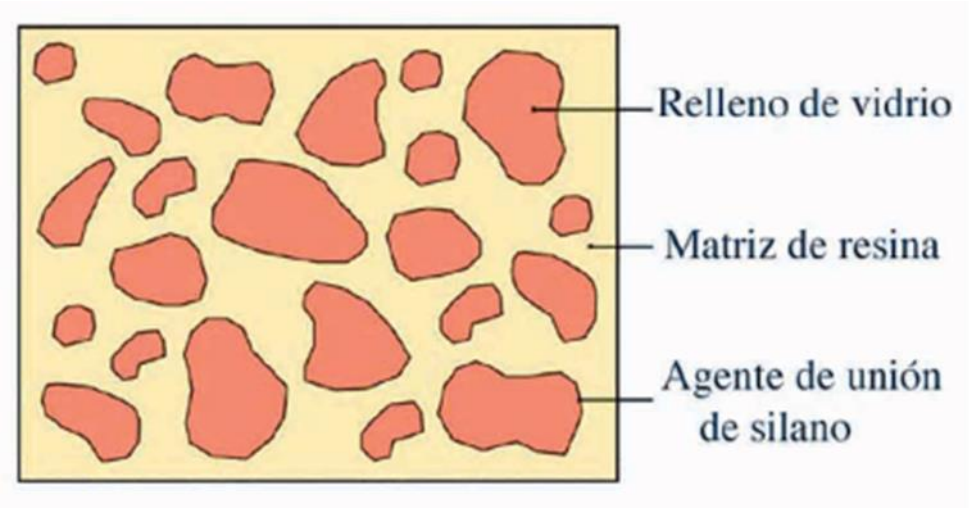


Figura 1. Composición de la resina compuesta. Tomado de Carrillo C, Monroy M. Materiales de resinas compuestas y su polimerización Parte I. Rev la Asoc Dent Mex. 2009;66(4):36–44 [35].

2.2.2.1 La fase orgánica. Conocida como matriz está compuesta principalmente por monómeros, pueden ser mono funcionales, di funcionales o tri funcionales; un agente encargado de la iniciación de la reacción de polimerización que posee radicales libres, aceleradores de reacción y agentes inhibidores[34].

2.2.2.2 Iniciadores. Antiguamente para las resinas compuestas que se activaban por luz Ultravioleta, se utilizaba como fotoiniciador de la reacción el metil éter-benzoico al 0.2% de concentración, no tenía aminas terciarias y sólo era necesario una longitud de onda de 365nm. Las resinas compuestas que son activadas por luz que es visible tienen como fotoiniciador las dicetonas, la más empleada de ellas es la Canforquinona[36], en una cantidad de 0.2% al 0.6% y se utiliza junto con una amina terciaria no aromática que se encuentra presente en concentraciones menores o iguales a 0.1%. La polimerización de la resina compuesta se puede ver afectada si se encuentran mayores concentraciones. Cada fotoiniciador requiere una longitud de onda determinada medida en nanómetros; y una densidad

lumínica, que se mide en mW/cm^2 y es la relación entre la potencia aplicada y la superficie donde se aplica. La dicetona tiene la capacidad de absorber rangos de luz visible de 420 a 470 nm, lo que la activa y que luego de interactuar con la amina orgánica, va a producir radicales libres que serán los responsables de iniciar la reacción de polimerización. La Canforquinona tiene el inconveniente que produce un color amarillento en la restauración final, lo que afecta su estética, por lo que también se ha buscado emplear otros fotoiniciadores alternativos[5] como la Lucerina TPO (monoacilfosfina óxido), el PPD (1-fenil-1,2-propanedione), los derivados del óxido de acilfosfina y alfa dicetona (Fenilpropandiona) y un derivado del dibenzoilo de germanio (patentado como Ivocerin) que tienen un color final más blanco y más estable en la restauración y son sensibles a una longitud de onda menores a los 420 nm; esto representa una dificultad al emplear unidades de fotoactivación de luz LED de segunda generación porque éstas sólo producen longitudes de ondas largas de 450-470 nm[36].

En el caso de resinas químicamente activadas o de autocurado el agente iniciador es un peróxido de benzoilo, combinado con una amina terciaria aromática (n, n-dihidroxietil-p-toluidina)[37].

2.2.2.3 Aceleradores. Se emplea una amina terciaria aromática para que al reaccionar con el agente iniciador le done electrones, produciendo así los radicales libres que se necesitan para iniciar la reacción de polimerización de la fase orgánica. Son varios los compuestos que pueden cumplir esta función, entre ellos tenemos el dimetilaminoetil metacrilato o DMAEM, etil-4-dimetilaminobenzoato o EDMAB, o N, N-cianoetil-metilanilina o CEMA o la N,N dihidroxietil-p-toluidina, esta última ha demostrado tener la ventaja de lograr un menor tiempo de curado y además permite mayor estabilidad del color[38].

2.2.2.4 Inhibidores. Van a prevenir la polimerización prematura de la resina además extiende el tiempo de almacenamiento sin que se afecte su estabilidad química e integridad. Los componentes más utilizados para esto son el 4-metoxifenol (PMP) y el 2-4-6 Titerciarbutil fenol (BHT), siendo este último el más empleado debido a su buena estabilidad de color; los agentes

como la 2-hidroxi-4-metoxibenzofenona también se emplean porque absorben las longitudes de onda ultravioleta inservibles de valores inferiores a 350 nm y brindan estabilidad en el color al eliminar los efectos negativos de la luz UV en los compuestos de amina en el iniciador, que podrían causar pérdida del color a lo largo del tiempo[39].

2.2.2.5 Monómeros. Los monómeros son el componente principal de la matriz, van a constituir la parte moldeable, de consistencia plástica que va a ser empaquetada dentro de la cavidad para reponer la estructura dentaria perdida. El monómero más empleado en la fabricación de resinas compuestas desde mucho tiempo atrás y que se sigue empleando en la actualidad es el Bis-GMA debido a que tiene una estructura aromática que le permite una mayor rigidez, su fuerza compresiva y una baja absorción de agua. En ocasiones es asociado con otro componente para controlar la viscosidad debido a que el bis-GMA es altamente viscoso. Estos componentes pueden ser el dimetacrilato de bisfenol A (Bis-DMA), etilenglicoldimetacrilato (EGDMA), dimetacrilato de trietilenglicol (TEGDMA), metacrilato de metilo (MMA) o dimetacrilato de uretano (UDMA)[40].

2.2.2.6 La fase inorgánica o dispersa. Está constituida por un material de relleno inorgánico que será el que determinará las propiedades mecánicas y físicas de la resina compuesta dependiendo de la naturaleza del relleno y la cantidad empleada. Se incorporan partículas de relleno en la matriz para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, es por eso que se busca adicionarle el más alto porcentaje de ellas. La carga va a disminuir tanto el coeficiente de expansión térmica del material como la contracción de polimerización, mejora la manipulación y el acabado final de la restauración brindando resultados muy estéticos además proporciona a la resina compuesta una radio opacidad que es una propiedad muy importante para la evaluación radiográfica de la restauración[41]. Se emplean como materiales de relleno los silicatos de boro, litio y aluminio, pero el más empleado es el dióxido de silicio. En muchas resinas compuestas se emplean partículas de algunos metales pesados como el Estroncio, el aluminio. el Bario, el Zinc, o el Zirconio, que poseen radiopacidad. Actualmente se vienen empleando

compuestos como por ejemplo el metafosfato de calcio, que son menos duros que los de vidrio y, por lo tanto, causan menos desgaste en el diente opuesto[42].

2.2.2.7 Agentes de unión. Permiten acoplar una partícula inorgánica a la matriz orgánica. Son compuestos orgánicos silánicos, moléculas con doble capacidad de reacción, por una parte, reaccionan con el BIS-GMA y por otra, con la sílice que está presente en las partículas del relleno inorgánico. El primer agente de unión empleado fue el vinil silano, pero debido a su baja reactividad fue reemplazado por el gamma-3(metacriloxi) propiltrimetoxisilano[43].

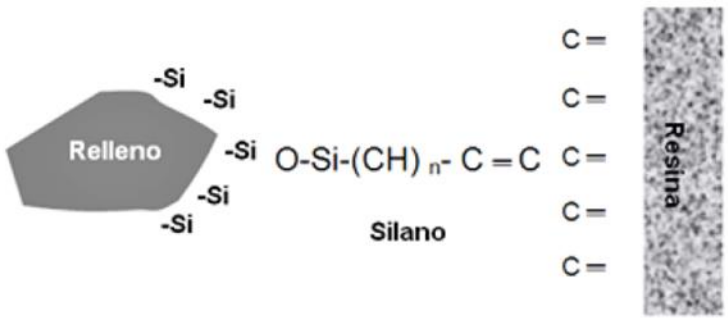


Figura 2. Agente de unión Silano. (tomado de Rodriguez D. evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. Acta Odontol. Venez.volumen 46 nº 3 / 2008)[44].

2.2.2.8 Pigmentos. La translucidez y el color de las resinas compuestas lo determinan no solo los fenómenos a nivel macroscópico (composición de la matriz y contenido de relleno), también serán influenciados por adiciones de pequeñas cantidades de pigmentos[45] para dar las distintas tonalidades que permitirán a la resina compuesta mimetizarse con el tejido dentario. El color observado en el material es el resultado de la absorción de la luz de manera selectiva por parte de los pigmentos y el reflejo de ciertos colores. Para que coincida con el color del diente, varias tonalidades de pigmentos amarillos y grises se mezclan en el material base de color blanco y ocasionalmente

algunos pigmentos azules o verdes son agregados[46]. La adición de pigmentos puede afectar la translucidez de la resina compuesta, especialmente si se trata de tonalidades más oscuras que requieren mayores cantidades de pigmentos negros y de dióxido de titanio[47].

2.2.3 Clasificación de las resinas compuestas

Existen varias formas de clasificar a las resinas compuestas, que las agrupan de acuerdo a su composición, al tipo de curado, a su consistencia, etc. Una de las más aceptadas es aquella propuesta por Lutz y Phillips que tiene como base el tamaño de las partículas de relleno[4,48]. (tabla 1)

Resinas compuestas de Macrorelleno. Las resinas compuestas que primero se comercializaron fueron estas. En ellas predominan el cuarzo y vidrio de Bario o estroncio como material de relleno. Debido a las partículas de cuarzo presentaban una dureza excesiva, y ocasionaban un desgaste excesivo del antagonista además no era un material radiopaco, aunque podemos resaltar su estética; mientras que el Estroncio y el Bario sí poseen radiopacidad, aunque son menos estables comparados con el cuarzo. Sus partículas de relleno tienen un tamaño que va de 1 a 100 µm. y tienen una concentración de 75% a 80% en peso y 60% - 70% en volumen. Actualmente ya no están disponibles en el mercado, el desuso de este material se debe al deficiente acabado superficial, con poca capacidad de pulido, alta rugosidad y un bajo brillo superficial; todo esto ocasionaba un alto grado de pigmentación de la restauración en boca. Se presentaban en dos pastas que debían mezclarse homogéneamente con una espátula para lograr el curado[49].

Resinas compuestas de microrrelleno. Contienen partículas de sílice coloidal con un tamaño promedio de 50 nm. Los monómeros están llenos de sílice coloidal y son previamente polimerizados por calor luego se muelen hasta obtener un polvo relativamente fino de 50 mm de tamaño, y luego es añadido en el compuesto final para un relleno total del contenido[4,50]. En estos materiales se puede obtener un excelente pulido, pero bajas

propiedades físicas y mecánicas como un mayor porcentaje de absorción acuosa, alto coeficiente de expansión térmica y un bajo módulo de elasticidad, por lo que se recomiendan en áreas altamente estéticas pero relativamente pequeñas de clase III y clase V[50].

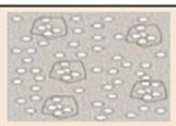
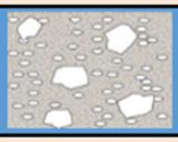
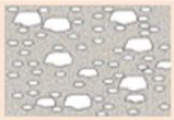
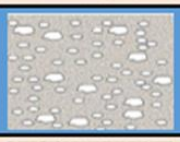
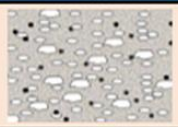
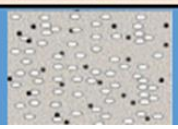
Tipo de resina	tamaño de relleno y distribución	tamaño promedio del relleno	marcas comerciales
MICRORELLENO		40-50 nm	Helio Molar HB (Ivoclar-Vivadent)
HIBRIDAS		10-50µm +40nm	Charisma (Heraeus Kulzer inc)
MIDIFILL		1-10µm +40nm	Z100 (3M-ESPE)
MINIFILL O MICROHIBRIDA		0.6-1µm +40nm	FiltekZ250 (3M-ESPE) Tetric Ceram(Ivoclar-Vivadent)
NANOHIBRIDA		0.6-1µm +5-100nm	FiltekZ250 XT (3M-ESPE)
NANOFILL		5-100nm	Filtek Supreme Plus (3M-ESPE)

Tabla 1. Clasificación de las resinas compuestas convencionales en base al tamaño de su relleno. Modificado de Ferracane JL. Resin composite–state of the art. Dent Mater 2011;27(1):32[5]. Modificado por el autor.

Resinas compuestas híbridas. Poseen un relleno reforzado por cristales de tamaño y composición distintos, que se encuentran entre el 70% - 80% del peso, y en 60%-65% del volumen. Sus partículas tienen un tamaño de 0,6 µm a 5 µm. Poseen buena estética, propiedades físicas y mecánicas mejoradas y pueden usarse en el sector anterior y también en el posterior. Se presentan en una gran diversidad de colores lo que permite al profesional tener más opciones de resinas que se mimeticen con la estructura dental,

logran un excelente pulido, presentan menor contracción de polimerización, una baja absorción de agua, mejor texturización, coeficientes de abrasión, desgaste y expansión térmica similares al de un diente natural, además se presentan en grados diferentes de translucidez y opacidad, fluorescencia y matices[49]. Sin embargo la pérdida de brillo superficial y el pronto desgaste de las restauraciones siguen siendo una preocupación clínica[4].

Resinas compuestas midifill. Sus partículas de relleno tienen un tamaño entre 1–10 µm. Presentan buena resistencia a la flexión, a la fractura y módulo elástico elevado, es por eso que su empleo en el sector posterior estaba recomendado. Presentaban al igual que las resinas híbridas un desgaste prematuro y pérdida del pulido superficial[4].

Resinas compuestas microhíbridas. Se denominan así porque poseen propiedades físicas propias de las resinas híbridas y además sus partículas son de tamaño de las resinas de micro relleno y oscilan entre 0,6-1 µm, esto les confiere la resistencia necesaria a las fuerzas de masticación y además un excelente pulido lo que permite que sean empleadas en el sector anterior y posterior. Poseen una gran variedad de colores con una gama de translúcidos y opacos, fluorescencia y Suavidad superficial después del pulido además de un manejo fácil para el operador pues no tienen consistencia pegajosa[5,6].

Resinas compuestas nanohíbridas. Son llamadas así pues en su elaboración se incorporan partículas de tamaño nanométrico (sílice pirogénica de 0,04 µm) en el interior de una resina microhíbrida, en su matriz inorgánica partículas nanométricas en tamaños de entre 5 a 100 nm. Poseen un micro relleno en promedio de 0.6-1µm. Estas partículas brindan al material viscosidad, regulan su consistencia, le dan el color y la radiopacidad[5,49].

Resinas compuestas de nanorelleno. Poseen partículas de óxido de Sílice de 5–100 nm, lo que les permite mejorar sus características estéticas y

físicas, se incorporan como nanómetros aglomerados. Se pueden emplear tanto en el sector anterior como en el posterior[4,49].

2.2.4 Propiedades de las resinas compuestas

2.2.4.1 Propiedades físico químicas

Absorción acuosa. La absorción de agua es el proceso por el cual la resina compuesta incorpora agua dentro de su estructura, específicamente en la matriz, por un proceso de difusión controlada, esto puede conllevar a la degradación y posterior ruptura del acoplamiento entre el relleno y la matriz**.** Todos los materiales dentales, una vez expuestos al medio oral, van a sufrir procesos de absorción en mayor o menor grado que los puede conducir al fracaso de la restauración[51]. Según la Norma ISO 4049 para los materiales de restauración con base en polímeros la absorción acuosa debe ser de hasta 40 µg/mm[52].

Solubilidad. Es el proceso de biodegradación de las partículas del relleno, iones y sustancias orgánicas como monómeros residuales en presencia de fluidos bucales, esto produce una reducción del peso. La solubilidad de las resinas compuestas indicada en la Norma ISO 4049 debe ser como máximo de 5 mg/mm[52].

Contracción de Polimerización. La contracción de polimerización de la resina compuesta es el proceso de acercamiento entre sí de los monómeros presentes en la matriz orgánica, que se realiza mediante la sustitución de los espacios de van der Waals por enlaces covalentes, convirtiendo los monómeros en polímero, esto trae como consecuencia la reducción del volumen del material. Los monómeros de la matriz orgánica en una resina compuesta sin polimerizar se encuentran separadas en promedio 4 nm, luego de la polimerización y establecer enlaces covalentes esta distancia se va a reducir a 1.5 nm[44]. La contracción de la polimerización es el principal problema que afrontan las resinas compuestas, ya que puede generar

tensiones entre las paredes cavitarias y el material de restauración, generando fallas en la interfaz adhesiva[44].



Figura 3. Efectos nocivos del estrés de polimerización en la interfase adhesiva. Tomado de Pfeifer CS. Polymer-Based Direct Filling Materials. Dent Clin North Am. 2017;61(4):733–50[4].

Textura Superficial. Se refiere a que la superficie de la resina compuesta es uniforme y está relacionada de manera directa con las características que presentan las partículas de relleno y con el procedimiento de acabado de la restauración y el pulido final. Es importante esta propiedad porque va a influir directamente en la longevidad de la restauración, pues una superficie rugosa favorece el acúmulo de placa bacteriana, lo que afectará la integridad de los tejidos que soportan la restauración[6].

Resistencia a la compresión. Es el máximo esfuerzo que un material puede soportar recibiendo una carga de aplastamiento. En resinas compuestas se presenta una relación directamente proporcional entre la resistencia a la compresión y el tamaño de las partículas de relleno[53].

Resistencia a la Flexión. Conocida también como módulo de rotura, es definida como la resistencia que un material ofrece al ser flexado cuando está apoyado en sus extremos y se le aplica una fuerza en su centro, y esta se distribuye equitativamente. Se encuentra íntimamente relacionada con la resistencia a la compresión, es decir si un material presenta una alta resistencia a la compresión, también presentará una elevada resistencia a la

flexión. Según la norma ISO 4049 una resina compuesta debe presentar una resistencia a la flexión como mínimo de 80 MPa[52].

Radiopacidad. Es la capacidad que permite diferenciar mediante una radiografía la resina compuesta del tejido dentario. Se emplean diferentes elementos como Zinc, estroncio, iterbio, lantanio, bario, itrio y circonio para conseguir que la resina sea radiopaca. La Norma ISO 4049 establece que la radiopacidad que debe poseer un material debe ser igual o mayor a la que presenta una lámina de aluminio de igual espesor que el material de obturación[52,54].

Profundidad de polimerización. Distancia o profundidad que una resina logra polimerizar adecuadamente al incidir sobre ella una luz de intensidad media de 460mW/cm^2 provista por una unidad de fotoactivación en un tiempo determinado, se mide en milímetros y se considera desde la superficie hasta la parte más inferior del material[55]. El paso de la luz se ve afectado al tomar contacto con otros cuerpos y disminuye su intensidad a medida que lo recorre. Por ejemplo, la energía luminosa que emite la unidad de fotoactivación se reduce significativamente cuando atraviesa la resina compuesta, esto genera la disminución progresiva de la tasa de conversión del monómero a polímero, conduciendo a fallas tempranas de la restauración. La profundidad de polimerización es influenciada por la absorción de la luz y la dispersión de ésta a través del material restaurador[56,57]. Hay varios métodos para medir la profundidad de polimerización, uno de ellos es el *scrapeback* o técnica del raspado, en ella se basa la metodología establecida en la norma ISO 4049 para profundidad de polimerización de materiales resinosos. En esta normativa para la estandarización ISO, se detalla la manera de realizar la prueba de profundidad de polimerización la misma que deben realizar los fabricantes para garantizar la adecuada polimerización de los materiales desarrollados[58].

2.2.4.2 Propiedades ópticas

Coeficiente de transmisión de la luz. Las resinas compuestas fotoactivadas presentan el inconveniente de una limitada profundidad de polimerización, es por esa razón que se recomienda la colocación del material en cavidades profundas en incrementos sucesivos, cada incremento de 2 mm como máximo[59]. La intensidad de luz empleada determinará el grado de conversión de monómeros del material y por consiguiente sus propiedades mecánicas; si no hay una adecuada transmisión de la luz a los niveles más profundos del material no se logrará una óptima polimerización conllevando a deficiencias y un posible daño pulpar. Otros factores influyen en la transmisión de la luz como son la intensidad de luz empleada al inicio, la distancia de separación entre la superficie de la resina y la punta de salida de luz, el grosor de resina compuesta colocado y la capacidad de transmisión de luz que posea el material[8].

Color. El color es producto de la interacción de varios aspectos, como la capacidad de percepción del ojo humano, las propiedades físicas que en sí mismo posee el color, y el aspecto psicológico de la persona que lo percibe. El lograr una adecuada combinación de tonalidades es sumamente importante ya que permiten resultados que se mimeticen con el diente. El HSV es un sistema de color propuesto por Albert Munsell en 1905 y que se usa hasta la actualidad. HSV son siglas en inglés donde Hue significa el matiz; Saturated es la saturación y Value el valor[60]. La Norma ISO 4049, indica que la resina compuesta una vez fotopolimerizada debe tener igual color al presentado en la guía de color del fabricante[52]. El fabricante debe brindar una guía de color de su material, en caso de no hacerlo, debe nombrar una guía de colores disponible en el mercado con la cual se pueda identificar los colores de su producto. El material después de ser polimerizado deberá presentar uniformidad en su pigmentación al verse sin aumentos[52]. Es importante señalar que el color presenta diversas propiedades que lo van a definir de una manera correcta y es muy fácil tener ideas o conceptos errados acerca del mismo, más aún cuando se trata de materiales restauradores que al usarlos debemos lograr reproducir los

colores de la naturaleza del diente de manera fiel, y para ello tenemos que basarnos en las guías de color que nos brindan los fabricantes. Las resinas compuestas, al igual que cualquier material poseedor de color, tienen 2 características principales: Cromaticidad (se refiere específicamente a la tonalidad y la saturación del mismo) y Luminosidad (si el material es claro u oscuro dependiendo si absorbe o refleja la luz)[17,61]. Las guías de color que usamos en nuestra práctica clínica solo sirven de referencia para ubicar la tonalidad del material y las desviaciones en la saturación del mismo, pero no brindan información sobre otros aspectos que también componen el color. A1, A2, A3, A3.5 por ejemplo sólo se refiere únicamente a la tonalidad y al croma. La letra A indica la tonalidad y según va aumentando el código numérico que la acompaña nos indica el aumento de la saturación o intensidad de color (croma). El color en las resinas compuestas es el resultado del paso de la luz blanca a través de todo el material, en donde la luz va a ser dispersada primeramente por las partículas más pequeñas que componen la resina y luego salen e inciden en la vista de la persona que observa, entregando las propiedades ópticas del material[62]. El color final que se apreciará en cada restauración dental será resultado de la combinación entre las propiedades ópticas propias del material que influenciaron a los rayos de luz durante su paso por toda la restauración[63,64]. Las propiedades del relleno, el tamaño de sus partículas y el contenido, también influirán en las propiedades ópticas de las resinas[72], así como la composición de la matriz orgánica y los pigmentos que influyen en la translucidez[17,65]. La tonalidad de la resina será también un factor que influye en su polimerización. En la parte inferior, la activación se realiza por la transmisión de luz desde la superficie de la resina, que es atenuada durante su recorrido por los componentes de relleno y pigmentos[8].

