

**“EVALUACIÓN DE LA DUREZA SHORE DE TRES TIPOS DE RESINA
COMPUESTA FOTOPOLIMERIZADA A DIFERENTES INTERVALOS
DE TIEMPO E INTENSIDADES DE LUZ, DE LAS LÁMPARAS DE
POLIMERIZACIÓN LED DE MARCAS UTILIZADAS POR LOS ESTUDIANTES
DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN
CARLOS DE GUATEMALA.”**

TESIS PRESENTADA POR:

CARLOS AUGUSTO LÓPEZ VÁSQUEZ

Ante el tribunal de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que practicó el Examen General Público, previo a optar al título de:

CIRUJANO DENTISTA

Guatemala, marzo de 2014.

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Decano:	Dr. Edgar Guillermo Barreda Muralles
Vocal Primero:	Dr. José Fernando Ávila González
Vocal Segundo:	Dr. Erwin Ramiro González Moncada
Vocal Tercero:	Dr. Jorge Eduardo Benítez De León
Vocal Cuarto:	Br. Héctor Gabriel Pineda Ramos
Vocal Quinta:	Br. Aurora Margarita Ramírez Echeverría
Secretario Académico:	Dr. Julio Rolando Pineda Cordón

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PÚBLICO

Decano:	Dr. Edgar Guillermo Barreda Muralles
Vocal Primero:	Dr. Víctor Hugo Lima Sagastume
Vocal Segundo:	Dra. Marlen Esther Anayansi Melgar Girón
Vocal Tercero:	Dr. Herman Horacio Mendía Alarcón
Secretario Académico:	Dr. Julio Rolando Pineda Cordón

Los estudiantes que realizaron la presente investigación manifiestan expresamente, no tener ningún interés de tipo comercial ni económico, con las marcas involucradas en la misma.

ACTO QUE DEDICO:

- A DIOS:** por haber sido mi guía durante muchos años y por haberme permitido cumplir uno de los objetivos más importantes de mi vida.
- A MIS PADRES:** Lic. Augusto López y Miriam Vásquez, por compartir conmigo este sueño, que en momentos se veía inalcanzable y en otros imposible, pero con esfuerzo, convicción, perseverancia, por medio de un trabajo en equipo, y sobre todo sostenidos por la mano de Dios, pudimos con cada dificultad, alcanzando el éxito que ahora puede describirse como felicidad y satisfacción.
- A MI HERMANO:** Dr. Allan David López Vásquez , por haber estado en cada momento y por el apoyo que me brindó para poder lograr ser un buen profesional, por medio de su ejemplo y consejos.
- A MIS AMIGOS:** por su comprensión, amistad y ayuda que recibí incondicionalmente. Que Dios los Bendiga
- A MIS CATEDRÁTICOS** Por haberme formado profesionalmente, gracias a ustedes, y a la Universidad de San Carlos de Guatemala, por darme la oportunidad de haber culminado mis estudios académicos.

TESIS QUE DEDICO

A DIOS: POR PERMITIRME CUMPLIR ESTE OBJETIVO

A: GUATEMALA

A: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A: FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

A: MIS CATEDRÁTICOS

A: MI ASESOR

Dr. Herman Horacio Mendía Alarcón

A: Todas las personas que de una u otra manera han contribuido a la elaboración de esta Tesis.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Tengo el honor de someter a su consideración mi trabajo de tesis intitulado:

“EVALUACIÓN DE LA DUREZA SHORE DE TRES TIPOS DE RESINA COMPUESTA FOTOPOLIMERIZADA A DIFERENTES INTERVALOS DE TIEMPO E INTENSIDADES DE LUZ, DE LAS LÁMPARAS DE POLIMERIZACIÓN LED DE MARCAS UTILIZADAS POR LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.”, conforme lo demandan los Estatutos de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo a optar al Título de:

CIRUJANO DENTISTA

A ustedes distinguidos miembros del Tribunal Examinador, sírvanse aceptar las muestras de mi más alta consideración y respeto.

INDICE

	Pág.
Sumario	1
Introducción	2
Antecedentes	3
Planteamiento del problema	4
Justificación	5
Marco Teórico	6
Objetivos	31
Hipótesis	32
Variables	33
Metodología	34
Recursos	37
Resultados	38
Discusión	59
Conclusiones	61
Recomendaciones	62
Limitaciones	63
Bibliografía	64

SUMARIO

La presente investigación la realizaron los estudiantes Carlos Augusto López Vásquez y Augusto César Gutiérrez Meza, con el propósito de evaluar la eficiencia de las lámparas de fotopolimerización LED utilizadas en la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, sobre la profundidad de polimerización de las resinas compuestas, dependiendo de la intensidad de luz y de los intervalos de tiempo que presentaban cada una.

Con la ayuda de un radiómetro para lectura de lámparas tipo LED marca Kerr Demetron, se determinó que la media de intensidad en las lámparas evaluadas pertenecientes a los estudiantes de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala se encontraban en 627.64 mW/cm².

Se utilizó el método observacional dando como resultados que la mayor intensidad alcanzada por las lámparas en el estudio fue de 900 mW/cm² y la mínima de 400mW/cm².

Se evaluaron varias marcas de lámparas de fotopolimerización así como tres tipos de resina compuesta Z350 XT Body de 3M ESPE, Brillant NG de Coltene y Herculite Precis de Kerr, todas estas resinas compuestas de un color A₂.

Los resultados evidencian que habiendo diferencias estadísticas significativas en las mediciones realizadas se determinó que si se disminuye gradualmente la intensidad de las lámparas de fotopolimerización disminuirá la dureza superficial, que en este caso es dureza Shore D.

Así como a menor profundidad y mayor tiempo de exposición será más alta la dureza superficial de la resina compuesta, estableciendo una diferencia estadísticamente significativa ($p < .001$) entre los valores sometidos a las pruebas estadísticas, además se demostró que una resina compuesta con nanotecnología presenta una mayor dureza superficial en comparación con las demás resinas evaluadas, en grosores de 2 y 4 mm.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las lámparas de fotocurado han evolucionado variando su rango de efecto de luz, su forma ergonómica y su potencia de polimerización, en busca de una mejoría en la calidad de fotocurado de las resinas. Este estudio se realizó con el objetivo de comprobar si existían beneficios en la utilización de las lámparas tipo LED; tomando en cuenta la dureza superficial en diferentes tipos de resina.

Hoy en día es indiscutible que las resinas constituyen uno de los materiales de uso más frecuentes en Odontología, pues ofrecen adhesión y estética a la vez. Ellas pasan por un fenómeno de polimerización, el cual puede ser alcanzado a través de un proceso lumínico.

Una intensidad de luz insuficiente puede inducir a propiedades inferiores, tales como menor dureza y resistencia. Por el contrario una alta intensidad de luz puede provocar el aumento de la tensión de contracción.

Los principales factores responsables en el éxito de las restauraciones estéticas realizadas con resina compuesta fotopolimerizables son: una adecuada intensidad de luz ($> 400\text{mW/cm}^2$), una correcta longitud de onda y tiempo de exposición adecuado.

Entretanto, en los sistemas fotoactivados, la polimerización dependiendo del volumen el material pudiera no polimerizar de la misma forma por todo el material, como en las resinas químicamente activadas, pero solamente donde la luz consigue alcanzar, con una intensidad mínima, dentro del espectro de absorción de la canforoquinona que generalmente es activada por luz dentro de una longitud de onda entre 400-500 nm del azul del espectro visible.

Así pues para obtener propiedades físico-mecánicas óptimas y lograr una adecuada polimerización de las resinas compuestas, es fundamental conocer y tener en óptimas condiciones una lámpara de polimerización de luz emitida por diodos (LED's).

ANTECEDENTES

La medición de la microdureza es un método confiable para determinar que tan bien ha sido curada una resina. Además se ha comprobado que existe correlación entre una óptima polimerización de una resina compuesta y el grado de conversión de la resina y la microdureza. ⁽¹²⁾

La cantidad de energía recibida en la superficie de la parte inferior de la resina compuesta es afectada por muchas variables, tales como densidad de poder de la lámpara de curado, duración de exposición, diseño de la guía de curado, distancia de la guía de lámpara de curado a la restauración, y la composición, espesor, color y opacidad de las resinas compuestas. Consecuentemente, la medición de la dureza en la superficie superior de la restauración es un indicador pobre de la dureza de la parte inferior de la restauración. De cualquier manera, los valores de dureza de la parte superior y de la parte inferior de una resina compuesta de un grosor clínicamente representativo, pueden ser usados para comparar la eficacia de diferentes unidades de curado. En el curado de una resina compuesta de grosor clínicamente representativo conocido, idealmente la dureza de ambas superficies debe ser la misma. ⁽¹³⁾

Existe diferencia entre las superficies, ya que la parte superior está en íntimo contacto con la luz, mientras que la parte inferior del material; sólo se podría polimerizar bien si la intensidad de la luz es capaz de atravesar el material. ⁽¹³⁾

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente se desconoce la eficiencia de las lámparas de fotopolimerización LED utilizadas en la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, sobre la profundidad de polimerización de las resinas compuestas (cuál es su grado de polimerización/conversión), dependiendo la intensidad de luz que presentan cada una de las unidades de fotopolimerización, y si éstas están de acuerdo a los diferentes intervalos de tiempo dependiendo de cada unidad de curado; ya que según *David Lafuente, Rosa Blanco y Andrea Brenes,*⁽⁷⁾ las lámparas LED no siempre logran producir una dureza superficial aceptable en las resinas compuestas comparadas con las lámparas halógenas, por lo que se pretende comprobar si con el avance de la tecnología y la introducción de nuevas lámparas de fotopolimerización (LED) se puede lograr una dureza aceptable.

Hoy en día los fabricantes han aumentado la intensidad de las lámparas de polimerización con el fin de acelerar los procesos restaurativos, pero se desconoce si la dureza de los materiales de resina compuesta y la profundidad de polimerización se ve mejorada con estos aparatos. Este aumento de intensidad de luz pudiera tener beneficios en relación a la distancia de polimerización de las resinas pues a mayor distancia menor la intensidad de la luz y evaluar como la distancia entre la fuente de luz y el material se ven afectados.

