



**Universidad
Andrés Bello®**

**Facultad de Odontología Viña del Mar
Dirección de Investigación y Postgrado**

**ESTUDIO COMPARATIVO IN VITRO DE LA PROFUNDIDAD DE
CURADO DE 2 RESINAS BULKFILL A DISTINTAS DISTANCIAS
DE FOTOACTIVACION SEGÚN LA NORMA ISO 4049**

Trabajo de Investigación para optar al grado de Cirujano Dentista

Autores:

**Licenciado en Odontología Marcos Medina
Licenciado en Odontología Sebastián Carvajal**

**Docente Guía: Dr. Abelardo Báez R.
Docente Asociado: Dr. Gustavo Torrealba**

VIÑA DEL MAR- CHILE

NOVIEMBRE 2016

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor guía, Dr. Abelardo Báez, nuestro tutor guía, por depositar en nosotros su confianza y apoyo para el desarrollo de este trabajo de investigación.

A nuestro tutor asociado, Dr. Gustavo Torrealba por su continuo apoyo e iniciarnos en el camino de ayudantía de las clínicas de odontología restauradora

A Luis Hernández, metalúrgico que nos apoyó en el diseño y fabricación de los componentes metálicos de alta precisión necesarios para desarrollar el estudio.

A los Docentes, personal clínico y administrativo de la Facultad de Odontología de la Universidad Andrés Bello, sede Viña del Mar, que colaboraron en nuestra formación en esta etapa de pregrado y que permitieron la culminación de este trabajo de investigación.

...dedicado a nuestras familias, principal cimiento para la construcción de nuestras vidas, sentaron las bases de responsabilidad y deseos de superación, sin su incondicional apoyo, confianza y entendimiento no podríamos haber sorteado los momentos difíciles de nuestro proceso de formación profesional.

RESUMEN

Objetivo: Determinar y comparar la profundidad de curado (PC) de las resinas Tetric N Ceram Bulk Fill y Sonic Fill al ser fotoactivadas a 0 mm, 4 mm y 6 mm de distancia utilizando la resina Filtek Z350 XT como grupo control en base a la Norma ISO 4049:2009.

Materiales y Métodos: Las 3 resina utilizadas fueron distribuidas en 3 grupos principales, cada uno con 51 cuerpos de prueba, 153 cuerpos de prueba en total. A su vez cada grupo fue dividido en 3 subgrupos conforme a las distintas distancias de fotoactivación a evaluar (0 mm, 4 mm y 6 mm), obteniendo un total de 9 grupos, cada uno con 17 cuerpos de prueba. Para crear los cuerpos de prueba se utilizaron conformadores de aluminio para cada resina conforme a la norma ISO 4049:2009 para materiales resinosos. También se confeccionaron 2 distanciadores de aluminio adaptables a la punta de la lámpara Bluephase Style de Ivoclar Vivadent ® de 4 y 6 mm de altura. La polimerización se realizó durante 10 segundos a una intensidad promedio de 1143 mW/cm^2 . Se midió y registró la altura de cada cuerpo de prueba obtenido y con el programa SPSS 21 se realizó Test ANOVA de 2 factores y Test Tukey para el análisis estadístico de los datos.

Resultados: Se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar las PC entre 0 y 4 mm y entre 0 y 6 mm en las 3 resinas evaluadas.

Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas al comparar la PC entre 4 y 6 mm de distancia. Conforme la Norma ISO 4049:2009, la resina Filtek Z350 XT cumplió la PC que establece 3M (2 mm), la resina Tetric N Ceram Bulk Fill también cumplió la PC que establece Ivoclar Vivadent (4 mm), sin embargo, Sonic Fill no logró cumplir la PC estipulada por su fabricante Kerr (5 mm).

Conclusiones: Se cumple el supuesto de que el aumento de la distancia entre la unidad de fotopolimerización y la resina compuesta disminuye la profundidad de curado. Las resinas Bulk Fill efectivamente logran una mayor profundidad de curado que la resina convencional. Tetric N Ceram Bulk Fill posee una mejor profundidad de curado que la resina Sonic Fill. Los resultados de este estudio se correlacionan con los obtenidos por estudios previos.

INDICE

1) INTRODUCCIÓN	8
2) MARCO TEÓRICO	11
a) RESINAS COMPUESTAS	11
i) Tetric N Ceram Bulk Fill – Ivoclar Vivadent ⁽²⁰⁾	17
ii) SonicFill TM – Kerr ⁽²³⁾	19
b) Polimerización	23
i) Fotoiniciadores	27
c) Profundidad de Curado	29
i) Prueba de Profundidad de Curado ISO 4049:2009.....	32
ii) Prueba de Microdureza de Vickers	33
d) Longitud de Onda, Intensidad y Energía Total	34
e) Lámparas de Fotopolimerización	38
i) Lámparas Halógenas de Cuarzo y Tungsteno (QTH)	38
ii) Lámparas LED de Primera Generación	38
iii) Lámparas LED de Segunda Generación.....	39
iv) Lámparas LED de Tercera Generación.....	40
3) HIPÓTESIS DE TRABAJO	43
4) OBJETIVOS	43
5) MATERIALES Y MÉTODOS	44
a) Diseño del Estudio	46
b) Cálculo del Tamaño Muestral	46
c) Protocolo de Estandarización	49
i) Prueba Piloto	49
ii) Protocolo Profundidad de Curado por la Norma ISO 4049:2009	50
iii) Confección de Conformadores y Distanciadores metálicos	55
iv) Flujoograma de protocolo de creación de cuerpos de prueba ISO 4049	57
6) RESULTADOS	58
a) Estadística Descriptiva	59

b) Pruebas Paramétricas	64
7) DISCUSIÓN	69
a) Limitaciones del estudio.....	76
b) Sugerencias para la Clínica.....	77
8) CONCLUSIONES	78
9) BIBLIOGRAFÍA:	79
10) ANEXOS	84

INDICE DE IMÁGENES

FIGURA 1.....	16
FIGURA 2.....	18
FIGURA 3.....	19
FIGURA 4.....	20
FIGURA 5.....	29

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.....	22
TABLA 2.....	45
TABLA 3.....	48
TABLA 4.....	48
TABLA 5.....	56
TABLA 6.....	59
TABLA 12.....	72
FLUJOGRAMA	57

INDICE DE GRAFICOS

GRAFICO 1.....	60
GRAFICO 2.....	61
GRAFICO 3.....	71
GRAFICO 4.....	74

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los profesionales odontológicos cuentan con una amplia variedad de resinas compuestas que, además de propiedades físico-mecánicas mejoradas, permiten imitar de manera casi imperceptible forma, color y anatomía dentaria, logrando una alta estética dental.

Esto ha aumentado la demanda de pacientes que solicitan recambios de restauraciones que no cumplen con algún parámetro estético. El reemplazo de restauraciones corresponde a cerca del 50% de la actividad de un odontólogo. ⁽¹⁾ En este contexto, se ha observado como rutina el reemplazo de restauraciones de amalgamas frente al más mínimo defecto estético o anatómico. ⁽¹⁾

La amalgama había sido, sin lugar a dudas, el material restaurador más utilizado durante muchos años. Entre sus propiedades destacan resistencia, bajo costo, longevidad, durabilidad, facilidad de manipulación, mínimos cambios dimensionales con el tiempo y genera un sellado marginal debido a la corrosión que sufre. ⁽²⁾ Su indicación es principalmente en el sector posterior, en cavidades clase I y II de Black, por lo que la estética es un factor secundario.

El reemplazo de una restauración inevitablemente involucra un aumento del tamaño de la cavidad ⁽³⁾, debilitando la estructura dentaria y extendiendo el daño, el que incluso puede comprometer la pulpa de la pieza dentaria.

Las resinas compuestas son la principal opción para restauraciones directas posteriores. Las principales causas de reemplazo reportadas han sido la caries secundaria y fractura de la restauración. ⁽⁴⁾

Las resinas compuestas deben ser aplicadas utilizando una técnica incremental, lo que implica incrementos de resina de un grosor no mayor a 2 mm. ⁽⁵⁾ Así se asegura una profundidad de curado óptima, dada por un grado de conversión de monómero a polímero adecuado. Y se reduce la contracción de polimerización, fenómeno inherente de la polimerización de las resinas compuestas.

Sin La técnica incremental tiene una gran desventaja, hay que trabajar laboriosamente aplicando varias capas de 2 mm hasta rellenar la cavidad.

Por lo tanto, a los grandes beneficios que brinda esta técnica, se adiciona una serie de complicaciones clínicas, ya que se añaden más pasos operatorios a una técnica compleja en su totalidad, incrementando además los tiempos clínicos que requiere el proceso, con una mayor posibilidad de cometer errores

en el procedimiento, tales como la formación de burbujas entre incrementos, interfaces entre ellos, etc. ⁽⁶⁾⁽⁷⁾

La profundidad de curado puede verse afectada por 4 factores principales: Tipo de Lámparas de Fotocurado, Requerimientos Energéticos (intensidad y longitud de onda)^(8,9), Características de la Restauración y los Dependientes del Operador (distancia de fotoactivación y el tiempo de exposición) ⁽¹⁰⁾

La aparición de las resinas “Bulk Fill” permiten, gracias a sus características mejoradas, una profundidad de curado aumentada y una contracción de polimerización reducida utilizando una técnica monoincremental.⁽¹¹⁾

Sin lugar a dudas, el poder utilizar sólo un incremento al momento de restaurar permite un ahorro de costo y tiempo clínico considerables.

Esta investigación busca evaluar la profundidad de curado de las resinas Bulk Fill a distancias de 0mm, 4mm y 6mm entre la fuente de luz y los cuerpos de prueba a testear, según los estándares de la Norma ISO 4049:2009.

MARCO TEÓRICO

RESINAS COMPUESTAS

Las resinas compuestas, llamadas genéricamente composites, son una combinación tridimensional de por lo menos dos materiales químicamente diferentes, unidas por un agente de enlace, obteniéndose un material con propiedades superiores a las que presentan sus constituyentes de manera individual.

En 1962 el Dr. Ray L. Bowen desarrolló un nuevo tipo de resina compuesta que reemplazaría a los silicatos y a las resinas acrílicas de polimetilmetacrilato (PMMA) usadas desde la primera mitad del siglo XX. La principal innovación fue la matriz de resina de Bisfenol-A-Glicidil Metacrilato (Bis-GMA) y un agente de acoplamiento entre la matriz de resina y las partículas de relleno.⁽¹²⁾

Hasta hace poco, los cambios más importantes habían involucrado al relleno inorgánico de las resinas, mejorando las propiedades mecánicas y el pulido de estas.⁽¹³⁾ Algunos de los componentes de las resinas compuestas se modifican para variar el color, la translucidez y/o la opacidad, para de esa forma

imitar de mejor manera el color de los dientes naturales, convirtiéndolas en el material más estético de restauración directa. ⁽¹³⁾

Igualmente, las técnicas adhesivas se han perfeccionado de tal forma que la adhesión entre la resina compuesta y la estructura dental es más confiable, reduciendo la filtración marginal, la caries secundaria y la sensibilidad post operatoria. Sin embargo, a pesar de todas estas ventajas, la colocación de las resinas compuestas es una técnica sensible y demanda un mayor tiempo clínico para controlar efectivamente la humedad del campo operatorio y la contracción de polimerización. ⁽¹⁴⁾

La contracción de polimerización es un fenómeno asociado a la polimerización, y consiste en la disminución del volumen de las resinas compuestas una vez endurecidas, esto se produce dado que en el estado inicial los monómeros están libres manteniendo una distancia entre sí. Cuando se produce la polimerización los monómeros deben acercarse para reaccionar entre sí, lo que provoca una reorganización espacial que se traduce en la disminución volumétrica de la matriz. ⁽⁶⁾

Dependiendo del Factor de Configuración Cavitaria, también denominado Factor C, las tensiones generadas por la contracción de polimerización pueden superar la fuerza adhesiva de la restauración a la superficie dentaria, lo que se traduce en filtraciones marginales, caries secundaria y la sensibilidad post operatoria. El Factor de C analiza la proporción entre el número de superficies adheridas y el número de superficies libres, tiene una importante contribución en la contracción de polimerización. Cuanto menor sea el número de superficies libres, menor será la capacidad de la resina de escurrir y liberar estrés, haciendo desfavorable la unión de la resina al diente. ⁽¹⁵⁾ La resina compuesta se puede unir a dos o más paredes, limitando su capacidad de escurrimiento, aumentando de esa manera, el estrés en las superficies adheridas.

En 1987, Feilzer et al. ⁽¹⁶⁾ mostraron la importancia de la configuración cavitaria y relataron que en la mayoría de las situaciones clínicas la compensación del estrés por el escurrimiento de la resina no es suficiente para preservar la unión de la dentina a los agentes adhesivos. Clínicamente, el valor entre superficies adheridas y no adheridas alcanza al máximo Factor C = 5, que corresponde a las cavidades de clases I y V. Valores del Factor C = 1 se refieren a las cavidades del tipo IV o carillas. En estos casos, el estrés de contracción parece ser compensado por el escurrimiento, sin romper la unión

con dentina. Cuando clínicamente encontramos valores del Factor $C = 2$, podemos esperar una falla adhesiva. ⁽¹⁶⁾

Restaurando la cavidad por la técnica incremental, se reduce el efecto del Factor C y, de la misma manera, la utilización de un buen adhesivo dentinario puede optimizar el sellado marginal, contraponiéndose a los efectos de la contracción de polimerización. ⁽¹⁴⁾

En resumen, la contracción de polimerización es uno de los mayores problemas de las resinas compuestas.