Propiedades del color. El órgano visual humano percibe tres dimensiones en todos los objetos: alto, ancho y fondo; ocurre lo mismo para el color pues posee también tres parámetros que juntos van a producir o determinar un color único[15,16] , y al no ser una magnitud, solo puede evaluarse por medio de estas tres propiedades: Valor, tonalidad o matiz, y croma. La manera como es percibido y las propiedades que presente van a sufrir variación

dependiendo si el objeto que lo posee es observado por medio de un elemento translucido o transparente y si este posee o no fluorescencia u opalescencia o si la superficie presenta diferentes grados de textura[43,66].

Matiz. Conocido como tono o tonalidad y se refiere a un segmento de longitud de onda tomado del espectro obtenido al descomponer la luz blanca que no es absorbida por los objetos y es reflejada hacia nuestros ojos y le dará el nombre; puede ser: amarillo, anaranjado, rojo, azul, verde, amarillo, violeta, índigo, etc. y que es llamado erróneamente color. El azul, rojo y el amarillo son denominados tonalidades absolutas porque no resultan de combinar otros matices, pero al combinarlos entre si serán capaces de reproducir los tonos presentes en la naturaleza[66,67]. La mayoría de fabricantes de resinas compuestas dentales emplean el sistema de clasificación VITA Classical (VITA Zahnfabrik, Bad Sackingen, Alemania) para identificar las tonalidades de sus materiales y las dividen en: A (marrón-rojizo) en esta gama está la mayoría de pacientes (80%), B (naranja-amarillo), C (gris-verdoso) y D (gris-rosado) la minoría de pacientes pertenecen a este último (5%)[66].



Figura 4. Diferentes matices representados en las puntas de los lápices.

Valor. Es la cantidad de brillo o luz que refleja un material cuando se le compara con un difusor blanco (100% de reflexión) y un absorbente negro (0% de reflexión), esto determinará si es oscuro o claro y que tanto. Su rango está considerado en una escala acromática, la misma que va desde el blanco (que es el mayor brillo) hasta el negro (que es el de menor brillo), con toda la gama de grises entre ellos[16]. Se relaciona con la opacidad y translucidez, si un color posee más gris tendrá menor valor y a medida que se acerque al blanco tendrá más brillo, reflejará mayor cantidad de luz y su valor será mayor[17,43].

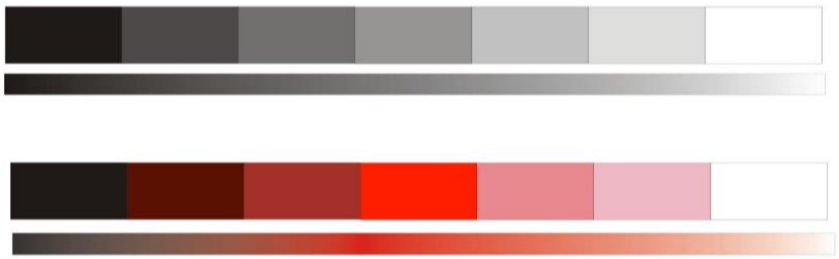


Figura5. El Valor en el color

Croma. Es la saturación o intensidad de un matiz o tono, la cantidad que posee de pigmentos y se aprecia como la vivacidad o la palidez del mismo. Se puede apreciar cuando en un vaso con agua se agrega un matiz de pintura de a pocos, el agua tomará una tonalidad más saturada o más fuerte, según se añade más pintura[16].

En las resinas compuestas el croma viene indicado por un número que va del 1 al 4 y acompaña a la letra que indica la tonalidad y nos señala la saturación de la resina de forma creciente[66]. Entonces podemos encontrar a nivel comercial, resinas con la codificación A1, A2, A3 y A3.5 por ejemplo y lo que nos indica la letra A corresponde al matiz o tonalidad y los números 1,2,3 y 3.5 nos indican la saturación de esa tonalidad o el croma[66].

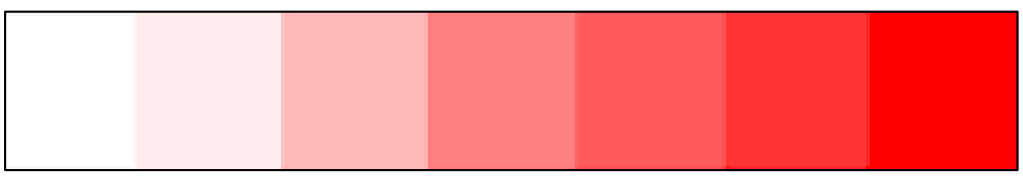


Figura 6. El Croma o Saturación.

Opalescencia. Significa el reflejo opalino, relativo al ópalo, que es una piedra tornasolada. Es la propiedad que permite generar una dispersión de luz azulada que brinda la apariencia que el material tiene diferentes colores según la dirección de la luz que incide en el. Si el haz de luz se proyecta lateralmente o por detrás, el ópalo muestra un tono rojo amarillento, porque filtra los rayos de luz dejando pasar sólo los de mayor longitud[43]. El esmalte dental posee opalescencia y por eso aparentemente tiene varios colores dependiendo como incide la luz en el, esto debido a que los cristales de hidroxiapatita tienen grosores que van de 0,02-0,04 µm y filtran las longitudes de onda que conforman la luz visible y dejan pasar el naranja y el rojo (ondas largas) y el verde, violeta y azul (ondas cortas) que serán reflejadas y otorgan al esmalte dental un efecto azul-grisáceo[44].

Las resinas compuestas tratan de imitar estas características ópticas del diente para lograr mimetizarse. En la actualidad existen diversas resinas compuestas que presentan esta propiedad para ser empleadas principalmente en las restauraciones anteriores, debido a que el esmalte posee naturalmente opalescencia y le brinda vitalidad y profundidad debido a una mayor luminosidad[68].



Figura 7. Opalescencia

Fluorescencia. Es la propiedad de un material de convertir los rayos invisibles al ojo humano como los ultravioletas, en rayos visibles con una onda mayor de 400 nm dentro de la tonalidad del azul. La sustancia fluorescente solo emite luz mientras recibe los rayos ultravioletas, en cambio las sustancias fosforescentes, siguen emitiendo luz visible por un tiempo aunque el estímulo luminoso haya cesado. Las piezas dentales son órganos fluorescentes que responden adecuadamente frente a rayos de luz ultravioletas. Cuando una restauración es realizada con materiales que no poseen o presentan una fluorescencia diferente a la del diente se ven oscuras o negras en ambientes con esas longitudes de onda[43,66]. Actualmente los fabricantes adicionan componentes luminóforos a sus resinas compuestas, elementos del grupo de las tierras raras como el terbio, europio, cerio lo que les permite reproducir adecuadamente la fluorescencia de los dientes naturales[66].



Figura 8. Fluorescencia

2.2.5 Resinas compuestas *bulk fill*

Desde la introducción del acondicionamiento ácido por Bounocore en 1954[32], la odontología adhesiva ha ido evolucionando como resultado del mayor conocimiento de cada elemento que interviene en el proceso adhesivo, las resinas compuestas al ser los materiales que más se emplean en las restauraciones adhesivas directas, han ido experimentado muchos cambios orientados a lograr mejoras en su composición, tanto en el relleno, la matriz y la tecnología del fotoiniciador. Esta evolución condujo a las

resinas compuestas convencionales a mostrar tasas de éxito clínico comparables o superiores a las de la amalgama[69].

El principal problema que se presenta al emplear resinas compuestas en una restauración es la reducción de su volumen al ser polimerizadas, a este fenómeno se le conoce como contracción de polimerización, y ocurre debido al cambio de estado de manera radical durante el proceso de fotopolimerización , esto genera una tensión en las superficies participantes de la restauración y que se transmite a la interfase de unión y al tejido dental remanente causando deflexión de la cúspide, grietas del esmalte, rotura marginal, formación de brecha y micro filtración[59], todo esto puede finalmente conducir a la aparición de caries secundaria y posteriormente la pérdida de restauración. Numerosos estudios in vitro demuestran que es necesario desarrollar métodos, tecnología o estrategias para reducir el estrés por contracción de polimerización de las resinas compuestas.

Algunas estrategias incluyen protocolos de fotopolimerización alternativos[70], el uso de revestimientos fluidos de cavidades y técnicas de llenado incremental, siendo ésta la más utilizada[71,72]. Se ha demostrado que el grosor del incremento de resina en la cavidad no debe superar los 2 mm para las resinas convencionales[59]. Cuando se colocan restauraciones con resinas compuestas en cavidades de más de 2 mm, solo se puede asegurar el curado adecuado si se emplean técnicas incrementales de acumulación o estratificación[30]. Esto es crucial para obtener las propiedades físicas y mecánicas óptimas en que las resinas presentarán el mejor desenvolvimiento en la cavidad restaurada como son una baja contracción de polimerización, bajas fuerzas de tensión en las paredes de la cavidad, mínimo estrés de contracción, un adecuado grado de conversión del monómero, elevada microdureza, etc.[59] Desafortunadamente en el procedimiento clínico, el tener que aplicar incrementos múltiples de resina significa mayor tiempo operatorio, además de la dificultad de su colocación en cavidades pequeñas[11]. Para superar los inconvenientes de la técnica de llenado incremental, se han desarrollado las resinas compuestas de relleno en bloque, conocidas por su nombre en inglés como *bulk fill*. Las ventajas de las resinas compuestas *bulk fill* incluyen la reducción de la formación de burbujas de aire en el material debido a que sólo se realiza un incremento

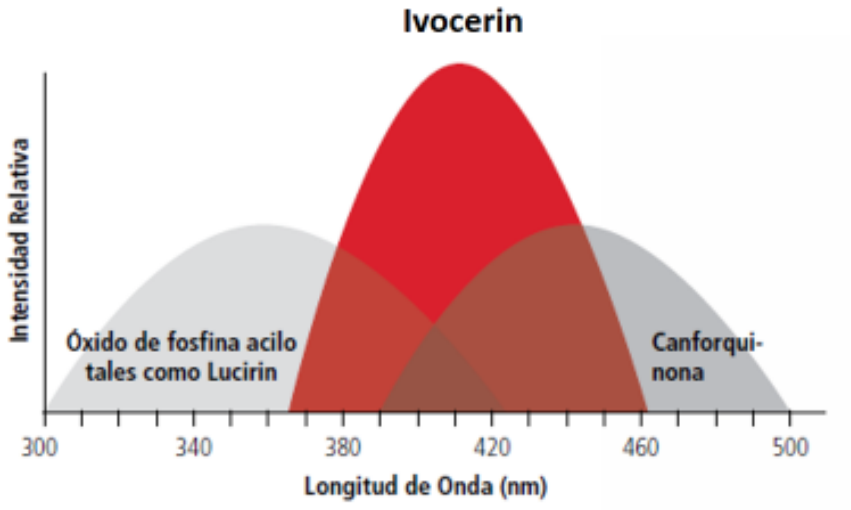
único de hasta 4mm y no varios de 2 mm como recomienda la técnica de estratificación convencional, así como una colocación más fácil y polimerización más rápida, lo que lleva a una mejor eficiencia en la práctica clínica[73]. La contracción de polimerización puede, sin embargo, ser más pronunciada, y la polimerización en preparaciones muy profundas podría ser inadecuada. Las resinas compuestas *bulk fill* se diferencian considerablemente de sus predecesores porque incorporan el uso de fotoiniciadores novedosos, moduladores especiales de resina patentados, y un nuevo tipo y distribución del relleno. Se afirma, por parte de los fabricantes que las resinas compuestas *bulk fill* tienen una menor contracción por polimerización que las resinas convencionales y una profundidad de curado de 4 mm o más[74]. Al revisar diversos estudios relacionados a la profundidad de curado de resinas compuestas *bulk fill* observamos que se han obtenido resultados diversos. Mientras algunos autores informan que la profundidad de polimerización logra 4 mm, otros no coinciden con estas afirmaciones[14].

Lo mismo ocurre al revisar estudios referentes a las propiedades físicas de las resinas *bulk fill* pues algunos investigadores indican que presentan propiedades físicas iguales o superiores que las resinas compuestas convencionales y otros afirman que tienen valores inferiores o que las propiedades mecánicas se ven comprometidas si se comparan con las resinas compuestas nanohíbridas convencionales[75].



Figura 9. Técnica incremental en resinas compuestas convencionales y resinas Bulk Fill. Tomado de: Corral C. Revisión del estado actual de resinas compuestas Bulk-Fill. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2015; 27(1): 180[76].

Las resinas *bulk fill* pueden clasificarse de acuerdo a su consistencia en resinas fluidas o resinas de consistencia regular[15]. En cuanto al fotoiniciador, el más empleado es la Camphorquinona (CQ), su activación se da a una longitud de onda de 470 nm del espectro de luz visible en el rango azul. Debido a que su color es amarillo intenso, se buscaron nuevas opciones de iniciadores de color más claro que se mantengan así después de la fotopolimerización. Estos nuevos iniciadores son el fenil propanodiona (PPD), óxido de acilfosfina (APO) y el Ivocerin[35]. Mientras que la absorción espectro de El PPD tiene un amplio rango de sensibilidad ante longitudes de onda que van desde el ultravioleta (UV) hasta aproximadamente 490 nm, el APO como Lucirin TPO es sensible a 370 nm, lo que resulta ser inferior que el de la Canforquinona. Un nuevo fotoiniciador es el Ivocerin, está basado en germanio y absorbe mayores longitudes de onda que APO y tiene un pico de sensibilidad de aproximadamente 420 nm[77].



Gráfica 1. Rango de absorción del Ivocerin. Fuente: Ivoclar Vivadent[78].

La incorporaron a las resinas compuestas de estos agentes iniciadores, la adición de aceleradores de polimerización y filtros fotosensibles es lo que posibilita mayor profundidad de curado[79]. Además del desarrollo de un nuevo fotoactivador[78], los mecanismos empleados para mejorar la profundidad de polimerización de las resinas *bulk fill* son la reducción de la interface del relleno de la matriz inorgánica ampliando el tamaño de relleno y la disminución en la cantidad de pigmentos[80]. La mayoría de las resinas compuestas a medida que avanza la polimerización se vuelven más translúcidas, esto les permite una mejor transmisión de la luz en las partes más profundas durante la fotopolimerización; pero en las resinas *bulk fill* lanzadas recientemente esta característica parece haber sido modificada, porque se vuelven más opacos a medida que la polimerización avanza, pero al inicio de la fotoactivación eran translúcidas, esto podría afectar la polimerización en las capas más profundas[80]. Las primeras resinas compuestas *bulk fill* que ingresaron en el mercado, como SDR (Dentsply Caulk, Milford, DE, EE. UU.), Venus *bulk fill* (Heraeus Kulzer, Dormagen, Alemania), xtra base (Voco GmbH, Cuxhaven, Alemania), y Filtek *Bulk Fill* (3M ESPE, St. Paul, MN, EE. UU.), requerían de la colocación de una capa superficial de resina compuesta convencional ya sea micro o nanohíbrida en la cara oclusal. Las resinas *bulk fill* que aparecieron después como Sonic-Fill (Kerr, West Collins, Orange, California, EE. UU.), Tetric EvoCeram *Bulk Fill* (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), y xtra fill (Voco), ya no necesitan de la colocación de la resina convencional en la capa superficial[81].

2.2.5.1 Composición de las resinas compuestas *bulk fill*

Las resinas compuestas *bulk fill* básicamente no se diferencian en gran medida de las resinas compuestas convencionales en cuanto a su composición, algunas diferencias que podemos encontrar se indican a continuación.

Matriz orgánica. La mayoría emplea la misma matriz de monómeros de Bis-GMA, TEGDMA, UDMA o EBPDMA[82], Aunque algunos fabricantes han

incorporado algunas modificaciones a estos monómeros o hasta han agregado monómeros distintos de menor viscosidad, por ejemplo en la resina compuesta *bulk fill* Surefill SDR Flow se introdujo el dimetacrilato de uretano que según el fabricante disminuye el estrés de polimerización[83] y en la resina Filtek *bulk fill* flowable de la marca 3M ESPE se incorporó el monómero Procrylat que según el fabricante le permite una mayor fluidez y con ello una reducción del estrés de polimerización[84].

Iniciadores. En cuanto al sistema de iniciación se emplean los mismos iniciadores que las resinas compuestas convencionales, sólo en el caso de Tetric Evoceram *Bulk fill* (Ivoclar Vivadent), tiene en sus componentes un nuevo potenciador de iniciación de la reacción de polimerización patentado como Ivocerin[78], que se basa en el Germanio y posee mayor reactividad que la Canforquinona con absorción de rayos de luz en el rango de 400 a 450 nm[85,86].

Cantidad de relleno. En las resinas compuestas *bulk fill* se encuentran menores porcentajes de relleno que las resinas convencionales microhíbridas y nanohíbridas, pero similar cantidad que la presente en resinas compuestas de consistencia fluida aunque con mayores porcentajes en peso[82]. Tener menos relleno y partículas más grandes (20µm) podrían ser los responsables del incremento en la profundidad de polimerización porque el índice de refracción que existe entre la matriz y relleno disminuye, logrando mayor penetración de luz en zonas más profundas de la restauración[87,88].

2.2.5.2 Propiedades de las resinas *bulk fill*

Profundidad de polimerización. No existe uniformidad de criterios respecto al valor de la profundidad de polimerización que presentan las resinas *bulk fill* puesto que según los fabricantes es de 4 o 5 mm dependiendo de la marca comercial[73,95], sin embargo, existen estudios que discrepan con esta información y también estudios que la confirman. Se atribuye esta mayor

profundidad de polimerización en las resinas compuestas *bulk fill* comparadas con las resinas compuestas convencionales a algunos factores como son la incorporación de iniciadores más eficientes en algunas resinas[89], mayor ingreso de luz por tener mayor traslucidez y menor superficie de interface entre la matriz y el relleno lo que disminuye la refracción de luz[8,88]. Ocurre de manera similar para las demás propiedades como son la inducción de estrés en la interfase diente/restauración y el grado de conversión del monómero, cuando las resinas compuestas *Bulk-fill* son comparadas con resinas compuestas convencionales aplicadas mediante la técnica incremental[6].

Contracción de polimerización. En una resina compuesta esta contracción se produce por la conversión en polímero de las moléculas de monómeros, debido a la sustitución de los espacios de van der Walls por enlaces covalentes y por consiguiente se produce la reducción del volumen del material libre. Diversos estudios han demostrado que las resinas *bulk fill* presentan valores similares de contracción de polimerización a las resinas convencionales, sin embargo son necesarias más investigaciones al respecto[14].

Resistencia a la flexión. Diversos estudios evidencian que algunas resinas *bulk-fill* presentan una reducción de esta propiedad. Es esa la razón por lo que los fabricantes recomendaban aplicar en la cara oclusal un incremento final con resina convencional en las resinas con menor cantidad de relleno, como las resinas fluidas, esto para brindar a la restauración las propiedades mecánicas que requieren zonas con alta carga masticatoria. En las nuevas resinas *bulk fill* de consistencia normal no es necesaria la adición de esta capa superficial de resina compuesta convencional[89].

Adaptación interna. Las resinas *bulk fill* presentan buena adaptación a las paredes de la cavidad con valores similares a las resinas compuestas convencionales[90].

Consistencia. Podemos encontrar que las primeras resinas compuestas *bulk fill* eran básicamente de consistencia fluida, pero era indispensable la colocación de 2mm de resina compuesta convencional en la superficie oclusal, tenemos entre estas a Venus® Bulk Fill (Heraeus Kulzer), Surefil® SDR® Flow (Dentsply Caulk), Filtek™ Bulk Fill Flowable (3M ESPE), X-tra base (VOCO), Posteriormente hacen su ingreso en el mercado X-tra fil (VOCO) y Tetric Evoceram® Bulk fill (Ivoclar Vivadent) que tienen consistencia de una resina convencional. Hay una variación que lo marca la resina compuesta *bulk fill* SonicFill™ (Kerr), porque necesita una pieza de mano de vibración sónica especialmente diseñada para aplicarla, y le permite alcanzar una profundidad de polimerización de hasta 5 mm y no necesita de una cubierta oclusal de resina convencional, según información del fabricante[76].

2.2.5.3 Resinas compuestas Filtek One *bulk fill* (3M ESPE)

Para este estudio se empleó la resina compuesta fotoactivada Filtek One *bulk fill* (3M ESPE), el fabricante indica que ha modificado su composición para lograr restauraciones de manera más rápida y sencilla en el sector posterior. Esta resina compuesta de relleno a granel o en bloque, brinda una excelente fuerza y bajo desgaste, sus tonalidades son semitraslúcidas y logran un bajo estrés de polimerización, lo que le permite obtener una profundidad de polimerización de 4 ó 5 mm, todo esto según la información brindada por el fabricante.

Permite un excelente pulido, se puede emplear también en restauraciones del sector anterior que requieran de una tonalidad semitraslúcida. Se presenta en las tonalidades A1, A2, A3, B1 y C2, todas ellas presentan radiopacidad[73].

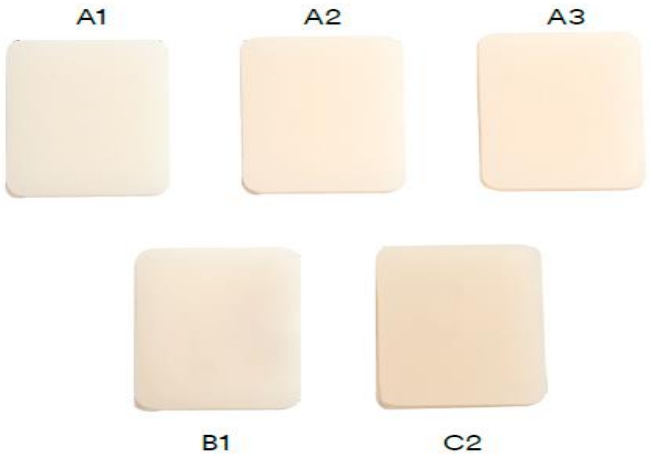


Figura 10. tonalidades de resina Filtek One bulk fill (fuente: datos internos de 3M ESPE)[73] .

La resina compuesta Filtek One bulk fill está indicada en restauraciones directas posteriores, anteriores y caras oclusales, como material de base en resinas directas, ferulización de piezas, reconstrucción de muñones, incrustaciones indirectas de resina incluyendo onlays, inlays y carillas, como sellante de fisuras y surcos en molares y premolares y reparación de defectos en porcelana y provisionales; no requiere la colocación de una resina compuesta convencional en la superficie[91].

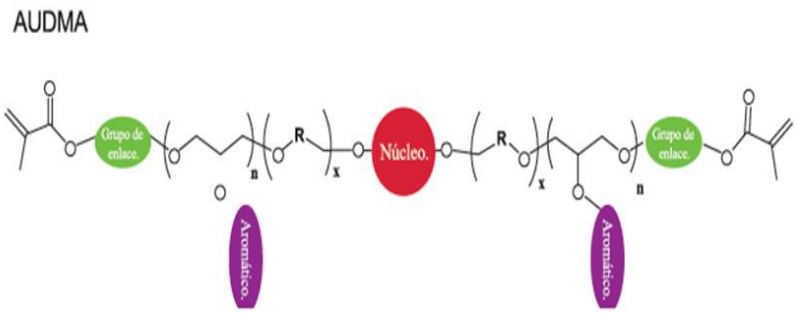


Figura 11. Estructura molecular del metacrilato de alto peso molecular (AUDMA) de la resina Filtek One bulk fill restorative. Fuente: Datos de 3M ESPE[74].