Al modificar los intervalos de tiempo e intensidades de luz de las lámparas de polimerización LED surge la interrogante siguiente: ¿podrán éstos influir en la dureza superficial de tres tipos de resina compuesta?

JUSTIFICACIÓN

La búsqueda de tratamientos estéticos, restaurativos que se caracterizan por su adhesión y resistencia, ha convertido el uso de las lámparas de fotopolimerización en algo necesario e indispensable en cualquier consultorio dental. Debido a la gran variedad de aparatos fotoactivadores y con diferentes características disponibles en el mercado, se pretendió evaluar la dureza de varias resinas compuestas a diferentes profundidades de polimerización, utilizando unidades de fotocurado LED, para así poder establecer el tiempo adecuado y necesario de fotopolimerización para alcanzar una dureza considerable de la resina compuesta.

Debido a la gran variedad de aparatos fotopolimerizadores con diferentes características, disponibles en el mercado, se decidió realizar esta investigación para analizar la eficacia de las diferentes unidades de fotopolimerización a base de LED, utilizadas por los estudiantes de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para este estudio se hizo necesaria la participación de dos investigadores debido a la complejidad del estudio.

MARCO TEÓRICO

UNIDADES DE FOTOPOLIMERIZACIÓN

Las unidades de fotopolimerización se han convertido en uno de los mayores elementos de trabajo utilizados por el odontólogo tanto general como especialista, al igual que por el técnico de laboratorio.⁽⁷⁾

La luz ultravioleta fue el primer tipo de fuente lumínica, con una longitud de onda promedio de 360 nanómetros dentro del espectro electromagnético, utilizada en odontología para la fotoactivación de resinas en la década de los setenta, aunque se reemplazó rápidamente por otros sistemas debido a su escasa capacidad de penetración, lentitud de foto-activación y riesgo de dermatosis o lesión ocular ante exposiciones prolongadas.^(1, 7)

Así pues, desde mediados de los ochenta y hasta mitad de los noventa, la principal fuente de iluminación utilizada fue la lámpara halógena, la cual sufrió una escasa evolución cualitativa durante ese período, ya que los principales esfuerzos científicos se encaminaron hacia la mejora de la polimerización mediante el desarrollo y la evolución de la composición química de los materiales fotocurables.

La principal función de la lámpara de fotoactivación en el proceso de endurecimiento de la resina, consiste en la activación, mediante su energía lumínica de los compuestos químicos fotoiniciadores existentes en la propia formulación del material, los cuales desencadenan la reacción química de transformación del producto inicial en el producto final deseado. Estos compuestos, cuyo principal representante son las canforoquinonas, son especialmente sensibles a la energía lumínica en el rango de los 470-475 nm de longitud de onda (luz azul), y provocan tras su fotoactivación, la aparición de radicales libres capaces de desencadenar la reacción química deseada sobre el compuesto. Esto permitió eliminar una de las fases de manipulación como era la mezcla de dos pastas, base y catalizador para dispensar estos biomateriales, ahora en jeringas.⁽⁷⁾

Hoy en día es indiscutible que las resinas constituyen uno de los materiales más importantes en Odontología, pues ofrecen adhesión y estética a la vez. ⁽⁷⁾

Actualmente según Yoon (2002), existen diferentes fuentes lumínicas que pueden ser utilizadas para la polimerización de las resinas, como por ejemplo: ⁽⁶⁾

- 1- Lámparas halógenas.
- 2- Lámparas de plasma.
- 3- Lámparas láser.
- 4- Lámparas de diodos (LED).

Lámparas de fotocurado, fuentes de luz y sus rangos de longitud de onda de acuerdo a Cavanis. (1,11)

LÁMPARA	FUENTE DE LUZ	RANGOS DE LONGITUDES DE ONDA
Lámparas halógenas	Luz incandescente	360nm a 500nm
Lámparas de plasma	De arco, Xenón	460nm a 904nm
Lámparas laser	Argón, de diodos	488nm a 904nm
Lámparas LED	Emisión de diodos	450nm a 480nm

En la actualidad, la industria ha prestado nuevamente atención a la fuente lumínica de fotoactivación como nueva posibilidad para la mejora en las propiedades clínicas de estos materiales, introduciendo nuevas lámparas de fotopolimerización que pretenden superar las características de las antiguas lámparas halógenas o que incorporan otros tipos de fuentes lumínicas teóricamente más eficientes.

Es por ello, que aparece, recientemente un tipo de lámpara que trabaja con diodos (lámpara tipo LED). ⁽⁷⁾

LÁMPARAS DE DIODOS (LED)

Constituyen el tipo de lámparas de fotopolimerización de tecnología más reciente. Utilizan como fuente de iluminación los V-LED (visible-light emitting diodes), diodos de emisión de luz. La luz emitida por diodos, no produce una luz visible por el calentamiento de filamentos metálicos, pero presenta efectos quantum-mecánicos que es la cantidad de energía que puede emitirse, propagarse o absorberse. Según Mills y Jarđt (1999), el semiconductor se encuentra confeccionado fundamentalmente de silicio (sin embargo, pueden fabricarse utilizando otro tipo de semiconductor). El silicio posee una propiedad única en su estructura electrónica, cada uno posee 4 electrones en su órbita externa, lo que les permite combinar o compartir estos electrones con 4 átomos vecinos, formando así una malla cuadrangular o estructura cristalina. De esta forma no quedan electrones libres que puedan moverse a través de los átomos y, por tanto, estos materiales en su forma pura son básicamente aislantes. Sin embargo, cuando los mezclamos con pequeñas cantidades de otros elementos, se convierten en materiales conductores, procedimiento que se conoce como dopaje. Existen dos tipos de dopaje uno llamado positivo (silicio P) y otro denominado negativo (silicio N); cuando ambos silicios se combinan se crea el diodo, que podrá, de esa manera, generar la corriente eléctrica necesaria. Básicamente esta tecnología corresponde a la combinación de dos diferentes semiconductores n-doped y p-doped. Por sus siglas en inglés n-doped carga y lubricación negativa y p-doped carga y lubricación positiva.^(7, 18)

Además, en este proceso se libera energía en forma de radiación con diferentes tipos de longitudes de onda. El color de la luz emitida (longitud de onda) depende del tipo de semiconductor utilizado en la confección del VLED y de la proporción de todos los materiales.

Hoy en día es posible conseguir diodos de emisión de luz en todo el espectro visible y más allá, con una elevada vida útil, elevado brillo, alta eficiencia lumínica y estándares de calidad de acuerdo con exigentes normas de nivel mundial. Su bajo consumo comparado con otras fuentes de luz (incluso inferior a las lámparas de bajo consumo y tubos fluorescentes) lo posicionan dentro del grupo de productos ambientalmente amigables y ecológicos.

En el año 1995 aparecen en el mercado las lámparas de fotocurado tipo L.E.D. Esta tecnología consiste en lámparas que presentan diodos simétricamente ordenados que emiten una luz azul entre 440-490 nm. Con una media en los 460 nm., lo que permite activar al fotoiniciador y producir la polimerización del material.

La potencia de las lámparas L.E.D. oscila entre los 1000-1400 mW/cm², a pesar de que sólo se necesita 300-400 mW/cm² para lograr una buena polimerización.

Debido a su alta potencia los fabricantes aseguran que, en comparación con una lámpara halógena convencional, las lámparas L.E.D. logran una mayor polimerización de las resinas compuestas con un menor tiempo de exposición lumínica. ⁽⁵⁾

Una intensidad de luz de 233 mW/cm² promueve suficiente energía para que los monómeros se conviertan en polímeros, siendo verdadero cuando la luz está en contacto directo con el material, sin embargo, este no es el caso de los cementos de composite, donde el bloqueo de la luz reduce la cantidad de radicales de Canforoquinona excitados, dando como resultado una alta cantidad de radicales libres.

Otros autores recomiendan que los incrementos de resina no deben ser mayores de 1 mm, y que los incrementos de 2 mm sólo pueden ser utilizados cuando se cuenta con unidades de fotoactivación de alta potencia junto a tiempos más largos de exposición.

Una inadecuada polimerización está asociada a propiedades mecánicas pobres, aumento de la sensibilidad dental, respuesta adversa de la pulpa y fallas en la retención de la restauración indirecta, todo esto causado por los monómeros residuales.

Un inconveniente que es común a todas las fuentes LEDs disponibles comercialmente hoy en día, es su espectro de emisión. La anchura espectral real de este LED es 410-530nm, si bien la anchura espectral a mitad de pico se sitúa en torno a 450-490nm. Este rango asegura la activación de la canforoquinona, principal fotoactivador en la formulación de las resinas compuestas para Odontología. Sin embargo, los fabricantes a veces incluyen otros productos como la fenilpropandiona o la lucerina, cuyos espectros de absorción no coinciden con el de emisión de las fuentes LEDs. Esto se traduce en la

incompatibilidad composite-lámpara, ya que ésta no sería capaz de activar la reacción de polimerización del material.