La técnica incremental se basa en la reconstrucción progresiva de la estructura dentaria perdida a través de incrementos de resina no mayores a 2 mm, fotoactivando cada incremento previo a llevar el siguiente a la cavidad, en un intento de reducir el denominado Factor C . Una de las ventajas es el mínimo contacto de los incrementos con las paredes de la cavidad durante la polimerización del material, reduciendo de forma eficaz la tensión de polimerización disminuyendo el factor C . Esto se debe principalmente a la mayor superficie de la resina libre en relación a la adherida, permitiendo a la resina fluir durante la polimerización. ⁽⁶⁾⁽¹⁷⁾

La técnica incremental supera otra limitación de las resinas de fotocurado. Se ha observado que la absorción y dispersión de la luz hace que la intensidad y el grado de conversión disminuyan en forma exponencial con la profundidad de curado. La intensidad de luz se puede reducir en una capa de resina compuesta cuando se utilizan incrementos mayores a 2 mm de espesor, esto reduce el grado de conversión de monómero a polímero, pudiendo llegar a niveles inaceptables.⁽¹⁸⁾

A los grandes beneficios que brinda esta técnica, se adiciona una serie de complicaciones clínicas, ya que se añaden más pasos operatorios a una técnica compleja en su totalidad, incrementando además los tiempos clínicos que requiere el proceso, con una mayor posibilidad de cometer errores en el procedimiento, tales como la formación de burbujas entre incrementos, interfaces entre ellos, etc.⁽⁶⁾

Hoy en día las investigaciones se centran en modificar la química o la composición de los sistemas de resinas, buscando principalmente desarrollar sistemas con una contracción de polimerización reducida, y que sean autoadhesivos a la estructura dental. Mientras estas investigaciones se llevan a cabo, la utilización de técnicas clínicas adecuadas se hace imprescindible para ayudar a limitar la contracción de polimerización adecuada.

En este contexto, los composite “Bulk Fill” han surgido y gracias a su reducida contracción de polimerización y su adecuada profundidad de curado permiten ser aplicados en incrementos de hasta 4 mm,. Esta característica permite realizar restauraciones con una menor cantidad de incrementos comparada con la técnica incremental e incluso, en ciertos casos, hacer un solo incremento (Figura 1). Debido a sus ventajas clínicas, estas resinas han evolucionado rápidamente y se ha desarrollado una resina tipo Bulk Fill de activación sónica llamada “Sonic Fill”, la cual según sus fabricantes puede alcanzar una profundidad de curado de 5 mm con un solo incremento. ⁽¹¹⁾

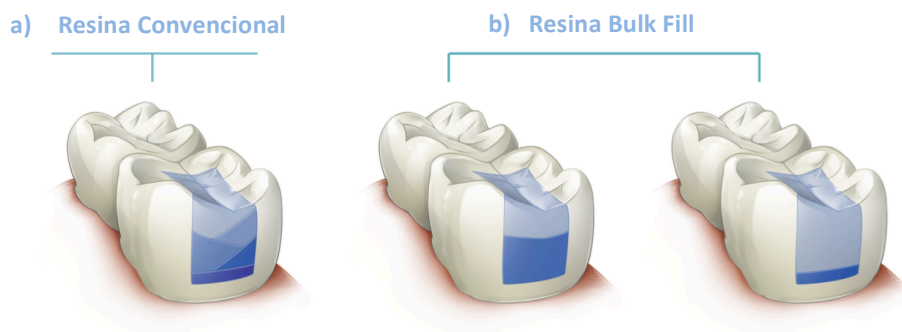


Figura 1: a) Esquema de la técnica incremental utilizando resinas convencionales; b) Esquema que muestra los incrementos de mayor grosor utilizando resinas Bulk Fill. ⁽¹⁹⁾

Tetric N Ceram Bulk Fill – Ivoclar Vivadent ⁽²⁰⁾

Es una resina compuesta tipo Bulk Fill sintetizada por la Empresa Ivoclar Vivadent®, creada con la finalidad de disminuir el tiempo clínico empleado en la elaboración de una restauración de resina, sobre todo en el sector posterior, ya que permite incrementos de hasta 4 mm. Posee un fotoiniciador innovador patentado llamado Ivocerin (Dibenzolilo de germanio) que es altamente reactivo, y que ha sido añadido al sistema fotoiniciador estándar (Lucerina y Canforquinona) presente en Tetric EvoCeram. Como resultado, el material se caracteriza por una absorción máxima del espectro de luz azul entre 370nm y 460nm. Cuando se exponen a la luz de una lámpara de polimerización potente los materiales Bulk Fill polimerizan rápidamente (10 segundos) a una profundidad constante de polimerización. ⁽²⁰⁾

Como contraste, otros materiales comercialmente disponibles que contienen iniciadores convencionales, no son capaces de iniciar el proceso de polimerización con una cantidad de luz reducida en las zonas más profundas de la obturación. El sistema iniciador amplifica el proceso de polimerización y es responsable de la translucidez similar a la del esmalte del 15% de Tetric EvoCeram Bulk Fill. A diferencia de otras resinas Bulk Fill, la translucidez y el

color no se ven comprometidas luego de la técnica de polimerización. La matriz monomérica está compuesta por dimetacrilatos (19 - 21% en peso).⁽²⁰⁾

Tetric N Ceram Bulk Fill contiene un filtro patentado que previenen la polimerización prematura y garantizan un tiempo de trabajo de más de 3 minutos bajo unas condiciones de luz operatoria y luz ambiente. Su aplicación, tallado, modelado y polimerización se realizan en hasta un 60% más rápido que con un composite convencional utilizando la técnica incremental.⁽²⁰⁾

Se han integrado unos mitigadores de estrés en la composición del relleno para ayudar a la baja contracción volumétrica aun utilizando incrementos de hasta 4mm. (Figura 2)

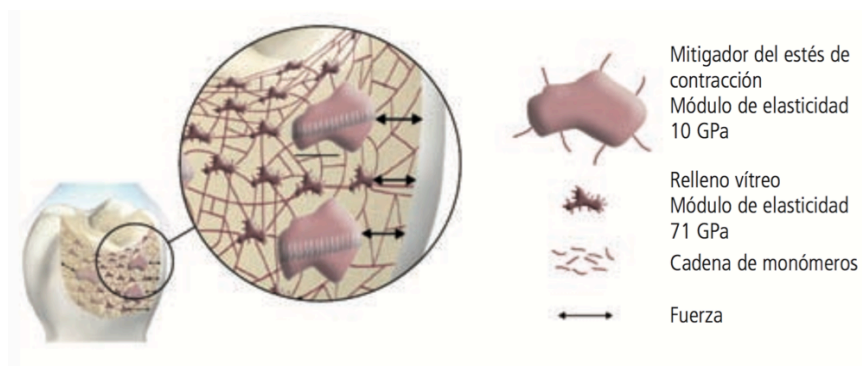


Figura 2: El Mitigador de estrés de contracción ofrece un bajo nivel de estrés durante la polimerización⁽²⁰⁾

Tetric N Ceram Bulk Fill presenta 3 variedades de colores, VA (Color Universal A), VB (Color Universal B) y VW (Color blanco de los dientes temporales o dientes permanentes de color claro - Bleach). (Figura 3)



Figura 3: Variedades de colores de la Resina Tetric N-Ceram Bulk Fill ⁽²¹⁾

SonicFill TM – Kerr ⁽²³⁾

La mayor preocupación respecto a las restauraciones de carga en un solo incremento, y la razón por la cual no se ha masificado su uso, es la dificultad que poseen para asegurar una buena adaptación a las paredes cavitarias y al posible efecto de la contracción volumétrica, factores que pueden provocar desajuste en la interfase diente-restauración generando finalmente la microfiltración marginal y el fracaso de la restauración. ⁽²³⁾

Con la finalidad de solucionar esta problemática, aparece Sonic Fill, una resina tipo Bulk Fill que utiliza ondas sónicas en su aplicación. Es una resina de alta viscosidad, baja contracción (1.83%), y gran profundidad de polimerización, permitiendo fotoactivar incrementos de hasta 5 mm. Está constituido por una resina compuesta con alta carga de relleno (81.3%) y modificadores especiales que reaccionan ante la energía sónica disminuyendo su viscosidad, lo que permite una buena adaptación a las paredes.

Está diseñado para ser aplicado directamente en la cavidad, mediante la utilización de una Pieza de Mano específicamente creada por la compañía KaVo que le otorga la energía sónica y utiliza puntas Unidosis (Unidose) de composite facilitando un único incremento.



Figura 4: Resina Sonic Fill (Kerr) y Pieza KaVo diseñada exclusivamente Sonic Fill con entrada Midwest.⁽²⁴⁾

Al activar la pieza de mano KaVo, los modificadores provocan un cambio de consistencia de la resina, disminuyendo drásticamente la viscosidad de la masa en un 84%, incrementando la fluidez del material, lo que permite una rápida inserción y óptima adaptación a las paredes de la cavidad. Cuando la energía sónica cesa, el composite recupera gradualmente su consistencia inicial, lo que agregado a su naturaleza no adherente y firme, permite un modelado rápido y sencillo. Los altos niveles de fotoiniciadores del material permitirían alcanzar una polimerización completa a 5 mm de profundidad. ⁽²³⁾

Actualmente está disponible la segunda versión de esta resina llamada "SonicFill 2". Estudios realizados por el fabricante indican que genera 1.5 MPa de tensión en la contracción de polimerización, mucho menor que varias resinas en el mercado, presenta 150 MPa de resistencia a la flexión, presenta un tiempo de trabajo extendido de 130 segundos, que corresponde a un 35% más de tiempo de trabajo comparado con la versión original de SonicFill, está disponible en 4 tonos distintos: A1, A2, A3 y B1, y gracias al relleno de 0,4 micras de Kerr y su excelente mimetismo de color, iguala prácticamente cualquier diente posterior. ⁽²³⁾

La Tabla I muestra un resumen de las características químicas, físico mecánicas y las principales indicaciones clínicas de las tres resinas (que fueron utilizadas en este trabajo de investigación.)

Tabla 1: Resumen sobre las características de cada resina según sus las especificaciones del fabricantes.

Según Fabricante	Filtek Z350 XT 3M ⁽²⁵⁾	Tetric N-Ceram Bulkfill Ivoclar Vivadent ⁽¹³⁾	Sonic Fill Kerr ⁽²³⁾
Resina	Resina Compuesta convencional de técnica incremental	Resina Compuesta de carga directa en 1 solo paso	Resina Compuesta de Activación Sónica de carga directa en 1 solo paso
Profundidad de Curado	2 mm	Hasta 4 mm	Hasta 5 mm
Longitud de Onda	450 a 490 nm	355 – 460 nm	400 a 520 nm
Fotoiniciador	Canforquinona + Lucerin	Canforquinona + Lucerin + Ivocerin	Canforquinona + Lucerin en Altas Cantidades
Tiempo de Polimerización	40 s	10 s	20s
Intensidad	400 mW/cm ²	> 1000 mW/cm ²	> 550 mW/mm ²
% Contracción	4.4%	2.03%	1.83%
Monómero	Bis-GMA Bis-EMA UDMA TEGDMA	UDMA Bis-DMA	Bis-EMA TEGDMA
Relleno	Sílice no aglomerado Zirconio no aglomerado Clúster agregado de zirconio / sílice) Relleno Nanohibrido	Vidrio de Bario Trifluoruro de Iterbio Mixed Oxide - Prepolimero (79-81 wt%, 60-61 vol%) + Mitigador de Estrés de Contracción	Vidrio de Bario Dioxido de Silicio (83.5 wt%)
Variedad de Colores/ Opacidades	Amplia gama de Matices con 4 tipos de Opacidades Translucido – Esmalte – Body – Dentina	Color Universal A (VA) Color Universal B (VB) Color blanco (Bleach) (VW)	4 tonos A1 - A2 - A3 - B1
Principales Indicaciones	Resinas Estéticas Anteriores Resinas Estéticas Posteriores	Resinas Posteriores Reconstrucción Cavidades	Resinas Posteriores Reconstrucción Cavidades

Polimerización

Las resinas compuestas poseen una parte inorgánica que corresponde al relleno, una parte orgánica y un agente de enlace, además de una serie de componentes como pigmentos, inhibidores de la polimerización, opacadores, fotoiniciadores y un activador para poder efectuar el proceso de fotopolimerización. Todos los sistemas de resinas compuestas de fotocurado pasan por al menos 4 etapas durante su proceso de polimerización: *activación, iniciación, propagación y terminación*.⁽²⁶⁾

La “activación” corresponde al proceso de fotoactivación del fotoiniciador mediante una luz azul, correspondiente a la luz del espectro visible, en un rango de longitud de onda que excite las partículas del fotoiniciador. Dependiendo de la resina compuesta a utilizar, el fotoiniciador varía en tipo y cantidad dentro de la matriz orgánica de la resina y puede corresponder a la Canforquinona (CQ), Lucerin TPO, Fenipropanodiona (PPD), Irgacure 819 o el más reciente Ivocerin patentado por Ivoclar Vivadent utilizado en su resina compuesta Tetric N-Ceram Bulk Fill. Seguidamente a esto viene la “iniciación” de la reacción, que corresponde a la ruptura del iniciador Peróxido de Benzoilo que se separa para formar un radical libre que posee una alta energía capaz de iniciar la reacción en cadena de polimerización o “propagación” transformando el monómero en una red polimérica hasta su “terminación”.⁽²⁶⁾

En las resinas compuestas una adecuada técnica adhesiva y una adecuada técnica de polimerización permiten un adecuado grado de conversión en las resinas compuestas, lo que asegura el éxito de las restauraciones realizadas en boca. ⁽²⁷⁾

En la polimerización de las resinas los monómeros se convierten en polímeros, proceso en el que los doble enlaces de carbono (C=C) presentes en los monómeros son convertidos en enlaces simples (C-C) formando las cadenas polímeros. El Grado de Conversión (GC) es esencial para la determinación de las propiedades físico mecánicas de las resinas. Idealmente el 100% de los monómeros deberían convertirse a polímero, sin embargo, esto no ocurre y siempre existen un porcentaje de monómeros que no reaccionan. Se acepta un GC entre un 55 a 75% en el producto final.

Una resina compuesta ideal debe poseer un alto grado de conversión, una baja contracción de polimerización para así generar un mínimo estrés de contracción de polimerización. ⁽²⁸⁾

Si las restauraciones se polimerizan de forma incorrecta pueden aparecer defectos en la estabilidad y en sus propiedades físico mecánicas tales como: cambios de color, brechas, tinciones, desajustes marginales o incluso el fracaso o desalojo de la restauración. ⁽²⁷⁾

El hecho que una resina compuesta tenga una superficie sólida, no significa necesariamente que este correctamente polimerizada. Puede ocurrir que la resina haya logrado el mínimo grado de conversión monómero-polímero que le permita adoptar un estado sólido, lo que no significa que el GC sea igual al 100%. Se requiere al menos un $GC \geq 50\%$ para considerar una resina correctamente polimerizada. Por lo tanto, puede suceder que la superficie de la resina muestre un estado sólido, pero en la profundidad no se ha iniciado o no ha sido total el proceso de polimerización, por lo que incluso puede que la resina de la profundidad este blanda.