Posee un monómero de metacrilato único conocido como monómero por adición fragmentación (AFM), cuando la reacción de polimerización sucede, las moléculas del AFM se activan y forman polímeros con las moléculas de metacrilato, también forman enlaces cruzados con cadenas de polímeros contiguas. Los AFM poseen un reactivo que se fragmentará durante la polimerización y se descompondrá, lo que permite la relajación de las cadenas en formación y la disminución del estrés. Este proceso no quita la capacidad a los fragmentos de interactuar entre sí mismos o con otras zonas con capacidad reactiva del polímero que está formándose. Así se logra reducir el estrés y a su vez se preservan todas las propiedades físicas del polímero[91].



Figura 12. Estructura molecular del monómero por adición-fragmentación (AFM) de la resina Filtek One bulk fill restorative. Fuente: Datos de 3M ESPE[74].

El componente 1,12-dodecanediol-dimetacrilato (DDDMA) posee una estructura de naturaleza hidrofóbica que incrementa la motilidad molecular, mejora su afinidad con resinas sin polaridad. El DDDMA contiene resina de baja volatilidad y viscosidad, con frecuencia es empleada en la elaboración de materiales dentales debido a su polimerización rápida, con baja liberación de calor y mínima contracción. Posee modulo alto, flexibilidad adecuada y resistencia al impacto[91].

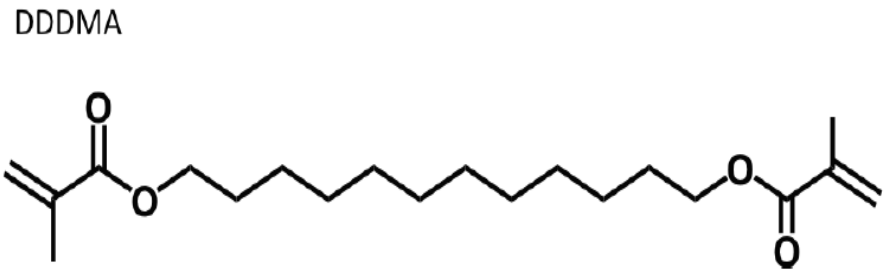


Figura 13. Estructura DDDMA Fuente: Datos internos de 3M ESPE[74].

El Dimetacrilato de uretano (UMDA) es un monómero que posee baja viscosidad que se incorpora a la resina compuesta para reducirle a ésta su viscosidad, posee además alto peso molecular lo que reduce la contracción, al mismo tiempo sigue formando una resistente cadena con una muchos enlaces transversales[91].

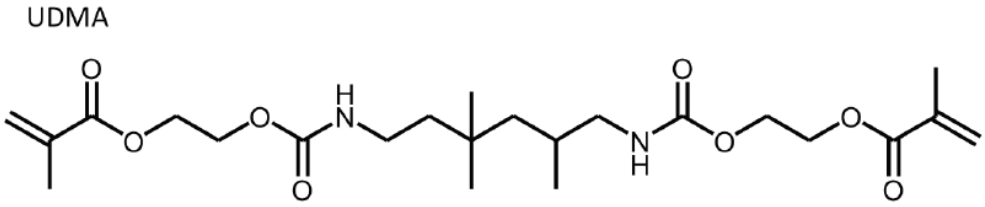


Figura 14. Estructura del Dimetacrilato de Uretano[74].

Se modificaron las cantidades de los monómeros de peso molecular alto, esto permitió la creación de un sistema de resina de relleno en bloque que puede además ser esculpida con menor estrés por contracción de polimerización y que se puede fotoactivar hasta 5mm de profundidad[91]. El sistema de relleno que emplea es el mismo que se encuentra en Filtek Z350 pero ha sido mejorado agregándole partículas aglomeradas de trifluoruro de iterbio (YbF3) de 100 nm, con la finalidad de aumentar su radiopacidad. Tenemos entonces que la composición del relleno es una mezcla de sílice

no aglomerado / no agregado de 20 nm, zirconio aglomerado / no agregado de 4-11 nm y otro componente de zirconio / sílice agregados (conformado por partículas de 20 nm de sílice y partículas de 4-11 nm de zirconio. La carga de relleno inorgánico es de 76.5% por peso aproximadamente (58.4% por volumen). Viene en presentación de jeringas convencionales de 4 gr, de consistencia regular y empacable, se encuentran 5 tonalidades disponibles[91].

2.2.6 Polimerización de las resinas compuestas

Es la reacción por la cual las resinas compuestas logran su endurecimiento, gracias a la unión química de los monómeros presentes en la matriz, para obtener como resultado moléculas de alto peso molecular que se van a denominar polímeros, es decir, son moléculas que resultan al unirse varios monómeros que se conectan y repiten, puede tratarse de un solo tipo de monómeros o la mezcla de diferentes tipos[91]. Para activar la primera etapa del proceso que es la iniciación, se requiere de energía para así poder realizar eficientemente la reacción en corto tiempo y en el caso de resinas compuestas fotoactivadas esta energía es obtenida por medio de la absorción de la radiación lumínica emitida por la unidad de fotoactivación[92,93].

Cada monómero de la resina compuesta posee por lo menos un carbón de doble unión que gracias a la acción de los agentes de iniciación activados por la luz, producirán el desdoblamiento de ese doble enlace iniciando una reacción en cadena hasta llegar a transformarse en polímeros. El proceso se desarrolla gracias a la excitación del iniciador, que generalmente es la Canforquinona y se lleva a cabo cuando incide en ella una luz con rangos entre 420 a 470nm, e interactúa con una amina terciaria alifática que cumple la función de reductor, cuando estas moléculas se combinan empieza una reacción por radicales libres. La molécula de radical libre tiene una alta capacidad de reacción, en su región externa posee un electrón libre que busca formar un enlace covalente. Esta molécula va a reaccionar con el monómero que como ya habíamos mencionado tiene un enlace doble de carbono (C=C), iniciando así a la reacción de polimerización con una

reacción en cadena debido a que el enlace doble de carbono al reaccionar con el radical libre, deja un electrón libre para que reaccione con otro enlace doble de carbono y así continuar la reacción que termina cuando dos radicales complejos estén próximos[94].

2.2.6.1 Fases de la polimerización de las resinas compuestas

Cuando se desarrolla la fotopolimerización de resinas compuestas podemos identificar dos fases: la primera fase llamada lumínica, que se produce cuando la unidad de fotoactivación está encendida y emitiendo energía lumínica sobre la resina compuesta, y la segunda fase denominada oscura, que se produce al retirar la fuente de luz. Cuando la unidad de fotoactivación se ha apagado solo alrededor del 60% del proceso de polimerización se ha completado, el resto continuará en la fase oscura durante días o inclusive varias semanas hasta la polimerización final[95]. Dentro de la fase lumínica podemos apreciar también varias fases:

Fase de activación.

La reacción de polimerización se inicia por energía fotónica que proviene de la luz emitida por la unidad de fotoactivación, que será la encargada de reaccionar con el agente de iniciación de la resina compuesta que tiene sensibilidad por una longitud de onda específica[43].

El fotoiniciador más empleado en la fabricación de resinas compuestas es la Canforquinona, cuando la luz con longitud de onda del rango azul incide en ella, sus moléculas son activadas. La Canforquinona posee un rango de absorción máximo de 468nm de longitud de onda; está generalmente presente en una concentración de 0.03% a 0.1%. Cuando no se emplea la Canforquinona una molécula de dicetona es empleada como agente de iniciación[43].

Fase de iniciación o inducción.

El agente iniciador que recibió la luz emitida por la unidad de fotoactivación se activó, y se combina con una amina terciaria para generar radicales libres[43]. Se entiende por radical libre a una molécula con alto nivel de energía y al colisionar con otra molécula le transmitirle esa condición[35].

Fase de propagación.

Los radicales libres que se generaron en la etapa de iniciación ahora van a combinarse con los monómeros y los convierten en moléculas sensibles con capacidad de ligarse con otros monómeros. Esta unión ocurre mediante la formación de enlaces covalentes originando moléculas de cadenas más largas llamadas polímeros. En teoría la reacción en cascada continuará hasta el momento en que la totalidad de monómeros se transformen en polímeros, pero en la práctica la polimerización nunca se da de forma completa, debido a que intervienen procesos que van a competir con la propagación de la reacción y que conduce a la terminación de la reacción[43].

Fase de terminación.

La reacción puede terminar debido a varios factores como la unión de dos cadenas en crecimiento formando una cadena terminal; la saturación con átomos de los radicales libres; la reacción de una cadena de crecimiento con impurezas o con alguna molécula del iniciador, esto tornará en no reactiva a la cadena[43].

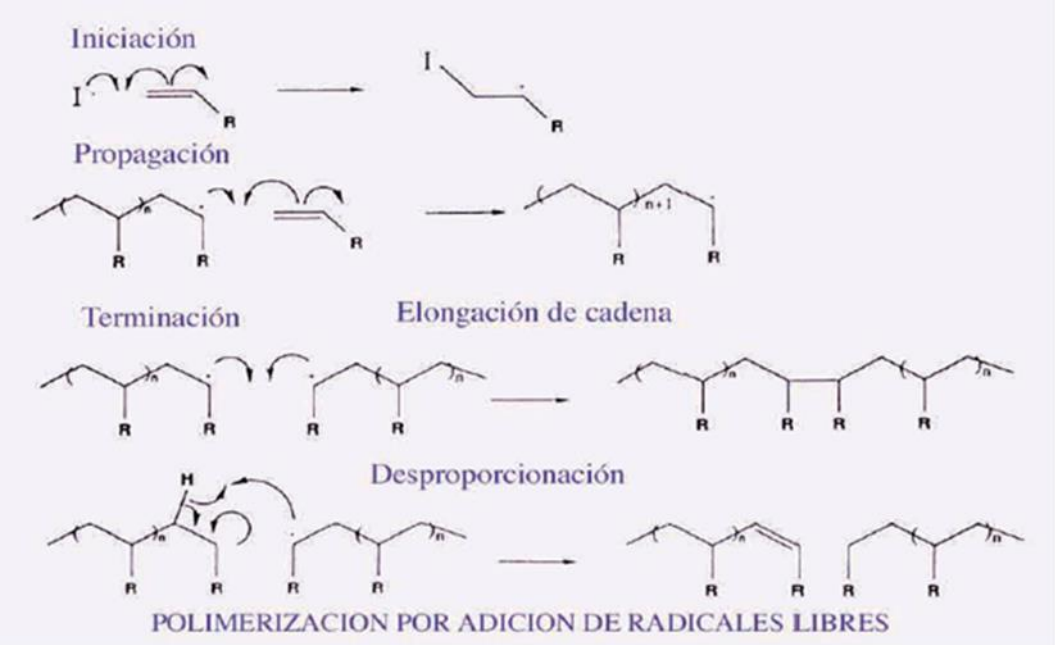


Figura 15. Pasos en la polimerización por adición de radicales libres. Tomado de Carrillo C, Monroy M. Materiales de resinas compuestas y su polimerización Parte I. Rev la Asoc Dent Mex. 2009;66(4):36–44[35].

2.2.7 Unidades de fotoactivación

La tecnología de fotoactivación ha ido evolucionando con el paso de los años, siempre buscando mejores resultados tanto en bioseguridad, efectividad de polimerización, maniobrabilidad, y ahorro de tiempo de trabajo para el profesional, es por eso que podemos apreciar diferentes equipos empleados con ese fin, empezando por las unidades de fotoactivación de luz ultravioleta hasta las actuales unidades de polimerización con luz LED[31].

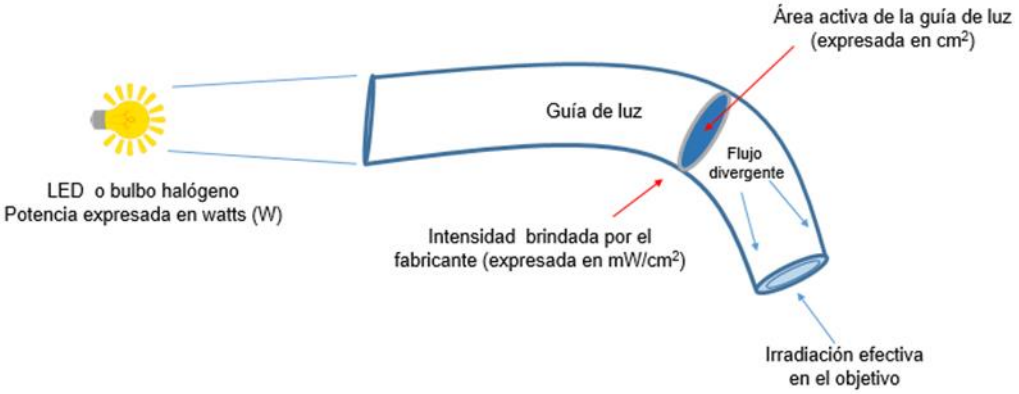


Figura 16. Unidad de fotoactivación. Tomado de Pfeifer CS. Polymer-Based Direct Filling Materials. Dent Clin North Am. 2017;61(4):733–50[4].

Unidades de fotoactivación de luz ultravioleta.

A inicios de 1970 se desarrollaron las primeras unidades de fotoactivación con luz ultravioleta para la polimerización de resinas[96]. La primera lámpara lanzada al mercado fue de arco de mercurio de 50W, emitía luz ultravioleta con una longitud de onda alrededor de 365 nm y servía para polimerizar sellantes de fosas y fisuras. Estas unidades de fotoactivación tenían varios inconvenientes pues eran voluminosas, tenían que pre calentarse, producían baja irradiancia (10-50 mW/cm^2), limitada capacidad de penetración luminosa, excesivo tiempo de polimerización y la mayor parte de la luz que emitía era concentrada en forma de herradura. Los compuestos fotoactivados por luz ultravioleta lograban altos niveles de conversión y buena duración clínica pero tenían profundidades de polimerización muy limitadas[97]. Estas unidades presentaban también daños biológicos tanto al paciente como al operador como dermatosis, lesiones oculares, citotoxicidad, el efecto oncogénico en células y virus comunes en la cavidad oral, además era obligatorio indicar dentro de la historia clínica, si el paciente presentaba hipersensibilidad a las radiaciones ultravioleta como por ejemplo en pacientes con Lupus Eritematoso, Xeroderma Pigmentosa y Porfiria Eritropoyetica, además también debía indicarse si el paciente estaba tomando medicación que pueda ser sensible a estas radiaciones, la Dimethylchlortetracycline (Declomycin) por ejemplo que genera severas

reacciones cutáneas en el paciente al exponerse a radiaciones ultravioleta o luz solar, y la necesidad del uso del lentes de protección especiales tanto para el odontólogo, el paciente y el personal asistente del consultorio[98].

Unidades de fotoactivación de luz halógena.

Debido a los efectos adversos de las unidades de luz ultravioleta se buscaron mejores fuentes de luz que pudieran reemplazarla y se crearon unidades de fotoactivación que trabajan en el rango de luz visible como la lámpara de luz Halógena, que tiene como generador de la energía lumínica un foco de cuarzo cargado con gas halógeno, gas de bromo, o yodo y un hilo de tungsteno, que produce iluminación blanca en amplio espectro de longitud de onda cuando la corriente eléctrica pasa a través de él[99,100]. Las unidades de fotoactivación de luz halógena cuentan con un filtro que elimina las longitudes de onda que no son útiles para la polimerización de las resinas por no estar en el rango necesario, quedándose con una longitud de onda final de 400-500 nm, que sí es eficaz para activar a la Canforquinona, el fotoiniciador más empleado en la composición de las resinas compuestas[99,101]. Entre las lámparas de luz Halógena se pueden diferenciar dos tipos, las lámparas convencionales, que tienen un rango de intensidad de luz hasta 400-500 mW/cm^2 y lámparas de alta intensidad o que sobrepasan los 500 mW/cm^2. Estos dispositivos tuvieron gran aceptación en la comunidad odontológica por mucho tiempo y se emplearon hasta inicios del año 2000, siendo reemplazadas por las unidades de fotoactivación de luz L.E.D (light emitting diode). La razón por la que se dejaron de usar fue porque presentaban un tamaño grande, si las comparamos con sus sucesoras, su peso no era ligero, el filtro se ensuciaba con frecuencia y era necesario la limpieza o reemplazo, el no hacerlo afectaba notoriamente su desempeño, además el calentamiento de la bombilla al generar la luz producía un acortamiento de la vida útil de la misma[77].



Figura 17. Unidad de fotoactivación de luz halógena Litex 680A (Dentamerica)

Unidades de fotoactivación de arco de plasma.

Se crearon también las unidades de fotoactivación de arco de plasma que presentaban como ventajas el poseer un rango más estrecho de longitud de onda, lo que le permitía reducir la temperatura de la unidad y además permitía la polimerización del material en un tiempo reducido[101]. El empleo de estas unidades de fotoactivación y de las basadas en láser es muy cuestionado actualmente debido a que alteran las propiedades finales de las resinas compuestas. El uso de unidades de fotoactivación de arco de plasma, los láseres de argón, así como las de luz halógena se han vuelto obsoletos con la introducción de las unidades de fotoactivación LED de alta potencia[92].



Figura 18. unidad de fotoactivación de arco de plasma APOLLO 95E

Unidades de fotoactivación LED.

Actualmente en la era de la odontología adhesiva, las unidades de fotoactivación son piezas esenciales del equipo odontológico para la práctica diaria. El éxito y la longevidad de los procedimientos que emplean materiales fotoactivables como los sellantes de fosas y fisuras, las restauraciones con resinas compuestas, la adhesión de aparatos de ortodoncia como los brackets y tubos, entre otros, están relacionados con la eficacia del proceso de fotocurado. En la actualidad para los procesos de polimerización por luz se emplean las unidades de fotoactivación LED[92]. Los estudios sobre los diodos emisores de luz (LED) comenzaron en la década de 1960 con las primeras combinaciones de galio, arsénico y fósforo (GaAsP). Estas mezclas producían emisiones de luz muy débiles en el espectro rojo, con una longitud de onda alrededor de 655 nm. En 1962, se inventa un LED rojo sintético proporcionado un nuevo tipo de luz que era fuerte, eficiente y adecuada para operar con baterías portátiles. Las investigaciones para crear LED que puedan emitir en el espectro azul continuaron y en 1991 se creó un LED azul brillante y en 1995, Mills desarrolla el diodo emisor de luz azul con 4.8 mW para uso odontológico[102], esta tecnología se caracteriza por no emplear una bombilla generadora de luz, en su lugar emplea semiconductores. Esta innovación les permite un prolongado tiempo de vida útil, aproximadamente 10,000 horas, un espectro de luz más reducido, por consiguiente no es necesario el uso de filtros y la temperatura no se eleva por lo que no necesitan elementos de refrigeración como ventiladores[18], entonces su tamaño es reducido y el peso ligero, además puede ser abastecido con baterías recargables, por lo que no es necesario el empleo de cables de alimentación[99,103]. Posteriormente estas unidades de fotoactivación fueron evolucionando para adecuarse al avance de los materiales a base de resinas, y se incorporaron LEDs polivalentes, que pueden emitir luz con dos o más rangos de ondas diferentes, una luz violeta, que es de longitud más corta, que se emplea para iniciadores en el rango de luz de 350-420 nm y una longitud de onda azul más larga para iniciadores como la Canforquinona[77]. Muchos estudios se realizaron para comparar la efectividad de las unidades de fotoactivación LED con las unidades de fotoactivación de luz halógena y determinar si existen

diferencias en las propiedades finales de las resinas compuestas como la profundidad de polimerización y la microdureza luego de ser fotoactivadas con cada una de ellas[100,101,102,104], muchos coincidieron en que no existe diferencias significativas en estas propiedades al ser fotoactivadas con una u otra unidad, sin embargo las unidades de fotoactivación LED permiten un menor tiempo de trabajo, además los especímenes de resinas compuestas fotoactivados durante 20 segundos con las unidades LED mostraron valores de microdureza más altos. A profundidades mayores a 2.5 mm, se recomendó aumentar el tiempo de exposición[104].

Evolución de las unidades de fotoactivación LED.

El avance de la tecnología LED fue aplicada a las unidades de fotoactivación por lo que podemos distinguir 3 generaciones:

Unidades de fotoactivación LED de primera generación. Tenían niveles de irradiancia bajos, entre 100-280 mW / cm^2. Por lo que se necesitaban tiempos de fotoactivación largos , de aproximadamente 60 segundos por cada incremento de resinas compuesta de 2 mm de espesor[77]. Técnicamente estas pequeñas unidades portátiles tenían entre 7 y 19 LED de baja energía, una batería recargable con un buen tiempo de duración , ausencia de calor y por consiguiente no necesitaba ventilador. Esta generación de unidades LED no era lo suficientemente potente o confiable pues presentaban inconvenientes en la práctica clínica como un tiempo de irradiación relativamente largo (de 15 a 60 segundos)[18].



Figura 19. Unidad de fotoactivación de luz LED azul de baja potencia de primera generación, LUXoMAX® (Akeda)

Unidades de fotoactivación LED de segunda generación. Incorporan chips miniaturizados diseñados por computadora que les permiten tener LED con mayor potencia de salida y obtener valores de irradiancias similares a las obtenidas con las unidades de luz halógena pero en la mitad del tiempo. A diferencia de la primera generación, las de segunda poseen un único LED de 5W (que en realidad estaba compuesto por 4 micro LED) que puede superar incluso los 1000mW/cm^2,[18] Se les conoce como *monowave* (mono onda) y no tenían la capacidad de polimerizar resinas compuestas que tuvieran como sistema iniciador PPD y APO.



Figura 20. Unidad de fotoactivación de segunda generación, monowave, MiniLED® (Satelec)

Unidades de fotoactivación LED de Tercera generación. Se caracterizan por presentar modos de fotopolimerización múltiple, variando los espectros de luz, conforme se programen, lo que les permite un uso universal con respecto a los fotoiniciadores presentes en cada marca comercial de resinas compuestas como la Canforquinona o CQ + amina terciaria, 1-fenilpropano-1,2-diona o PPD y trimetilbenzoil-difenilo óxido de fosfina o Lucerin® TPO ya que cubre sus requerimientos de longitudes de onda específicas para su activación. A esta generación se les conoce como *polywave* (multionda)[18,77].



Figura 21. Unidad de fotoactivación de tercera generación, polywave. Bluephase N (Ivoclar-Vivadent)

2.2.8 determinación de la profundidad de polimerización

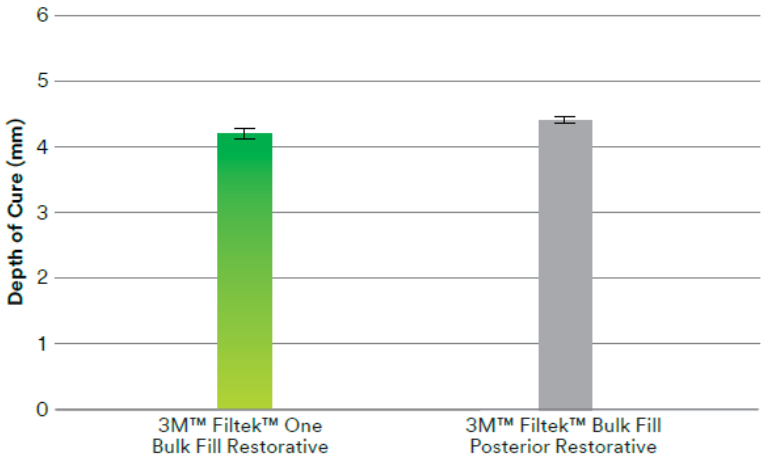
Norma ISO 4049.