Otro inconveniente de la lámpara es su tiempo de recarga, que es de alrededor de 10 horas, aunque sólo podría ser problemático en aquellas clínicas en las que su uso sea muy intensivo. ⁽¹⁴⁾

Ventajas

Teóricamente estas lámparas tienen ciertas ventajas sobre las lámparas halógenas según Mills y colaboradores (2002) ⁽⁷⁾, entre las cuales se encuentran:

- Son pequeñas y ergonómicas debido al pequeño diámetro de la fuente luminosa (el diámetro de un V-LED es de 2 - 4,5mm).
- Son silenciosas puesto que este tipo de bombillas no requieren refrigeración mediante ventilador. ^(1,7)
- Son de bajo consumo eléctrico (Medeiros, 2001) ⁽⁸⁾, lo que permite el uso de batería que evita, a su vez, la incomodidad de la existencia del cable conectado a la base. ^(1,7)
- Son bombillas de larga duración y no presentan, según el fabricante, pérdida de intensidad de iluminación por envejecimiento, a diferencia de lo que ocurre con las bombillas halógenas y de plasma.
- Poseen una vida útil de alrededor de 10,000 horas, y produce un pequeño desgaste durante este tiempo. ^(7,8)
- Generan bajas cantidades de calor. ^(1,7)
- Los V-LED empleados emiten luz azul con la longitud de onda adecuada para la foto-activación sin necesidad de interposición de filtro óptico, porque emiten luz en una longitud de onda específica dentro de 400 nm a 500 nm. El espectro de salida cae dentro de 410 nm y 490 nm. ^(7,9)

Esto indica que con menor potencia lumínica se dispone de una fuente luminosa de mayor eficiencia comparable a la de las lámparas halógenas, más potentes pero con ausencia de las radiaciones caloríficas indeseables próximas a la banda del rojo que éstas poseen. ^(7,9)

Desventajas

Este tipo de lámparas de fotocurado presentan muchas ventajas con respecto a las otras mencionadas anteriormente; sin embargo también poseen muchas desventajas (Richard, 2003) ⁽⁷⁾ entre las cuales se pueden citar:

- Poca evidencia científica de su comportamiento clínico a largo plazo.
- Costo elevado.
- Se debe colocar la lámpara en la base de recarga para modificar el cronómetro y los tiempos de funcionamiento.
- La estrecha fuerza espectral no polimeriza todas las resinas del mercado.^(7,9)

Según Mills las lámparas que utilizan diodos (LED) poseen mayor profundidad de curado que las halógenas, además de tener una mayor vida útil. ⁽⁷⁾

FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE POLIMERIZACIÓN

Ciertos materiales logran su reacción de endurecimiento (fraguado) por una reacción de polimerización. Cuando esta polimerización se realiza por adición, requiere energía para activar la etapa de iniciación y así se podrá completar convenientemente la reacción en un lapso no muy prolongado (Macchi, 2000).⁽¹¹⁾

En la fotoactivación, esa energía se obtiene por medio de la absorción de la radiación por una sustancia apropiada. Ésta, así activada, produce el desdoblamiento de dobles enlaces de moléculas (monómeros) presentes en un material.

La tecnología del fotocurado se basa en la fotoquímica, es decir, en la producción de trabajo a través de la energía radiante para desencadenar una reacción química. Para que se produzca el fotocurado es necesario que la radiación lumínica sea absorbida por el material.

Dicha absorción se produce en función de la longitud de onda de la radiación incidente y de las características de la estructura sobre la que incide. En las resinas compuestas y en algunos otros materiales usados en odontología, es posible incorporar sustancias que, al absorber una radiación de una determinada longitud de onda, pueden desencadenar el trabajo de polimerización.

El proceso de polimerización se lleva a cabo en cuatro periodos: inducción, propagación, transferencia de cadena y terminación.⁽²⁾

El nivel de dureza obtenida en los materiales de restauración dental a base de resinas compuestas se encuentra íntimamente relacionado al nivel de polimerización en sus etapas de inducción, propagación y transferencia en cadena. La polimerización se inicia mediante una cantidad adecuada de fotones que consecuentemente activa una cantidad suficiente de radicales libres para lo que es necesario una adecuada penetración en profundidad de la luz para la conversión del monómero de polímero.⁽¹¹⁾

Las radiaciones electromagnéticas pueden ser identificadas por su longitud de onda. Su espectro comienza en valores inferiores al nanómetro (milésima de micrómetro) con los rayos cósmicos y se extiende hasta valores superiores al metro o sus múltiplos como las ondas de radio o televisión. Entre ambos extremos se encuentra el espectro de la llamada luz visible, constituido por las radiaciones que el ser humano es capaz de reconocer con el sentido de la visión. Su rango está entre los 400 y 700 nm aproximadamente, con las radiaciones que se perciben como violetas en el límite inferior y las rojas en el superior. Los restantes colores se ubican entre ellas (Macchi, 2000).⁽²⁾

En el caso de materiales en los que la reacción de polimerización debe ser activada en la cavidad bucal, la radiación a emplear debe reunir ciertas características básicas. No debe tener una longitud de onda reducida, ya que éstas son incompatibles con la seguridad biológica que el trabajo requiere. En el otro extremo, las radiaciones de muy larga longitud de onda como las ondas de radio o televisión, si bien no producen daño significativo, no resultan aptas.

Todas estas consideraciones hacen que, para las condiciones a que se está haciendo referencia (activación directa en el medio bucal), la sustancia que sea incorporada a un material para ser activada,

debe hacerlo absorbiendo radiaciones con longitudes de onda de aproximadamente entre 450 y 500 nm, que corresponden fundamentalmente al color azul. La combinación dicetona-amina cumple con estas condiciones.

Los dispositivos a utilizar con dichos materiales fotocurables deben ser capaces, por tanto, de generar una radiación de esas características y evitar su combinación con otras más cortas o más largas que producirían efectos indeseables. Las unidades para la activación intrabucal de la polimerización, funcionan aportando una radiación que oscila en un valor medio de alrededor de 470 nm. Por ello, también pueden denominarse dispositivos de luz azul. ⁽²⁾

Ha sido demostrado experimentalmente que una lenta reacción de polimerización de las resinas compuestas puede causar menor daño a la interface de la restauración, por aumentar el escurrimiento del material en la fase inicial de la formación de los polímeros, disminuyendo así la tensión de la contracción de polimerización. Una intensidad de luz insuficiente puede inducir a propiedades inferiores, tales como menor dureza y resistencia, siendo que una intensidad de luz alta puede aumentar la tensión de contracción. Los principales factores responsables por el éxito de las restauraciones estéticas realizadas con resina compuesta fotopolimerizables son: emisión de suficiente intensidad de luz, correcto largo de onda y tiempo de exposición adecuado. Por tanto, en los sistemas que son fotoactivados, la polimerización no ocurre en toda la masa ni por todo el volumen, como en las resinas químicamente activadas; la polimerización solamente ocurre hasta donde la luz penetra, con una intensidad mínima, y dentro del espectro de absorción de la canforoquinona. (MARTINS et al. 2002). ⁽⁵⁾

Un importante avance en la historia de la odontología restaurativa moderna es el desarrollo de resinas compuestas fotocuradas para procedimientos directos. Mejoras en las propiedades mecánicas de la resina compuesta y en las unidades de fotocurado usadas para polimerizarlas han permitido su uso en dientes posteriores con más confiabilidad que años atrás. La polimerización de la resina compuesta ocurre a través de la conversión de moléculas monoméricas de resina a red de polímeros acompañada por un paquete conglomerado de moléculas, las cuales causan contracción de la resina compuesta. Cuando más intensidad de luz es usada para curar una resina compuesta, más fotones alcanzan y activan la canforoquinona, molécula fotoiniciadora que está dentro de la resina y aumentan a un estado

de excitación. La molécula de canforoquinona excitada entonces choca con moléculas amino formando radicales libres, los cuales en la reacción con el carbono a doble carbono de un monómero, inicia la polimerización. ⁽²⁾

La adecuada polimerización es un factor crucial en la obtención de un comportamiento físico óptimo para mejorar el comportamiento clínico de la resina compuesta. De cualquier manera, hay varias variables que afectan la cantidad de luz entregada a la superficie de la restauración de resina compuesta. Estos incluyen lo siguiente.^(13, 10)

- Diseño y tamaño de la guía de luz
- Distancia del extremo de la guía de luz hacia la resina compuesta
- Intensidad de potencia
- Duración de exposición
- Sombra y opacidad de la resina compuesta
- Incremento de espesor y la composición del material⁽¹³⁾

Cuando la resina compuesta no recibe suficiente energía, varios problemas pueden ocurrir con la restauración final, entre ellos:⁽²⁾

- Una reducción en la cantidad de conversión de monómero a polímero.
- Un incremento en la citotoxicidad del material restaurativo
- Una reducción en la dureza del material restaurativo
- Un incremento de pigmentación.
- Una disminución del módulo dinámico de elasticidad
- Incremento de fractura marginal
- Un enlace débil entre el diente, adhesivo y la restauración⁽²⁾

Clínicamente la polimerización deficiente puede ocurrir en cavidades clases I profundas y clases II, por la dispersión de la luz que ocurre debido a la distancia entre la guía de la lámpara de fotocurado y el primer incremento de resina compuesta. En una cavidad clase II profunda, la interface entre el primer incremento de resina compuesta y la estructura dental puede ser subpolimerizada. La exposición

de esta interface al ambiente oral puede resultar en decoloración marginal, fractura de la restauración, tan bueno como la solubilidad de la resina compuesta y el adhesivo llevando a microfiltración y caries secundaria. ⁽²⁾

Por lo tanto, la polimerización adecuada es necesaria para alcanzar propiedades físicas y mecánicas del material. Una estrategia para superar la reducción en la intensidad de luz con la distancia es el uso de unidades de curado con alta intensidad de luz. Concluyendo que si una resina compuesta se polimeriza con un rango alto de intensidad, la dureza de la parte inferior de la resina compuesta se incrementa significativamente. El curado con unidades de luz de alta intensidad ocurre muy rápido. Esto es recomendado porque la profundidad de curado y las propiedades físicas creadas mejoran, cuando estos sistemas son usados. De cualquier manera, las intensidades altas no permiten suficiente fluidez para la reducción de estrés en el material restaurativo, contribuyendo así a un aumento de contracción de polimerización. ⁽²⁾

Unidades LED con características de muchos rangos espectrales son unidades de luz muy eficientes. Operando alrededor de 470nm, con una longitud de onda de un rango +/- de cerca de 20 nm, LEDs azules tienen todo el espectro puro para un eficiente curado de resinas compuestas de alto curado. Algunos estudios han demostrado buen rendimiento de estas unidades en términos de una adecuada profundidad de curado, fuerza flexural y dureza superficial. ⁽²⁾

Otra manera de superar la reducción de la intensidad de luz debido a la distancia puede ser el incremento del tiempo de curado, de acuerdo a Sobrinho et al. el tiempo de curado recomendado por fabricantes puede ser extendido para curar la resina compuesta sea la profundidad de restauración que sea. De cualquier manera, de acuerdo a Prati et al. el clínico debería ajustar el tiempo de curado para la profundidad de la cavidad y la intensidad de curado. ⁽²⁾

Algunos estudios han sido realizados con el propósito de medir la profundidad de curado de las resinas compuestas en situaciones donde la guía de curado es distante del material. Es importante evaluar el mínimo de tiempo de curado requerido para la correcta polimerización para la unidad de curado usada. ⁽²⁾