Muchos factores pueden afectar el GC de las resinas durante su uso clínico, estos incluyen factores relacionados con el operador, como el grosor y compactación de cada incremento, control de la humedad, técnica adhesiva, cercanía entre la punta de la luz y la restauración, por mencionar algunos; factores del paciente como poseer una apertura disminuida, algún Trastorno Temporomandibular (TTM) o simplemente ser un paciente pediátrico; factores relacionados con el equipo de polimerización como la potencia de irradiación, rangos de longitud de onda emitidos o el diseño de la punta emisora, que por su tamaño puede ser un impedimento físico para llegar a las zonas más posteriores de la cavidad oral.

Entre los factores más comunes están los relacionados con el operador, en particular la distancia de fotoactivación entre la lámpara y la resina

compuesta, esta relación incide en la profundidad de curado y en el grado de conversión de las resinas. Existe una proporcionalidad inversa entre la distancia de la lámpara y la resina, por lo tanto, cuanto mayor sea la distancia entre ambas, menor será profundidad de curado y el grado de conversión de la resina compuesta. Esto es especialmente importante en el caso de restauraciones posteriores en que la distancia entre las cúspides y la porción más apical de un cajón proximal de una cavidad clase II puede llegar a ser de 6 mm.

Por ello es de suma importancia polimerizar las resinas colocando la punta de la lámpara sobre la superficie del diente o extender los tiempos de polimerización para lograr que la intensidad de la luz penetre la resina compuesta hasta la profundidades de la cavidad y permitir una correcta activación de los fotoiniciadores y lograr así un correcto grado de conversión de la resina. ⁽²⁷⁾

Para solucionar estos inconvenientes se han diseñado nuevas resinas compuestas capaces de polimerizar a profundidades de hasta 5 mm como es el caso de las Resinas Bulk Fill, también denominadas de aplicación en bloque o de mono incremento. Estas resinas poseen, según los fabricantes, profundidades de curado muy superiores a las resinas convencionales que sólo pueden polimerizar y lograr un adecuado grado de conversión en incrementos no mayores a 2 mm. ⁽³²⁾

Debido a que lo más importante es lograr un adecuado grado de conversión en la profundidad de la restauración, los fotoiniciadores presentes en estas resinas son más fotoreactivos que la Canforquinona, fotoiniciador comúnmente utilizado en las resinas compuestas convencionales. Es lógico pensar que un mayor incremento de resina requiere de una mayor energía total capaz de transmitirse a través de ella y llegar a las profundidades con una adecuada intensidad, y un rango de longitud de onda que active dichos fotoiniciadores, en este contexto, se han realizado avances en los fotoiniciadores y en las lámparas que permiten lograr una adecuada conversión a altas profundidades y en menor tiempo.

Fotoiniciadores

Los fotoiniciadores son moléculas incorporadas en las resinas compuestas que absorben energía fotónica y reaccionan creando radicales libres que inician la polimerización. Es importante que la lámpara a utilizar emita la longitud de onda que active el fotoiniciador. El fotoiniciador más común es la Canforquinona, que se activa a los 480 nm, pero además existen el Lucerin TPO y la Fenipropanodiona1 (PPD) que se activan en un rango entre los 380 – 430 nm. Ivoclar Vivadent ha desarrollado el Ivocerin (Dibenzoilo de Germanio) y lo ha incorporado en su resina Tetric N-Ceram Bulk Fill®, este fotoiniciador se activa en un rango entre los 355 – 460 nm ⁽²⁹⁾ y permite a estas resinas lograr

una profundidad de curado de hasta 4 mm con un tiempo de activación de 10 segundos utilizando una intensidad igual o mayor a 1000 mW/cm².

Las resinas Sonic Fill poseen altos niveles de Canforquinona en su composición, esta gran concentración de fotoiniciadores presentes le permiten alcanzar una polimerización completa a 5mm de profundidad utilizando una lámpara con longitud de onda de 400 a 520 nm con tiempo de activación de 20 segundos utilizando una intensidad igual o mayor a 550 mW/cm².⁽²⁰⁾

Habitualmente las resinas compuestas se polimerizan utilizando una luz azul, por lo tanto, los fotoiniciadores son de un color amarillo inherente, ya que este es el color complementario a la luz azul. Este es el caso de la Canforquinona y el Ivocerin que poseen un color amarillo muy fuerte. Cuando se polimerizan estas resinas, el color del iniciador desaparece en gran medida proceso denominado “blanqueamiento”, sin embargo, un ligero tinte amarillento permanece. La Canforquinona posee una desventaja en relación al Ivocerin, y es que no posee menor grado de blanqueamiento, lo que influye en el color final de la restauración, la que adquiere un color más amarillento.⁽²⁰⁾

Lucerin TPO absorbe predominantemente luz en el rango ultravioleta (UV), por lo tanto, su color amarillo inherente es ligero.⁽¹²⁾ Lucerin TPO, Fenilpropanodiona (PPD) e Irgacure 819 (óxido de bisacilfosfina) son preferentemente usados en resinas más traslúcidas. En estos casos, la

concentración de iniciadores amarillos se reduce o se reemplaza completamente. ⁽²⁰⁾

La Canforquinona siempre debe ser utilizada junto con un co-iniciador, que por lo general es una amina aromática terciaria que con el tiempo se oxidan y cambian de color. A diferencia de la Canforquinona, el Ivocerin no requiere de la adición de un co-iniciador para polimerizar, por lo que es más resistente al cambio de color.

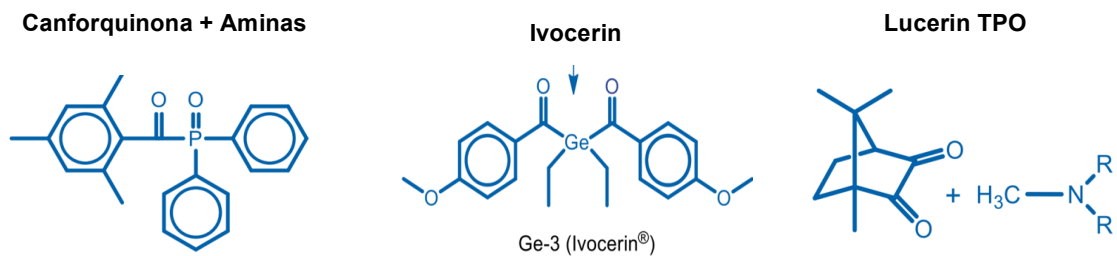


Figura 5: Fotoiniciadores utilizados en las resinas compuestas ⁽²⁰⁾

Profundidad de Curado

La profundidad de curado se define como la cantidad de resina compuesta que se polimeriza al incidir la luz de una lámpara de fotocurado con una intensidad promedio de 460mW/cm² en un tiempo determinado. ^(30, 34) La profundidad de curado está limitada por la absorción de la luz y la dispersión de ésta por el material restaurador, ambos fenómenos están influenciados por varios factores.

La energía de la luz emitida desde una unidad de fotopolimerización disminuye drásticamente cuando se transmite a través de la resina compuesta o algún otro cuerpo, lo que lleva a una disminución gradual en la tasa de conversión de monómero a polímero, esto deja monómeros libres que pueden conducir a un fallo prematuro de la restauración. ⁽³⁴⁾

El método convencional y recomendado de restauración utilizando resinas compuestas es la técnica incremental, que dependiendo de la situación, puede llegar a demandar mucho tiempo clínico.

Los fabricantes de materiales dentales siempre están buscando la manera de simplificar las cosas, y han creado una resina compuesta que puede, bajo ciertas condiciones, ser aplicado en un solo incremento. Las resinas Bulk Fill, aseguran una profundidad de curado en espesores de hasta 5 mm, lo que disminuye el tiempo clínico empleado para realizar una restauración, sobre todo en el sector posterior.

Para mejorar la profundidad de curado de las resinas compuestas se puede modificar su estructura química de 3 formas distintas, ⁽²⁰⁾ una es “incrementar el tamaño de las partículas de relleno”, otra opción es “incrementar

la translucidez del composite”, los composites universales poseen alrededor del 10% al 12% de translucidez y los composites estéticos con color de esmalte alrededor del 15%, mismo rango de Tetric N-Ceram Bulk Fill; la resina Sonic Fill es levemente más translúcida que las otras resinas Bulk Fill. La tercera forma de mejorar la profundidad de curado es “mejorar el espectro de absorción y la reacción a la luz de los fotoiniciadores”, esto se ha logrado mediante la creación e inclusión de nuevos fotoiniciadores, como es el caso del Ivocerin ® en las resinas Tetric N-Ceram Bulk Fill de Ivoclar Vivadent que se ha añadido junto al Lucerin y la Canforquinona. Como resultado, el material se caracteriza por una absorción máxima del espectro de luz azul entre 370nm y 460nm, y cuando se expone a la luz de una lámpara de polimerización potente (por ejemplo, 1100mW/cm² de Bluephase Style, Ivoclar Vivadent) los materiales Bulk Fill polimerizan rápidamente (10 segundos) incrementos de hasta 4mm y aseguran una profundidad de curado constante. Esto no es posible con resinas convencionales que no contienen tal combinación de fotoiniciadores, por lo que sólo permiten incrementos de 2mm. ⁽²⁰⁾

Para poder evaluar la profundidad de curado de las resinas compuestas se utilizan principalmente 2 formas: el Protocolo ISO 4049:2009 para materiales resinosos y el Protocolo de Perfiles de Dureza Vickers

Prueba de Profundidad de Curado ISO 4049:2009

En palabras simples, es rellenar un molde o conformador metálico de medidas definidas y estandarizadas con la resina compuesta a evaluar, fotopolimerizar por el tiempo estipulado por el fabricante, luego retirar el material polimerizado (cuerpo de prueba) del molde y eliminar la porción no polimerizada de resina de la parte inferior del cuerpo de prueba. Se registra la longitud total de este cuerpo de prueba y se divide por 2. La razón de dividir la longitud total de este cuerpo de prueba en 2 es asegurar que la profundidad de curado obtenida cumpla con la normativa que asegure un grado de conversión aceptable > 50%.⁽³¹⁾

La norma ISO 4049 establece que los conformadores para los cuerpos de prueba deben ser de acero inoxidable, poseer un diámetro interno de 4mm y una longitud igual al doble más 2 mm que la profundidad de curado que el fabricante afirma, por ejemplo, si el fabricante afirma que la resina compuesta logra una profundidad de curado de 3 mm, el conformador deberá ser de 8mm (PC = 3mm; $2 \times 3\text{mm} + 2\text{mm} = 8\text{mm}$).⁽³⁰⁾

Como requisito la norma ISO 4049 establece que la profundidad de curado mínima de una resina compuesta debe ser de 1.5 mm, además exige que la profundidad de curado no debe diferir en más de 0,5 mm por debajo del valor indicado por el fabricante. ^(30, 31)

Prueba de Microdureza de Vickers

Para definir la profundidad de curado basado en mediciones de dureza superior e inferior, lo común es calcular la relación de dureza inferior / superior y dar un valor mínimo arbitrario de esta relación a fin de considerar la superficie inferior como curados adecuadamente, los valores de 0.80 y 0.85 se usan generalmente. Para tener un resultado satisfactorio, el valor promedio total obtenido debe ser al menos un 80% de dureza superficial en la base con respecto a la superficie externa superior, de acuerdo a lo establecido en la Norma ISO 4049. Se considera que el material resinoso está completamente polimerizado cuando las diferencias entre ambas mediciones es superior a 80%, por lo tanto, una relación inferior nos indica que el material no ha polimerizado completamente. ^(30, 31, 32)

Longitud de Onda, Intensidad y Energía Total

Cuando se habla de fotoactivación, estamos hablando de 3 conceptos claves: longitud de onda, intensidad y energía total.

La longitud de onda corresponde a la energía de cada fotón dentro del espectro de luz visible que debe ser la necesaria para activar los distintos fotoiniciadores presentes en las resinas compuestas. Como se nombró anteriormente la Canforquinona se activa a los 480 nm, Lucerin TPO y PPD en un rango entre 380 – 430 nm y el Ivocerin en el rango de 355 – 460 nm.

La intensidad de poder se conoce bajo otros nombres tales como Densidad de Poder o Densidad de Potencia, y corresponde a la cantidad de fotones de la misma energía o longitud de onda que emite la lámpara de fotopolimerización. La cantidad mínima de fotones para activar una resina compuesta convencional es de 400 mW/cm^2 , pero lo ideal, para asegurar la correcta polimerización de los composites a través de la estructura dental o de una restauración de cerámica es de al menos 1.000 mW/cm^2 .⁽²⁷⁾

La intensidad disminuye a medida que aumenta la distancia hacia la resina o a medida que atraviesa la resina, de acuerdo al cuadrado de la distancia de la fuente de emisión, por lo que la intensidad lumínica que llega al fondo de la resina es siempre menor a la que emite la lámpara. ⁽²⁷⁾

En el caso de las resinas Tetric N Ceram Bulk Fill, que permiten incrementos de hasta 4 mm, se requiere de una alta intensidad lumínica para atravesar la resina compuesta y asegurar que esta energía llegue hasta el fondo de la resina con la intensidad necesaria para activar el fotoiniciador Ivocerin, ⁽²⁷⁾ que a pesar de ser una molécula altamente reactiva necesita una intensidad superior a los 1.000 mW/cm² para asegurar correcta polimerización.

En el caso de Sonic Fill, su fotoiniciador comienza la polimerización con una intensidad lumínica mínima de 550 mW/cm² y una longitud de onda de luz en el intervalo de 400 a 520 nm. Con una intensidad desde 550 mW/cm², la resina tarda en polimerizar 20 segundos en polimerizar un incremento de hasta 5 mm, pero si se utiliza una lámpara con intensidad superior a los 1.000 mW/cm² se demora 10 segundos en polimerizar completamente el mismo incremento según el fabricante.

Al hablar de energía total estamos hablando de la cantidad de fotones que se emiten por el equipo de polimerización en un tiempo determinado que corresponde al producto entre intensidad (mW/cm^2) y tiempo (segundos), y es lo que se conoce como Joules. En resumen, corresponde al tiempo necesario que se debe polimerizar una restauración para lograr una adecuada polimerización.

La cantidad de tiempo necesario para la polimerización de una resina depende en gran medida de la intensidad de la lámpara. Para restauraciones directas, la intensidad lumínica mínima para trabajar es de $400 \text{ mW}/\text{cm}^2$ que permite polimerizar completamente un incremento de 2mm de resina compuesta en 40 segundos. Siguiendo este concepto, la energía total que necesita una resina compuesta para completar su polimerización es de 16 Joules ($16000 \text{ mW}/\text{cm}^2 * \text{seg}$) polimerizando adecuadamente capas de 2 mm de espesor. Si utilizáramos una lámpara con una intensidad superior a los $1.000 \text{ mW}/\text{cm}^2$, necesitaríamos 16 segundos para polimerizar completamente 2 mm de espesor de una resina convencional.