Para medir la profundidad de polimerización de materiales resinosos, la Organización internacional para la estandarización (ISO) propuso un método denominado como "ISO 4049- 2009 Profundidad de curado para materiales resinosos"[52,102]. La norma establece la manera en que se realizarán los cuerpos de prueba y el cálculo de la profundidad de polimerización de resinas compuestas[105,106]. Propone la elaboración de conformadores o moldes de acero inoxidable en los cuales se compactará la resina compuesta y luego se realiza el fotocurado empleando una unidad de fotoactivación de luz para elaborar así los cuerpos de prueba[52]. Las características que deben tener éstos conformadores para la elaboración de los cuerpos de prueba son: ser fabricados en acero inoxidable, deben tener una cavidad cilíndrica interna con un diámetro de 4mm y una longitud total que exceda en 2 mm al doble de la profundidad de polimerización ofrecido por el fabricante[74]. Según esta norma la base del conformador se cubrirá con una lámina portaobjetos, luego la resina compuesta a evaluar es empaquetada en el interior del conformador y se cubrirá en la parte superior

con otra lámina portaobjetos y se ejerce ligera presión para eliminar posibles burbujas de aire atrapadas en el material. Se retira la lámina portaobjetos y la muestra es fotoactivada e inmediatamente se retira del molde; la resina sin polimerizar se elimina luego mediante el raspado con una espátula plástica quedándonos con la muestra cilíndrica dura. La longitud absoluta final de la muestra, luego del raspado, es medida con un calibrador digital y se divide entre dos. El valor resultante se registra como la profundidad de polimerización y define el espesor de incremento máximo de resina compuesta que puede ser polimerizada efectivamente. La razón del factor de división dos es que no toda la muestra endurecida en realidad está polimerizada de manera óptima[87]. La normativa ISO 4049-2009, establece que la profundidad de polimerización mínima de una resina compuesta debe ser 1.5 mm y la profundidad de polimerización obtenida como máximo puede ser 0,5 mm menos de lo que el fabricante ha establecido para su producto[92].

Tono	Profundidad promedio	Desviación estándar
A1	4.56	0.09
A2	4.29	0.10
A3	4.4	0.06
B1	4.24	0.04
C2	4.39	0.06

Tabla 2. Profundidad de polimerización según ISO 4049 con Filtek bulk fill resina para posteriores. 20 segundos de exposición con lámpara de fotopolimerización LED Elipar S10. Fuente: 3M ESPE[73].



Gráfica 2. Profundidad de curado según norma ISO 4049. Filtek One Bulk Fill y Filtek Bulk Fill posterior restorative. Tiempo de exposición de 20 segundos con unidad de fotoactivación LED Elipar. Fuente 3M ESPE[73].

Grado de conversión del monómero.

El número de enlaces dobles de carbono (C = C) presente en los monómeros, que se puede convertir en enlaces simples (C - C) para formar polímeros en cadena durante el proceso de curado, se denomina grado de conversión. Las propiedades mecánicas y físicas de las resinas compuestas están influenciadas por el grado de conversión de monómeros durante la polimerización[85]. Un menor grado de conversión ocasiona la reducción de las propiedades mecánicas, una mayor decoloración, mayor degradación, poca resistencia al desgaste y poca estabilidad de la resina compuesta[101].

Profundidad de polimerización por perfiles de dureza Vickers. Es otro método muy empleado para evaluar la profundidad de polimerización de materiales resinosos[107]. Se debe colocar la resina compuesta sin polimerizar en una matriz metálica de acero inoxidable con un agujero semicircular de 4 mm de diámetro y 15 mm de longitud, se cubre la base con una lámina portaobjetos y luego del empaquetado del material se cubre con una lámina portaobjetos y se ejerce ligera presión para eliminar le aire atrapado en él.

Se fotoactiva desde la superficie de la matriz, inmediatamente luego se retira el cuerpo de prueba obtenido y se cuantifica la dureza en todo el material empleando un dispositivo de identación de microdureza. La medición de la dureza se realiza a diferentes distancias, las mismas que se irán incrementando en 0,1 mm empezando desde la parte superior del cuerpo hasta que se llegue a la parte no polimerizada y por consiguiente de consistencia suave[106].

Es más relevante comparar la dureza en cualquier parte de la muestra como un porcentaje del valor de dureza máximo obtenido en lugar de informar el valor medido de la dureza real. Está comprobado que en diversas resinas, el 80% de la dureza máxima está relacionado con el 90% de polimerización máxima[84].

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1 Polimerización. Cambio ocurrido en una resina compuesta pasando de una fase plástica a una fase semisólida mediante la conversión de sus monómeros en polímeros[8].

2.3.2 Fotoactivación. Reacción que inicia la polimerización mediante la generación de radicales libres como resultado de la interacción del agente iniciador con la energía lumínica brindada por la unidad de fotoactivación[9].

2.3.3 Profundidad de polimerización. Cantidad de resina compuesta que obtiene una polimerización adecuada al incidir sobre ella una luz de intensidad media de 460mW/cm^2 provista por una unidad de fotoactivación en un tiempo determinado[55].

2.3.4 Tonalidad. También denominada matiz, hace referencia específicamente al nombre del color, al tipo específico de longitud de onda que no es absorbida por los objetos y por lo tanto es reflejada hacia nuestros ojos como el verde, azul, rojo, amarillo, etc.[66].

2.3.5 Resinas compuestas. Combinación tridimensional de dos o más materiales que poseen distintas interfaces y naturaleza química[34].

2.3.6 Resinas compuestas *bulk fill*. Resinas compuestas para restauración en bloque con incrementos de hasta 4 mm de grosor con baja contracción de polimerización volumétrica y bajo estrés de contracción por polimerización[73,108].

2.3.7 Grado de conversión. Grado de conversión de monómero a polímero, indica el número de grupos metacrilato que interactuaron entre sí por medio de un proceso de conversión[6,109].

2.3.8 Unidad de fotoactivación. Fuente emisora de luz con intensidad suficiente para excitar al fotoiniciador de la resina compuesta e inicie la formación de radicales libres para desarrollar la reacción de polimerización[18,110].

2.3.9 LED: Siglas en inglés de Light Emitting Diode o Diodo emisor de luz. Componente electrónico semiconductor, que cuando es atravesado por una corriente eléctrica, en sentido apropiado, emite luz monocromática sin producir calor[111].

2.3.10 ISO: Siglas en inglés de International Organization for Standardization. Organismo para la creación de estándares internacionales[52].

2.3.11 BIS GMA: Bisfenol glicidil metacrilato. Matriz orgánica de la resina compuesta[6].

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 Hipótesis general

El croma, la unidad de fotoactivación y la distancia de la punta de salida de la luz afectan la profundidad de polimerización de las resinas compuestas *bulk fill.*

2.4.2 Hipótesis específicas

- El croma afecta la profundidad de polimerización de las resinas compuestas *bulk fill* al emplear la unidad de fotoactivación Bluephase N a 0 mm.
- El croma afecta la profundidad de polimerización de las resinas compuestas *bulk fill* al emplear la unidad de fotoactivación Bluephase N a 4 mm.
- El croma afecta la profundidad de polimerización de las resinas compuestas *bulk fill* al emplear la unidad de fotoactivación LED D a 0 mm.
- El croma afecta la profundidad de polimerización de las resinas compuestas *bulk fill* al emplear la unidad de fotoactivación LED D a 4 mm.

2.5 VARIABLES

2.5.1 Identificación de variables

- Variables independientes: Croma de resinas *Bulk fill.*
  Distancia de la unidad de fotoactivación.
  Unidad de fotoactivación.

- Variable dependiente: profundidad de polimerización

2.5.2 Operacionalización de variables

	VARIABLE	DEFINICIÓN	INDICADOR	ESCALA	CATEGORÍA
VARIABLE INDEPENDIENTE	Croma de resinas compuestas *bulk fill*	Saturación o intensidad del matiz de la resina.	Clasificación del fabricante	Ordinal	A1 A2 A3
	Unidad de fotoactivación	Equipo emisor de luz que dará inicio a la reacción de polimerización	Uso de cada unidad de polimerización	Nominal	Bluephase N LED D
	Distancia de la unidad de fotoactivación	Longitud desde la salida de luz hasta la resina	Medida del separador empleado	Razón	0 Milímetros 4 milímetros
VARIABLE DEPENDIENTE	Profundidad de polimerización	Altura de resina polimerizada adecuadamente Medida desde la superficie donde incide la luz hacia el interior.	Longitud del bloque de resina polimerizado dividido entre dos.	Razón	Milímetros

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

- Por su finalidad: Analítico
- Por la secuencia temporal: Transversal
- Por el control y asignación de los factores de estudio: Experimental
- Tipo de diseño: Analítico Experimental
- Enfoque: Cuantitativo

3.2 Población y muestra

3.2.1 Unidad de análisis. Un cuerpo de prueba de resina compuesta *bulk fill*.

3.2.2 Población diana. Individuos con necesidad de restauraciones dentales con resinas compuestas *bulk fill*.

3.2.3 Tamaño de muestra. Según antecedentes[19,20,24]. 60 cuerpos de prueba de resina compuesta *bulk fill*, estandarizadas en bloques cilíndricos de 4 mm de diámetro y 10 mm de altura.

3.2.4 Selección de muestra. 60 cuerpos de prueba, divididos de la siguiente forma: 20 de croma A1, 20 de croma A2, 20 de croma A3.

Criterios de exclusión

- Cuerpos de prueba de resina compuesta *bulk fill* que se fracturen al ser retiradas de la matriz metálica .

- Cuerpos de prueba de resina compuesta *bulk fill* que no tengan la longitud de 10mm.
- Cuerpos de prueba de resina compuesta *bulk fill* que presenten visiblemente burbujas o grietas en su estructura

Criterios de inclusión

- Cuerpos de prueba de resina compuesta *bulk fill* sin fracturas visibles.
- Cuerpos de prueba de resina compuesta *bulk fill* que cumplan con los parámetros establecidos en la norma ISO 4049.
- Cuerpos de prueba de resina compuesta Bulk fill sin grietas o burbujas de aire visibles.

3.3 Técnica de recolección de datos

Para medir la profundidad de polimerización se empleó el método propuesto por la Organización internacional para la estandarización (ISO). El método es denominado como "ISO 4049-Profundidad de curado"[52].

3.3.1 Confección de la matriz metálica. Se confeccionó para este estudio 01 matriz de acero inoxidable siguiendo la norma ISO 4049, que establece que el molde donde se elaboran los cuerpos de prueba de resina debe tener 4 mm de diámetro y su altura debe ser 2mm mayor que el doble de la profundidad de polimerización que indica el fabricante, por lo que la altura de la matriz metálica elaborada fue de 10 mm de alto y un diámetro interno de 4mm. Las dimensiones se confirmaron empleando un calibrador digital milimétrico marca Truper® . Usando este molde o matriz metálica se obtuvo los 60 cuerpos de prueba. La resina compuesta *Bulk fill* que se empleó fue Filtek™ One Bulk Fill Restorative de la marca 3M ESPE. Los cromas considerados para este estudio fueron los siguientes: A1, A2 y A3.

Se emplearon para este estudio dos unidades de fotoactivación LED de marca y tecnologías distintas: Bluephase N (Ivoclar Vivadent) con una

intensidad de luz de 1177 mW/cm^2 y la unidad de fotoactivación LED D (Woodpecker) con intensidad lumínica: 826 mW/cm^2.

3.3.2 Confección de los cuerpos de prueba. Los veinte cuerpos de prueba de cada croma fueron divididos de la siguiente manera: empleando la unidad de fotoactivación Bluephase N cinco cuerpos de prueba fueron fotoactivados a una distancia de separación de 4 mm entre la punta de salida de luz de la unidad de fotoactivación y la lámina portaobjetos que cubre la resina en el molde y cinco cuerpos de prueba fueron fotoactivados a una distancia de 0 mm. Empleando la unidad de fotoactivación LED D cinco cuerpos de prueba fueron fotoactivados a una distancia de 4 mm y cinco cuerpos de prueba a una distancia de 0 mm.

Cada cuerpo de prueba se elaboró en un ambiente con iluminación artificial de color rojo, para evitar interferencias posibles con la polimerización del material por estar en un espectro distante al del violeta y el azul. Sobre un fondo blanco se colocó una lámina portaobjetos y sobre ella una cinta matriz de poliéster, sobre la cual se colocó el molde cilíndrico de acero inoxidable, inmediatamente la resina compuesta *bulk fill* se empaquetó en el interior del molde con una espátula metálica para resinas marca Saona, hasta llenar por completo el interior del cilindro, inmediatamente después una cinta matriz de poliéster seguido de una lámina portaobjetos fueron colocados en la superficie del cilindro y se hizo presión manual sobre éste para eliminar los excesos de resina o burbujas de aire que pudieran haberse atrapado. Se empleó un soporte universal para sostener la unidad de fotoactivación y mantener la punta de salida de luz separada 4 mm del molde cilíndrico. Se midió esa distancia de separación con un vernier digital. No se empleó separador alguno para las pruebas a 0 mm, para lo cual fue retirada la lámina portaobjetos antes de la fotoactivación. El tiempo de fotoactivación para cada cuerpo de prueba empleando la unidad Bluephase N fue de 20 segundos y el tiempo de fotoactivación para cada cuerpo de prueba empleando la unidad LED D fue de 30 segundos.

Tabla 3. Información de las unidades de fotoactivación LED empleadas en este estudio.

LED (Fabricante)	Tecnología / Longitud de onda / Irradiancia*	Diámetro activo de la punta**	Potencia medida	Irradiancia calculada
Bluephase N (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	Polywave 385 - 515 nm 1200 mW/cm²	8.8 mm	716 mW	1177 mW/cm²
LED D (Woodpecker, Guilin, China)	Monowave 420 - 480 nm 850 - 1000 mW/cm²	6.8 mm	300 mW	826 mW/cm²

* Datos proporcionados por los fabricantes

** Se desconsideró 1 mm correspondiente al borde oscuro que carece de fibra óptica

3.3.3 Cálculo de la densidad de energía lumínica. La potencia de las unidades de fotoactivación LED fue medida antes y durante el estudio. Para este fin se empleó el radiómetro Bluephase Meter II (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Se colocó la punta de salida de luz de la unidad de fotoactivación sobre la superficie del radiómetro y se procedió realizar varias mediciones, para asegurar que la potencia entregada sea estable. Este procedimiento se repitió durante la ejecución del estudio. Para obtener la irradiancia, los valores de potencia fueron divididos entre el área de la punta de cada unidad de fotoactivación LED (Tabla 3). Debido a que existía una marcada diferencia entre las irradiancias obtenidas en cada unidad de fotoactivación (Bluephase N=1177 mW/cm^2 y LED D=826 mW/cm^2), se hizo necesario estandarizar la densidad de energía que se entregaría a los cuerpos de prueba de resina compuesta *bulk fill* utilizando la fórmula[74] :

Irradiancia (mW/cm^2) x Tiempo (s) = Densidad de energía (J/cm^2)

De esa manera, los tiempos de fotoactivación utilizados con Bluephase N y LED D fueron de 20 s y 30 s respectivamente, para estandarizar una densidad de energía aproximada de 24 J/cm^2 sobre el material.

Después de la fotoactivación, los cuerpos de prueba fueron inmediatamente retirados del molde, obteniendo así un espécimen de 4 mm de diámetro y 10 mm de profundidad cada uno. Desde la parte inferior de cada cuerpo de prueba obtenido, es decir la parte opuesta a la zona donde incidió la luz, el material no polimerizado y que se encuentra de consistencia blanda, se eliminó mediante raspado manual (conforme lo indica la norma ISO 4049) con una espátula de plástico sin marca, hasta quedar sólo con el material endurecido. La nueva longitud del cuerpo de prueba se medió con un calibrador digital milimétrico Truper® (con capacidad mínima de 0.005”/0.01mm con una tolerancia de 0.002”/0.05mm) en tres puntos diferentes, el promedio de esas tres medidas se registró como la longitud final. Este valor se dividió entre dos y se obtuvo así el valor de la profundidad de polimerización según lo indica la norma ISO 4049[52]. La presión ejercida para el retiro manual del material sin polimerizar se realizó previa calibración del operador para ejercer siempre la misma presión.

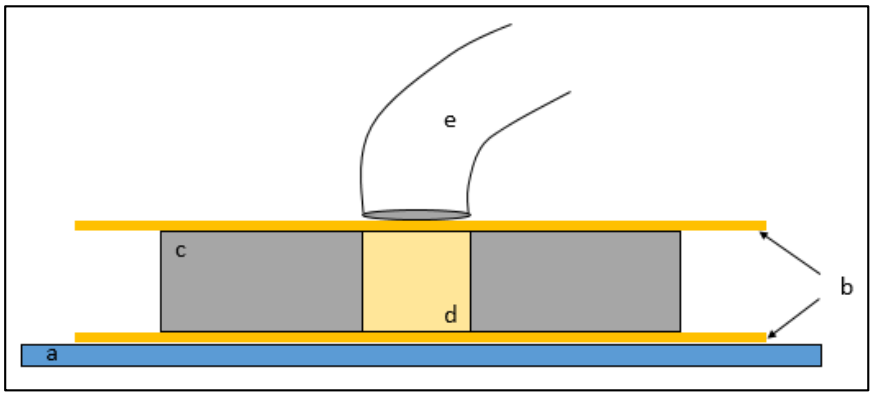


Figura 22. Esquema que ejemplifica la elaboración de los cuerpos de prueba. a: lámina portaobjetos; b: cinta matriz de poliéster; c: matriz metálica de acero inoxidable en formato cilíndrico de 4 mm de diámetro y 10 mm de altura; d: cuerpo de prueba de resina compuesta bulk fill; e: punta de salida de luz de la unidad de fotoactivación LED. Fuente: Creación del autor.

TABLA 4. Descripción de principales materiales empleados en el estudio.

Material	Abreviatura	Fabricante	Composición	Tiempo de curado /intensidad de luz
Filtek One bulk fill restorative	FO	3M ESPE	Resina: bis-GMA, UDMA, Bis-EMA y Procrylato. Relleno: zirconia , sílice y trifloruro de iterbio	20 segundos con ≥1000mW/cm^2 40 segundos con < 1000mW/cm^2
Bluephase N	BPN	Ivoclar Vivadent	Poli onda LED con un espectro de banda de 385 a 515 nm	1177 mW/cm^2
LED D	LD	Woodpecker	3 LED de alta intensidad con un espectro de banda de 420-480nm	826 mW/cm^2
Bluephase Meter II	BM	Ivoclar Vivadent		Rangos de longitud de onda 380 – 550 nm intensidad de luz de 300 – 12,000 mW/cm^2 exactitud de ± 10 %
Molde de acero desmontable		Fabricación nacional	Acero inoxidable	

Fuente: creación del autor

TABLA 5. Información de las Resinas bulk fill empleadas

Croma	Lote	**Fecha de caducidad**	Referencia
A1	N921513	2020-11-28	4868A1
A2	N930814	2020-12-28	4868A2
A3	N 921611	2020-12-18	4868A3

3.4 Análisis e interpretación de la información

Los datos obtenidos de la profundidad de polimerización de cada cuerpo de prueba se registraron en una hoja de cálculo para posteriormente ser procesados. Para el análisis de la información se empleó el programa estadístico SigmaPlot 12.0 (Systat Software Inc., San Jose, USA). Para evaluar si los resultados obtenidos presentan una distribución Normal, se realizó la prueba estadística Shapiro-wilk. Al comprobarse que los datos presentan distribución normal se procedió a realizar la prueba paramétrica ANOVA. Para encontrar donde se encontraban las diferencias entre grupos se aplicó la prueba post-hoc de Tukey. Se consideró un valor de significancia de 5% con una confiabilidad del 95%.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Presentación de los resultados en función de las variables y objetivos planteados en la investigación.

Tabla 6. Profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* fotoactivada con Bluephase N a distancia de 0 mm.

CROMA	Media**	DS	IC	Mediana	25%	75%	Min-Max	n	p
A1	3.84[a]	0.05	0.06	3.82	3.80	3.88	3.77-3.89	5	0.010*
A2	3.75[b]	0.07	0.09	3.76	3.68	3.81	3.68-3.84	5	
A3	3.85[a]	0.01	0.01	3.85	3.85	3.86	3.84-3.86	5	

*Prueba ANOVA, F=7.01, p<0.05
**Post-hoc Tukey, letras diferentes muestran diferencias significativas

Gráfica 3. Comparación de la profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* fotoactivada con Bluephase N a distancia de 0 mm.

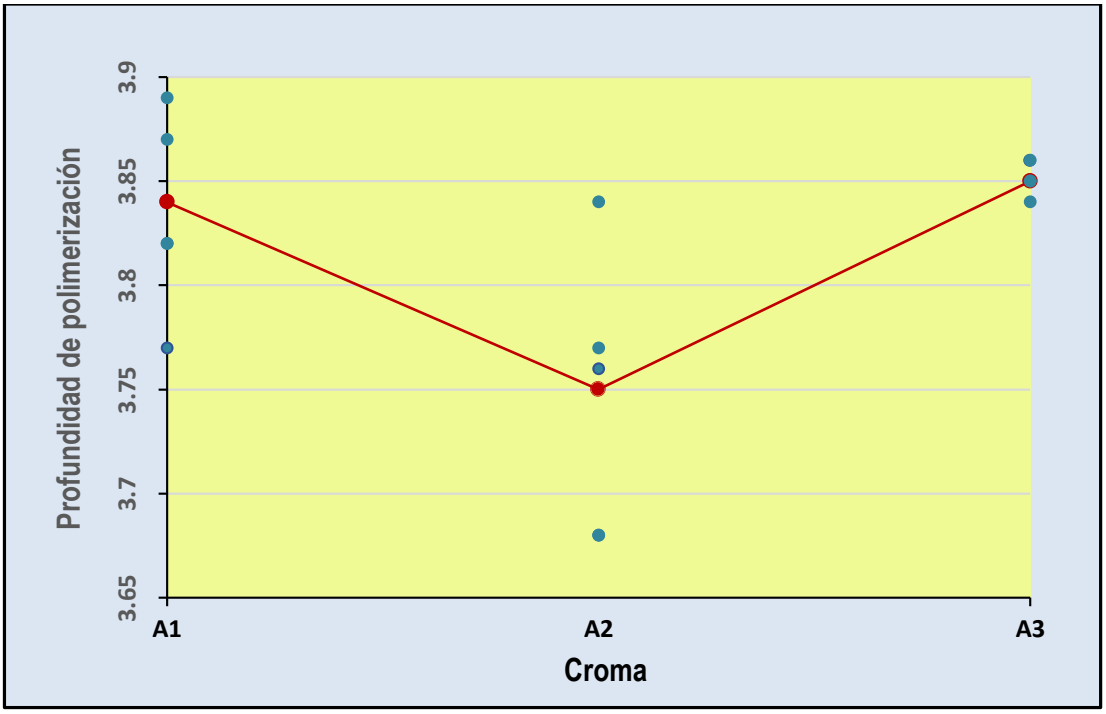


Tabla 7. Profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* fotoactivada con Bluephase N a distancia de 4 mm.

CROMA	Media**	DS	IC	Mediana	25%	75%	Min-Max	n	p
A1	3.58[b]	0.04	0.05	3.60	3.53	3.62	3.52-3.62	5	<0.001*
A2	3.64[b]	0.01	0.02	3.63	3.63	3.66	3.63-3.66	5	
A3	3.74[a]	0.05	0.07	3.76	3.68	3.78	3.67-3.80	5	

*Prueba ANOVA, F=18.69, p<0.05
**Post-hoc Tukey, letras diferentes muestran diferencias significativas

Gráfica 4. Comparación de la profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* fotoactivada con Bluephase N a distancia de 4 mm.