Una polimerización adecuada es un factor crucial para obtener el óptimo rendimiento físico de los materiales de resina compuesta. Varios estudios han sido realizados con el intento de evaluar un método de polimerización, una unidad de curado, o para determinar si la polimerización adecuada de un material restaurativo ocurre bajo condiciones específicas. ⁽²⁾

RESINAS COMPUESTAS

Material con una gran densidad de entrecruzamiento poliméricos, reforzados por una dispersión de sílice amorfo, vidrio, partículas de relleno cristalinas u orgánicas y/o pequeñas fibras que se unen a la matriz gracias a un agente de conexión. ⁽¹⁾

Hay tres componentes estructurales en las resinas compuestas dentales:

1. Matriz: material de resina plástica que forma una fase continua que contiene las partículas de relleno.
2. Relleno: fibras y/o partículas de refuerzo que se dispersan en la matriz.
3. Agente de conexión: adhesivo que favorece la unión entre el relleno y la matriz de resina. ⁽¹⁾

Matriz de resina

La mayoría de las resinas emplean una mezcla de monómeros de dimetacrilato alifáticos y/o aromáticos, como la Bis-GMA, uno de los ingredientes más utilizados, TEGDMA y el UDMA. El UDMA, la bis-GMA, y el TEGDMA son ingredientes de la matriz de resina que más se emplean para formar estructuras de polímero entrecruzado. ^(1,3)

Partículas de relleno

La incorporación de partículas de relleno dentro de la matriz de resina mejora sustancialmente las propiedades del material, siempre que las partículas estén bien adheridas a la matriz; una de estas

propiedades importantes para el estudio es el refuerzo de la matriz de resina, que provoca una mayor dureza, resistencia y una disminución del desgaste. ^(1,3)

FACTORES CLÍNICOS QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA DE UNA ADECUADA POLIMERIZACIÓN DE UNA RESINA COMPUESTA

Pueden dividirse ampliamente en cuatro categorías: ⁽¹⁰⁾

- Factores asociados con las unidades de fotocurado
- Factores relacionados a la resina compuesta
- Aspectos ambientales
- Otros aspectos

Factores dependientes de la lámpara de polimerización

- **Extremo de la lámpara**

Debe evitarse la acumulación de pequeñas cantidades de resina compuesta adheridas en el extremo de la lámpara, porque disminuirá en forma importante la intensidad de polimerización. La luz emergente de la punta tiene que ser uniforme en toda su superficie. De este modo se logrará una adecuada densidad lumínica (Macchi, 2000). ⁽¹⁶⁾

- **Angulación de la extremidad de curado**

Un haz luminoso usualmente se dispersa desde el origen de la extremidad de la lámpara de curado, produciendo una distribución no homogénea de la intensidad de la luz. ⁽¹⁰⁾

Las fibras ópticas de los haces son muy frágiles y pueden romperse con el uso. La integridad del sistema óptico de conducción es indispensable para el logro de una adecuada intensidad lumínica. ⁽¹⁶⁾

- **Intensidades de las lámparas de fotopolimerización**

Existen intensidades mínimas que van desde 300mW/cm^2 hasta densidades mayores de $1,600\text{mW/cm}^2$, que utilizan las lámparas de arco de plasma de espectro estrecho; los fabricantes han ido incorporando en el mercado lámparas con una mayor intensidad en un intento por acortar el tiempo de polimerización de las resinas compuestas. Diversos trabajos han intentado relacionar la pérdida de propiedades (como la contracción entre otros) con la densidad lumínica; obviando que para el mismo grosor de material (2mm máximo) el tiempo de fraguado es menor, cuanto mayor es la intensidad, aunque dicho aumento en la potencia de las lámparas no permite incrementar el grosor de la aposición de resina compuesta. ⁽¹¹⁾

La intensidad de la lámpara es determinada por el grado de potencia y el diámetro de la guía de la lámpara. Una adecuada densidad de energía (intensidad multiplicado por tiempo de exposición) es requerida para un curado adecuado de la resina. Por lo tanto, la intensidad de salida de la lámpara debería siempre ser mantenida a lo largo de la vida clínica de la unidad de fotocurado. Usualmente, la salida de luz de la lámpara y la efectividad de curado se reduce con el tiempo. ⁽¹⁰⁾

Los valores de intensidad mínimos, deben estar en 300mW/cm^2 . En forma óptima la intensidad debe estar entre $400\text{-}800\text{ mW/cm}^2$ en promedio. ⁽¹⁰⁾

Para las restauraciones directas, se requiere al menos una intensidad lumínica de 400 mW/cm^2 . Sin embargo, lo ideal, para asegurar la completa polimerización de las resinas compuestas a través de la estructura dental o de una restauración de cerámica son al menos $1,000\text{ mW/cm}^2$. De acuerdo con el Concepto de Energía Total, desde el punto de vista técnico, se necesita una intensidad lumínica por encima de $1,000\text{ mW/cm}^2$ para polimerizar una resina compuesta en diez segundos. Por lo tanto, una menor intensidad necesita un tiempo de polimerización correspondientemente más largo. ⁽¹²⁾

Si ello no se cumple, no se asegura una meticulosa polimerización de las resinas compuestas y adhesivos en capas más profundas. Por esta razón, debe controlarse con regularidad, la intensidad lumínica de las lámparas, que disminuye con el tiempo. Para este fin, son muy útiles los radiómetros integrados o suministrados por separado. ⁽¹²⁾

El Concepto de Energía Total afirma que el proceso de fotopolimerización es independiente de la energía y queda predominantemente determinado por el resultante del producto de la intensidad lumínica y el tiempo (ejemplo: 20 segundos de fotopolimerización con $800 \text{ mW/cm}^2 = 20 \times 800 \text{ mW/cm}^2 = 16,000 \text{ mWs/cm}^2$).

Dependiendo del tipo, color y transparencia de la resina compuesta, la dosis requerida para polimerizar el material es diferente. Por lo general, incrementos de 2 mm de grosor se polimerizan adecuadamente aplicando una dosis de $16,000 \text{ mWs/cm}^2$, en ciertos casos incluso menos. ⁽¹²⁾

Todos los fabricantes de dispositivos de polimerización dental compran sus LEDs a proveedores externos. Sin embargo, la calidad de los distintos diodos emisores de luz disponibles en la actualidad difiere de forma muy considerable. Por ejemplo, la fuerza radiométrica de luz azul de los LEDs de uno de los principales proveedores internacionales, fluctúa entre 275 y 1,050 milivatios. Debido a que la fuerza radiométrica de los LEDs afecta directamente a la intensidad lumínica de la lámpara de polimerización, en algunas unidades puede haber considerables diferencias entre los valores proporcionados por el fabricante y la intensidad lumínica real. ⁽¹²⁾

Por ejemplo, en lugar de $1,050 \text{ mW/cm}^2$, una lámpara de polimerización puede suministrar sólo 275 mW/cm^2 para procesos de polimerización. Como las diferentes intensidades lumínicas no se pueden establecer en el transcurso de los trabajos dentales rutinarios, estas variaciones pueden ser las responsables de una inadecuada polimerización de ciertos materiales. Ello afectará rápidamente a la duración de la obturación. ⁽¹²⁾

Un gran número de las lámparas LED comercializadas en la actualidad, han demostrado que la anterior situación se da con bastante frecuencia. En lugar de emitir los 1,400 mW/cm² anunciados, emiten menos de 700 mW/cm². Esta tolerancia podría compensarse ampliando el tiempo de polimerización. Sin embargo, a menudo el usuario ignora la salida real de la luz, debido a que dicha información no se proporciona. La intensidad lumínica mínima garantizada por el fabricante es más importante para el usuario que la intensidad lumínica global. Generalmente, esta información se encuentra en las instrucciones de uso. Por ello, recomendamos que se pregunte al fabricante, específicamente acerca de la intensidad lumínica mínima de la lámpara correspondiente, o revisar la lámpara con un radiómetro. ⁽¹⁹⁾

Una intensidad de luz insuficiente puede producir en la resina compuesta propiedades inferiores, tales como menor dureza y resistencia, mientras que una intensidad de luz alta puede aumentar la tensión de contracción. (KORAN, KURSCHNER, 1998;⁽⁵⁾ LEINFELDER, 1999;⁽⁵⁾ SINHORETI, 2001).⁽⁵⁾

- **Longitud de onda**

La longitud de onda para activar la mayor parte de las canforoquinonas que se utilizan en la actualidad oscila entre 440 y 490 nm. No obstante existen resinas que precisan longitudes de onda diferentes, lo que hace que algunas de las nuevas tecnologías en lámparas sean poco eficaces con algunas resinas compuestas. El no tener en cuenta este aspecto puede hacer que las propiedades físicas y mecánicas del producto polimerizado no sean las idóneas para el resultado clínico que se espera obtener. ⁽¹¹⁾

Por sí mismos, los LEDs tienen un espectro de luz mucho más limitado que las lámparas halógenas. Por lo tanto, pueden aparecer problemas incluso con lámparas LEDs nuevas, si éstas se utilizan para polimerizar un material cuyo sistema de iniciadores no esté basado en canforoquinona. Entre estos materiales se incluyen ciertos adhesivos y resinas compuestas de colores Bleach. En dichos casos, las lámparas de polimerización cuyo espectro no esté exclusivamente orientado a la máxima absorción de la canforoquinona son una desventaja.

Para que los odontólogos puedan polimerizar adecuadamente los materiales que utilizan, los fabricantes de lámparas deberían incluir con el suministro de las mismas una lista de materiales compatibles con la correspondiente lámpara.

Además, si los fabricantes, debido a la creciente popularidad de las lámparas LED, se ven obligados a reemplazar ciertos materiales por materiales sucesores compatibles o adaptar los sistemas de iniciadores de sus productos, como sucedió en el caso de Tetric Ceram Bleach de Ivoclar Vivadent, éstos deberían informar a sus clientes convenientemente. ⁽¹¹⁾

• **Intervalos de tiempo utilizados en las lámparas de fotopolimerización**

Ante condiciones normales de funcionamiento de la unidad de fotocurado se recomienda una exposición de 20 a 40 segundos con incrementos de resina compuesta de 1 a 2 mm de espesor como máximo. Se debe recordar que colores de resina compuesta de alto croma (B3-B4-C4-D4-D3), requieren una mayor exposición. En igual forma la intensidad de la luz se debilita en forma directa a la distancia de la punta de la fibra conductora: a mayor distancia entre la punta activa y la superficie del incremento de resina compuesta, menor intensidad recibida.