En el caso de las resinas Bulk Fill, la presencia de varios fotoiniciadores con distintos rangos de longitudes de onda, condiciona la utilización de lámparas de alta intensidad y que además emitan luz en distintas longitudes de

onda, por lo que lámparas con tecnología Polywave son necesarias, como la lámpara de tercera generación Bluephase Style de Ivoclar Vivadent.

Para polimerizar una resina Bulk Fill, se necesita una intensidad lumínica por encima de 1.000 mW/cm^2 en 10 segundos. ⁽²⁰⁾⁽²³⁾ Por lo tanto, una menor intensidad lumínica exige un mayor tiempo de polimerización para lograr el mismo resultado. ⁽²⁷⁾

El lado negativo de la utilización de lámparas de gran intensidad es que generan una polimerización más rápida de las resinas compuestas, lo que se traduce en un mayor estrés de contracción de polimerización. Esto se debe a que la resina no tiene el tiempo adecuado para reorganizar sus monómeros en polímeros, por lo que se puede correr el riesgo de generar brechas en la interfaz diente - restauración. ⁽⁶⁾

En el caso de las resinas Tetric N Ceram Bulk Fill, esto se soluciona mediante un tipo especial de relleno denominado “Mitigador de Estrés”, el cual funciona parcialmente con silanos, que se adhieren a las paredes de la cavidad junto con la matriz de monómeros y el adhesivo, resistiendo la fuerza de contracción, disminuyendo así el estrés generado. ⁽²⁰⁾

Lámparas de Fotopolimerización

Lámparas Halógenas de Cuarzo y Tungsteno (QTH)

Estas lámparas fueron muy utilizadas en la década de 1990 en la que la intensidad de emisión oscilaba entre 300 y 3000 mW/cm². Estas unidades poseen forma de pistola con una punta guía de emisión de fibra de vidrio. Además estas lámparas generaban mucho calor, por lo que era necesario el uso de ventiladores para disminuir la temperatura y permitir un ciclo de curado de 40 a 60 segundos. Poseen un amplio rango de emisión de longitudes de onda por lo que no tienen problema al fotoactivar distintos tipos de fotoiniciadores.⁽³⁴⁾

Lámparas LED de Primera Generación

Estos dispositivos, a diferencia de las lámparas Halógenas, son inalámbricas, son más eficientes, de mayor vida útil, de peso ligero y con diseños que van desde forma de lápiz o de pistola clásico. Se caracteriza por tener en la punta de emisión diodos pequeños que emiten luz azul a un rango específico de longitud de onda. Cada LED individual de 5 mm proporciona 30 -

60 mW/cm² en un foco axial o planar, dispuestos de tal forma en que la suma de todos los LED combinados son suficientes para proporcionar la energía necesaria para activar la Canforquinona. A pesar de que las lámparas LED emiten la intensidad suficiente para activación de la Canforquinona (450 – 470 mW/cm²), su energía total no era suficiente para competir con las altas radiaciones de energía emitidas por las lámparas halógenas que disminuían el tiempo de exposición necesario para una polimerización completa por lo que no se popularizaron en la época. ⁽³⁴⁾

Lámparas LED de Segunda Generación

Los avances en la industria de los LED en la década del 2000 condujeron a la capacidad de colocar múltiples diodos en un solo LED Individual, lo que aumenta en gran medida la producción de luz en general. Los fabricantes de lámparas dentales incorporaron nuevos chips de 5 Watts en lámparas de polimerización, el desarrollo de lo que se conoce como lámparas LED segunda generación. La primera marca comercial de lámparas LED de segunda generación era la Philips Luxeon con LEDs de alta potencia, chips de 5 Watts con una salida de 600 mW/cm² de intensidad. La característica principal de estas unidades es el gran aumento de la potencia de salida respecto a la de la primera generación, con un chip 5 Watts equivalente a 10 - 20 de las LED de

primera generación. Con estas mejoras, la segunda generación LED fueron capaces de superar a las lámparas halógenas QTH utilizando tiempos de exposición más cortos. La única desventaja de estas lámparas es que sólo emiten luz azul en un rango específico de longitud de onda por lo que no activa los fotoiniciadores más recientes. ⁽³⁴⁾

Lámparas LED de Tercera Generación

A fin de permitir la polimerización de resinas compuestas que no utilizan solamente Canforquinona como fotoiniciador, sino que además pueden incluir Ivocerin o Lucerin, los fabricantes recurrieron a proporcionar conjuntos de chips que emiten más de una longitud de onda. Adicionalmente a los diodos azules, se incluyeron diodos violetas que emiten una menor longitud de onda. De este modo, mediante la combinación de la salida de estas dos longitudes de onda, se proporciona una luz eficaz no sólo para Canforquinona, sino también para el conjunto alternativo de fotoiniciadores. Por lo general estas unidades funcionan mediante baterías de Iones de Litio (LiMH). ⁽³⁴⁾

La lámpara Bluephase Style de Ivoclar Vivadent fue utilizada en este trabajo de investigación, es una lámpara LED de tercera generación Polywave o

de Multiondas, que polimeriza en un espectro entre 385 y 515 nm, lo que permite activar distintos fotoiniciadores. Posee un conducto de luz largo, una punta activa que ha sido acortada y con la capacidad de girar en 360°, permite teóricamente un mejor acceso a las superficies del diente, incluso en las zonas más posteriores de la cavidad oral. Presenta un conducto de luz de 10 mm de diámetro lo que permite cubrir toda la superficie del diente a polimerizar, además posee una intensidad de 1100 mW/cm² que permite polimerizaciones profundas en cortos periodos de tiempo. ⁽³⁴⁾

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar cuál es el efecto que tiene la variación de la distancia de fotoactivación entre la fuente de luz y la resina compuesta. Se utilizaron resinas tipo Bulk Fill y una lámpara Bluephase Style de tercera generación. Se simularon situaciones clínicas en las que, por factores principalmente asociados al operador, la distancia entre la lámpara y la resina compuesta aumenta, y se buscó establecer si esta variación en la distancia modifica el grado de profundidad de curado de la resina mediante el protocolo ISO 4049:2009 especificado para la medición de profundidad de curado de materiales poliméricos. ⁽³⁴⁾

En este estudio se espera que las resinas disminuyan su profundidad de curado a medida que vamos aumentando la distancia entre la punta de la

lámpara LED y los conformadores utilizados para formar los cuerpos de prueba, debido a que al aumentar la distancia de irradiación, la intensidad va disminuyendo progresivamente ya que la luz no está enfocada en un área pequeña, sino que se va dispersando.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

El aumento de la distancia entre la fuente de luz y la resina compuesta disminuye la profundidad de curado en los cuerpos de prueba

OBJETIVOS

General

Establecer el efecto que tiene la variación de la distancia, entre la lámpara y la resina compuesta, en la profundidad de curado de 2 resinas Bulk Fill y una convencional como resina control.

Específicos

- 1.- Determinar la profundidad de curado de las 3 muestras de resina A, B y C al fotoactivar por 10 segundos mediante luz LED a 0 mm de distancia.
- 2.- Determinar la profundidad de curado de las muestras de resina A, B y C al fotoactivar por 10 segundos mediante luz LED a 4 mm de distancia.
- 3.- Determinar la profundidad de curado de las muestras de resina A, B y C al fotoactivar por 10 segundos mediante luz LED a 6 mm de distancia.
- 4.- Comparar la profundidad de curado de las 3 resinas al fotoactivarlas a 0 mm, 4 mm y 6 mm de distancias utilizando la Norma ISO 4049:2009.

MATERIALES Y MÉTODOS

La finalidad de esta investigación fue evaluar la profundidad de curado de las resinas Tetric N-Ceram Bulkfill (Ivoclar Vivadent) y Sonic Fill (Kerr) a distintas distancias de fotoactivación, utilizando una lámpara LED de tercera generación (Bluephase Style Ivoclar Vivadent) y fotoactivando cada resina por 10 segundos, utilizando como grupo control la resina convencional Filtek Z350 XT (3M). Todo esto como un intento de predecir el comportamiento de la resina compuesta cuando nos vemos enfrentados a situaciones clínicas en que las un lograr contacto íntimo entre la punta de la lámpara y la superficie de la restauración como recomienda el fabricante que no es posible.

La muestra está conformada por 153 cuerpos de prueba cilíndricos de resina compuesta, preparados en un conformador metálico conforme a la norma ISO 4049:2009 para materiales resinosos.

Este estudio utiliza la Norma ISO 4049:2009 para determinar la profundidad de curado debido a la imposibilidad de acceder al instrumental requerido para realizar las pruebas de Microdureza de Vickers.

Las 3 resina utilizadas (Sonic Fill, Tetric N-Ceram Bulk Fill y Filtek Z350 XT) fueron distribuidas en 3 grupos, cada uno con 51 cuerpos de prueba: Grupo

A Sonic Fill, Grupo B Tetric N-Ceram Bulk Fill y Grupo C Filtek Z350 XT. A su vez cada grupo fue dividido en 3 subgrupos de acuerdo a las distintas distancias a evaluar (0 mm, 4 mm y 6 mm), dando un total de 9 grupos, cada uno conformado por 17 cuerpos de prueba.

La Tabla II muestra el detalle de todos los materiales que fueron utilizados para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Tabla II: Lista de materiales a utilizar y su marca correspondiente

Materiales a Utilizados	Marca Comercial
– Tiras de Poliacetato	– Genéricas
– Conformador de Aluminio	– Metalúrgico Luis Hernández
– Distanciador de Aluminio	– Metalúrgico Luis Hernández
– Lámpara LED Bluephase Style	– Ivoclar Vivadent
– Radiómetro Bluephase 20i	– Ivoclar Vivadent
– Micrómetro con exactitud 0,05 mm	– Red Line
– Dos espátulas metálicas de resina	– Hu – Friedy
– Dos espátulas de Plástico	– Genéricas
– Resina A: Tetric N Ceram Bulk Fill	– Ivoclar Vivadent
– Resina B: Sonic Fill	– Kerr
– Pieza de Mano para Sonic Fill	– Kavo
– Resina C: Filtek Z350 XT	– 3M
– Portaobjetos de Vidrio	– Genéricos
– 2 Pinzas	– Genéricas

Diseño del Estudio

El presente trabajo de Investigación corresponde a un estudio experimental aleatorizado in vitro.

La aleatorización se realizó al momento de conformar los cuerpos de prueba. Se creó un macro en Excel que fue programado para permitir sortear qué resina utilizar para conformar el cuerpos de prueba. El macro posee 3 valores codificados que representan los tres tipos de resina a utilizar (1 = Filtek Z 350 XT, 2 = Tetric N Ceram Bulkfill y 3 = Sonic Fill) y al momento de hacer “click” sobre el botón “Sorteo” aleatoriamente mostrará uno de los 3 códigos equivalente a la resina a utilizar, este proceso se realizó previo a la conformación de cada cuerpo de prueba (153 veces), lo que nos permitió obtener una aleatorización de la muestra a estudiar.

Cálculo del Tamaño Muestral

Para el cálculo del tamaño muestral mínimo necesario para la realización de la investigación se utilizó el Software G-Power 3.

Al comenzar a utilizar el programa, debemos seleccionar el *tipo de Test* a realizar. El proyecto considera el análisis de nueve grupos (Many groups) por medio del Análisis de Varianza (ANOVA). En el *Tipo de análisis* (Type of power analysis) buscamos establecer el tamaño muestral entregando el *Intervalo de Confianza* (α err prob), el *Poder Estadístico* (Power (1- β err prob)), el *Tamaño de Efecto* (Effect size f) y el *Número de grupos* (Number of Groups). Una vez completados los datos se procede a *Calcular* (Calculate) el tamaño muestral para nuestra investigación.

En base a estudios previos ^(30,39), se estableció un valor de 0.40 (alto) para el tamaño de efecto f, un poder estadístico de 0.9, un intervalo de confianza de 95% ($\alpha=0.05$) y se realizó el cálculo para 9 grupos.

El análisis dio como resultado un tamaño total de 153 muestras, por lo que cada uno de los 9 grupos quedará conformado por 17 cuerpos de prueba.

La Tabla III muestra la distribución de los 153 cuerpos de prueba en los 3 grupos principales (A, B y C) y en los 3 subgrupos de cada grupo principal (0 mm, 4 mm y 6 mm).

Tabla III: Distribución de los cuerpos de resinas en los distintos grupos de estudio

Resina/ Distancia de Fotoactivación		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Total de Muestras
		0 mm	4 mm	6 mm	
A	SonicFill Kerr	17	17	17	51
B	Tetric N-Ceram BulkFill	17	17	17	51
C	Filtek Z350 XT 3M (Control)	17	17	17	51
TOTAL		51	51	51	153

La Tabla IV muestra un resumen de las variables a estudiar en este trabajo de investigación, su correspondiente definición operacional, el tipo de variable y la forma en que se realizó la medición.

Tabla IV: Cuadro resumen de las variables a estudiar

Variable		Definición Operacional	Tipo de Variable	Forma de Medición
INDEPENDIENTE	Resina compuesta de fotopolimerización	Material odontológico para la confección de obturaciones directas en base a polímeros orgánicos y relleno inorgánico que endurece por fotoactivación	Cualitativa Nominal	Resina A Resina B Resina C
	Distancia desde la unidad de fotoactivación a la resina	Longitud de espacio entre la fuente de luz (Lámpara LED) y la resina	Cuantitativa Discreta	0 mm 4 mm 6 mm
DEPENDIENTE	Profundidad de Curado	Es la grosor que puede polimerizar una resina compuesta, manteniendo al mismo tiempo un grado de conversión aceptable (GC>50%)	Cuantitativa Continua	Milímetros.

Protocolo de Estandarización

Prueba Piloto

Para asegurar la correcta conformación de los cuerpos de prueba y además lograr correctas mediciones durante la parte experimental del estudio, los evaluadores fueron sometidos a un proceso de entrenamiento o de calibración.

Para ello se crearon 10 cuerpos de prueba utilizando resina Filtek Z350 XT, fotopolimerizando por 10 segundos a 0 mm de distancia. El procedimiento estuvo basado en la Norma ISO 4049:2009, se utilizó un micrómetro digital para la medición de la cada muestra y la recolección de datos se realizó en una planilla Excel.