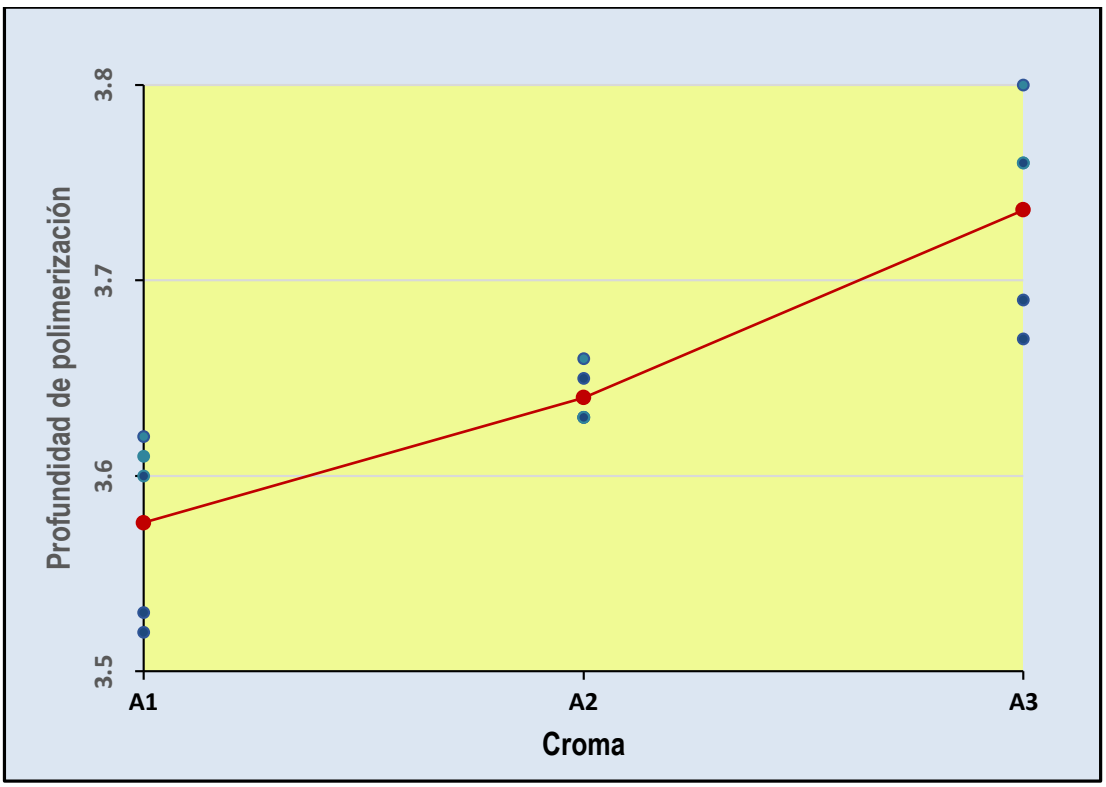


Tabla 8. Profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* fotoactivada con LED D a distancia de 0 mm.

CROMA	Media	DS	IC	Mediana	25%	75%	Min-Max	n	p
A1	4.21[b]	0.07	0.08	4.17	4.16	4.28	4.16-4.31	5	<0.001*
A2	4.11[c]	0.04	0.05	4.11	4.08	4.14	4.06-4.16	5	
A3	4.42[a]	0.05	0.06	4.41	4.38	4.46	4.36-4.48	5	

*Prueba ANOVA, F=45.95, p<0.05
**Post-hoc Tukey, letras diferentes muestran diferencias significativas

Gráfica 5. Comparación de la profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* fotoactivada con LED D a distancia de 0 mm.

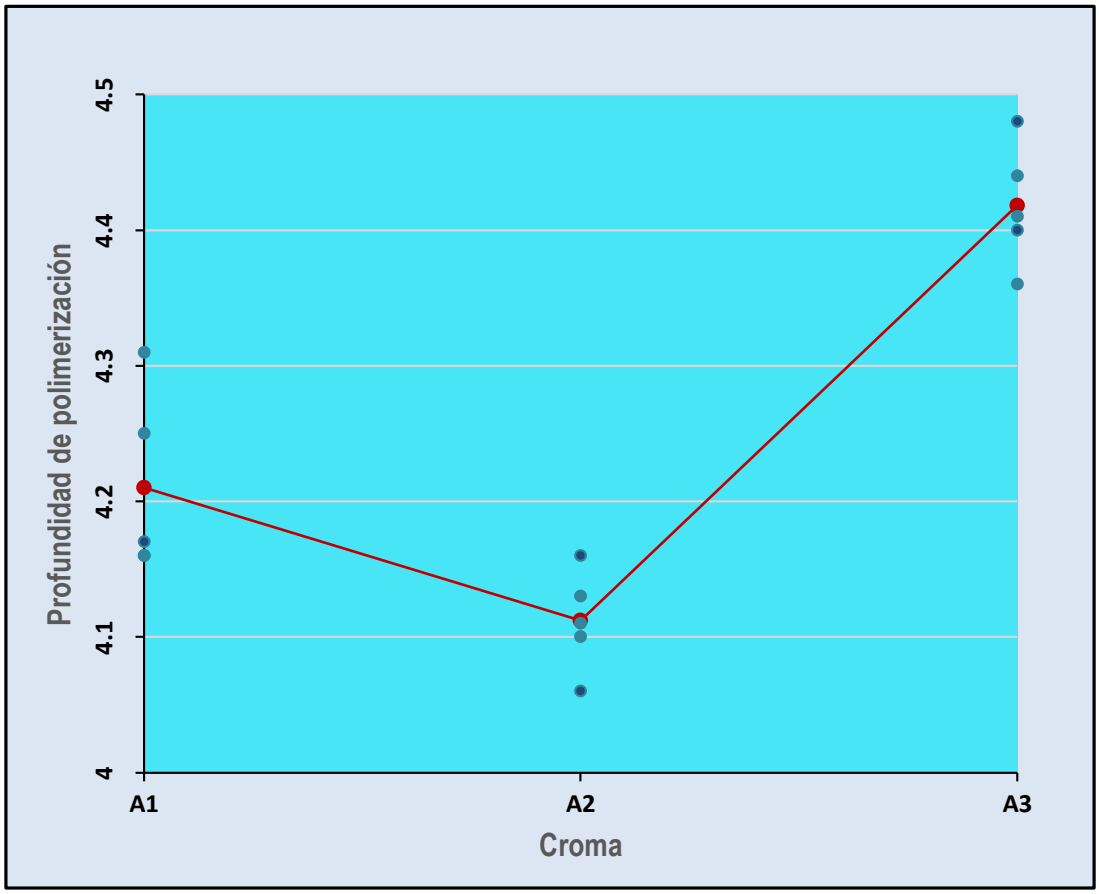


Tabla 9. Profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* fotoactivada con LED D a distancia de 4 mm.

CROMA	Media**	DS	IC	Mediana	25%	75%	Min-Max	n	p
A1	3.92[ab]	0.03	0.04	3.92	3.90	3.95	3.89-3.98	5	0.018*
A2	3.89[b]	0.04	0.05	3.89	3.85	3.93	3.83-3.93	5	
A3	4.00[a]	0.08	0.10	4.00	3.93	4.072	3.89-4.09	5	

*Prueba ANOVA, F=5.70, p<0.05

**Post-hoc Tukey, letras diferentes muestran diferencias significativas

Gráfica 6. Comparación de la profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* fotoactivada con LED D a distancia de 4 mm.

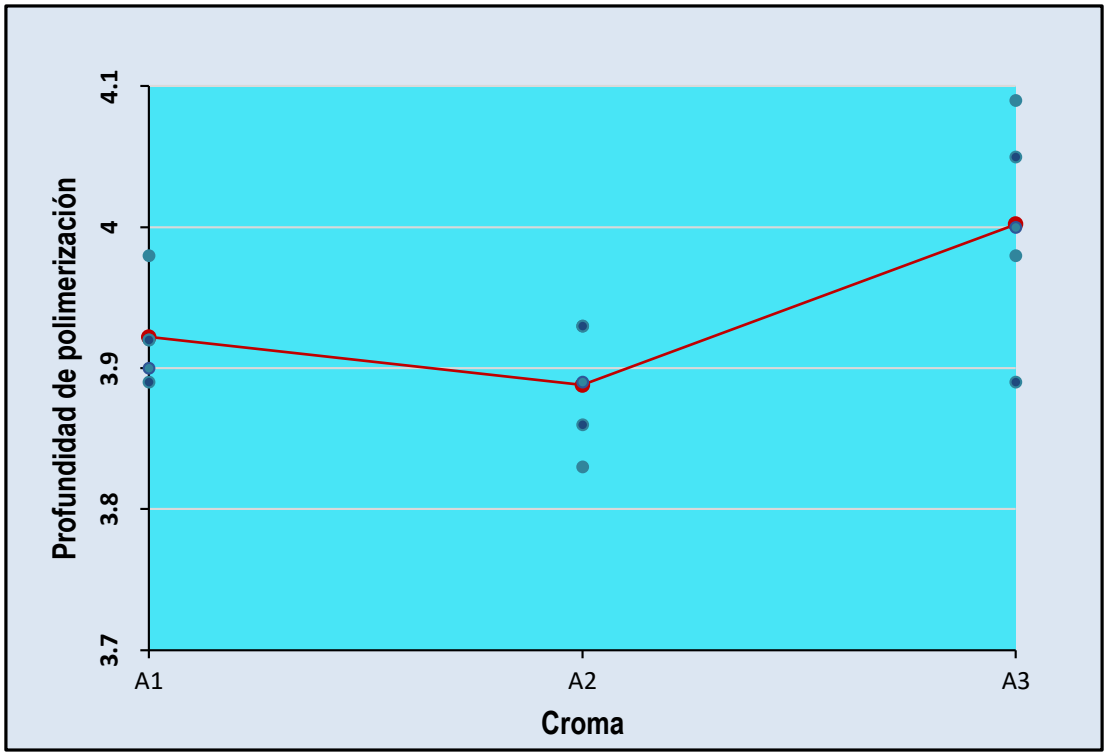


Tabla 10. Profundidad de polimerización (mm) y desviación estándar de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* vs. unidades de fotoactivación usadas a distancia de 0mm.

CROMA	Bluephase N	LED D
A1	3.84 (0.05)$^{a\ B}$	4.21 (0.07)$^{b\ A}$
A2	3.75 (0.07)$^{b\ B}$	4.11 (0.04)$^{c\ A}$
A3	3.85 (0.01)$^{a\ B}$	4.42 (0.05)$^{a\ A}$

*Pruebas estadísticas: Análisis de varianza (ANOVA) de dos factores y Post-hoc Tukey.
**Letras minúsculas diferentes muestran diferencias significativas dentro de una columna, letras mayúsculas diferentes muestran diferencias significativas dentro de una fila.

Tabla 10a. Análisis de varianza de dos factores: LED x Croma; distancia 0 mm

Variable	df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	p
LED	1	1.424	1.424	563.914	<0.001
Croma	2	0.215	0.108	42.660	<0.001
LED x Croma	2	0.0642	0.0321	12.704	<0.001
Residual	24	0.0606	0.00253		
Total	29	1.764	0.0608		

Gráfica 7. Comparación de la profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* vs. unidades de fotoactivación usadas a distancia de 0 mm.

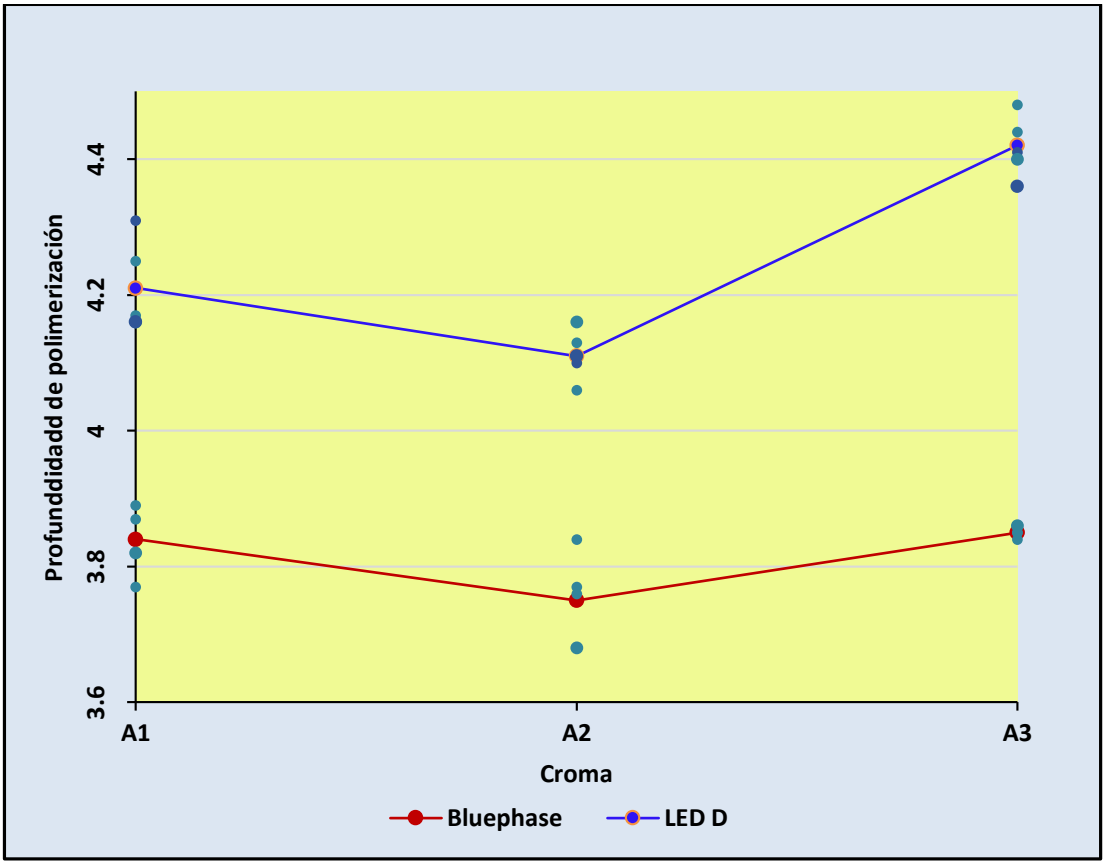


Tabla 11. Profundidad de polimerización (mm) y desviación estándar de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* Vs unidades de fotoactivación usadas a distancia de 4mm.

CROMA	Bluephase N	LED D
A1	3.58 (0.04)$^{b\ B}$	3.92 (0.03)$^{b\ A}$
A2	3.64 (0.05)$^{b\ B}$	3.89 (0.04)$^{b\ A}$
A3	3.74 (0.01)$^{a\ B}$	4.00 (0.08)$^{a\ A}$

*Pruebas estadísticas: Análisis de varianza (ANOVA) de dos factores y Post-hoc Tukey.
**Letras minúsculas diferentes muestran diferencias significativas dentro de una columna, letras mayúsculas diferentes muestran diferencias significativas dentro de una fila.

Tabla 11a. Análisis de varianza de dos factores: LED x Croma; distancia 4 mm

Variable	df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	p
LED	1	0.617	0.617	263.584	<0.001
Croma	2	0.0844	0.0422	18.032	<0.001
LED x Croma	2	0.0125	0.00624	2.668	0.090
Residual	24	0.0561	0.00234		
Total	29	0.770	0.0265		

Gráfica 8. Comparación de la profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* vs. unidades de fotoactivación usadas a distancia de 4 mm.

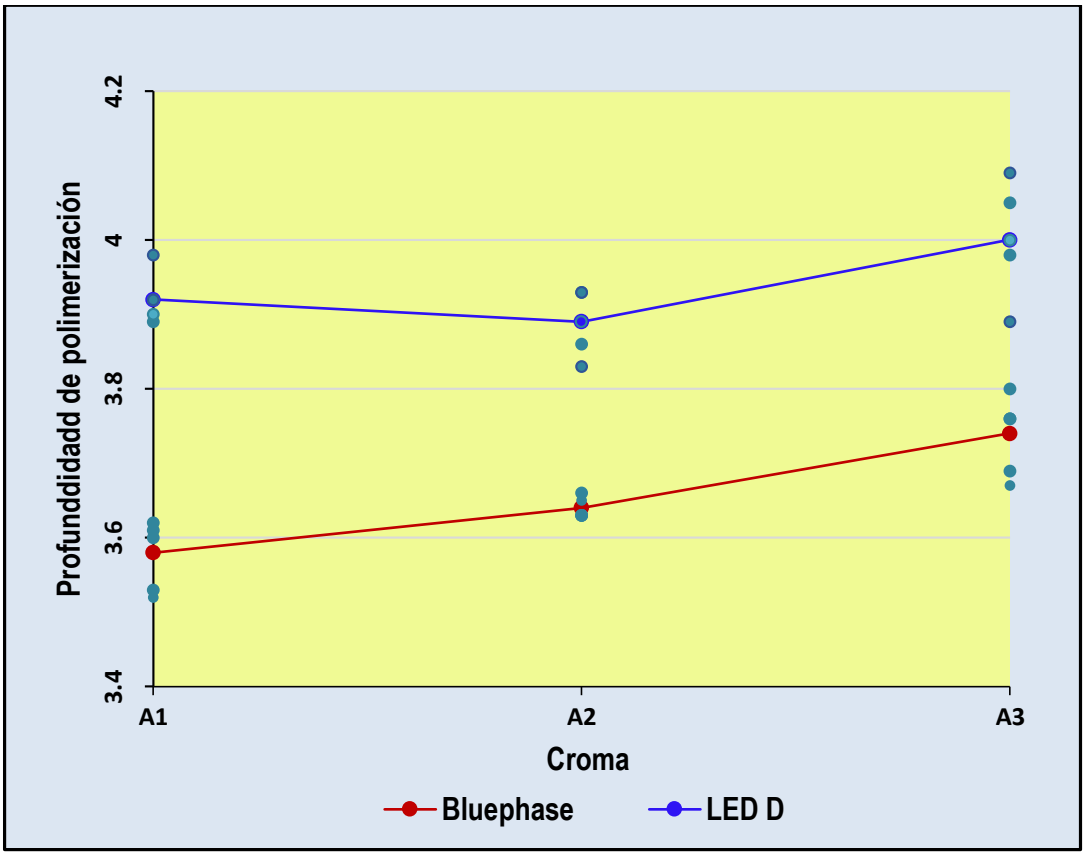


Tabla 12. Profundidad de polimerización (mm) y desviación estándar de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* Vs distancias de fotoactivación con Bluephase N.

CROMA	0 mm	4 mm
A1	3.84 (0.05)$^{a\,A}$	3.58 (0.04)$^{b\,B}$
A2	3.75 (0.07)$^{b\,A}$	3.64 (0.05)$^{b\,B}$
A3	3.85 (0.01)$^{a\,A}$	3.74 (0.01)$^{a\,B}$

*Pruebas estadísticas: Análisis de varianza (ANOVA) de dos factores y Post-hoc Tukey.
**Letras minúsculas diferentes muestran diferencias significativas dentro de una columna, letras mayúsculas diferentes muestran diferencias significativas dentro de una fila.

Tabla 12a. Análisis de varianza de dos factores: Distancia x Croma; Bluephase N

Variable	df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	p
Distancia	1	0.194	0.194	95.980	<0.001
Croma	2	0.0594	0.0297	14.691	<0.001
Distancia x Croma	2	0.0364	0.0182	9.012	0.001
Residual	24	0.0485	0.00202		
Total	29	0.338	0.0117		

Gráfica 9. Comparación de la profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de la resina compuesta *bulk fill* vs. distancias de fotoactivación con la Bluephase N.

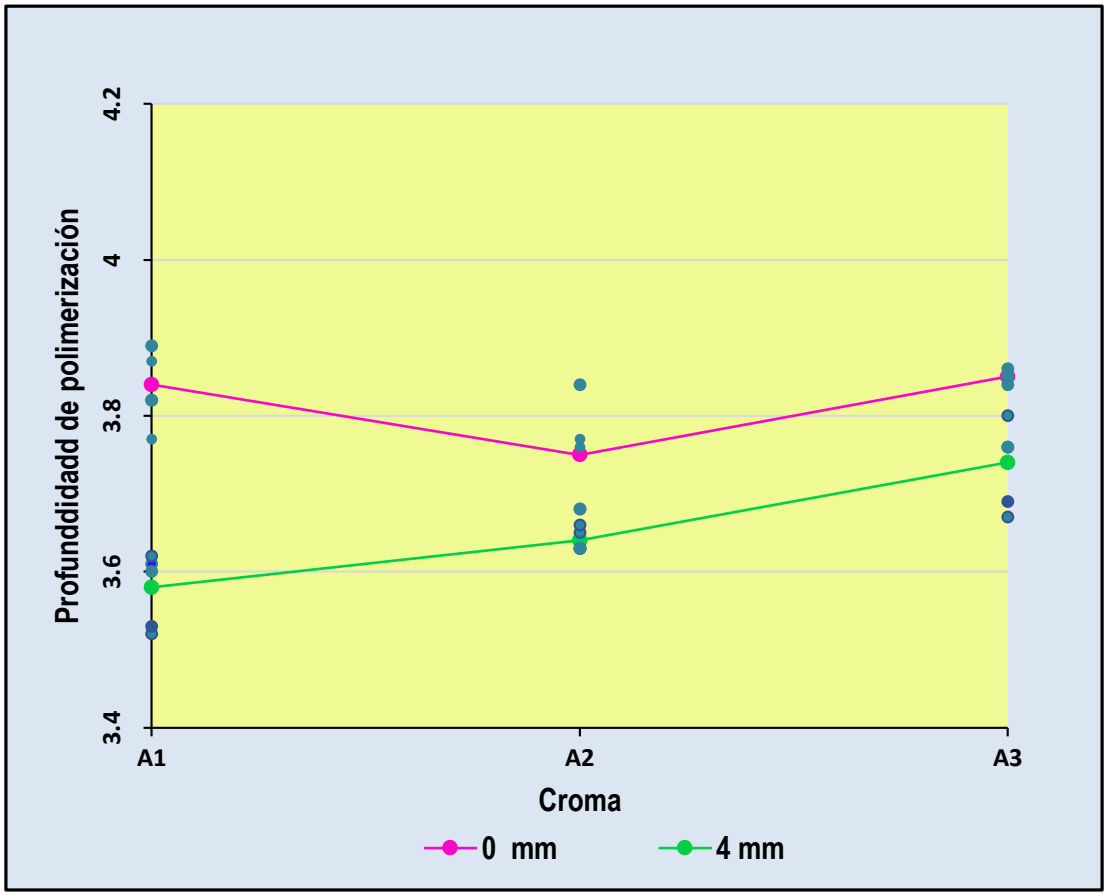


Tabla 13. Profundidad de polimerización (mm) y desviación estándar de los diferentes cromas de resina compuesta *bulk fill* Vs. distancia de fotoactivación con LED D

CROMA	0 mm	4 mm
A1	4.21 (0.07)$^{b\ A}$	3.92 (0.03)$^{ab\ B}$
A2	4.11 (0.04)$^{c\ A}$	3.89 (0.04)$^{b\ B}$
A3	4.42 (0.05)$^{a\ A}$	4.00 (0.08)$^{a\ B}$

*Pruebas estadísticas: Análisis de varianza (ANOVA) de dos factores y Post-hoc Tukey.
**Letras minúsculas diferentes muestran diferencias significativas dentro de una columna, letras mayúsculas diferentes muestran diferencias significativas dentro de una fila.

Tabla 13a. Análisis de varianza de dos factores: Distancia x Croma; LED D

Variable	df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	p
Distancia	1	0.720	0.720	253.354	<0.001
Croma	2	0.232	0.116	40.808	<0.001
Distancia x Croma	2	0.0486	0.0243	8.552	0.002
Residual	24	0.0682	0.00284		
Total	29	1.069	0.0369		

Gráfica 10. Comparación de la profundidad de polimerización (mm) de los diferentes cromas de la resina compuesta *bulk fill* vs. distancias de fotoactivación con LED D.