Un adecuado fotocurado de las resinas compuestas y agentes adhesivos no dependen únicamente de las unidades de fotocurado, también influye el tiempo de exposición. Un tiempo estándar de 20 segundos es usualmente requerido para fotocurar una profundidad de 2.0 mm a 2.5 mm por unidades de fotocurado que tienen una potencia de 800 mW/cm². Para una unidad que emite 400 mW/cm², un tiempo de exposición de 40 segundos es requerido para curar a través de una capa gruesa de 2 mm. Así, incrementando la potencia de la lámpara se reduce el tiempo de exposición requerido para una profundidad dada y también incrementa el rango y grado de curado. Esto debido a que la potencia es el producto de la intensidad multiplicada por el tiempo de exposición, la misma energía puede ser consumida en altas o bajas intensidades para modificar el tiempo de exposición para maximizar la eficiencia de energía. Un tiempo de exposición de 40 segundos es considerado óptimo para todas las unidades de fotocurado usadas

para resinas compuestas. El tiempo de exposición requerido puede ser influenciado por el tipo de unidad de fotocurado, colores de la resina compuesta y formulación de la misma. ⁽¹⁰⁾

- **Distancia de la extremidad de fotocurado hacia la superficie de la resina**

La intensidad de luz que llega a la superficie de la restauración de la resina es inversamente proporcional a la distancia de la extremidad de fibra óptica de la luz de fotocurado hacia la superficie de la resina compuesta. Es importante resaltar que para todas las unidades de fotocurado, la profundidad de curado generalmente decrece según la distancia desde la extremidad que se incrementa. Idealmente, la extremidad debería colocarse a una distancia de 3 mm de la resina para ser efectiva. Para colores oscuros, el incremento debería estar limitado a 1 mm de espesor. Mientras la intensidad y la profundidad de curado disminuyen con el incremento de la distancia, la relación entre estos factores y la distancia podrían no ser similares para todas las lámparas de fotocurado. ⁽¹⁰⁾

Factores dependientes del material

Las resinas han sido usadas en Odontología hace más de 40 años y han sufrido constantes modificaciones por parte de los fabricantes, proporcionando mejores propiedades mecánicas y resultados estéticos más satisfactorios a los pacientes. La morfología y el tamaño de las partículas tienen gran influencia en las propiedades de la resina, como superficie lisa, viscosidad, resistencia a la fractura, desgaste, dureza, contracción y profundidad de polimerización.

Un factor importante a ser considerado en el proceso de fotopolimerización de las resinas compuestas es el grado de conversión, así como la cantidad de conexiones dobles de carbono formadas en el proceso de fotopolimerización. Las resinas compuestas comprenden una mezcla, de partículas inorgánicas, con una matriz orgánica, ambas unidas químicamente por un agente de unión. El componente resinoso es la matriz polimérica, formada por macromoléculas construidas por repetitivas uniones cercanas a varias unidades pequeñas llamadas monómeros. (Peutzfeldt, 1997). ⁽⁵⁾

- **Influencia de la composición de las resinas compuestas dentales y la microdureza**

La composición de la matriz de resina compuesta, la concentración del inhibidor, la cantidad de acelerador activado por luz, la composición y forma del relleno, así como los índices refractarios del relleno y la resina, van a influir en la polimerización.⁽¹⁴⁾

La dispersión de la luz está relacionada con las partículas de relleno, su tamaño y su peso o carga. Las resinas compuestas de microrrelleno presentan mayor dificultad de polimerización, ya que sus micropartículas dispersan la luz incidente de manera muy eficaz (O'Brien, 1997). En general, cuanto mayor carga de relleno inorgánico tiene una resina compuesta, más fácilmente se polimeriza.⁽¹⁴⁾

Esto se debe a que las resinas compuestas absorben más luz que los rellenos inorgánicos. Muchos de éstos son vidrios que ayudan a transmitir la luz a través del material.

Además, la diferencia entre el índice de refracción de la resina compuesta y el del relleno controla la cantidad de luz perdida por refracción. La penetración de la luz en una resina compuesta va a depender de la absorción por parte de la matriz, ya que ésta va a ser la que consume esa energía que aporta la luz.⁽¹⁴⁾

El valor mínimo de dureza superficial requerido para las resinas compuestas es de 34 KHN. Para elevar la microdureza es necesaria una alta concentración de fotoiniciadores como la Canforoquinona, y un tiempo elevado de exposición a la luz mayor de 30 segundos.⁽¹¹⁾

- **Matriz inorgánica de relleno y microdureza**

Actualmente se han modificado los materiales de relleno inorgánico mediante su optimización con cristales de sílice, obteniéndose una mejor estética final de la resina compuesta, además de mayor resistencia y microdureza.⁽¹¹⁾

Un haz luminoso tiene la máxima intensidad cerca de la superficie de la restauración; así como se dispersa y se refleja dentro de la resina compuesta, así se pierde intensidad. Las partículas del relleno de la resina compuesta tienden a dispersar la luz, y ambos el relleno y el tamaño influyen la dispersión de luz. Pequeñas partículas del relleno (0.1 μm a 1.0 μm) tienen la máxima dispersión porque este tamaño de partículas corresponden a un rango de longitud de onda del fotoiniciador. Las resinas de microrrelleno con pequeñas o grandes partículas dispersan más la luz que las microhíbridas. Si los índices refractivos de la matriz y las partículas de relleno tienen una diferencia creciente, la dispersión de luz es también incrementada. Por lo tanto, el tamaño y concentración de partículas de relleno pueden ser controladas dependiendo de los índices refractivos del relleno y la matriz de la resina compuesta, tanto como el color de la resina compuesta.

El mejor método es curar la resina compuesta en incrementos de 1.5 mm a 2.0 mm.⁽¹⁰⁾

También es preciso mencionar que los colores oscuros, absorbentes ultravioletas, y tintes fluorescentes presentes en la resina tiende a absorber luz y puede influenciar en la efectividad de las unidades de fotocurado.⁽¹⁰⁾

- **Colores de las resinas**

Colores oscuros y/o resinas más opacas tienden a absorber más luz y así requieren un tiempo de curado más largo. Los fabricantes usualmente especifican una recomendación de un protocolo de curado para colores individuales y tipo de resina.⁽¹⁰⁾

Los tonos más oscuros de la resina compuesta requieren más tiempo de polimerización y experimentan un fraguado menos profundo que los tonos más claros, debido a que el pigmento absorbe la luz (Albers, 1988).⁽¹⁰⁾

- **Tipo de fotoiniciador**

Los catalizadores químicos, como sistemas de activación de las reacciones que inducen la polimerización de las resinas compuestas, fueron sustituidos ya hace años por emisores de luz que actúan sobre fotoiniciadores (canforoquinonas), los cuales estimulan la producción de radicales libres en las aminas terciarias que forman parte de la composición de las resinas compuestas. Son, por tanto, los responsables de la polimerización y endurecimiento de los modernos materiales de restauración. Los diferentes tipos de fotoiniciadores tienen características que unidas al protocolo de aplicación, producen variaciones en la polimerización final.

La mayor parte de los fotoiniciadores (canforoquinonas) se activan en función de dos características básicas de los emisores de luz: la longitud de onda en nanómetros (nm) y la densidad lumínica o relación entre la potencia aplicada y la superficie sobre la que se aplica (mW/cm^2).⁽¹¹⁾

Un fotoiniciador debería estar presente en una concentración suficiente como para reaccionar a la longitud de onda apropiada de la unidad de fotocurado. Una excesiva concentración puede afectar el curado completo de la resina compuesta. La mayoría de resinas compuestas contienen como fotoiniciador a la canforoquinona^(5,10), la cual puede causar un indeseable color amarillento de la restauración final. Así, blancos y más transparentes compuestos derivan del óxido de acilfosfina y alfa-diketona⁽⁵⁾ (fenilpropandiona), también son usadas. El tipo de fotoiniciador en la resina compuesta influye significativamente la eficiencia de curado del material a través de la restauración. También determina la unidad de fotocurado más apropiada para fotocurar un tipo particular de resina compuesta, como debería la longitud de onda emitida por una unidad de fotocurado.

Es también difícil fotocurar iniciadores blancos, tales como óxidoacilfosfina con LED
(10)

Las resinas compuestas poseen un mecanismo de polimerización por activación de los radicales libres, donde el fotoiniciador más comúnmente usado en las resinas dentales como se mencionó con anterioridad, es la canforoquinona.⁽⁵⁾ Otros fotoiniciadores son usados, pero los fabricantes no indican todos los fotoiniciadores en sus productos, y varios fotoiniciadores son a veces usados en diferentes colores dentro de la misma marca. La canforoquinona es más sensible a la luz en el rango de 468 a 470 nm, y provoca que la unidad de fotocurado desarrolle suficiente energía en la longitud de onda correcta, los LED de segunda generación (single-peak) deberían de poder polimerizar adecuadamente las resinas compuestas que usan canforoquinona. Desafortunadamente, la canforoquinona tiene un color amarillo brillante, el cual puede crear problemas si es usado como fotoiniciador en colores traslucidos o con sombras muy ligeras. Consecuentemente, algunas resinas dentales y sistemas adhesivos usan otros fotoiniciadores (iniciadores alternativos) que no son cromógenamente como la canforoquinona. Estos fotoiniciadores alternativos (lucerina TPO) y fenilpropanodiona (PPD) son más sensibles a longitudes de onda cortas (menos de 420 nm) de luz. Este requerimiento para longitudes de onda cortas han demostrado ser un problema para los LED de segunda generación (single-peak) que producen únicamente longitudes de onda largas en el rango de 450-470 nm y ha llevado a la introducción de LED de tercera generación (polywave).⁽¹²⁾

Otros factores que influyen en la eficiencia de una adecuada polimerización de una resina compuesta

- **Temperatura**

Con la elevación de la temperatura existe un aumento en la movilidad molecular de las cadenas poliméricas, aumentando la reactividad de los radicales libres, cantidad de acelerador activado por luz.⁽¹⁴⁾

- **Efecto de la estructura dental**

Como la luz pasa a través de la estructura dental (esmalte o dentina), es absorbida o dispersada, resultando en un curado incompleto de la resina compuesta, específicamente en áreas tales como las cajas proximales. Este efecto depende del espesor y comportamiento óptico del material de intervención. El tiempo de exposición tiene que ser aumentado por un factor de 2 a 3, cuando la polimerización de la restauración se hace a través de la estructura dental. ^(1, 10)

Aparte del tipo de unidad de fotocurado empleada, el conocimiento del clínico y habilidades clínicas en el manejo y maniobras de estas unidades juegan un decisivo rol en la polimerización y resultado final de las restauraciones de resina compuesta. Muchos factores asociados con las resinas, unidades de fotocurado, pueden influir en la polimerización de las resinas y la efectividad clínica de las unidades de curado. ⁽¹⁰⁾

Aspectos a tomar en cuenta para una adecuada polimerización al momento de utilizar una lámpara de fotopolimerización

- Fotocurar la resina compuesta en incrementos de 2mm, usando una extremidad de curado apropiada.
- Fotocurar la restauración por al menos 40 segundos a una distancia de 1mm a 3 mm, tomando la unidad perpendicularmente a la superficie de la restauración.
- Incrementar el tiempo de exposición a dos o tres veces cuando se fotocure a través de la estructura dental. ⁽¹⁰⁾
- Rutinariamente limpiar la superficie y pulir las extremidades de la unidad de fotocurado para preservar la efectividad de reflexión de la unidad de fotocurado. ⁽¹⁰⁾
- Elegir intensidades bajas para fotocurar agentes adhesivos.