Además se realizó un promedio de 15 intensidades de la lámpara Bluephase Style utilizando un radiómetro con el objetivo de tener una media de las intensidades con que se irradiaron las resinas y comprobar que la lámpara Bluephase Style emite una intensidad de $1100 \text{ mW/cm}^2 \pm 10\%$ según las indicaciones del fabricante.

Esta fase de entrenamiento es necesaria para comenzar la fase experimental con experiencia y así tomar resguardos ante los posibles imprevistos que puedan suceder durante esta etapa.

Protocolo Profundidad de Curado por la Norma ISO 4049:2000

La medición se realizó en el Laboratorio de Biomateriales Odontológicos con iluminación de la sala e iluminación adicional utilizando las lámparas disponibles en cada cubículo.

1. Según la Norma ISO 4049, cada cuerpo de prueba debe ser generada en un *conformador* cuyo diámetro interno debe ser de 4mm y su altura debe ser 2 mm mayor que el doble de la profundidad de curado afirmada por el fabricante. Por lo tanto, las alturas de los conformadores fue de 12 mm para la Resina A (SonicFill) (Figura 6c), 10 mm para la Resina B (Tetric® N-Ceram BulkFill) (Figura 6b) y 6 mm para la Resina C (Filtek Z350 XT) (Figura 6a)

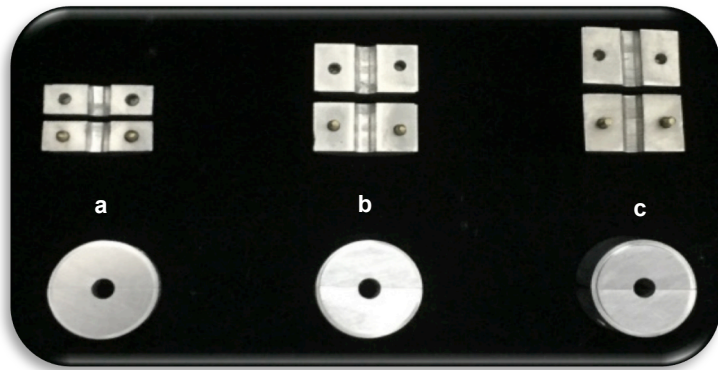


Figura 6: Conformadores de cuerpos de prueba.

2. Se coloca una lámina de celuloide con un portaobjetos en la parte inferior del conformador de aluminio (Figura 7a) y se llena con la resina a testear, procurando excluir las burbujas de aire. (Figura 7b)



Figura 7a

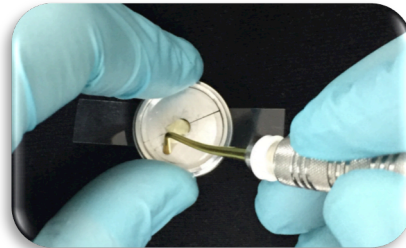


Figura 7b

3. Se retiran los excesos de la superficie superior con la espátula (Figura 8)

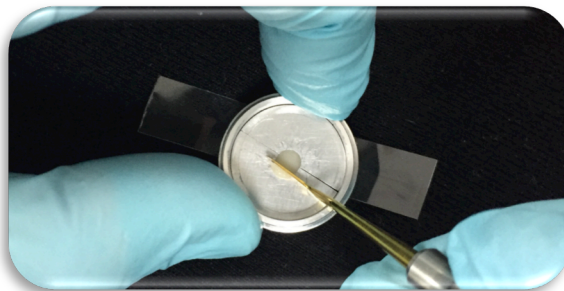


Figura 8

4. Se debe colocar una segunda lámina de celuloide en la parte superior del conformador para evitar que la punta de la lámpara entre en contacto directo con la resina. (Figura 9)

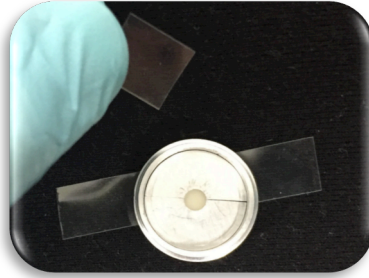


Figura 9

5. Se irradia el material durante el tiempo estipulado (10 segundos) a 0 mm de distancia. (Figura 10)

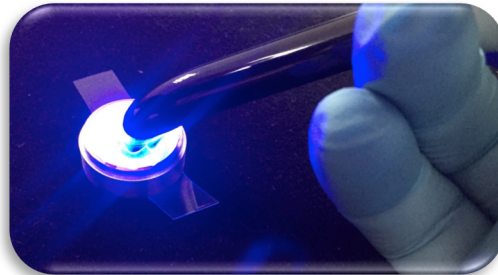


Figura 10

6. Se utilizaron distanciadores metálicos (Figura 11) confeccionados específicamente para adaptar de forma precisa a la punta de la lámpara LED (Figura 11a) para irradiar a 4 mm (Figura 11b) y 6 mm (Figura 11c).

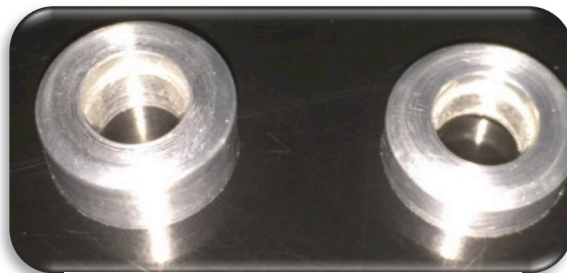


Figura 11



Figura 11a



Figura 11b: Lámpara Bluephase Style con distanciador de 4 mm.



Figura 11c: Lámpara Bluephase Style con distanciador de 6 mm.

7. Inmediatamente luego de la polimerización, se procede a separar el conformador metálico (Figura 12a) para así retirar el cuerpo de prueba de su interior (Figura 12b).

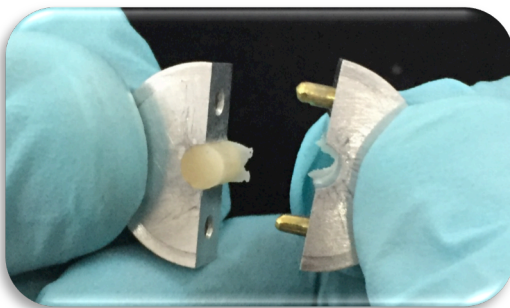


Figura 12a



Figura 12b

8. Luego se debe retirar el material NO polimerizado con una espátula de plástico.
(Figura 13a - 13b)

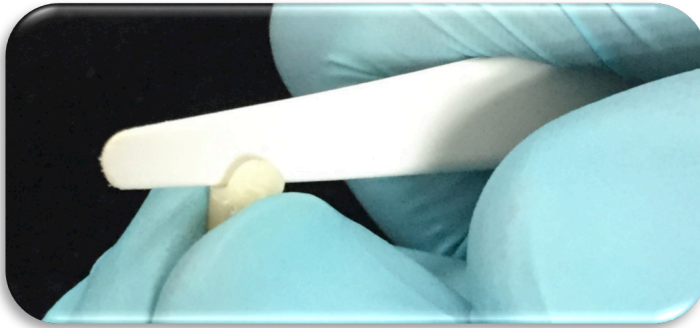


Figura 13a



Figura 13b

9. Seguidamente se debe medir la altura del cuerpo de prueba polimerizado remanente, utilizando un micrómetro digital de 0.05 mm de precisión y dividir el valor en 2. (Figura 14)



Figura 14

10. Luego este valor será llevado a la ficha de recolección de datos en una planilla Excel.

Confección de Conformadores y Distanciadores metálicos

Para esta investigación se confeccionaron 6 conformadores cilíndricos de aluminio, 2 para cada tipo de resina, de 4 mm de diámetro interno, con 3 distintas longitudes según la resina a utilizar, para la resina Filtek Z350 XT se utilizó un conformador de 6 mm, para la resina Tetric N-Ceram Bulk Fill se utilizó un conformador de 10 mm y para la resina Sonic Fill se utilizó un conformador de 12 mm. Estos conformadores tienen la particularidad de ser separables para facilitar el retiro de los cuerpos de prueba de resina y además, poseen encajes macho/hembra que permiten posicionar el conformador de manera única y precisa.

También se confeccionaron 2 distanciadores metálicos diseñados específicamente para adaptar con precisión a la punta de la lámpara Bluephase Style que permiten separar la punta de la lámpara de la resina 4 mm y 6 mm.

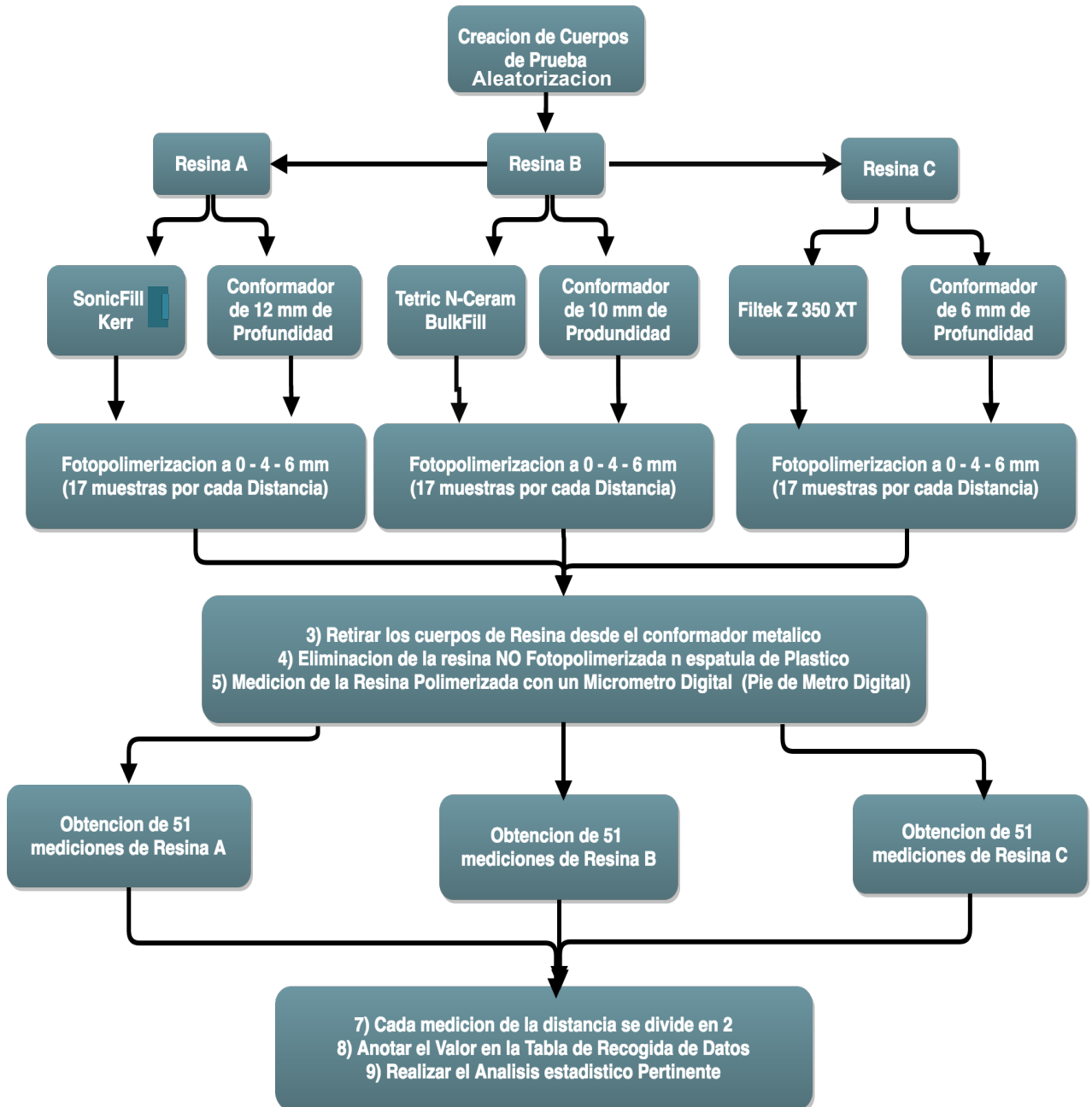
Considerando que los tiempos e intensidades definidos por los fabricantes para la correcta polimerización de cada resina son distintos, hemos optado por estandarizar estos valores. (Tabla V) Realizamos una conversión de tiempos basados en la Energía Total requerida por cada resina. Con una intensidad promedio $> 1100 \text{ mW/cm}^2$ en la lámpara LED Bluephase Style e

irradiando por 10 segundos, se logra una energía o densidad total de 11 Joules, energía suficiente para polimerizar todas las resinas.

Tabla V: Conversión energía total de polimerización para cada resina compuesta.

Recomendaciones del Fabricante	Profundidad de Curado	Tiempo	Intensidad	Energía Total
Sonic Fill	5 mm	20 s	$\geq 550 \text{ mW/cm}^2$	11 J
Tetric N Ceram Bulk Fill	4 mm	10 s	$\geq 1000 \text{ mW/cm}^2$	10 J
Filtek Z350 XT	2 mm	20 s	$\geq 400 \text{ mW/cm}^2$	8 J
* LED Bluephase Style	—————	10 s	$\geq 1100 \text{ mW/cm}^2$	11 J

Flujograma de protocolo de creación de cuerpos de prueba ISO 4049



RESULTADOS

Los datos obtenidos fueron ingresados en una planilla Excel, desde la cual fueron exportados y codificados al programa estadístico “SPSS 21”.

Como punto de inicio se realizó un análisis descriptivo de las variables distancia de profundidad de curado en milímetros (0 mm, 4 mm y 6 mm) y tipo de resina compuesta (Sonic Fill, Tetric N-Ceram Bulk Fill y Filtek Z350 XT), calculando las medidas de tendencia central (media, mediana, moda) y las medidas de dispersión (Varianza, Desviación estándar, Rango) e intervalos de confianza (95% de acierto) para los 9 grupos.

Para saber si los datos siguen una Distribución Normal (Paramétrica) y debido a que la muestra comprende más de 30 cuerpos de prueba, se realizó la prueba Kolmogorov-Smirnov, obteniendo como resultado que la muestra sigue una distribución normal.

Como los datos son paramétricos (distribución normal), se realizó la Prueba de Levene para evaluar la igualdad de varianzas; un análisis ANOVA de 2 factores para evaluar si existen diferencias entre las medias de los datos obtenidos; la prueba Post Hoc “Tukey” para determinar qué medias están

difiriendo en caso de aceptar la hipótesis alternativa de ANOVA. Para todas las pruebas estadísticas se fija el p-valor en 0.05 y el intervalo de confianza en un 95%.