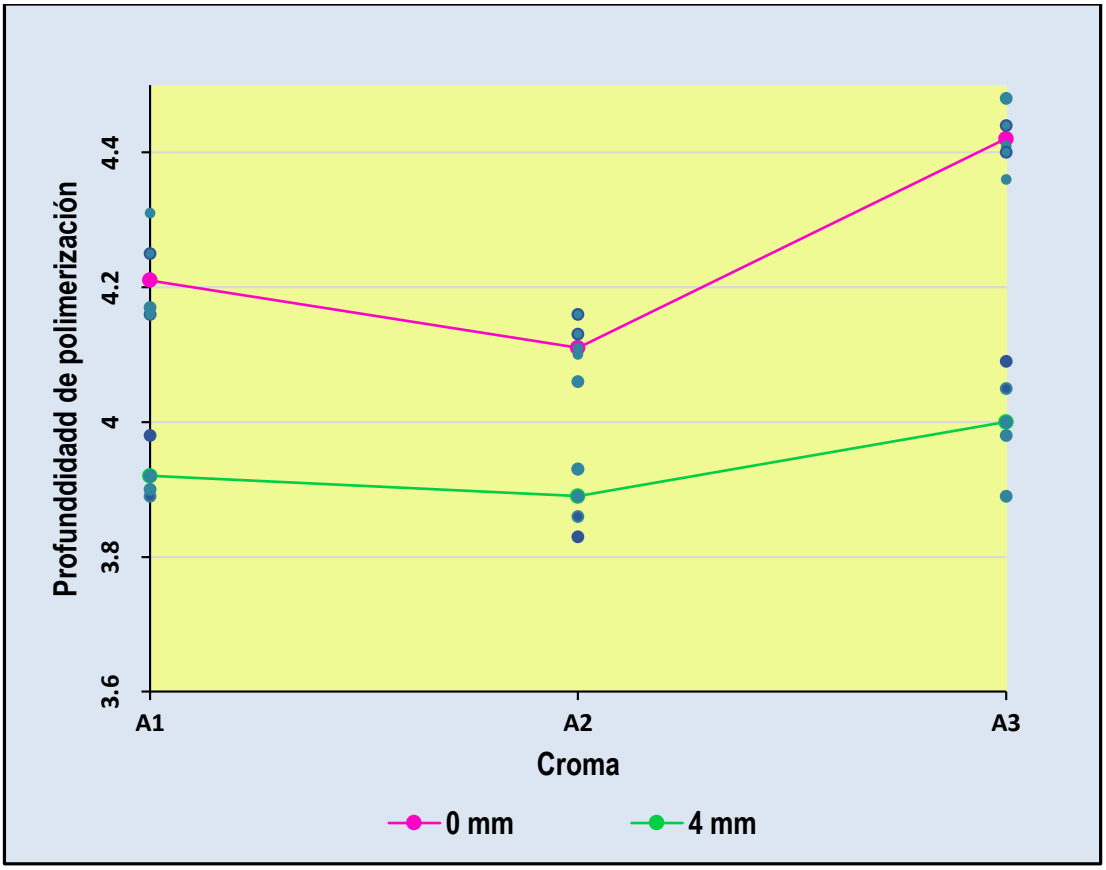


Tabla 14. Datos obtenidos con la unidad de fotoactivación Bluephase N a 0 mm

A1-BP 0mm						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	Coef. Variac.
A1BP0-01	7.55	7.57	7.57	7.54	7.51	7.548	3.774	3.84	0.05	1%
A1BP0-02	7.79	7.78	7.81	7.76	7.78	7.784	3.892			
A1BP0-03	7.63	7.59	7.67	7.65	7.66	7.64	3.82			
A1BP0-04	7.62	7.69	7.61	7.63	7.65	7.64	3.82			
A1BP0-05	7.79	7.74	7.75	7.76	7.69	7.746	3.873			
A2-BP0						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	
A2BP0-01	7.49	7.45	7.5	7.59	7.52	7.51	3.755	3.74	0.07	2%
A2BP0-02	7.33	7.3	7.35	7.38	7.39	7.35	3.675			
A2BP0-03	7.68	7.66	7.7	7.71	7.69	7.688	3.844			
A2BP0-04	7.36	7.38	7.36	7.33	7.39	7.364	3.682			
A2BP0-05	7.5	7.52	7.51	7.62	7.53	7.536	3.768			
A3-BP0						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	
A3BP0-01	7.75	7.77	7.63	7.7	7.74	7.718	3.859	3.85	0.01	0%
A3BP0-02	7.66	7.68	7.7	7.69	7.67	7.68	3.84			
A3BP0-03	7.68	7.71	7.7	7.72	7.69	7.7	3.85			
A3BP0-04	7.74	7.73	7.71	7.72	7.7	7.72	3.86			
A3BP0-05	7.71	7.68	7.7	7.71	7.69	7.698	3.849			

Tabla 15. Datos obtenidos con la unidad de fotoactivación Bluephase N a 4 mm

A1-BP4						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	
A1BP4-01	7.28	7.2	7.18	7.2	7.25	7.228	3.614	3.58	0.04	1%
A1BP4-02	7.06	7.07	7.02	7.04	7.05	7.048	3.524			
A1BP4-03	7.09	7.07	7.05	7.03	7.1	7.068	3.534			
A1BP4-04	7.2	7.22	7.18	7.19	7.17	7.192	3.596			
A1BP4-05	7.25	7.19	7.21	7.2	7.3	7.23	3.615			
A2-BP4						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	
A2BP4-01	7.28	7.3	7.2	7.27	7.27	7.264	3.632	3.64	0.01	0%
A2BP4-02	7.32	7.29	7.32	7.31	7.3	7.308	3.654			
A2BP4-03	7.24	7.2	7.26	7.29	7.27	7.252	3.626			
A2BP4-04	7.24	7.26	7.23	7.25	7.3	7.256	3.628			
A2BP4-05	7.34	7.3	7.3	7.29	7.33	7.312	3.656			
A3-BP4						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	
A3BP4-01	7.48	7.54	7.49	7.55	7.51	7.514	3.757	3.73	0.05	1%
A3BP4-02	7.32	7.36	7.35	7.32	7.36	7.342	3.671			
A3BP4-03	7.4	7.32	7.35	7.4	7.38	7.37	3.685			
A3BP4-04	7.58	7.54	7.48	7.53	7.47	7.52	3.76			
A3BP4-05	7.59	7.6	7.59	7.58	7.6	7.592	3.796			

Tabla 16. Datos obtenidos con la unidad de fotoactivación LED D a 0 mm

A1-WP0						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	Coef. Variac.
A1WP0-01	8.5	8.49	8.74	8.7	8.68	8.622	4.311	4.21	0.07	2%
A1WP0-02	8.34	8.33	8.33	8.3	8.31	8.322	4.161			
A1WP0-03	8.5	8.45	8.49	8.5	8.54	8.496	4.248			
A1WP0-04	8.32	8.37	8.36	8.3	8.39	8.348	4.174			
A1WP0-05	8.33	8.31	8.33	8.34	8.32	8.326	4.163			
A2-WP0						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	
A2WP0-01	8.18	8.18	8.25	8.27	8.13	8.202	4.101	4.11	0.04	1%
A2WP0-02	8.33	8.3	8.3	8.32	8.35	8.32	4.16			
A2WP0-03	8.31	8.08	8.26	8.26	8.35	8.252	4.126			
A2WP0-04	8.1	8.11	8.17	8.04	8.14	8.112	4.056			
A2WP0-05	8.28	8.15	8.16	8.26	8.22	8.214	4.107			
A3-WP0						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	
A3WP0-01	8.8	8.62	8.99	8.83	8.84	8.816	4.408	4.42	0.05	1%
A3WP0-02	8.73	8.9	8.8	8.8	8.79	8.804	4.402			
A3WP0-03	8.95	8.78	8.8	8.96	8.93	8.884	4.442			
A3WP0-04	8.93	9.07	8.91	8.92	8.99	8.964	4.482			
A3WP0-05	8.77	8.63	8.68	8.73	8.75	8.712	4.356			

Tabla 17. Datos obtenidos con la unidad de fotoactivación LED D a 4 mm

A1-WP4						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	
A1WP4-01	7.85	7.78	7.84	7.83	7.85	7.83	3.915	3.92	0.03	1%
A1WP4-02	7.79	7.87	7.71	7.72	7.78	7.774	3.887			
A1WP4-03	7.97	7.93	7.95	7.95	7.97	7.954	3.977			
A1WP4-04	7.77	7.86	7.89	7.77	7.89	7.836	3.918			
A1WP4-05	7.81	7.83	7.78	7.8	7.81	7.806	3.903			
A2-WP4						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	
A2WP4-01	7.92	7.94	7.87	7.71	7.9	7.868	3.934	3.89	0.04	1%
A2WP4-02	7.73	7.68	7.76	7.72	7.7	7.718	3.859			
A2WP4-03	7.63	7.68	7.69	7.63	7.67	7.66	3.83			
A2WP4-04	7.85	7.87	7.75	7.94	7.85	7.852	3.926			
A2WP4-05	7.74	7.79	7.76	7.82	7.81	7.784	3.892			
A3-WP4						FINAL	Prof. Pol.	PROMEDIO	DESVEST	
A3WP4-01	7.9	7.9	7.94	8	8.03	7.954	3.977	4.00	0.08	2%
A3WP4-02	8.09	8.11	8.1	8.1	8.12	8.104	4.052			
A3WP4-03	8.23	8.11	8.07	8.20	8.3	8.182	4.091			
A3WP4-04	7.78	7.75	7.81	7.80	7.76	7.78	3.89			
A3WP4-05	8.02	8	7.96	7.99	8.01	7.996	3.998			

Al comparar los resultados obtenidos en la profundidad de polimerización de la resina compuesta *bulk fill* según cromas, fotoactivadas con la unidad de fotoactivación Bluephase N a la distancia de 0mm, mediante el Análisis de la varianza, observamos que existen diferencias estadísticamente significativas entre los 3 grupos. El test post-hoc de Tukey nos muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios obtenidos por el croma A1 y el croma A3, siendo estos grupos los que presentan los mayores promedios. Existen diferencias estadísticamente significativas de estos grupos con el croma A2.

Al comparar la profundidad de polimerización de la resina compuesta *bulk fill* según cromas, fotoactivadas con la unidad de fotoactivación Bluephase N a la distancia de 4mm, mediante el Análisis de la varianza, observamos que existen diferencias estadísticamente significativas entre los 3 grupos. El test post-hoc de Tukey nos muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios obtenidos en el croma A1 y A2. Existen diferencias significativas entre estos grupos con el croma A3. El croma A3 obtuvo los mayores promedios en la profundidad de polimerización.

Al comparar la profundidad de polimerización de la resina compuesta *bulk fill* según cromas, fotoactivadas con la unidad de fotoactivación LED D a distancia de 0mm, mediante el Análisis de la varianza, observamos que existen diferencias estadísticamente significativas entre los 3 grupos. El test post-hoc de Tukey nos muestra que existen diferencias entre los tres grupos: A1-A2; A1-A3; A2-A3. El croma A3 obtuvo los mayores promedios en la profundidad de polimerización.

Al comparar la profundidad de polimerización de la resina compuesta *bulk fill* según cromas, fotoactivadas con la unidad de fotoactivación LED D a distancia de 4mm, mediante el Análisis de la varianza, observamos que existen diferencias significativas entre los 3 grupos. El test post-hoc de

Tukey nos muestra que las diferencias estadísticamente significativas se encuentran entre A2 y A3. Los cromas A3 y A1 obtuvieron mayores promedios en la profundidad de polimerización.

Al comparar la profundidad de polimerización de los cromas de resina compuesta *bulk fill*, según la unidad de fotoactivación empleada a distancia de 0mm, mediante el Análisis de la varianza de dos factores, observamos que existen diferencias estadísticamente significativas para todos los cromas. La unidad de fotoactivación LED D produjo mayores promedios en la profundidad de polimerización que la unidad de fotoactivación Bluephase N, para todos los cromas estudiados. El croma A3 fotoactivado con la unidad LED D obtuvo los mayores promedios en la profundidad de polimerización. El croma A2 fotoactivado con Bluephase N obtuvo los menores promedios en la profundidad de polimerización.

Al comparar la profundidad de polimerización de los cromas de resina compuesta *bulk fill*, según la unidad de fotoactivación empleada a distancia de 4mm, mediante el Análisis de la varianza de dos factores, observamos que existen diferencias estadísticamente significativas para cada croma. La unidad de fotoactivación LED D produjo mayores promedios en la profundidad de polimerización que la unidad de fotoactivación Bluephase N, para todos los cromas estudiados. El croma A3 fotoactivado con la unidad LED D obtuvo los mayores promedios en la profundidad de polimerización. Los cromas A1 y A2 fotoactivados con Bluephase N obtuvieron los menores promedios en la profundidad de polimerización.

Al comparar la profundidad de polimerización de los cromas de resina compuesta *bulk fill* empleando Bluephase N vs. la distancia de fotoactivación, mediante el Análisis de la varianza de dos factores, observamos que existen diferencias estadísticamente significativas para cada croma. La distancia de fotoactivación a 0mm produjo mayores promedios en la profundidad de polimerización que la distancia de 4mm, para todos los cromas estudiados. El croma A1 y A3 fotoactivado a 0mm obtuvieron los mayores promedios en la profundidad de polimerización. Los

cromas A1 y A2 fotoactivados a 4mm obtuvieron los menores promedios en la profundidad de polimerización.

Al comparar la profundidad de polimerización de los cromas de resina compuesta *bulk fill* empleando LED D vs. la distancia de fotoactivación, mediante el Análisis de la varianza de dos factores, observamos que existen diferencias estadísticamente significativas para cada croma. La distancia de fotoactivación a 0mm produjo mayores promedios en la profundidad de polimerización que la distancia de 4mm, para todos los cromas estudiados. El croma A3 fotoactivado a 0mm obtuvo el mayor promedio en la profundidad de polimerización.

En términos generales, el croma de la resina estudiada tuvo efecto en la profundidad de polimerización, pues los resultados obtenidos variaron según el croma de la resina compuesta, pero este resultado se vio afectado por la distancia y la unidad de fotoactivación empleada. En todas las situaciones, el croma A3 presentó mayores promedios en la profundidad de polimerización, independientemente de la unidad de fotoactivación empleada o de la distancia de fotoactivación.

La unidad de fotoactivación LED D (Woodpecker) presentó mayores promedios en la profundidad de polimerización de la resina *bulk fill* al compararla con la unidad de fotoactivación Bluephase N (Ivoclar Vivadent) independientemente del croma de la resina o la distancia de fotoactivación.
La distancia de fotoactivación afectó la profundidad de polimerización. Se observan mayores promedios en la profundidad de polimerización de la resina compuesta *bulk fill* al ser fotoactivada a una distancia de 0mm que a una distancia de 4mm.

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN

En este estudio *in vitro* se evaluó el efecto del croma en la profundidad de polimerización de una marca comercial de resina compuesta *bulk fill* por medio de la metodología propuesta por la norma ISO 4049. Se compararon tres cromas distintos: A1, A2 y A3, además como factores adicionales fueron consideradas las tecnologías distintas de las unidades de fotoactivación LED (*polywave vs. monowave*), y dos distancias diferentes (0 y 4mm) entre la punta de salida de la luz y la superficie de la resina compuesta *bulk fill*, obteniéndose que generalmente el croma A3 obtuvo los mayores valores en la profundidad de polimerización, independientemente de la unidad de fotoactivación empleada y la distancia de fotoactivación.

El valor de profundidad de polimerización de una resina compuesta indica el máximo espesor del material que puede colocarse en cada incremento dentro de la preparación cavitaria, para que luego de fotoactivarse las propiedades mecánicas y la biocompatibilidad se expresen íntegramente según lo ofrecido por el fabricante[113]. La profundidad de polimerización va a estar supeditada a la composición química y de las propiedades físicas del material, así como de los diversos factores que intervienen en el proceso de fotoactivación[111].

Existen varias metodologías para medir la profundidad de polimerización de materiales fotocurables basados en resinas, las más empleadas por diversos investigadores son: 1) la metodología establecida por la norma ISO 4049, 2) el método por medio de la microdureza, y 3) la prueba a través del grado de conversión del material[105]. El presente estudio seleccionó la metodología planteada por la ISO 4049[52] en base a que es la prueba obligatoria para que los fabricantes puedan certificar y recomendar tiempos de fotoactivación relacionados al espesor del incremento de las resinas compuestas que lanzan al mercado[112,114]. Además, esta metodología representa una manera práctica de verificar visualmente los resultados del estudio, no requiere de equipos sofisticados, es fácilmente repetible, y sirve para realizar

comparaciones de forma simple entre diversos materiales y protocolos de fotoactivación.

En la literatura actual existen pocos estudios que evalúen el efecto del croma o tonalidad de la resina *bulk fill* en la profundidad de polimerización; diversos estudios en resinas compuestas convencionales realizados en décadas anteriores establecieron que existe una relación entre ambas variables y que en tonalidades oscuras existe una menor profundidad de polimerización si se comparan con tonalidades más claras[30,95,115,116,117]. Esta relación es discutible pues también existen estudios que establecen que si bien existe una influencia del color sobre la profundidad de polimerización, ésta no es determinante[118].

Los resultados obtenidos en el presente estudio en cuanto al efecto del croma de la resinas compuesta en la profundidad de polimerización coinciden con varios estudios previos realizados en ese sentido (pero con resinas convencionales) en afirmar que sí existe tal efecto.

Guiraldo y col.[117] evaluaron el efecto de diferentes tonalidades (diferentes cromas de un mismo matiz) de una marca comercial de resina compuesta convencional (A1, A2, A3, A3.5 y A4) en su capacidad de polimerizar adecuadamente. Concluyeron que las tonalidades más oscuras obtenían una mayor disminución de la dureza entre la superficie y la base del espécimen de resina compuesta. Es necesario tener en consideración que la reducción de microdureza y de grado de conversión están íntimamente relacionadas con una menor profundidad de polimerización. Los resultados obtenidos en nuestro estudio discrepan con estos resultados, pues encontramos que la tonalidad A3 fue la que obtuvo los mayores valores en la profundidad de polimerización. Esto podría ocurrir porque, el valor de la profundidad de polimerización va a depender de varios factores, entre ellos la composición propia de cada material y los estudios mencionados anteriormente fueron realizados con resinas compuestas convencionales, otra explicación posible es la ensayada en otros estudios[116,20] que atribuyen a los cromas más oscuros mayores concentraciones de fotoiniciadores y mayor grado de translucidez para compensar los pigmentos incorporados.

Rodríguez y col.[20] estudiaron el efecto de la tonalidad en la profundidad de polimerización de dos marcas comerciales de resinas compuestas *bulk fill* y una resina compuesta convencional, y llegaron a la conclusión que los tonos más claros o con mayor translucidez logran una mayor profundidad de polimerización que los más oscuros. Nuestros resultados discrepan con esta afirmación pues la tonalidad A3 fue la de mayor valor de la profundidad de polimerización. Esto puede deberse a que las marcas comerciales consideradas en su estudio fueron distintas a las empleadas por nosotros, por lo cual podrían haber diferencias en su formulación, sobre todo en el croma A3, como ya se expuso anteriormente; además la resina compuesta *bulk fill* empleada en nuestro estudio es la versión de reciente lanzamiento en el mercado mundial, y el fabricante afirma que posee un sistema patentado de "Manejo Inteligente del Radio de Contraste" (Smart Contrast Ratio Management), el cual controla la interacción y el índice de refracción entre el componente resinoso y las partículas de relleno, aumentando la opacidad del material durante la fotoactivación. Esto quiere decir que el material es más translúcido antes de ser fotoactivado, permitiendo el paso de la luz a regiones más profundas para alcanzar una adecuada profundidad de polimerización, y durante la fotoactivación cambia el radio de contraste del material tornándolo más opaco y de esa forma mucho más estético.

Los resultados encontrados en el presente estudio en lo referente a la profundidad de polimerización y la tecnología de la unidad de fotoactivación empleada, guardan relación con lo encontrado por Gan et al.[74], quienes evaluaron el radio de dureza (hardness ratio) de dos resinas compuestas *bulk fill* y llegaron a la conclusión que empleando una unidad de fotoactivación LED *monowave* se obtiene mayor profundidad de polimerización que con una unidad de fotoactivación LED *polywave* (estadísticamente significativa sólo para la resina compuesta a base de canforquinona y sin fotoiniciadores alternativos). Los resultados hallados en nuestro estudio muestran mayores valores en la profundidad de polimerización de la resina compuesta *bulk fill* al ser curada con una unidad de fotoactivación LED *monowave* (LED D-Woodpecker)

El mejor desempeño de esta unidad de fotoactivación en la profundidad de polimerización de las resinas compuestas *bulk fill* de nuestro estudio, se puede explicar debido a que estas unidades de fotoactivación emiten un estrecho rango de longitud de onda (420 - 480nm) cuyo pico de espectro de emisión es próximo al pico de absorción de la Canforquinona (468nm)[119] que es el fotoiniciador principal de la resina evaluada. Asimismo, la densidad total de energía emitida por la LED *monowave* utilizada en el presente estudio (24 J/cm2) estuvo en el espectro azul. Contrariamente, la LED *polywave* funciona con diodos emisores azul y violeta, y en consecuencia la densidad de energía emitida no es totalmente del espectro azul requerido por la Canforquinona.

Pocos estudios han tenido en cuenta que la distancia entre la salida de luz de la unidad de fotoactivación y la superficie de la resina compuesta no siempre es de 0 mm, inclusive si se logra un aparente contacto íntimo entre la punta de luz y el diente; esto se complica más si la restauración es en el sector posterior y presenta cajas proximales en donde la base de la misma puede encontrarse alejada 4mm o más de la superficie oclusal.

Dionysoupolos y cols[120] estudiaron la relación entre la profundidad de polimerización de tres marcas comerciales de resinas compuestas y la distancia de irradiación, empleando diferentes unidades de fotopolimerización. Concluyeron que la profundidad de polimerización disminuyó de manera moderada y lineal conforme se aumentaba la distancia entre la salida de la luz de la unidad y la superficie del material.

Price y cols[121] evaluaron la intensidad de 4 unidades de fotoactivación en función a la distancia, empleando para tal fin un espectrómetro. Concluyó que a medida que aumenta la distancia entre la unidad de fotoactivación y el espectrómetro, la intensidad de la unidad disminuye. Estos estudios guardan relación con lo hallado por nosotros, considerando que la intensidad lumínica es un factor importante que afecta de manera directamente proporcional a la profundidad de polimerización, porque a mayor distancia de separación de la

punta de salida de luz y la superficie de la resina compuesta los valores de la profundidad de polimerización disminuyeron.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio concuerdan con Medina[122] quien evaluó la profundidad de polimerización de dos resinas compuestas *bulk fill* fotoactivadas a diferentes distancias de separación entre la resina y la punta de salida de luz, empleando la metodología propuesta por la ISO 4049 y concluyó que existe una gran diferencia en valores obtenidos al comparar dos grupos de igual tipo de resina fotoactivados a 0mm y a 4mm de separación, siendo significativamente mayor ($p<0,01$) en los grupos fotoactivados a 0mm de separación.

Coincidimos también con los resultados obtenidos por Boza[123] en su estudio que evaluó la profundidad de polimerización de 2 resinas compuestas bulk fill a 2 distancias diferentes, empleando para ello la metodología de la norma ISO 4049. Concluyó que en los grupos que fueron fotoactivados a 0mm de separación la profundidad de polimerización fue significativamente mayor ($p<0,01$).

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos al evaluar las diferentes variables en este estudio, podemos concluir lo siguiente:

1. El croma tuvo efecto en la profundidad de polimerización de la resina compuesta *bulk fill* al ser fotoactivada con la unidad Bluephase N a 0 mm de distancia.

2. El croma tuvo efecto en la profundidad de polimerización de la resina compuesta *bulk fill* al ser fotoactivada con la unidad Bluephase N a la distancia de 4 mm.