- Regularmente evaluar la intensidad de salida, densidad, y la extensión del haz de luz de la unidad de fotocurado. ⁽¹⁰⁾

PROFUNDIDAD DE POLIMERIZACIÓN

Se recomienda trabajar incrementos de resina no mayores de 1 a 2 mm, y ubicando la punta activa inicialmente alejada y luego lo más cercana a la superficie de la resina compuesta, en caso de quedar alejado se debe incrementar el doble de tiempo de exposición (40 segundos-60 segundos).

La fotopolimerización a través de la estructura dentaria; debe efectuarse siempre y cuando la unidad de fotocurado posea una alta intensidad (por encima de 700 mW/cm². Y en seguida reforzar con una fotopolimerización directa sobre el incremento de resina colocada. ⁽¹⁰⁾

- **Profundidad de polimerización y microdureza**

Al estudiar los factores que afectan a la profundidad de curado, Cook afirma que la correcta polimerización de las resinas compuestas fotopolimerizables usadas como material de restauración dental se encuentra íntimamente ligada a la profundidad, y penetración del estímulo luminoso activados de los fotopropagadores de la polimerización, entre otros factores que también afectan se encuentran, los componentes y cantidad de la resina compuesta, porcentaje de los fotopropagadores, la fuente de luz, tiempo de exposición, variación y frecuencia de onda del haz luminoso. Existiendo una relación íntima entre polimerización y microdureza, el grado de polimerización de una resina compuesta decrece rápidamente bajo la superficie al incrementarse la profundidad. ⁽¹⁰⁾

DUROMETRÍA

Fue en Inglaterra, en el año 1925, cuando se realizaron las primeras durometrías. El análisis de la microdureza se define como una prueba por medición de la indentación, observando la huella que

marca el indentador de diamante de forma geométrica contra la superficie de un material a cargas o fuerzas programadas dentro de un rango de 1 a 1000 gramos.

Existen otros microdurómetros con ultrasonido que analizan cambios en la frecuencia de vibración aplicada a una muestra y produce una indentación menor a 19 nm, estas mediciones pueden ser consideradas como nanodureza.

Los durómetros tienen diferentes aplicaciones específicas como: proporcionar medidas de dureza a piezas de trabajo pequeñas, monitoreo de la carburización o nitrificación que manifiesta variaciones en la dureza de un espécimen, durometrías individuales a micro componentes de una muestra, análisis de microdureza de superficies bajo condiciones de desgaste y microdureza de recubrimientos superficiales.

Fusayama⁽¹¹⁾ analizó piezas dentales con un indentador Knoop mediante cargas de 50 gr durante 15 segundos, y determinó la microdureza cada 50 micras en cortes longitudinales desde el límite amelodentinario hasta la cámara pulpar observando durezas promedio de 70 KHN (32 en dureza Shore) en dentina y 22 KHN en piso cavitario.⁽¹¹⁾

Mientras que la dureza Knoop para la dentina es de 60-80 KHN (28-36 en dureza Shore) según Baum, LL.⁽³⁾

Dureza Shore

El durómetro portátil de dureza Shore D se basa en el rebote de un cuerpo duro al caer desde una altura determinada sobre la superficie que se va a ensayar, fue inventado por el americano Guillermo Francis Shore.⁽¹⁷⁾

Consiste en evaluar la dureza superficial de un material midiendo la profundidad que alcanza una punta de acero normalizada cuando se presiona contra el material.⁽¹⁷⁾

La dureza Shore D tiene un rango de hasta 100 grados de dureza, aplicando una fuerza de

44.5N, una presión de 5Kg, con una punta de medición aguda de 30°. Este durómetro está pensado para medir la dureza de materiales como acrílicos, plásticos duros, termoplásticos rígidos, vinilo, vidrio, entre otros. *

*Manual de usuario del durómetro portátil digital Shore Type-D (0-100HD)

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar la dureza superficial de las resinas compuestas mediante la evaluación de la dureza Shore D, provocado por diferentes rangos de intensidad y diferentes intervalos de tiempo de polimerización, con las lámparas de fotopolimerización LED.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la intensidad de polimerización de cada una de las diferentes unidades de polimerización LED utilizadas por los estudiantes en Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Establecer la dureza superficial de las resinas compuestas a diferentes intervalos de tiempo.
- Analizar comparativamente los resultados obtenidos.

HIPÓTESIS

Basados en la revisión de literatura realizada; el estudio, demuestra que los factores como la intensidad de luz, los intervalos de tiempo de polimerización a una distancia no menor a 2mm y no mayor a 4mm, afectan de forma directamente proporcional la dureza superficial de la resina compuesta, analizados comparativamente.

VARIABLES

Independientes

- Tiempo: duración de un determinado suceso medido en segundos.
- Intensidad: potencia a la cual la luz de una lámpara de fotocurado incide sobre la superficie de una superficie medida en mW/cm^2 .

Dependientes

- Dureza: oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como la penetración, el rayado, deformación y otros.

METODOLOGÍA

PROCEDIMIENTO

Se solicitó permiso por escrito a Dirección de Clínicas para poder realizar el estudio en las clínicas de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos, así mismo se solicitó la autorización a los estudiantes para poder utilizar sus unidades de fotocurado en el estudio.

Se realizó un cuadro de recolección de datos enlistando las marcas y las intensidades de las lámparas de fotopolimerización LED utilizadas por los estudiantes de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos; dicho cuadro se utilizó también para recaudar datos que se mencionan posteriormente.

La intensidad de las lámparas de fotopolimerizado LED se midió por medio de un radiómetro análogo de marca Kerr Demetron con intervalo de sensibilidad: 400-500 nm con un intervalo de intensidad: 0-2000 mW/cm² y una exactitud: $\pm 5\%$ de la lectura para lámparas LED.

Del listado se tomó una media de la intensidad por marca de las lámparas de fotopolimerización LED.

Posteriormente al haber establecido la media de intensidad por marca se realizaron grupos de acuerdo a las diferentes marcas con sus diferentes medias de intensidad dividiéndolos en: Grupo A (850 mW/cm²) Elipar (3M ESPE), Grupo B (800mW/cm²) D2000 (Apoza), Grupo C (500 mW/cm²) Ledition (Ivoclar), Grupo D (400mW/cm²) Curing Light (Rainbow), Grupo E (400mW/cm²) LUX D (DTE), Grupo F (611.11mW/cm²) Coltolux LED (Coltene), Grupo G (800mW/cm²) Blue LEX LD-105 (Monitex), Grupo H (666.66mW/cm²) LED B (Woodpecker), Grupo I (600mW/cm²) Optilight Max (Gnatus), Grupo J (700mW/cm²) TL-01 (Spring Healt Products), Grupo K (800mW/cm²) TC-CLII (Spring Healt Products) y Grupo L (400mW/cm²) L3 (ART).

Se procedió a fotocurar las 3 resinas compuestas con cada lámpara (tomando en cuenta la media) de los diferentes grupos clasificados según su intensidad; se procedió a medir con un durómetro

de dureza Shore D la profundidad de polimerización de las resinas compuestas Z350 XT Body de 3M ESPE (nanotecnología), Brillant de Coltene (nanohíbrida) y Herculite Precis de Kerr (nanohíbrida), todas estas resinas compuestas de un color A₂ y se evaluó la dureza a diferentes intervalos de tiempo (10 y 20 segundos) según su intensidad estándar.

Se fotopolimerizaron las diferentes resinas compuestas, luego se midió la dureza Shore D de la superficie superior e inferior; utilizando plantillas de plástico a grosores de 2mm y 4mm, luego se compararon y se estableció si se alcanzó una adecuada polimerización de las resinas compuestas, según el valor dado por el durómetro para cada superficie.

INSTRUMENTOS

Cuadros para recolección de datos elaborados para el estudio

Plan y tabulación:

Para comparación de datos se realizaron tablas y cuadros estadísticos

MÉTODO

Observacional

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Estudiantes regulares que estuvieron inscritos en 4to.y 5to. años de la carrera de cirujano dentista de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2013.

Los estudiantes participantes estuvieron de acuerdo con el uso de su unidad de fotocurado para el estudio.

Lámparas de fotopolimerización LED que se encontraron por arriba de los 400 mW/cm² de intensidad.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Lámparas de fotopolimerización que no pertenecían a los tipos LED.

Lámparas de fotopolimerización que no se encontraron en el mercado guatemalteco.