Estadística Descriptiva

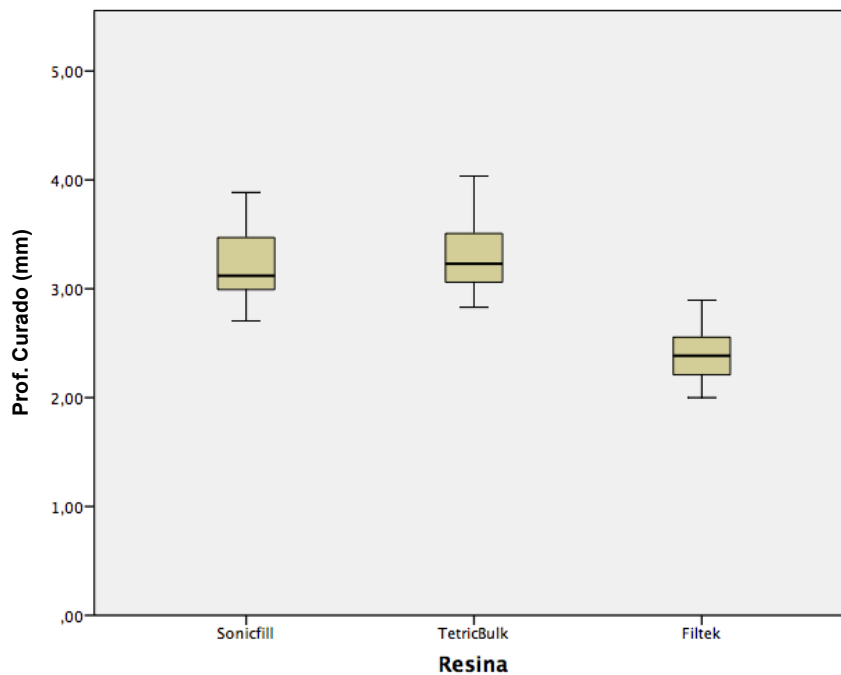
La Tabla VI muestra un resumen de la estadística descriptiva obtenida al analizar los datos recolectados.

Tabla VI: Resumen de la estadística descriptiva de la Profundidad de Curado

Resumen Estadística Descriptiva							
	Distancia	Media	Desviación Estándar	Mediana	Máximo	Mínimo	% respecto a 0 mm
SonicFill	0 mm	3,55	0,13	3,54	3,89	3,37	---
	4 mm	3,13	0,11	3,12	3,28	2,94	11,8%
	6 mm	2,93	0,13	2,94	3,09	2,71	17,5%
Tetric Bulkfill	0 mm	3,68	0,17	3,72	4,04	3,42	---
	4 mm	3,18	0,14	3,22	3,40	2,83	13,6%
	6 mm	3,03	0,13	3,01	3,28	2,87	17,7%
Filtek Z350 XT	0 mm	2,64	0,15	2,63	2,90	2,38	---
	4 mm	2,37	0,11	2,39	2,53	2,17	10,2%
	6 mm	2,19	0,08	2,19	2,33	2,00	17 %

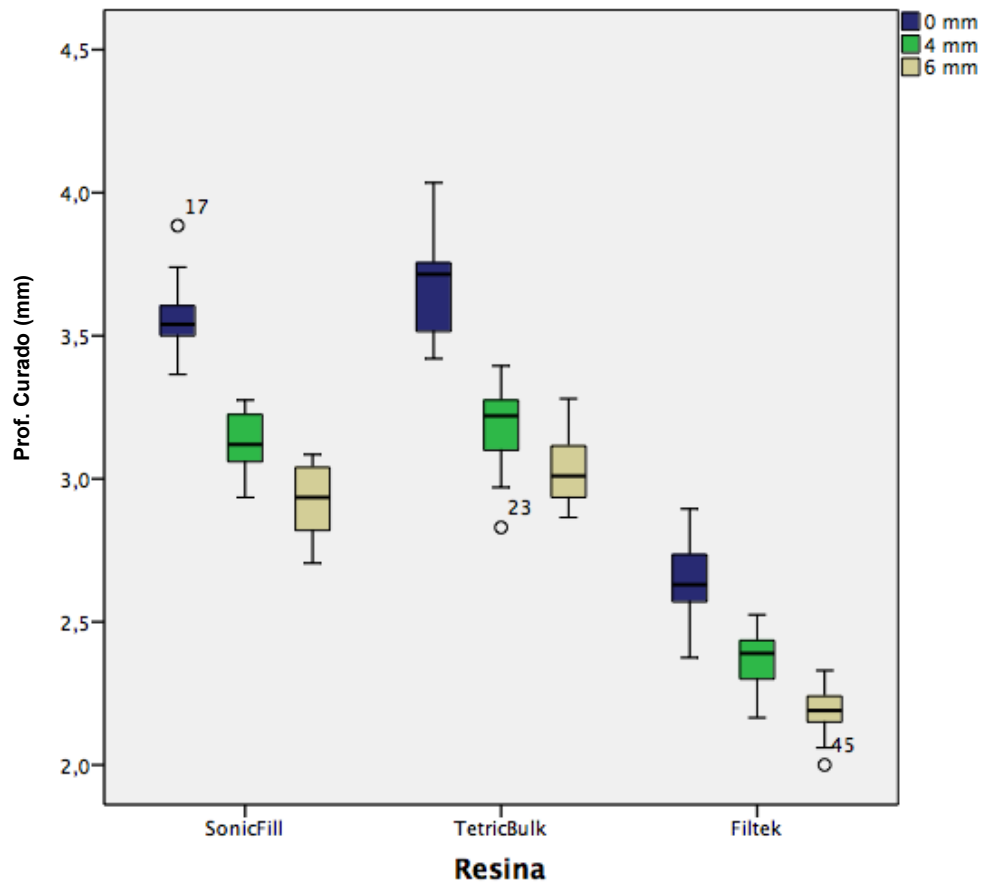
El Gráfico 1, muestra un diagrama Boxplot simplificado que permite apreciar el comportamiento de las 3 resinas en estudio de forma general. Se observa que las resinas Bulk Fill poseen mayor profundidad de curado en comparación a la resina convencional. También se puede observar que en su conjunto la resina Tetric N Ceram Bulk Fill posee una profundidad de curado levemente mayor cuando la comparamos con la resina Sonic Fill.

Gráfico 1: Diagrama Box-Plot Simplificado de las Profundidades de Curado



Al evaluar el Gráfico 2 se observa que a medida que aumentamos la distancia de fotoactivación entre la punta de la lámpara y la resina compuesta, la profundidad de curado disminuye progresivamente en las 3 resinas evaluadas. Además se puede observar que las 2 resinas Bulk Fill poseen una mayor profundidad de curado en comparación a la resina convencional Filtek Z350 XT en todas las distancias evaluadas.

Gráfico 2: Diagrama Box-Plot según distancias



Analizando específicamente los box-plot de la resina Sonic Fill podemos observar que la mediana se encuentra más cercana a Q1 dentro de la caja, lo que nos permite inferir que los datos en la (Q1-Q2) caja más pequeña están más concentrados y cercanos al valor mínimo, y que la caja grande (Q2 - Q3) se encuentran más dispersos, esto deja en manifiesto el efecto adverso que tiene el aumento de la distancia sobre el desempeño general de esta resina.

Al analizar los box-plot de la resina Tetric N Ceram Bulk Fill se observa que el bigote superior, asociado a los valores máximos de profundidad de curado, es más largo que el bigote inferior, por lo que se puede inferir que las profundidades de curado con valores más altos se encuentran mas dispersos y en menor cantidad que los valores mas pequeños que están más concentrados condicionando el bigote inferior.

La resina Filtek Z350 XT tuvo un desempeño superior al resto de las resinas si consideramos los resultados obtenidos y los comparamos con la profundidad de curado de 2 mm asegurada por el fabricante, ya que los valores oscilaron entre 2 y 3 mm. Además se observa que la mediana se ubica en la mitad del gráfico y los bigotes tienen similar longitud por lo que podemos deducir que los datos se encuentran bien distribuidos.

En el Gráfico 2 también se puede observar que las diferencias obtenidas en la profundidad de curado de las 3 resinas en estudio, en las 3 distancias de fotoactivación evaluadas (0 mm en color azul, 4 mm en color verde y 6 mm en color amarillo) y graficadas en el box-plot se corresponden a lo obtenido en el Gráfico 2, confirmando que las profundidades de curado disminuyen a medida que aumentamos la distancia de fotoactivación. Destacable es el comportamiento de la resina Filtek Z350 XT, ya que en las 3 distancias evaluadas, la profundidad de curado siempre fue mayor a 2 mm, mayor a lo estipulado por el fabricante. Tal comportamiento nos permite deducir un buen comportamiento clínico de la resina frente a cavidades de gran profundidad, incluso polimerizando a 6 mm de distancia entre la lámpara y la resina.

Pruebas Paramétricas

Tabla VII: Prueba de normalidad (Kolmogorov-Smirnov)

Distancia	Resinas/PC	Significancia K-S
0 mm	SonicFill	,200
	Tetric BulkFill	,200
	Filtek Z350 XT	,200
4 mm	SonicFill	,200
	Tetric BulkFill	,085
	Filtek Z350 XT	,200
6 mm	SonicFill	,200
	Tetric BulkFill	,200
	Filtek Z350 XT	,200
Profundidad de Curado		,332

Analizando la Tabla VII, se concluye que todos los datos analizados tienen un p-valor es $> 0,05$ por lo que siguen una Distribución Normal. Por lo tanto, se acepta el supuesto de Normalidad de los datos en base a las pruebas paramétricas.

Tabla VIII: Prueba de Homogeneidad de Varianzas (Levene's)

Prueba Homogeneidad de Varianzas (Levene's)	
Significancia	0.096
Respecto 0,05	>
Conclusión	Varianzas son Iguales (Homocedasticidad)

En la Tabla VIII se observa el resultado de la prueba de Levene's concluyendo que se cumplen ambos supuestos de normalidad y de igualdad de varianzas, por lo que se procede a aplicar un ANOVA de 2 factores, el que se resume en la Tabla IX.

Tabla IX: Análisis de Varianzas (ANOVA de 2 Factores)

ANOVA 2 Factores: Profundidad de Curado como Variable Dependiente			
Variable	Significancia	Conclusión	
Resina	,000	<	Existen Diferencias
Distancia	,000	<	Existen Diferencias
Resina * Distancia	,000	<	Existen Diferencias

Resultado ANOVA

Los p-valores obtenidos son menores a 0.05, por lo que se concluye que las medias poblacionales (muestras) son distintas, es decir, existen diferencias en la profundidad de curado al variar la distancia, no obstante, no podemos establecer cuál de las resinas evaluadas es la que tiene un comportamiento distinto. Por lo tanto, se realizó la Prueba Post Hoc HSD Tukey (Comparaciones Múltiples) para establecer en qué resina (Tabla X) y en qué distancia (Tabla XI) existe una diferencia significativa.

Tabla X: Post- Hoc Test HSD Tukey Resina

Tukey Resina		Significancia	p-valor	Conclusión
Sonic Fill	Tetric	,002	<	Acepta H1
	Filtek	,000	<	Acepta H1
Tetric Bulk Fill	Sonic Fill	,002	<	Acepta H1
	Filtek	,000	<	Acepta H1
Filtek Z350 XT	Sonic Fill	,000	<	Acepta H1
	Tetric	,000	<	Acepta H1

Al analizar los datos obtenidos comparando el comportamiento entre las distintas resinas (Tabla X), se concluye que existen diferencias significativas entre las resinas, (p-valor de 0,000 – 0,002) por lo que se acepta la Hipótesis Alternativa.

Tabla XI: Post- Hoc Test HSD Tukey Distancia

Tukey Distancia		Significancia	p-Valor	Conclusión
0 mm	4 mm	,002	<	Acepta H1
	6 mm	,000	<	Acepta H1
4 mm	0 mm	,002	<	Acepta H1
	6 mm	,082	>	Acepta H0
6 mm	0 mm	,000	<	Acepta H1
	4 mm	,082	>	Acepta H0

Al analizar los datos obtenidos en la Tabla XI en donde se compara la profundidad de curado entre las distancias de 4 mm y 6mm, se concluye que NO existen diferencias significativas (p-valor ,082), por lo que se acepta la Hipótesis Nula.

Los resultados obtenidos no muestran mayores diferencias en la profundidad de curado entre las 3 resinas al ser polimerizadas entre 4 y 6 mm de distancia (p-valor ,082). Sin embargo, si existe una gran diferencia al comparar las 3 resinas entre 0 - 4 mm y entre 0 - 6 mm (p-valor ,002 y ,000 respectivamente).

Al analizar los datos obtenidos en la Tabla X sobre la comparación entre Filtek/Sonic Fill y Filtek/Tetric N Ceram BulkFill, se observa que las medias poblacionales son distintas debido a que existe un p-valor menor a 0.05 en las 3 distancias establecidas, se concluye que existen diferencias significativas entre las profundidades de curado de estas 3 resinas a diferentes distancias de fotoactivación, por lo que se acepta la Hipótesis Alternativa.

Los resultados obtenidos nos permiten establecer que las resinas tipo Buk Fill evaluadas en este trabajo de investigación (Sonic Fill y Tetric N Ceram BulkFill) poseen una mayor profundidad de curado que la resina convencional

(Filtek Z350 XT) al ser fotopolimerizados por 10 segundos utilizando una lámpara LED de intensidad mayor a 1000 mW/cm^2 . A pesar que las PC disminuyen cuando aumentamos la distancia de fotoactivación, se repite el patrón de que las resinas bulkfill poseen mayor PC que la resina convencional

DISCUSIÓN

Las resinas Bulk Fill han ganado adeptos al prometer una disminución del tiempo clínico empleado por los odontólogos en la restauración de dientes, sobretudo en el sector posterior, y además, prometer simplificar la técnica de restauración al permitir el uso de incrementos de hasta 4 mm para Tetric N Ceram BulkFill ⁽²⁰⁾ y 5mm para Sonic Fill ⁽²³⁾. Sin embargo, el hecho de poder utilizar incrementos de resina compuesta de hasta 4 - 5 mm ha generado ciertas interrogantes. La interrogante más grande es en relación a la profundidad de curado de estas resinas,^(30, 31, 32, 33) pero pocos han considerado que la distancia entre la lámpara de fotocurado y la resina compuesta no siempre es de 0 mm, aún habiendo contacto íntimo lámpara-diente, ⁽³⁷⁾ esta situación es evidente en los cajones proximales de restauraciones en el sector posterior en donde el fondo de cajón se encuentra al menos a 6 mm de la cara oclusal del diente, este aumento de la distancia es un factor que incide directamente en el grado de conversión de las resinas y en su profundidad de curado, ⁽³⁷⁾ lo que puede generar microinfiltración y en consecuencia, sensibilidad post operatoria, injuria pulpar o fracaso de la restauración. ^(32, 35)

Este trabajo de investigación buscó establecer el efecto que tiene la variación de la distancia entre la lámpara y la resina compuesta en la profundidad de curado de dos resinas Bulk Fill y una convencional como resina control.