3. El croma tuvo efecto en la profundidad de polimerización de la resina compuesta *bulk fill* al ser fotoactivada con la unidad LED D a 0 mm de distancia.

4. El croma tuvo efecto en la profundidad de polimerización de la resina compuesta *bulk fill* al ser fotoactivada con la unidad LED D a la distancia de 4 mm.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más estudios que incluyan otras marcas de resinas compuestas *bulk fill* y de unidades de fotoactivación para evaluar si presentan el mismo comportamiento en cuanto a la relación entre el croma y la profundidad de polimerización.

Se recomienda realizar estudios similares empleando otras metodologías para determinar la profundidad de polimerización como por ejemplo la microdureza, para corroborar y robustecer los resultados obtenidos en el presente trabajo.

A pesar que los resultados refuerzan la idea que no es necesario emplear unidades de fotoactivación LED *polywave* para lograr una adecuada profundidad de polimerización de resinas compuestas *bulk fill*, otras propiedades o formulación del material podrían requerir el espectro de luz violeta para una adecuada polimerización, por lo tanto los resultados obtenidos en el presente estudio deben ser tomados con cautela.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Peres MA, Macpherson LMD, Weyant RJ, Daly B, Venturelli R, Mathur MR, et al. Oral diseases: a global public health challenge. Lancet . 2019;394(10194):249–60.

2. Ardu S, Duc O, Di Bella E, Krejci I. Color stability of recent composite resins. Odontology. 2017;105(1):29–35.

3. Pacheco Fernández C, Gehrkue Lorca A, Ruiz Araneda P, Gainza Aragonés P. Evaluación de la adaptación interna de resinas compuestas: Técnica incremental versus bulk-fill con activación sónica. Av Odontoestomatol. 2015;31(5):313–21.

4. Pfeifer CS. Polymer-Based Direct Filling Materials. Dent Clin North Am. 2017;61(4):733–50.

5. Ferracane JL. Resin composite - State of the art. Dent Mater. 2011;27(1):29–38.

6. Hervás-García A, Martínez-Lozano MA, Cabanes-Vila J, Barjau-Escribano A, Fos-Galve P. Composite resins. A review of the materials and clinical indications. Med oral, Patol oral y cirugía bucal. 2006;11(2):215–20.

7. Soares CJ, Faria-E-Silva AL, Rodrigues M de P, Fernandes Vilela AB, Pfeifer CS, Tantbirojn D, et al. Polymerization shrinkage stress of composite resins and resin cements - What do we need to know? Braz Oral Res. 2017;31:49–63.

8. AlShaafi MM. Factors affecting polymerization of resin-based composites: A literature review. Saudi Dent J [Internet]. 2017;29(2):48–58.

9. Price RB, Murphy DG DT. Light energy transmission through cured resin composite and human dentin. Quintessence Int. 2000;31:659,67.

10. Garoushi S, Vallittu P, Shinya A, Lassila L. Influence of increment thickness on light transmission, degree of conversion and micro hardness of bulk fill composites. Odontology. 2016;104(3):291–7.

11. Katona A, Barrak I. Comparison of Composite Restoration Techniques. Interdiscip Descr Complex Syst. 2016;14(1):101–15.

12. Kubo CS, Campi LB, Barud HG, Bandeca MC, Tonetto MR, Domeneguetti RR, et al. Degree of Conversion of Bulk Fill Composites at Different Depths. World J Dent. 2017;8(5):398–402.

13. Fronza B, Ayres A, Pacheco R, Rueggeberg F, Dias C, Giannini M. Characterization of Inorganic Filler Content, Mechanical Properties, and Light Transmission of Bulk-fill Resin Composites. Oper Dent. 2017;42(4):445–55.

14. Ferraz T. Resinas bulk-fill – o estado da arte. Rev Assoc Paul Cir Dent. 2016;70(3): 242-47.

15. Cisneros D. Microdureza de las resinas bulk fill cromáticas en diferentes espesores, fotoactivados con luz led de alta potencia (Tesis maestría). Quito. Univ Cent del Ecuador Fac Odontol. 2015.

16. Lafuente D. Fisica del color y su utilidad en odontología. Rev Científica Odontológica. 2008;4(1):10–5.

17. Haas K, Azhar G, Wood DJ, Moharamzadeh K, van Noort R. The effects of different opacifiers on the translucency of experimental dental composite resins. Dent Mater. 2017;33(8):e310–6.

18. Pelissier B, Jacquot B, Palin WM, Shortall AC. Three generations of LED lights and clinical implications for optimizing their use. 1: from past to present. Dent Update. 2011;38(10):660–2, 664–6, 668–70.

19. Rodriguez A, Yaman P, Dennison J, Garcia D. Effect of Light-Curing Exposure Time , Shade , and Thickness on the Depth of Cure of Bulk Fill Composites. Oper Dent. 2017;42(5):505–13.

20. Hyun H, Christoferson CK, Pfeifer CS, Felix C, Ferracane JL, Diamond V. Effect of shade , opacity and layer thickness on light transmission through a nano-hybrid dental composite during curing. J Esthet Restor Dent. 2017; 29(5):362-67

21. Alkhudhairy FI. The effect of curing intensity on mechanical properties of different bulk-fill composite resins. Clin Cosmet Investig Dent. 2017;9:1–6.

22. Faria-e-Silva AL, Fanger C, Nguyen L, Howerton D, Pfeifer CS. Impact of material shade and distance from light curing unit tip on the depth of polymerization of composites. Braz Dent J. 2017;28(5):632–7.

23. Wegehaupt FJ, Lunghi N, Belibasakis GN, Attin T. Influence of light-curing distance on degree of conversion and cytotoxicity of etch-and-rinse and self-etch adhesives. BMC Oral Health [Internet]. 2016;17(1):1–10.

24. Harlow J, Rueggeber F., Labrie D, Sullivan B, Price R. Transmission of violet and blue light through conventional (layered) and Bulk Cured Resin-Based composites. J Dent. 2016;53:44–50.

25. Menees TS, Lin CP, Kojic DD, Burgess JO, Lawson NC. Depth of cure of bulk fill composites with monowave and polywave curing lights. Am J Dent. 2015;28(6):357–61.

26. H. El-Damanhoury JP. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. J Oper Dent. 2014;39:374–82.

27. Alrahlah A, Silikas N, Watts DC. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. Dent Mater. 2014;30(2):149–54.

28. Passos SP, Kimpara ET, Bottino MA, Santos GC, Rizkalla AS. Effect of ceramic shade on the degree of conversion of a dual-cure resin cement analyzed by FTIR. Dent Mater. 2012;29(3):317–23.

29. Jeong T-S, Kang H-S, Kim S-K, Kim S, Kim H-I, Kwon YH. The effect of resin shades on microhardness, polymerization shrinkage, and color change of dental composite resins. Dent Mater J. 2009;28(4):438–45.

30. Moore BK, Platt JA, Borges G, Chu T-MG, Katsilieri I. Depth of cure of dental resin composites: ISO 4049 depth and microhardness of types of materials and shades. Oper Dent. 2008;33(4):408–12.

31. Aguiar FHB, Lazzari CR, Lima DANL, Ambrosano GMB, Lovadino JR. Effect of Light Curing Tip Distance and Resin Shade on Microhardness of a Hybrid Resin Composite. Braz Oral Res. 2005;19(4):302–6.

32. Bounocore M. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface. J Dent Res. 1954;34(6):849–53.

33. Bowen RL. Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. J Am Dent Assoc. 1963;66(1):57–64.

34. Phillips RW. past, present and future composite resin system. Dent Clin north Am. 1981;25(209).

35. Carrillo C, Monroy M. Materiales de resinas compuestas y su polimerización Parte I. Rev la Asoc Dent Mex. 2009;66(4):36–44.

36. Gomes Filho E. Evaluación de la dureza knoop de resina compuesta en función de la variación de la técnica de polimerización complemetaria. Acta Odontológica Venez. 2008;46(1):1–8.

37. Leinfelder, K. F., Lundeen TF. Current status of posterior composite. J Color Dent Assoc. 1983;3(6).

38. Craig R. Chemistry, composition and properties of composite resins. Dent Clin north Am. 1981;25(2):219–39.

39. De la Macorra J. la contracción de polimerización de los materiales restauradores a base de resinas compuestas. odontol cons. 1999;2:24–35.

40. Albers H. Tooth- colored restoratives.principles and techniques. USA. PMPH. 2002. p.111–25.

41. Labella R, Lambrechts P, Van Meerbeek B VG. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. Dent Mater. 1999;15:128–37.

42. Xu H. Dental composite resins containing silica-fused ceramic single-crystalline whiskers with various filler levels. J Dent Res. 1999;(78):1304–11.

43. Steenbecker O, Garone W, Da Souza C,Uribe J, Núñez N, Priotto E. Principios y bases de los biomateriales en operatoria dental estética adhesiva. Principios de adhesión. Valparaiso chile. Editorial Universidad de Valparaiso. 2006.

44. Rodríguez G , Pereira S. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. Acta odontológica Venez. 2008;46(3):381–92.

45. Johnston WM , Reisbick MH. Color and translucency changes during and after curing of esthetic restorative materials. Dent Mater. 1997;13:89–97.

46. Powers JM, Wataha JC . Dental Materials-E-Book: Propiedades y manipulación . 12da ed.Ciencias de la salud de Elsevier; 2014. 35–42.

47. Yu B, Lee YK. Influence of color parameters of resin composites on their translucency. Dent Mater. 2008;24(9):1236–42.

48. Lutz F, Phillips RW. A classification and evaluation of composite resin systems. Oper Dent. 1983;50(4):480–8.

49. Bertoldi H. Nanotecnología en la Formulación de nuevos composites. Rev AIOI Acad Int Odontol Integr. 2004;(6):6–11.

50. Randolph LD, Palin WM, Leloup G, Leprince JG. Filler characteristics of modern dental resin composites and their influence on physico-mechanical properties. Dent Mater. 2016;32(12):1586–99.

51. Vaca M, Ceballos L, Fuentes M, Osorio R, Toledano M, García F. Sorción y solubilidad de materiales formulados con resina. Av Odontoestomato. 2003;19(6):283–9.

52. ISO-Standars. Dentistry-Polymer-based filling, restorative and luting materials. International Organization for Standardization. International Standard ISO 4049: 2019(E)

53. Veranes, Y. Davidenko, N. García R. Estudio de la radiopacidad y color de formulaciones de compósites dentales fotopolimerizables. VII Congr la Soc Cuba bioingenieria. 2007;1–4.

54. Opdam N roeters F. A radiographic and scanning electron microscopi study of approximal margins of class II resin composite restorations placed in vivo. J Dent. 1998;26(4):319–27.

55. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Hüsler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites : Is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials ? Dent Mater. 2012;28(5):521–8.

56. Price RBT. Light Curing in Dentistry. Dent Clin North Am. 2017;61(4):751–78.

57. Heintze, S. Zimmerli B. Relevance of In Vitro Tests of Adhesive and Composite Dental Materials. Res Sci Artic. 2011;121(9):804–16.

58. Rueggeberg A, Giannini M, Galvão C, Richard A, Thomas B, Price F. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. Braz oral res. 2017;31:64–91.

59. Chandrasekhar V, Rudrapati L, Badami V, Tummala M. Técnicas incrementales en restauración directa de composite Resumen. J Conserv Dent. 2020;20(6):386–91.

60. Park JH, Lee YK, Lim BS. Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. J Prosthet Dent. 2006;96(6):402–11.

61. Shärer P, Kopp F, Rinn L. Principios Estéticos en la Odontología Restaurativa. Barcelona: Doyma 1991. 13–26 .

62. Lim YK, Lee YK, Lim BS, Rhee SH, Yang HC. Influence of filler distribution on the color parameters of experimental resin composites. Dent Mater 2008;24:67–73.

63. Jbara L, Ghoneim M, Ragab H. Influence of the thickness of enamel layer on overall color of composite restoration using different polychromatic composite resins. Egypt Dent J. 2019;65(4):3769–75.

64. Arikawa H, Kanie T, Fujii K, Takahashi H, Ban S. Effect of filler properties in composite resins on light transmittance characteristics and color. J Mater Dent. 2007;26(1):38–44.

65. Inokoshi S, Burrow MF, Kataumi M, Yamada T TT. Opacity and color changes of tooth-colored restorative materials. J Oper Dent. 1996;21:73–80.

66. Higashi C, Mongruel G, García E. Color y características ópticas para restauraciones estéticas de dientes anteriores. Acta Odontol Venez. 2011; 49(4):1–12.

67. Sproull R. Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color. J Prosthet Dent. 2001;86(5):458–64.

68. Dietschi D. Layering concepts in anterior composite restorations. J Adhes Dent. 2001;3:71–80.

69. Opdam NJ, Bronkhorst EM, Loomans BA HM. 12-year survival of composite vs. amalgam restorations. J Dent Res. 2010;89(10):1063–7.

70. Ilie N, Jelen E HR. Is the soft-start polymerisationconcept still relevant for modern curing units. Clin Oral Investig. 2011;15:21–9.

71. Han SH, Park SH. Incremental and bulk-fill techniques with bulk-fill resin composite in different cavity configurations. Oper Dent. 2018;43(6):631–41.

72. Benetti AR, Havndrup-Pedersen C, Pedersen MK, Honoré D, Pallesen U. Bulk-fill resin composites: Polymerization contraction, depth of cure, and gap formation. Oper Dent. 2015;40(2):190–200.

73. 3M ESPE. Technical Product Profile Filtek Bulk Fill Flowable Restorative. 2015;3–4.

74. Gan JK, Yap AU, Cheong JW, Cbk NA. Bulk-Fill Composites : Effectiveness of Cure With Poly- and Monowave Curing Lights and Modes. Oper Dent. 2018;43(2)136–43.

75. Leprince JG, Palin WM, Vanacker J, Sabbagh J, Devaux J, Leloup G. Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. J Dent. 2014;42(8):993–1000.

76. Corral C, Vildósola P, Bersezio C, Alves E, Fernández E. State of the art of bulk-fill resin-based composites : a review. Rev. Fac. Odontol. Univ. Antioq. 2015;27:177–96.

77. N. Kramer, U. Lohbauer, F. Garcia-Godoy RF. Light curing of resin-based composites in the LED era. Am J Dent. 2008;21:135–42.

78. Ivoclar. Technical Product Profile Tetric N-Ceram Bulk Fill composite. 2012

79. Mahn E. Las restauraciones en bloque, un cambio de paradigma. Dent Trib Hisp Lat Am. 2014; 11(7): 8-10.

80. Ilie N. Impact of light transmittance mode on polymerisation kinetics in bulk-fill resin-based composites. J Dent. 2017;63:51–9.

81. Han SH, Park SH. Comparison of Internal Adaptation in Class II Bulk-fill Composite Restorations Using Micro-CT. Oper dent. 2017; 42(2):203–14.

82. Ilie N, Bucuta S DM. Bulk-fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance. J Oper Dent. 2013;38(6):618–25.

83. Ilie N HR. Investigations on a methacrylate-based flowable composite based on the SDRTM technology. J Mater Dent. 2011;27(4):348–55.

84. 3M ESPE. Ficha técnica Filtek *Bulk Fill* Resina para posteriores. 2012

85. Van Ende A, de Munck J, Lise DP, van Meerbeek B. Bulk-fill composites: A review of the current literature. J Adhes Dent. 2017;19(2):95–109.

86. Moszner N, Fischer UK, Ganster B, Liska R R V. Benzoyl germanium derivatives as novel visible light photoinitiators for dental materials. J Mater Dent. 2008;24(7):901–7.

87. Zorzin J, Maier E, Harre S, Fey T, Belli R, Lohbauer U, et al. Bulk-fill resin composites : Polymerization properties and extended light curing. Dent Mater. 2015;31(3):293-301.

88. Czasch P IN. In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of bulk fill composites. Clin Oral Investig. 2013;17(1):227–35.

89. Ilie N, Keßler A, Durner J. Influence of various irradiation processes on the mechanical properties and polymerisation kinetics of bulk-fill resin based composites. J Dent. 2013;41(8):695–702.

90. Gaintantzopoulou MD, Gopinath VK, Zinelis S. Evaluation of cavity wall adaptation of bulk esthetic materials to restore class II cavities in primary molars. Clin Oral Investig. 2017;21(4):1063–70.

91. Farah, J. Doughtery E. Unfilled, filled and microfilled composite resins. J Oper Dent. 1981;6:95–9.

92. Shortall A, Palin W, Jacquot B, Pelissier B. Advances in light-curing units: four generations of led lights and clinical implications for optimizing their use: part 2. from present to future. Dent Update. 2012;39(1):13–22.

93. Ruyter I. Unpolymerized surface layer on sealants. Acta Odontol Scand. 1981;39:27–32.

94. O'Brien W. Dental Materials and their selection. Polymeric Restorative Materials. Quintessence Publ. 2002;8:113–31.

95. Ferracane JL, Aday P, Matsumoto H, Va M. Relationship between shade and depth of cure for light- activated dental composite resins. Dent Mater.1986; 2(2):80-4

96. Murray GA, Yates JL, Newman SM. Ultraviolet light and ultraviolet light-activated composite resins. J Prosthet Dent. 1981;46(2):167–70.

97. Young KC, Hussey M, Gillespie FC SK. The performance of ultraviolet lights used to polymerize fissure sealants. J Oral Rehabil. 1977;4:181–91.

98. Council on dental materials: Guidlines on the use of ultraviolet radiation in dentistry. J Am Dent Assoc. 1976. 92(4). 775–6.

99. Althoff, O. y Hartung, M. Avances en fotopolimerización. Advances in light curing. Am J Dent. 2000;13(esp No):77–87.

100. Santini A, Watterson C, Miletic V. Temperature rise within the pulp chamber during composite resin polymerisation using three different light sources. Open Dent J. 2008;2:137–41.

101. Price R, Ehrnford L, Andreou P, Félix C. Comparison of quartz-tungsten-halogen, light-emitting diode, and plasma arc curing lights. J Adhes Dent. 2003;5:193–207.

102. Mills RW, Uhl A JK. Optical power outputs, spectra and dental composite depths of cure, obtained with blue light emitting (LED) and halogen light curing units. Br Dent J. 2002;193(8):459–63.

103. Nomura Y, W. Teshima, N. Tanaka, Y. Yoshida, Y. Nahara MO. Thermal analysis of dental resins cured with blue light-emitting diodes (LEDs). J Biomed Mater Res. 2002;63:209–13.

104. Laura Ceballos 1, María Victoria Fuentes 2, Héctor Tafalla 3, Álvaro Martínez 4 Josefa Flores 5 JR 6. Curing effectiveness of resin composites at different exposure times using LED and halogen units. J Clin Exp Dent. 2009;1(1):8–13.

105. Erickson RL, Barkmeier WW. Comparisons of ISO depth of cure for a resin composite in stainless-steel and natural-tooth molds. Eur J Oral Sci. 2019;127(6):556–63.

106. Cetin AR, Hataysal AE, Kaplan TT, Botsali MS. Depth of Cure and Microhardness of a New Composite vs . Bulk-fill Composites. 2019;7(5):53–9.

107. Lima RBW, Troconis CCM, Moreno MBP, Murillo-Gómez F, De Goes MF. Depth of cure of bulk fill resin composites: A systematic review. J Esthet Restor Dent. 2018;30(6):492–501.

108. Todd J-C, Wanner D. Documentación científica Tetric EvoCeram® Bulk Fill. 2014. p. 5–42.

109. Abed YA, Sabry HA, Alrobeigy NA. Degree of conversion and surface hardness of bulk-fill composite versus incremental-fill composite. Tanta Dent J. 2015;12(2):71–80.

110. Ruyter, I. Oased H. Conversion in different depth of ultraviolet and visible light activated composite materials. Acta Odontol Scand. 1982;40:179–92.

111. Rengifo M, Hernández C. Optical characterization of light emitting diodes by emission spectra and radiation patterns. Sci Tech. 2012;(51):66.

112. Bayraktar Y, Ercan E, Hamidi MM, Çolak H. One-year clinical evaluation of different types of bulk-fill composites. J Investig Clin Dent. 2017;8(2):e12210.

113. Leprince JG, Leveque P, Nysten B, Gallez B, Devaux J, Leloup G. New insight into the “depth of cure” of dimethacrylate-based dental composites. Dent Mater. 2012;28(5):512–20.

114. Erickson RL, Barkmeier WW. Curing characteristics of a composite. Part 2: The effect of curing configuration on depth and distribution of cure. Dent Mater. 2014;30(6):e134–45.

115. Swartz ML , Phillips RW, Rhodes B. Visible light-activated resins-depth of cure. J Am Dent Assoc. 1983;(106):634–7.

116. Shortall AC. How light source and product shade influence cure depth for a contemporary composite. J Oral Rehabil. 2005;32(12):906–11.

117. Guiraldo RD, Consani S, Consani RLX, Berger SB, Mendes WB, Sinhoreti MAC. Light energy transmission through composite influenced by material shades. The Bulletin Tokyo Dent Coll. 2009;50(4):183–90.

118. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis Jr, Davis HC. Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. Am J Dent. 1993;6(2):91–5.

119. AlShaafi MM, AlQussier A, AlQahtani MQ, Price RB. Effect of mold type and diameter on the depth of cure of three resin-based composites. Oper Dent. 2018;43(5):520–9.

120. Dionysopoulos D, Kolinioti-Koumpia E, Kotsanos N, Dionysopoulos P. Correlation between Depth of Cure and Distance between Curing Light Tip and Resin Surface. Balk J Stom. 2011;15(2):70-75.

121. Price R, Labrie D, Whalen J, Felix C. Effect of distance on irradiance and beam homogeneity from 4 light-emitting diode curing units.77:b9. J Can Dent Assoc. 2011;(77):b9.

122. Medina M, Carvajal S. Estudio comparativo in vitro de la profundidad de curado de 2 resinas bulk fill a distintas distancias de fotoactivacion según la norma ISO 4049. Tesis doctoral Universidad Andrés Bello. 2016.