RECURSOS

RECURSOS	DESCRIPCIÓN	COSTO
Lámparas de fotocurado	Tipo LED	Préstamo por estudiantes
Radiómetro	Marca Kerr Demetron de lectura para lámparas tipo LED	Aportado por depósito dental Imfohsa
Resina compuesta Z350 XT Body	Marca 3M ESPE tipo nanotecnología color A ₂	Donado
Resina compuesta Brillant NG	Marca Coltene tipo nanohíbrida color A ₂	Donado
Resina compuesta Herculite Precis	Marca Kerr tipo nanohíbrida color A ₂	Donado
Durómetro	Durómetro portátil digital TYP-100D para durezas shore	Q. 995.00
Plantillas de plástico	Plantillas con perforaciones de 2 y 4 mm de profundidad y 0.5 cm de diámetro	Donado

RESULTADOS

Los resultados se analizaron aplicando la prueba ANOVA y T-test, con el propósito de ver que tan significativos eran los datos encontrados.

A continuación los resultados obtenidos del estudio de campo.

Cuadro 1.

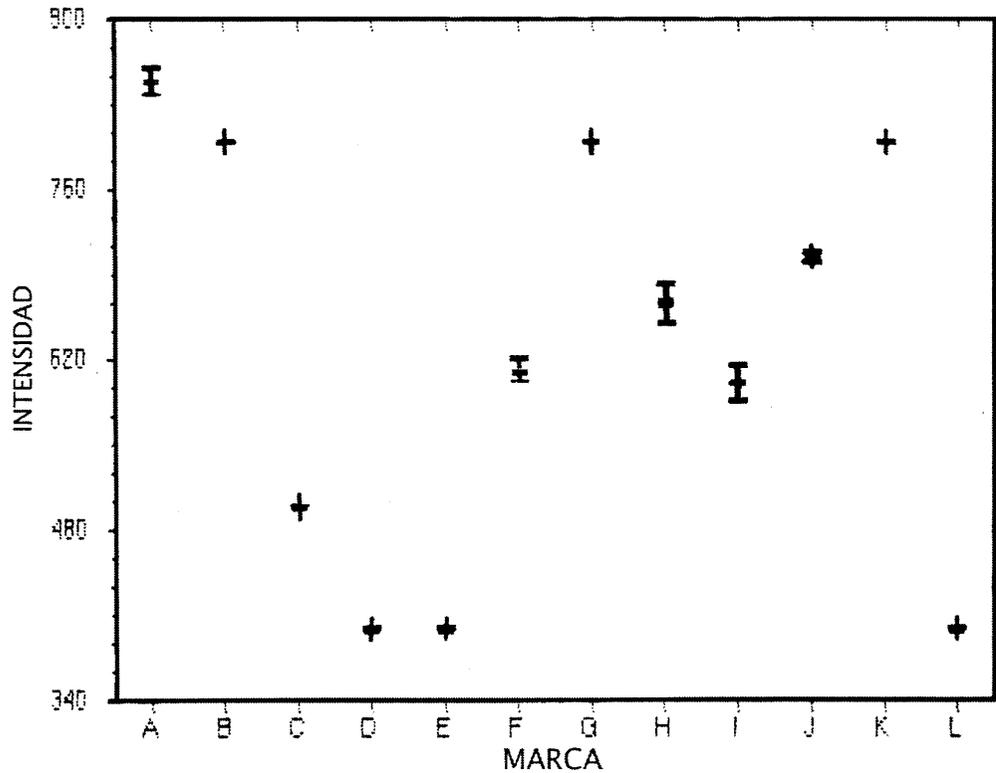
Valor de las intensidades en mW/cm^2 de las diferentes marcas de lámparas de fotocurado.

Marca	Cantidad	Intensidad Baja-Alta	Grupo	Media Intensidad	DS
Elipar (3M ESPE)	2	800-900	A	850	51.075
D2000 (Apoza)	1	800	B	800	0
Ledition (Ivoclar)	1	500	C	500	0
Curing Light (Rainbow)	1	400	D	400	0
Lux D (DTE)	1	400	E	400	0
Coltolux LED (Coltene)	9	400-800	F	611.111	99.844
Blue LEX LD-105 (Monitex)	2	800	G	800	0
LED B (Woodpecker)	3	600-800	H	666.666	95.618
Optilight Max (Gnatus)	3	500-600	I	600	82.807
TL-01 (Spring Healt Products)	2	700	J	700	20
TC-CLII (Spring Healt Products)	2	800	K	800	0
L3 (ART)	3	400	L	400	0
				<i>p=<.001</i>	

Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Gráfica 1.

Valor de las intensidades en mW/cm^2 de las diferentes marcas de lámparas de fotocurado.



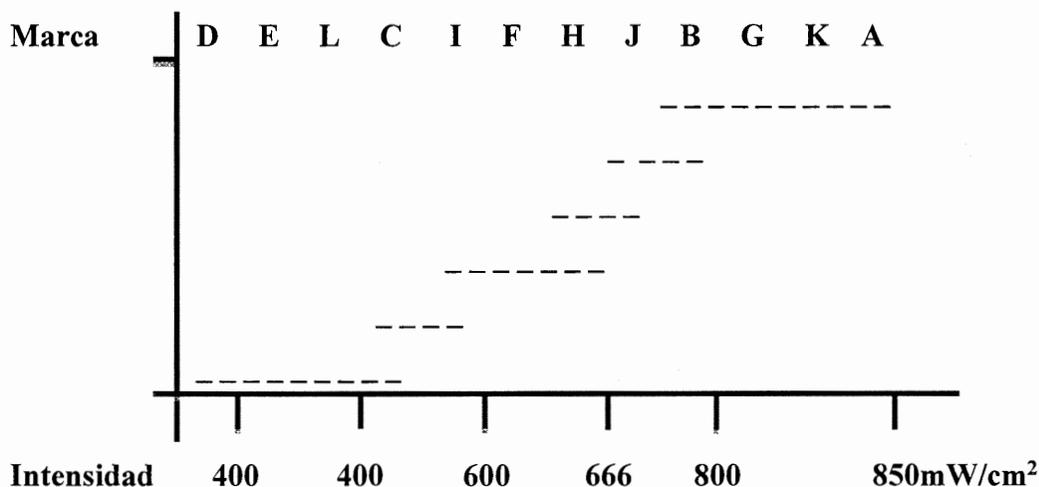
Fuente: Datos de cuadro 1.

Interpretación de cuadro y gráfica No. 1

El grupo A con una media de intensidad de $850 \text{ mW}/\text{cm}^2$ es el que presenta mayor intensidad en comparación con los demás grupos, seguido del grupo K y el G con una media de intensidad de $800 \text{ mW}/\text{cm}^2$, además se muestran en la gráfica tres grupos con intensidad baja de $400 \text{ mW}/\text{cm}^2$ (D, E Y L); dando como resultado una p de $<.001$ habiendo una diferencia estadísticamente significativa.

Gráfica 1.1.

Valor de las intensidades en mW/cm^2 de las diferentes marcas de lámparas de fotocurado.



Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Interpretación de gráfica 1.1

Esta representación gráfica de Dunnett muestra la relación de los grupos (marcas de lámparas) según sus intensidades, agrupando las que no tienen diferencia como el grupo B, G, K y el grupo A que difiere en los demás grupos con una intensidad de $850 \text{ mW}/\text{cm}^2$, todos éstos corresponden a los grupos de intensidad alta; mientras que los grupos D, E, L y C corresponden a los grupos de baja intensidad, aunque el grupo C difiere en $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$ con el resto de los grupos de baja intensidad.

Cuadro 2.

Valor promedio de la dureza Shore D de ambas superficies (superior e inferior) de tres resinas compuestas en muestras de 2mm de grosor según la marca de las lámparas de fotocurado.

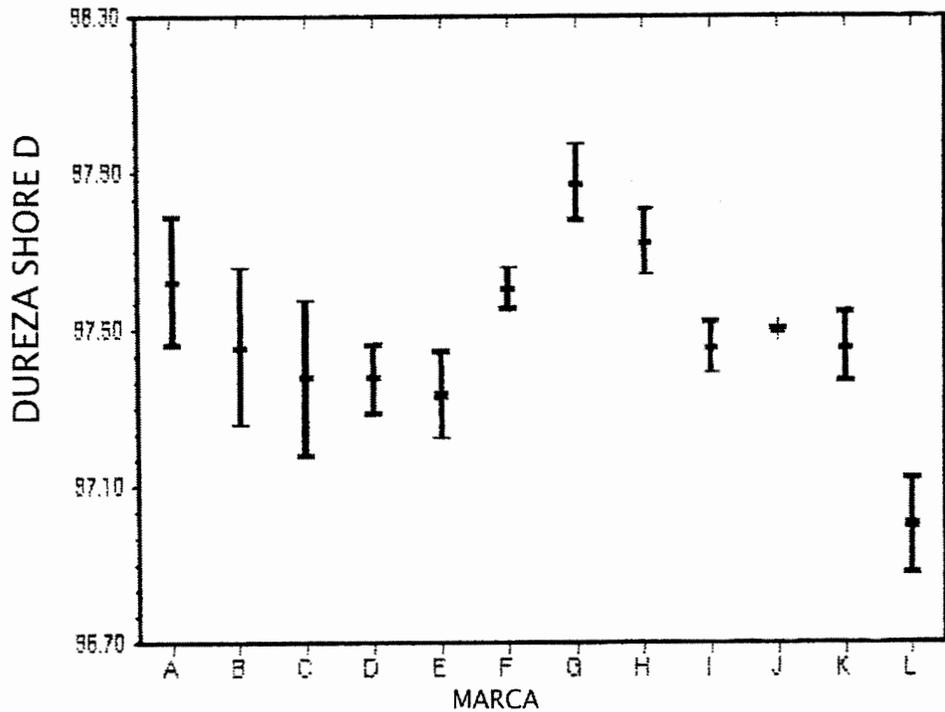
Marca	Grupo	Media	DS
Elipar (3M ESPE)	A	97.625	.783
D2000 (Apoza)	B	97.458	.689
Ledition (Ivoclar)	C	97.375	.678
Curing Light (Rainbow)	D	97.375	.310
LUX D (DTE)	E	97.333	.389
Coltolux LED (Coltene)	F	97.606	.555
Blue LEX LD-105 (Monitex)	G	97.875	.472
LED B (Woodpecker)	H	97.722	.513
Optilight Max (Gnatus)	I	97.458	.384
TL-01 (Spring Healt Products)	J	97.5	0
TC-CLII (Spring Healt Products)	K	97.456	.424
L3 (ART)	L	97	.717

p=<.001

Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Grafica 2.