Posterior a las pruebas estadísticas realizadas se concluyó que existen diferencias estadísticamente significativas entre la profundidad de curado y el aumento de la distancia entre la luz y la resina compuesta, específicamente, se logra establecer que el aumento de la distancia resina-lámpara disminuye la profundidad de curado.⁽³⁷⁾ Por lo tanto, con los resultados obtenidos se rechaza la Hipótesis Nula (H0) propuesta en nuestra investigación y se acepta la Hipótesis Alternativa (H1) que establece que existen diferencias significativas entre las profundidades de curado a medida que aumentamos la distancia de la lámpara.

En cuanto a la profundidad de curado obtenida por las resinas Bulk Fill (Tetric N Ceram BulkFill y Sonic Fill) fue mayor que la obtenida por la resina convencional (Filtek Z350 XT) al fotopolimerizar por 10 segundos con la lámpara Bluephase Style (3ra generación) con una intensidad promedio de 1140 mW/cm^2 (ver Anexo 1) en las 3 distancias evaluadas. A pesar de esto, en todas las mediciones la profundidad de curado de ambas resinas Bulk Fill fue inferior a la estipulada por el fabricante.^(20,23) Por el contrario, la resina Filtek

Z350 XT superó la profundidad de curado estipulada por el fabricante ⁽²⁵⁾ y lo exigido por la Norma ISO 4049 en las 3 distancias evaluadas (> 2 mm). (Ver Gráfico 3)

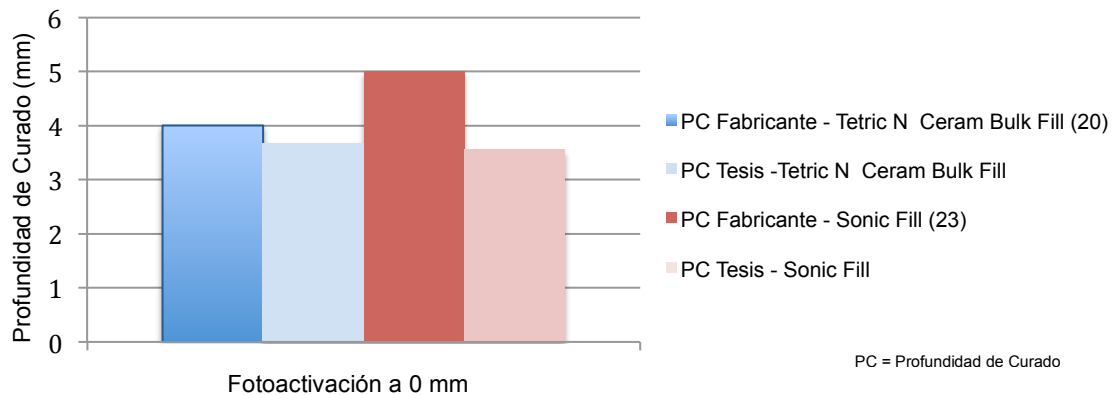


Gráfico 3: Comparación entre la profundidad de curado asegurada por el fabricante y la obtenida en este estudio para Tetric N Ceram Bulk Fill y Sonic Fill. ^(20, 23)

Tetric N Ceram Bulk Fill logró resultados levemente superiores a los obtenidos por Sonic Fill en las 3 distancias evaluadas. Además, cabe mencionar que la menor diferencia entre la profundidad de curado asegurada por el fabricante y lo obtenido en este trabajo de investigación ocurrió al polimerizar las resinas Bulk Fill a 0 mm, siendo específicamente Tetric N Ceram BulkFill la que logra acercarse más a lo estipulado por su fabricante (Ver Tabla VI).

La Tabla XII muestra un resumen comparativo entre las profundidades de curado aseguradas por el fabricante, las exigidas por la Norma ISO 4049 para

las resinas utilizadas y las obtenidas en este trabajo de investigación. Además establece si las resinas cumplen o no las estipulaciones de la Norma ISO 4049.

Tabla XII: Resumen comparativo de las profundidades de curado

Profundidad de Curado a 0 mm	Tetric N Ceram Bulk Fill ⁽²⁰⁾	Sonic Fill ⁽²³⁾	Filtek Z350 XT ⁽²⁵⁾
Asegurada por el fabricante	4 mm	5 mm	2 mm
Según Norma ISO 4049 (Profundidad curado fabricante menos 0.5 mm)	3.5 mm	4,5 mm	1,5 mm
Obtenida en este estudio	3,68 mm	3,55 mm	2,64 mm
Cumple Norma ISO 4049	Sí	No	Sí

La Norma ISO 4049:2009 establece como requisito que los cuerpos de prueba obtenidos no deben medir menos de 1.5 mm, ⁽³⁰⁾ adicionalmente exige que la profundidad de curado obtenida no debe diferir en más de 0,5 mm bajo el valor estipulado por el fabricante ⁽³²⁾ cuando se fotopolimeriza por el tiempo recomendado.

En este contexto, Ivoclar Vivadent asegura una profundidad de curado de 4 mm para su resina Tetric N Ceram BulkFill al polimerizar por 10 segundos con una intensidad $\geq 1.000 \text{ mW/cm}^2$. ⁽²⁰⁾ El resultado obtenido en este estudio a

fotoactivando a 0 mm de distancia fue en promedio 3,68mm, 0,32 mm bajo lo estipulado por el fabricante, sin embargo, cumple con la Norma ISO 4049 (profundidad de curado del fabricante 4 mm menos 0,5 mm = 3,5 mm). Kerr asegura una profundidad de curado de 5 mm para Sonic Fill al polimerizar por 20 segundos con una intensidad $\geq 550 \text{ mW/cm}^2$, ⁽²³⁾ se realizó una conversión de energías de polimerización para dicha resina con la finalidad de estandarizar los tiempos de fotoactivación. (Ver Tabla V) El resultado obtenido por Sonic Fill a 0mm fue en promedio 3,55mm, 1,45 mm bajo lo estipulado por el fabricante por lo que no cumple con la Norma ISO 4049 (profundidad de curado del fabricante 5 mm menos 0,5 mm = 4,5 mm).

Todos estos resultados coinciden con otros estudios que evaluaron la profundidad de curado de resinas Bulk Fill y convencionales utilizando la Norma ISO 4049. ^(32, 35, 39)

Flury y cols ⁽³⁰⁾ concluyeron que la profundidad de curado obtenida por la resina Tetric N Ceram Bulkfill fue de 3,32 mm, por lo que establecen que no cumplen con la Norma 4049 al fotopolimerizar por 10 s con una intensidad $\geq 1.000 \text{ mW/cm}^2$. Por el contrario, en el estudio de Benetti y cols. ⁽³²⁾ Tetric N Ceram Bulkfill cumple la Norma ISO 4049 al obtener 3,82 mm en la profundidad de curado, similar a los 3,68 mm obtenidos en este estudio.

En los estudios realizados por Ibarra y cols ⁽³⁵⁾ y Benetti y cols. ⁽³²⁾ se obtuvo una profundidad de curado de 3,67 mm y 3.43 mm respectivamente para Sonic Fill, similar a los 3,55 mm obtenidos en este estudio, por lo tanto, Sonic Fill no cumple la Norma ISO 4049 en este ni en otros estudios. El Gráfico 4 muestra las profundidades de curado obtenidas en distintos estudios realizados en base a la Norma 4049 con resinas Tetric N Ceram Bulk Fill y Sonic Fill al polimerizar a 0 mm de distancia.

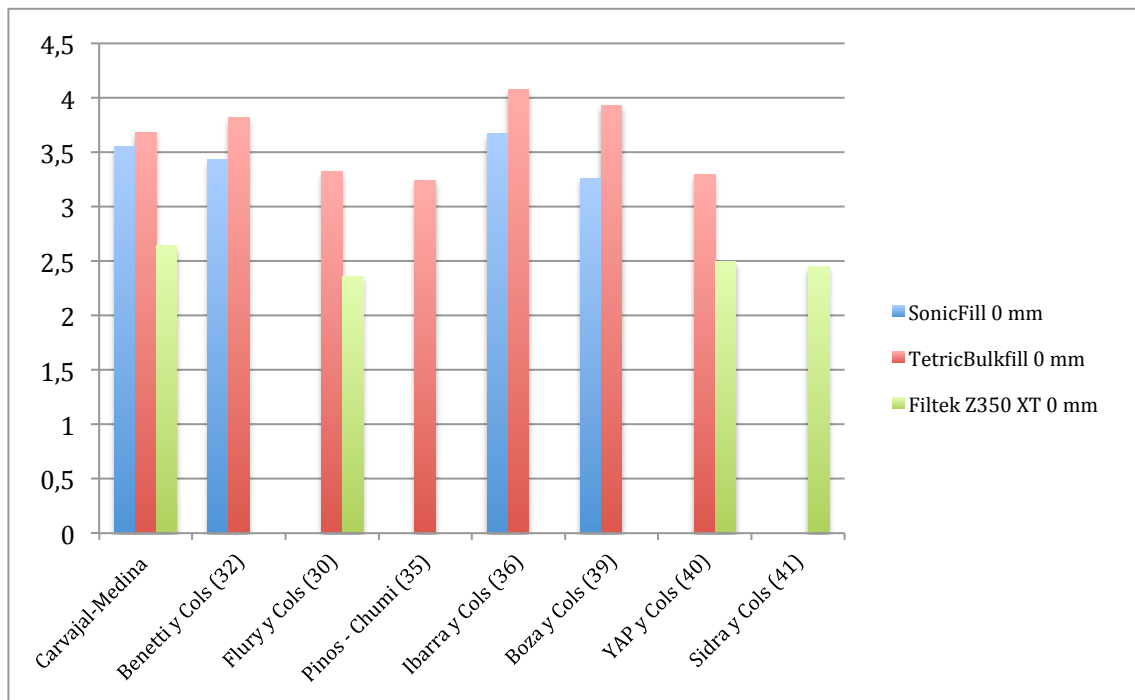


Gráfico 4: Comparación de estudios de profundidad de curado entre Tetric N Ceram Bulk Fill y Sonic Fill

El método propuesto por la Norma ISO 4049 tiende sobreestimar la profundidad de curado ^(30, 32, 35) en comparación a otros métodos como los Perfiles de dureza de Vickers o el Grado de Conversión, considerando este antecedente, llama la atención que Sonic Fill no logre un buen desempeño en este ni en otros estudios.

En un estudio realizado por Price y cols ⁽³⁷⁾ se evaluó la intensidad de la lámpara FlashLite Magna de 1026 mW/cm², intensidad similar a la lámpara utilizada en nuestro estudio, a medida que aumentaban la distancia entre lámpara y radiómetro y concluyeron que al aumentar la distancia a 4 mm, la intensidad bajo a 640 mW/cm² lo que equivale a una reducción del 37 % y cuando lo aumentan a 6 mm, la intensidad bajo a 436 mW/cm², o sea, la intensidad disminuyó un 57.5 %. Extrapolando estos resultados a los obtenidos en nuestra investigación, se justifica la disminución de la profundidad de curado en las 3 resinas a medida que aumenta la distancia. Específicamente, para la resina Sonic Fill, la profundidad de curado a 4 mm de distancia disminuyó en 11.8% y a 6 mm disminuyó en un 17.5%. Para la resina Tetric N Ceram Bulkfill, la profundidad de curado a 4 mm disminuyó en 13.6% y a 6 mm disminuyó en un 17.7%. Para la Resina Filtek Z 350 XT, la profundidad de curado a 4 mm disminuyó en un 10.2% y a 6 mm disminuyó en un 17%. (Ver Tabla VI)

Otra investigación ha demostrado que la profundidad de curado aumenta al extender el tiempo de fotopolimerización. Flury y cols.⁽³⁰⁾ demostraron un incremento promedio de un 17% en la profundidad de curado en resinas Bulk Fill al duplicar el tiempo de polimerización de 10 segundos a 20 segundos. En el mismo estudio se logró un incremento de un 13% en la profundidad de curado en resinas Filtek Supreme Plus (Z350 XT) al duplicar el tiempo de polimerización (2,36 mm en 10 segundos, 2,68 mm en 20 segundos). Por lo que se sugiere evaluar la profundidad de curado de estas resinas, aumentando el tiempo de polimerización a 20 segundos, para observar si es que mejorando este factor, las resinas estudiadas pueden mejorar su Profundidad de Curado.

Limitaciones del estudio

El método utilizado en este estudio (ISO 4049) es un método que sobrestima la profundidad de curado comparado con el método de Perfiles de Microdureza Vickers o Knoop.^(30, 32, 35)

Sugerencias para la Clínica

1. Siempre usar lámparas de intensidad $> 1000 \text{ mW/cm}^2$, sobre todo cajones proximales clase 2.
2. Considerar el uso de lámparas multimodales si la resina a utilizar lo amerita.
3. Aumentar tiempos de polimerización cuando la luz no quede en contacto íntimo con la resina para asegurar un grado de conversión y profundidad de curado adecuados.
4. Si bien las resinas tipo Bulk Fill permiten incrementos de hasta 4 mm, no en todos los casos puede lograrse una adecuada profundidad de curado.
5. A pesar de que Sonic Fill permite un cambio de viscosidad de la resina que le permite adaptarse de mejor forma a las paredes de las preparaciones cavitarias, en cavidades profundas ($> 4 \text{ mm}$) se debe condensar la resina para asegurar que se adapte en el fondo de la cavidad y asegurar que no queden burbujas.
6. Si bien el fabricante recomienda polimerizar por 10 segundos las resinas tipo Bulk Fill, doblar el tiempo (20 segundos) permite mejorar la profundidad de curado y el grado de conversión, en especial en cajones proximales.