123. Boza Quiñones YR. Estudio de la profundidad de polimerización de resinas bulk fill a diferentes distancias de fotoactivación. Tesis bachiller UNMSM. 2015.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz metálica según norma ISO 4049









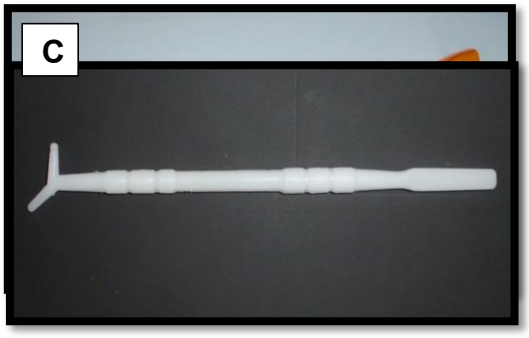
Matriz de acero inoxidable para la conformación de los cuerpos de prueba de resina compuesta *bulk fill,* fabricado según norma ISO 4049

Anexo 2: Materiales y equipos empleados en el estudio

A

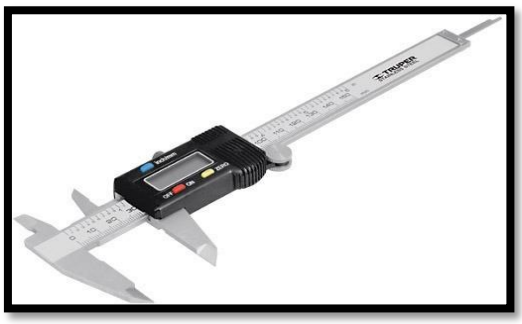
B

C



D

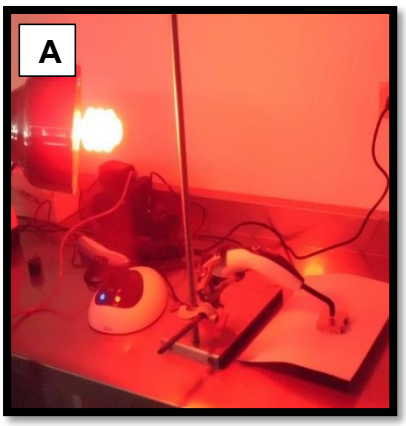


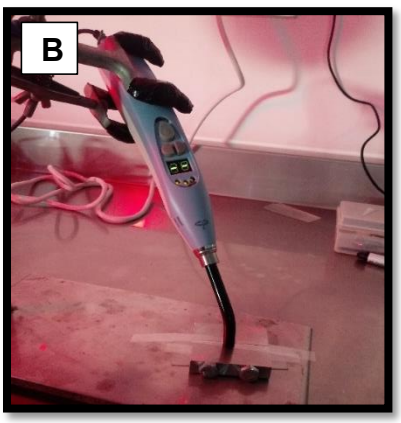


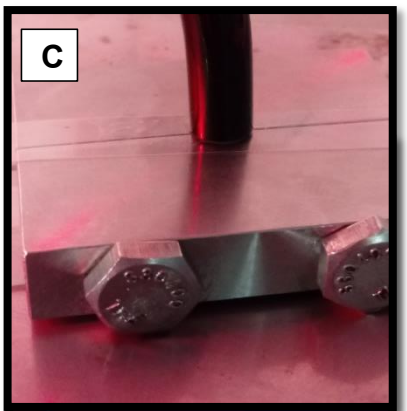


A) Calibrador digital milimétrico marca Truper® capacidad mínima de 0.005”/0.01mm con una tolerancia de 0.002”/0.05mm
B) Radiómetro Bluephase Meter II
C) Unidad de fotoactivación LED D (Woodpecker) Intensidad lumínica: 826 mW/cm^2
D) Unidad de fotoactivación Bluephase N- Ivoclar Vivadent.Intensidad de luz: 1177 mW/cm^2
E) Espátula de plástico para resinas
F) Resinas compuestas Filtek One bulk fill (3M ESPE)

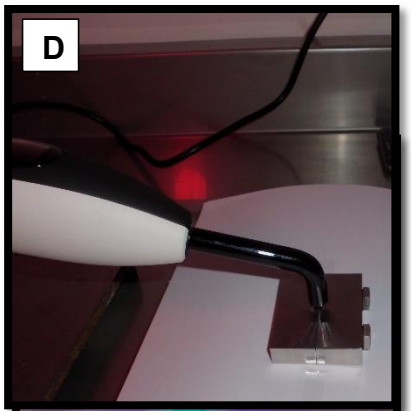
Anexo 3: Elaboración de los cuerpos de prueba





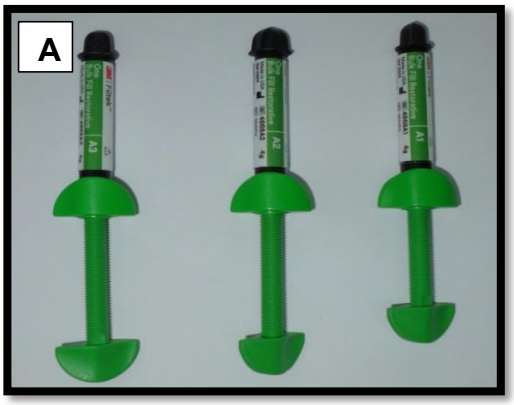


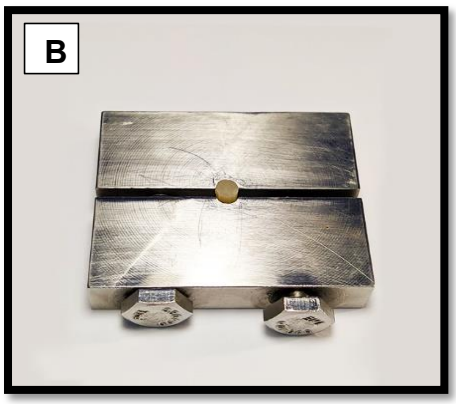


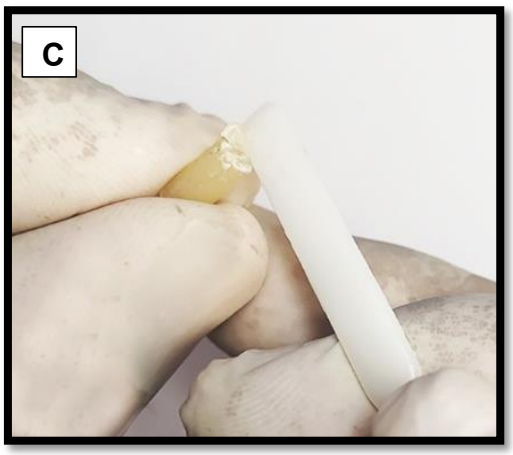




A) Ambiente con luz y temperatura controlada
B) Unidad de fotoactivación sostenida en el soporte universal
C) Punta de salida de luz a 0mm de separación de la superficie de la resina
D) Punta de salida de luz a 4mm de separación de la superficie de la resina
E) Fotoactivación a 0mm de distancia
F) Fotoactivación a 4mm de distancia









A) Resinas compuestas *bulk fill* One en cromas A1, A2 y A3
B) Cuerpo de prueba formado en la matriz metálica
C) Raspado de la parte inferior no polimerizada
D) Medida de la longitud final del cuerpo de prueba

Anexo 4: Resultados del análisis descriptivo

Descriptive Statistics: domingo, abril 19, 2020, 15:26:28

Data source: Data 1 in 04 Estadística Tesis

Column	Size	Missing	Mean	Std Dev	Std. Error	C.I. of Mean
Bluephase - 0 mm - A1	5	0	3.836	0.0471	0.0210	0.0584
Bluephase - 0 mm - A2	5	0	3.745	0.0695	0.0311	0.0862
Bluephase - 0 mm - A3	5	0	3.852	0.00820	0.00367	0.0102
Bluephase - 4 mm - A1	5	0	3.577	0.0442	0.0198	0.0549
Bluephase - 4 mm - A2	5	0	3.639	0.0146	0.00653	0.0181
Bluephase - 4 mm - A3	5	0	3.734	0.0534	0.0239	0.0663
LED D - 0 mm - A1	5	0	4.211	0.0662	0.0296	0.0822
LED D - 0 mm - A2	5	0	4.110	0.0380	0.0170	0.0471
LED D - 0 mm - A3	5	0	4.418	0.0471	0.0211	0.0585
LED D - 4 mm - A1	5	0	3.920	0.0341	0.0153	0.0424
LED D - 4 mm - A2	5	0	3.888	0.0441	0.0197	0.0548
LED D - 4 mm - A3	5	0	4.002	0.0768	0.0344	0.0954

Column	Range	Max	Min	Median	25%	75%
Bluephase - 0 mm - A1	0.118	3.892	3.774	3.820	3.797	3.883
Bluephase - 0 mm - A2	0.169	3.844	3.675	3.755	3.678	3.806
Bluephase - 0 mm - A3	0.0200	3.860	3.840	3.850	3.845	3.859
Bluephase - 4 mm - A1	0.0910	3.615	3.524	3.596	3.529	3.615
Bluephase - 4 mm - A2	0.0300	3.656	3.626	3.632	3.627	3.655
Bluephase - 4 mm - A3	0.125	3.796	3.671	3.757	3.678	3.778
LED D - 0 mm - A1	0.150	4.311	4.161	4.174	4.162	4.280
LED D - 0 mm - A2	0.104	4.160	4.056	4.107	4.079	4.143
LED D - 0 mm - A3	0.126	4.482	4.356	4.408	4.379	4.462
LED D - 4 mm - A1	0.0900	3.977	3.887	3.915	3.895	3.947
LED D - 4 mm - A2	0.104	3.934	3.830	3.892	3.845	3.930
LED D - 4 mm - A3	0.201	4.091	3.890	3.998	3.934	4.072

Column	Skewness	Kurtosis	K-S Dist.	K-S Prob.	SWilk W	SWilk Prob
Bluephase - 0 mm - A1	-0.0597	-1.224	0.231	0.443	0.939	0.659
Bluephase - 0 mm - A2	0.500	-0.674	0.217	0.516	0.918	0.515
Bluephase - 0 mm - A3	-0.441	-0.787	0.216	0.519	0.916	0.507
Bluephase - 4 mm - A1	-0.513	-3.036	0.269	0.261	0.813	0.103
Bluephase - 4 mm - A2	0.523	-3.148	0.289	0.185	0.806	0.090
Bluephase - 4 mm - A3	-0.253	-2.332	0.268	0.267	0.897	0.391
LED D - 0 mm - A1	1.067	-0.583	0.314	0.111	0.824	0.125
LED D - 0 mm - A2	-0.222	0.931	0.206	0.568	0.980	0.936
LED D - 0 mm - A3	0.130	0.121	0.184	0.662	0.983	0.951
LED D - 4 mm - A1	1.513	2.911	0.323	0.095	0.864	0.244
LED D - 4 mm - A2	-0.349	-1.841	0.204	0.578	0.935	0.631

LED D - 4 mm - A3	-0.517	0.105	0.174	0.695	0.975	0.905

Column	Sum	Sum of Squares
Bluephase - 0 mm - A1	19.179	73.576
Bluephase - 0 mm - A2	18.724	70.137
Bluephase - 0 mm - A3	19.258	74.174
Bluephase - 4 mm - A1	17.883	63.968
Bluephase - 4 mm - A2	18.196	66.220
Bluephase - 4 mm - A3	18.669	69.718
LED D - 0 mm - A1	21.057	88.697
LED D - 0 mm - A2	20.550	84.466
LED D - 0 mm - A3	22.090	97.602
LED D - 4 mm - A1	19.600	76.837
LED D - 4 mm - A2	19.441	75.598
LED D - 4 mm - A3	20.008	80.088

One Way Analysis of Variance domingo, abril 19, 2020, 20:30:42

Data source: Data 1 in 04 Estadística Tesis

Dependent Variable: Bluephase - 0 mm

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.483)

Equal Variance Test: Failed (P < 0.050)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
A1	5	0	3.836	0.0471	0.0210
A2	5	0	3.745	0.0695	0.0311
A3	5	0	3.852	0.00820	0.00367

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	0.0332	0.0166	7.013	0.010
Residual	12	0.0284	0.00237		
Total	14	0.0617			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0.010).

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.789

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor: **CROMA**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
A3 vs. A2	0.107	3	4.906	0.012	Yes
A3 vs. A1	0.0158	3	0.726	0.866	No
A1 vs. A2	0.0910	3	4.181	0.030	Yes

One Way Analysis of Variance domingo, abril 19, 2020, 20:49:57

Data source: Data 1 in 04 Estadística Tesis

Dependent Variable: Bluephase - 4 mm

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.396)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.204)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
A1	5	0	3.577	0.0442	0.0198
A2	5	0	3.639	0.0146	0.00653
A3	5	0	3.734	0.0534	0.0239

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	0.0626	0.0313	18.694	<0.001
Residual	12	0.0201	0.00168		
Total	14	0.0827			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001).

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.999

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor: **CROMA**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
A3 vs. A1	0.157	3	8.588	<0.001	Yes
A3 vs. A2	0.0946	3	5.168	0.009	Yes
A2 vs. A1	0.0626	3	3.420	0.077	No

One Way Analysis of Variance domingo, abril 19, 2020, 21:00:16

Data source: Data 1 in 04 Estadística Tesis

Dependent Variable: LED D - 0 mm

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.498)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.658)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
A1	5	0	4.211	0.0662	0.0296
A2	5	0	4.110	0.0380	0.0170
A3	5	0	4.418	0.0471	0.0211

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	0.246	0.123	45.945	<0.001
Residual	12	0.0322	0.00268		
Total	14	0.279			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001).

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor: **CROMA**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
A3 vs. A2	0.308	3	13.300	<0.001	Yes
A3 vs. A1	0.207	3	8.922	<0.001	Yes
A1 vs. A2	0.101	3	4.379	0.023	Yes

One Way Analysis of Variance domingo, abril 19, 2020, 21:08:40

Data source: Data 1 in 04 Estadística Tesis

Dependent Variable: LED D - 4 mm

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.847)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.153)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
A1	5	0	3.920	0.0341	0.0153
A2	5	0	3.888	0.0441	0.0197
A3	5	0	4.002	0.0768	0.0344

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	0.0342	0.0171	5.696	0.018
Residual	12	0.0360	0.00300		
Total	14	0.0703			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0.018).

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.673

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor: **CROMA**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
A3 vs. A2	0.113	3	4.627	0.017	Yes
A3 vs. A1	0.0816	3	3.329	0.086	No
A1 vs. A2	0.0318	3	1.297	0.640	No

Two Way Analysis of Variance jueves, abril 16, 2020, 19:41:55

Data source: Data 1 in 04 Estadística Tesis

Balanced Design

Dependent Variable: PROF. POLIM. BLUEPHASE N

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.433)

Equal Variance Test: Failed (P < 0.050)

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
DISTANCIA	1	0.194	0.194	95.980	<0.001
CROMA	2	0.0594	0.0297	14.691	<0.001
DISTANCIA x CROMA	2	0.0364	0.0182	9.012	0.001
Residual	24	0.0485	0.00202		
Total	29	0.338	0.0117		

Main effects cannot be properly interpreted if significant interaction is determined. This is because the size of a factor's effect depends upon the level of the other factor.

The effect of different levels of DISTANCIA depends on what level of CROMA is present. There is a statistically significant interaction between DISTANCIA and CROMA. (P = 0.001)

Power of performed test with alpha = 0.0500: for DISTANCIA : 1.000
Power of performed test with alpha = 0.0500: for CROMA : 0.997
Power of performed test with alpha = 0.0500: for DISTANCIA x CROMA : 0.940

Least square means for DISTANCIA :

Group	Mean
0 mm	3.811
4 mm	3.650

Std Err of LS Mean = 0.0116

Least square means for CROMA :

Group	Mean
A1	3.706
A2	3.692
A3	3.793

Std Err of LS Mean = 0.0142

Least square means for DISTANCIA x CROMA :

Group	Mean
0 mm x A1	3.836
0 mm x A2	3.745
0 mm x A3	3.852
4 mm x A1	3.577
4 mm x A2	3.639
4 mm x A3	3.734

Std Err of LS Mean = 0.0201

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor: **DISTANCIA**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
0 mm vs. 4 mm	0.161	2	13.855	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **CROMA**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.050**
A3 vs. A2	0.101	3	7.081	<0.001	Yes
A3 vs. A1	0.0865	3	6.083	<0.001	Yes
A1 vs. A2	0.0142	3	0.999	0.762	No

Comparisons for factor: **CROMA within 0 mm**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
A3 vs. A2	0.107	3	5.311	0.003	Yes
A3 vs. A1	0.0158	3	0.786	0.845	No
A1 vs. A2	0.0910	3	4.525	0.010	Yes

Comparisons for factor: **CROMA within 4 mm**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
A3 vs. A1	0.157	3	7.817	<0.001	Yes
A3 vs. A2	0.0946	3	4.704	0.008	Yes
A2 vs. A1	0.0626	3	3.113	0.091	No

Comparisons for factor: **DISTANCIA within A1**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
0 mm vs. 4 mm	0.259	2	12.889	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **DISTANCIA within A2**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
0 mm vs. 4 mm	0.106	2	5.251	0.001	Yes

Comparisons for factor: **DISTANCIA within A3**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
0 mm vs. 4 mm	0.118	2	5.858	<0.001	Yes

Two Way Analysis of Variance jueves, abril 16, 2020, 21:20:27

Data source: Data 1 in 04 Estadística Tesis

Balanced Design

Dependent Variable: PROF. POLIM. LED D

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.880)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.535)

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
DISTANCIA	1	0.720	0.720	253.354	<0.001
CROMA	2	0.232	0.116	40.808	<0.001
DISTANCIA x CROMA	2	0.0486	0.0243	8.552	0.002
Residual	24	0.0682	0.00284		
Total	29	1.069	0.0369		

Main effects cannot be properly interpreted if significant interaction is determined. This is because the size of a factor's effect depends upon the level of the other factor.

The effect of different levels of DISTANCIA depends on what level of CROMA is present. There is a statistically significant interaction between DISTANCIA and CROMA. (P = 0.002)

Power of performed test with alpha = 0.0500: for DISTANCIA : 1.000
Power of performed test with alpha = 0.0500: for CROMA : 1.000
Power of performed test with alpha = 0.0500: for DISTANCIA x CROMA : 0.925

Least square means for DISTANCIA :

Group	Mean
0 mm	4.246
4 mm	3.937

Std Err of LS Mean = 0.0138

Least square means for CROMA :

Group	Mean
A1	4.066
A2	3.999
A3	4.210

Std Err of LS Mean = 0.0169

Least square means for DISTANCIA x CROMA :

Group	Mean
0 mm x A1	4.211
0 mm x A2	4.110
0 mm x A3	4.418
4 mm x A1	3.920
4 mm x A2	3.888
4 mm x A3	4.002

Std Err of LS Mean = 0.0238

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor: **DISTANCIA**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
0 mm vs. 4 mm	0.310	2	22.510	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **CROMA**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.050**
A3 vs. A2	0.211	3	12.498	<0.001	Yes
A3 vs. A1	0.144	3	8.547	<0.001	Yes
A1 vs. A2	0.0666	3	3.950	0.026	Yes

Comparisons for factor: **CROMA within 0 mm**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
A3 vs. A2	0.308	3	12.918	<0.001	Yes
A3 vs. A1	0.207	3	8.665	<0.001	Yes
A1 vs. A2	0.101	3	4.253	0.016	Yes

Comparisons for factor: **CROMA within 4 mm**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
A3 vs. A2	0.113	3	4.756	0.007	Yes
A3 vs. A1	0.0816	3	3.422	0.059	No
A1 vs. A2	0.0318	3	1.334	0.619	No

Comparisons for factor: **DISTANCIA within A1**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
0 mm vs. 4 mm	0.291	2	12.222	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **DISTANCIA within A2**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
0 mm vs. 4 mm	0.222	2	9.303	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **DISTANCIA within A3**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
0 mm vs. 4 mm	0.416	2	17.464	<0.001	Yes

Two Way Analysis of Variance domingo, abril 19, 2020, 21:32:37

Data source: Data 1 in 04 Estadística Tesis

Balanced Design

Dependent Variable: 0 mm

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.240)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.216)

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
LED	1	1.424	1.424	563.914	<0.001
CROMA	2	0.215	0.108	42.660	<0.001
LED x CROMA	2	0.0642	0.0321	12.704	<0.001
Residual	24	0.0606	0.00253		
Total	29	1.764	0.0608		

Main effects cannot be properly interpreted if significant interaction is determined. This is because the size of a factor's effect depends upon the level of the other factor.

The effect of different levels of LED depends on what level of CROMA is present. There is a statistically significant interaction between LED and CROMA. (P = <0.001)

Power of performed test with alpha = 0.0500: for LED : 1.000
Power of performed test with alpha = 0.0500: for CROMA : 1.000
Power of performed test with alpha = 0.0500: for LED x CROMA : 0.992

Least square means for LED :

Group	Mean
Bluephase	3.811
Woodpecker	4.246

Std Err of LS Mean = 0.0130

Least square means for CROMA :

Group	Mean
A1	4.024
A2	3.927
A3	4.135

Std Err of LS Mean = 0.0159

Least square means for LED x CROMA :

Group	Mean
Bluephase x A1	3.836
Bluephase x A2	3.745
Bluephase x A3	3.852
Woodpecker x A1	4.211
Woodpecker x A2	4.110
Woodpecker x A3	4.418

Std Err of LS Mean = 0.0225

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor: **LED**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
Woodpecker vs. Bluephase	0.436	2	33.583	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **CROMA**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.050**
A3 vs. A2	0.207	3	13.052	<0.001	Yes
A3 vs. A1	0.111	3	6.998	<0.001	Yes
A1 vs. A2	0.0962	3	6.054	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **CROMA within Bluephase**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
A3 vs. A2	0.107	3	4.752	0.007	Yes
A3 vs. A1	0.0158	3	0.703	0.873	No
A1 vs. A2	0.0910	3	4.049	0.023	Yes

Comparisons for factor: **CROMA within Woodpecker**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
A3 vs. A2	0.308	3	13.705	<0.001	Yes
A3 vs. A1	0.207	3	9.193	<0.001	Yes
A1 vs. A2	0.101	3	4.512	0.011	Yes

Comparisons for factor: **LED within A1**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
Woodpecker vs. Bluephase	0.376	2	16.713	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **LED within A2**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
Woodpecker vs. Bluephase	0.365	2	16.251	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **LED within A3**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
Woodpecker vs. Bluephase	0.566	2	25.204	<0.001	Yes

Two Way Analysis of Variance domingo, abril 19, 2020, 21:44:40

Data source: Data 1 in 04 Estadística Tesis

Balanced Design

Dependent Variable: 4 mm

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.982)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.151)

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
LED	1	0.617	0.617	263.584	<0.001
CROMA	2	0.0844	0.0422	18.032	<0.001
LED x CROMA	2	0.0125	0.00624	2.668	0.090
Residual	24	0.0561	0.00234		
Total	29	0.770	0.0265		

The difference in the mean values among the different levels of LED is greater than would be expected by chance after allowing for effects of differences in CROMA. There is a statistically significant difference (P = <0.001). To isolate which group(s) differ from the others use a multiple comparison procedure.

The difference in the mean values among the different levels of CROMA is greater than would be expected by chance after allowing for effects of differences in LED. There is a statistically significant difference (P = <0.001). To isolate which group(s) differ from the others use a multiple comparison procedure.

The effect of different levels of LED does not depend on what level of CROMA is present. There is not a statistically significant interaction between LED and CROMA. (P = 0.090)

Power of performed test with alpha = 0.0500: for LED : 1.000
Power of performed test with alpha = 0.0500: for CROMA : 1.000
Power of performed test with alpha = 0.0500: for LED x CROMA : 0.306

Least square means for LED :

Group	Mean
Bluephase	3.650
Woodpecker	3.937

Std Err of LS Mean = 0.0125

Least square means for CROMA :

Group	Mean
A1	3.748
A2	3.764
A3	3.868

Std Err of LS Mean = 0.0153

Least square means for LED x CROMA :

Group	Mean
Bluephase x A1	3.577
Bluephase x A2	3.639
Bluephase x A3	3.734
Woodpecker x A1	3.920
Woodpecker x A2	3.888
Woodpecker x A3	4.002

Std Err of LS Mean = 0.0216

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor: **LED**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.050**
Woodpecker vs. Bluephase	0.287	2	22.960	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **CROMA**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.050**
A3 vs. A1	0.119	3	7.806	<0.001	Yes
A3 vs. A2	0.104	3	6.800	<0.001	Yes
A2 vs. A1	0.0154	3	1.007	0.759	No

Comparisons for factor: **CROMA within Bluephase**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
A3 vs. A1	0.157	3	7.268	<0.001	Yes
A3 vs. A2	0.0946	3	4.373	0.013	Yes
A2 vs. A1	0.0626	3	2.894	0.123	No

Comparisons for factor: **CROMA within Woodpecker**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
A3 vs. A2	0.113	3	5.243	0.003	Yes
A3 vs. A1	0.0816	3	3.772	0.035	Yes
A1 vs. A2	0.0318	3	1.470	0.560	No

Comparisons for factor: **LED within A1**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
Woodpecker vs. Bluephase	0.343	2	15.876	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **LED within A2**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
Woodpecker vs. Bluephase	0.249	2	11.512	<0.001	Yes

Comparisons for factor: **LED within A3**

Comparison	**Diff of Means**	**p**	**q**	**P**	**P<0.05**
Woodpecker vs. Bluephase	0.268	2	12.381	<0.001	Yes