CONCLUSIONES

1. La Hipótesis planteada en este trabajo de investigación se cumple al comprobar que existen diferencias significativas entre profundidad de curado y el aumento la distancia según la Norma ISO 4049:2000.
2. Las resinas Bulk Fill logran una mayor profundidad de curado que las resinas convencionales. Una posible explicación para las mejores profundidades de curado de los materiales Bulk Fill es la mayor cantidad de iniciadores y la inclusión de nuevos fotoiniciadores más reactivos y potentes y alta translucidez que permiten una mejor penetración de la luz.
3. La profundidad de curado efectivamente disminuye al aumentar la distancia entre la resina y la lámpara, esto se debe en gran medida a la disminución de la intensidad y a la mayor dispersión de la luz.
4. El comportamiento más deficiente en relación a la profundidad de curado lo presentan las resinas Sonic Fill en comparación a Tetric N Ceram Bulk Fill.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Blum, I. R., Lynch, C. D., & Wilson, N. H. (2014). Factors influencing repair of dental restorations with resin composite. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*, 6, 81–87. <http://doi.org/10.2147/CCIDE.S53461>
2. Uçar, Y., & Brantley, W. A. (2011). Biocompatibility of Dental Amalgams. *International Journal of Dentistry*, 2011, 981595. <http://doi.org/10.1155/2011/981595>.
3. MJÖR IA. Change in size of replaced amalgam restorations: A methodological study. *Oper Dent*, September 1998; 23(5):272-7.
4. Demarco FF, Corrêa MB, Cenci MS, Moraes RR, Opdam NJ. (2012). Longevity of posterior composite restorations: not only a matter of materials. *Dent Mater* 28:87-101.
5. Weig K, MagalhãesFilho T, Costa Neto C, Costa M. Evaluation of polymerization shrinkage of dental composites by an optical method. *Materials Science And Engineering C [serial on the Internet]*. (2015, Feb 1), [cited March 30, 2015]; 4770-76.
6. Domínguez R, Corral D, Bader M. “Análisis comparativo in vitro del grado de sellado marginal de restauraciones de resina compuesta realizadas con un material monoincremental (Tetric n-ceram bulk fill), y uno convencional (Tetric n-ceram)”. *Revista Dental de Chile*. 2015;106 (1):15-19.

7. Li X, Pongprueksa P, Van Meerbeek B, De Munck J. Curing profile of bulk-fill resin-based composites. *Journal Of Dentistry* [serial on the Internet]. (2015, June 1), [cited October 29, 2015]; 43664-672. Available from: ScienceDirect.
8. Mills RW, Uhl A, Jandt KD. Optical power outputs, spectra and dental composite depths of cure, obtained with blue light emitting diode (LED) and halogen light curing units (LCUs). *BrDent J* 2002; t 93(8):459-63.
9. Nomoto R, Uchida K, Hirasawa T. Effect of light intensity on polymerization of light-cured composite resins. *Dent Mater J* 1994;13(2): 198-205.
10. Lindberg A., Peutzfeldt A., y col. Effect of power density of curing unit, exposure duration, and light guide distance on composite depth of cure. *Clin. Oral Investig.* 2005 Jun; 9(2):71-6. Epub 2005 Apr. 7.
11. Furness A, Tadros M, Looney S, Rueggeberg F. Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites. *Journal Of Dentistry* [serial on the Internet]. (2014, Apr 1), [cited July 24, 2015]; 42439-449. Available from: ScienceDirect.
12. Rodríguez G., Pereira S. Evolución y Tendencias Actuales en resinas Compuestas. *Acta Odontológica Venezolana*. 2008, 46 (3): 1 – 19.)
13. Ada Council on Scientific Affairs. "Direct and indirect restorative materials." *JADA*, (2003); 134: 463-472.
14. Deborah S.; Katherine M.; Marcos A.; Gerald E. The physical properties of packable and conventional posterior resin-based composites: a comparison. *JADA* (2000); 131: 1610-1615.

15. Carvalho, R.M. et al. "A review of polymerization contraction: The influence of stress development versus stress relief". Oper Dent, v.21, n.1, p.17-24, 1996.
16. Fotopolimerización de Resinas Compuestas y Conceptos Afines. Artículos Científicos sobre Materiales Dentales. Facultad de Odontología UNAB 2008
<http://www.materialesdentales.cl/darticulos.php?p=2&art=articulo2&pt=4>
17. Avedaño Edgardo estudio comparativo en vitro de la microinfiltración en obturaciones de composite clase II utilizando adhesivos de quinta v/s sexta generación. Universidad Andres Bello 2012 17-21
18. Anusavice K, Phillip R. Phillips ciencia de los materiales dentales. Undécima ed. Editorial Elsevier. Madrid; 2004.
19. Catálogo Modificado de Productos Internacionales Kerr™ Corporation 2014
20. Mann E. "Cambiando el Paradigma en la Aplicación de Composites Tetric EvoCeram Bulk Fill" Edicion especial Ivoclar Vivadent. Santiago de Chile
21. Imagen obtenida desde la Web "<http://www.ivoclarvivadent.es/es-es/>"
23. "Sonic Fill™. Portfolio of Scientific Research." Kerr Corporation.
24. Imagen Obtenida desde: "<http://go.kerrdental.com/>"
25. "Filtek™ Z350 XT. Technical Product Profile. 3M ESPE. 2010
26. Carrillo C, Monroy M. "Materiales de Resinas Compuestas y su Polimerizacion". Revista ADM, Asociacion Dental Mexicana. 2009
27. "Guía sobre los criterios clínicos mas importantes a la hora de elegir una lámpara de Fotopolimerización". Ivoclar Vivadent Web:
<http://www.ivoclarvivadent.co/zooluwebsite/media/document/4129/LED+abecedario>

28. Al-Ahdal K, et al. "Polymerization kinetics and impact of post polymerization on the Degree of Conversion of bulk-fill resin-composite at clinically relevant depth". Dent Mater (2015),
29. Moszner N. "State of the art: Photopolymerization in Dentistry.", Report: Research and Development Ivoclar Vivadent AG, 9494 Schaan, Liechtenstein. N° 19 July 2013, pag 4 - 10.
30. Flury S. "Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? Dent Mater". [Internet]. 2012; 28(5): 521–528.
31. Alrahlah A. "Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin composites". Dent Mater. [Internet]. 2014 [Feb]; 30(2):149-54.
32. Bennetti AR, Havndrup-Pedersen C. Honore D. "*Bulk-Fill Resin Composites: Polymerization Contraction, Depth of Cure, and Gap Formation*", Operative Dentistry, 2015, 40-1, 000-000
33. Sabatini C, "*Evaluation of the depth of cure and surface micro hardness of a new bulk fill composite system*". Dental Biomaterials Research Laboratory, State University of New York, Buffalo, USA, October 2012
34. Ruggerberg F. "State of the art: Dental photocuring – A Review", Dental Materials 27 (2011), 39 – 52, Elsevier.
35. Pinos P, Chumi R, "*Estudio comparativo in vitro de la profundidad de curado de 2 resinas bulkfill vs una resina convencional en base a la distancia de la guía de luz y según la norma ISO 4049*", Tesis de Magister en Odontología Restauradora, pag 47, Universidad Andrés Bello. 2016. Viña del Mar. Chile

36. Ibarra E., Lien W., *“Physical properties of a new sonically placed composite resin restorative material”*. Dental Materials. 2013
37. Price R. Labrie D. Whalen J. *“Effect of Distance on Irradiance and Beam Homogeneity from 4 Light-Emitting Diode Curing Units” J Can Dent Assoc 2011;77:b9*
38. González G. *“Comparación de la profundidad de curado en 2 colores de resinas compuestas de nano-relleno en base a la distancia de la luz guía a la resina”* Tesis para optar a Grado de Magister. Facultad Odontología UNAB Santiago. 2016
39. Boza Y. *“Estudio de la profundidad de polimerización de resinas bulkfill a diferentes distancias de fotoactivación”*. [Internet]. Lima, Peru. Universidad Mayor de San Marcos - Facultad de Odontología; 2015
40. Yap A. Pandya M. *“Depth of cure of contemporary bulk- II resin-based composites”* Dental Materials Journal 2016; 35(3): 503–510
41. Sidra A *“Effect of Different Irradiation Times on Microhardness and Depth of Cure of a Nanocomposite Resin”* Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan 2011, Vol. 21 (7): 411-414

ANEXOS

ANEXO 1: Declaración de Intereses

Los materiales restauradores a utilizar son Tetric N Ceram Bulkfill y Sonic Fill, de la empresa Ivoclar Vivadent y Kerr respectivamente, los cuales fueron solicitados a modo de donación a los representantes chilenos.

La resina Filtek Z350 XT de la empresa 3M, fueron solicitados al mesón de materiales de la Facultad de Odontología de la Universidad Andrés Bello, sede Viña del Mar.

Declaramos que no existen intereses creados ni vínculo comercial pasado, presente ni futuro con las empresas que influyan o condicionen los resultados de este estudio.

ANEXO 2: Resultados Prueba Piloto

Promedio Intensidades Lámpara Bluephase Style mediante Bluephase Meter	
Shot	mW/cm ²
1	1320
2	1350
3	1020
4	1070
5	1160
6	960
7	970
8	840
9	820
10	1310
11	1380
12	1490
13	1410
14	920
15	1130
Promedio	1143.33

Tabla XIII: Promedio de 15 Intensidades medidas con el Radiómetro Bluephase Meter

Prueba Piloto de profundidad de curado con la resina Filtek Z350 XT a 0 mm de distancia		
Shot	Profundidad Absoluta (mm)	Profundidad / 2
1	5.56 mm	2.78
2	5.35 mm	2.66
3	5.63 mm	2.82
4	5.49 mm	2.75
5	5.73 mm	2.87
6	5.29 mm	2.65
7	5.54 mm	2.77
8	5.47 mm	2.74
9	5.42 mm	2.71
10	5.57 mm	2.79
Promedio		2.75 mm

Tabla XIV: Promedio de mediciones de profundidad de curado a 0 mm de Distancia utilizando la resina 3M Filtek Z350 XT obtenido en la prueba piloto.



Figura 15: Registro del radiómetro durante la prueba piloto.

ANEXO 3: Recolección de Mediciones Profundidad de Curado de la Resina Sonic Fill

Distancia desde la punta de la lámpara LED hasta la Resina							
		0 mm		4 mm		6 mm	
		LA	PC	LA	PC	LA	PC
Resina A Sonicfill	1	6.88	3,44	5.92	2,96	5.97	2,985
	2	7.00	3,5	6.20	3,1	6.08	3,04
	3	7.48	3,74	6.42	3,21	5.56	2,78
	4	6.73	3,365	6.20	3,1	6.16	3,08
	5	7.02	3,51	6.49	3,245	5.86	2,93
	6	7.08	3,54	6.45	3,225	6.06	3,03
	7	6.82	3,41	6.24	3,12	5.87	2,935
	8	7.01	3,505	6.47	3,235	5.87	2,935
	9	7.03	3,515	6.00	3,00	5.64	2,82
	10	7.16	3,58	6.17	3,085	5.41	2,705
	11	7.14	3,57	6.55	3,275	5.43	2,715
	12	6.84	3,42	6.05	3,025	5.52	2,76
	13	7.29	3,645	6.12	3,06	6.17	3,085
	14	7.21	3,605	6.33	3,165	5.87	2,935
	15	7.11	3,555	6.38	3,19	6.16	3,08
	16	7.24	3,62	6.45	3,225	5.83	2,915
	17	7.77	3,885	5.87	2,935	6.08	3,04

LA: Longitud Absoluta

PC: Profundidad de Curado

ANEXO 4: Recolección de Mediciones Profundidad de Curado de la Resina Tetric N Ceram Bulk Fill

Distancia desde la punta de la lámpara LED hasta la Resina							
		0 mm		4 mm		6 mm	
		LA	PC	LA	PC	LA	PC
Resina B Tetric BulkFill	1	6.99	3,495	6.17	3,085	5.87	2,935
	2	6.89	3,445	6.04	3,02	6.42	3,21
	3	7.00	3,5	6.44	3,22	6.00	3,00
	4	7.43	3,715	6.51	3,255	6.30	3,15
	5	7.45	3,725	6.22	3,11	5.97	2,985
	6	7.48	3,74	5.66	2,83	6.56	3,28
	7	7.34	3,67	6.55	3,275	6.27	3,135
	8	7.50	3,75	6.43	3,215	5.75	2,875
	9	8.07	4,035	6.59	3,295	6.02	3,01
	10	7.14	3,57	6.79	3,395	5.92	2,96
	11	7.61	3,805	6.57	3,285	5.73	2,865
	12	7.62	3,81	6.31	3,155	6.16	3,08
	13	7.03	3,515	6.52	3,26	6.08	3,04
	14	7.90	3,95	6.60	3,30	6.19	3,095
	15	7.15	3,575	5.94	2,97	6.23	3,115
	16	7.51	3,755	6.20	3,1	5.74	2,87
	17	6.84	3,42	6.46	3,23	5.75	2,875

LA: Longitud Absoluta

PC: Profundidad de Curado

ANEXO 5: Recolección de Mediciones Profundidad de Curado de la Resina Filtek Z350 XT

Distancia desde la punta de la lámpara LED hasta la Resina							
		0 mm		4 mm		6 mm	
		LA	PC	LA	LA	PC	LA
Resina Control Filtek Z350 XT	1	5.17	2,585	5.05	2,525	4.38	2,19
	2	5.47	2,735	4.83	2,415	4.28	2,14
	3	5.08	2,54	4.87	2,435	4.66	2,33
	4	5.47	2,735	4.78	2,39	4.51	2,255
	5	5.46	2,73	4.69	2,345	4.30	2,15
	6	5.14	2,57	4.87	2,435	4.45	2,225
	7	5.55	2,775	4.48	2,24	4.38	2,19
	8	5.63	2,815	4.40	2,20	4.34	2,17
	9	5.42	2,71	4.69	2,345	4.30	2,15
	10	5.15	2,575	4.85	2,425	4.40	2,2
	11	5.59	2,795	4.85	2,425	4.00	2,00
	12	5.16	2,58	4.33	2,165	4.12	2,06
	13	4.75	2,375	4.43	2,215	4.52	2,26
	14	4.77	2,385	5.02	2,51	4.22	2,11
	15	4.97	2,485	4.98	2,49	4.59	2,295
	16	5.26	2,63	4.60	2,3	4.48	2,24
	17	5.79	2,895	4.78	2,39	4.41	2,205

LA: Longitud Absoluta

PC: Profundidad de Curado