Valor promedio de la dureza Shore D de ambas superficies (superior e inferior) de tres resinas compuestas en muestras de 2mm según la marca de las lámparas de fotocurado.



Fuente: Datos de cuadro 2.

Interpretación de cuadro y gráfica No. 2

Los grupos H (Woodpecker con una media de intensidad de 666.66) y G (Monitex con intensidad de 800 mW/cm²) son diferentes a los demás ya que estos presentan resultados de dureza superficial en muestras de 2 mm de grosor con una media de 97.722 unidades Shore D y 97.875 unidades Shore D respectivamente; mayor a los demás grupos con una $p > .001$ siendo una diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro 3.

Valor promedio de la dureza Shore D de ambas superficies (superior e inferior) de tres resinas compuestas en muestras de 4mm según la marca de las lámparas de fotocurado.

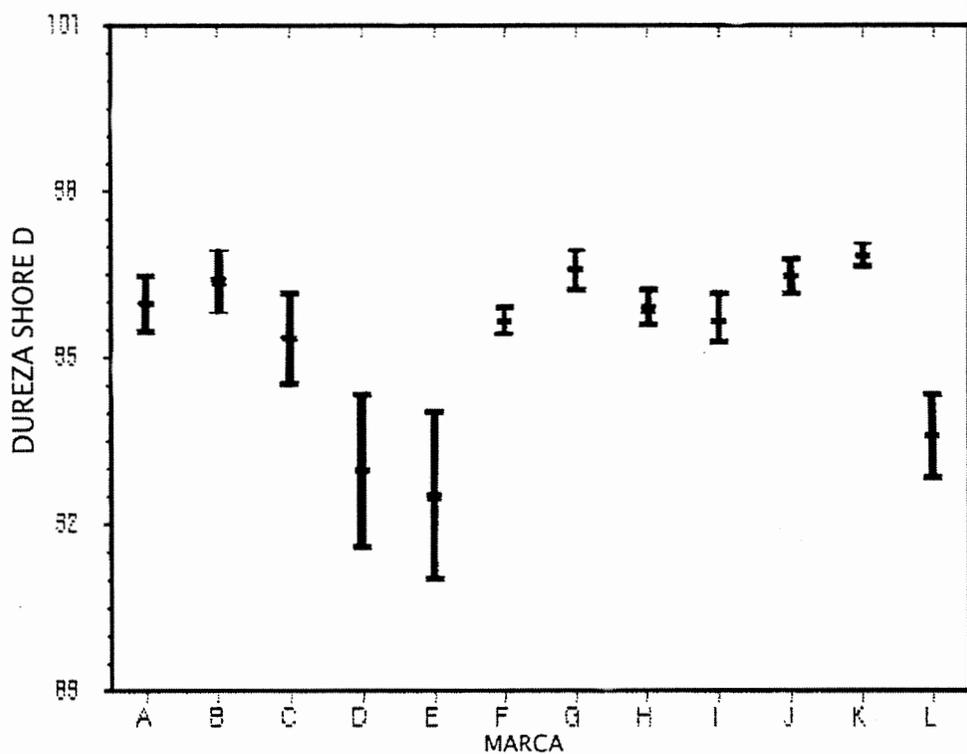
Marca	Grupo	Media	DS
Elipar (3M ESPE)	A	95.958	2.449
D2000 (Apoza)	B	96.375	1.908
Ledition (Ivoclar)	C	95.333	2.831
Curing Light (Rainbow)	D	92.958	4.840
LUX D (DTE)	E	92.5	5.196
Coltolux LED (Coltene)	F	95.657	2.510
Blue LEX LD-105 (Monitex)	G	96.583	1.704
LED B (Woodpecker)	H	95.888	1.960
Optilight Max (Gnatus)	I	95.708	2.673
TL-01 (Spring Healt Products)	J	96.458	1.444
TC-CLII (Spring Healt Products)	K	96.833	.963
L3 (ART)	L	93.597	4.439

p=<.001

Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Gráfica 3.

Valor promedio de la dureza Shore D de ambas superficies (superior e inferior) de tres resinas compuestas en muestras de 4mm de grosor según la marca de las lámparas de fotocurado.



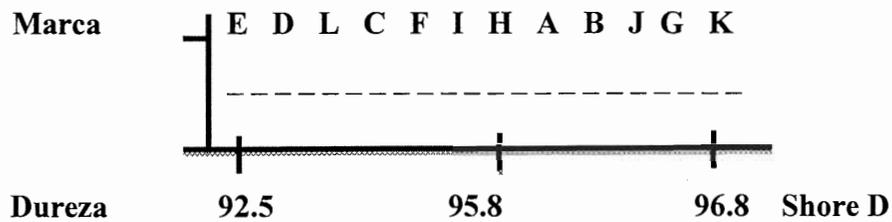
Fuente: Datos de cuadro 3.

Interpretación de cuadro y gráfica No. 3

El grupo G y K presentan la mayor dureza en las muestras de 4 mm de espesor ya que se presenta una $p < .001$ siendo una diferencia estadísticamente significativa.

Gráfica 3.1.

Valor promedio de la dureza Shore D de ambas superficies (superior e inferior) de tres resinas compuestas en muestras de 4mm de grosor según la marca de las lámparas de fotocurado.



Interpretación de gráfica No. 3.1

Esta gráfica representa la dureza que proporcionaron las lámparas a las muestras de 4 mm de espesor, siendo cada grupo una marca determinada; de izquierda a derecha siendo el grupo E el que menor dureza proporcionó a la medición.

Cuadro 4.

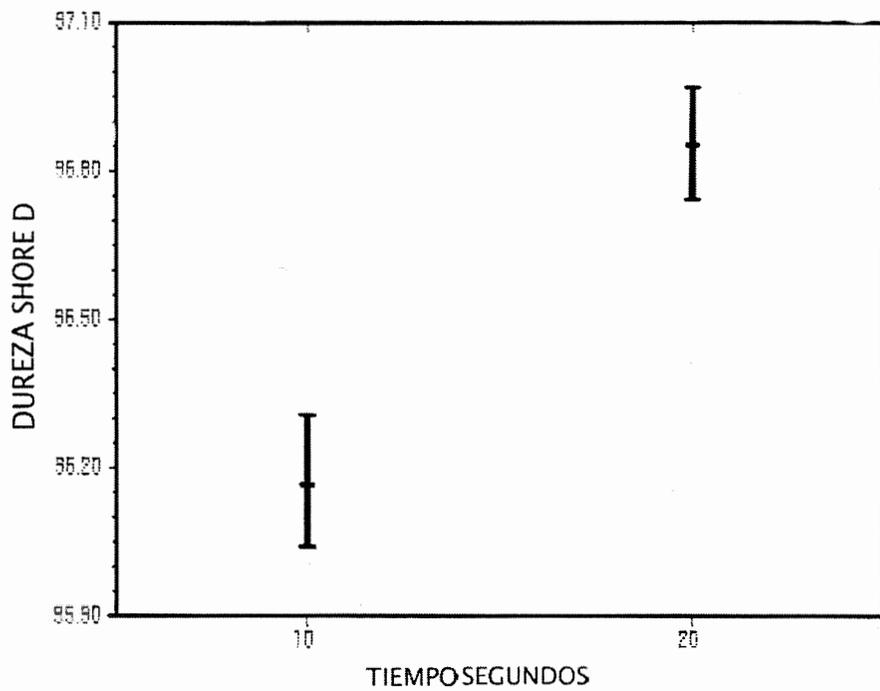
Valores promedio de dureza Shore D de ambas superficies (superior e inferior) en muestras de grosor de 4mm de tres resinas compuestas fotocuradas en dos intervalos de tiempo.

Tiempo	Media Dureza	DS	N
10 seg	94.925	3.039	180
20 seg	96.097	2.757	180
	<i>p=<.001</i>		

Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Gráfica 4.

Valores promedio de dureza Shore D de ambas superficies (superior e inferior) en muestras de grosor de 4mm de tres resinas compuestas fotocuradas en dos intervalos de tiempo en segundos.



Fuente: Datos de cuadro 4.

Interpretación de cuadro y gráfica No. 4

Por medio de un análisis estadístico T-test se determinó una $p < .001$ por lo que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los tiempos de 10 y 20 segundos, presentándose una mayor a 20 segundos de fotopolimerización para las tres resinas utilizadas. Presenta una menor dureza en comparación a las muestras de 2mm.

Cuadro 5.

Valores promedio de dureza Shore D en muestras de grosor de 2mm de ambas superficies (superior e inferior) de tres resinas compuestas fotocuradas en dos intervalos de tiempo.

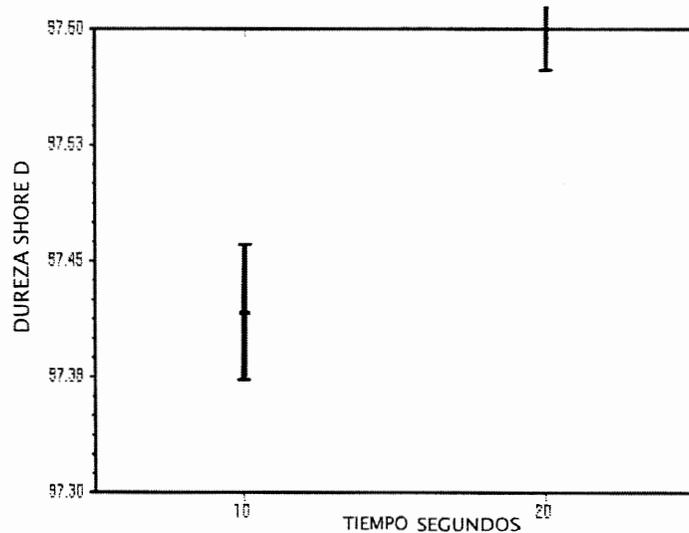
Tiempo	Media Dureza	Desviación S	N
10 seg	97.416	.589	180
20 seg	97.613	.541	180

$p < .001$

Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Gráfica 5.

Valores promedio de dureza Shore D en muestras de grosor de 2mm de ambas superficies (superior e inferior) de tres resinas compuestas fotocuradas en dos intervalos de tiempo en segundos.



Fuente: Datos de cuadro 5.

Interpretación de cuadro y gráfica No. 5

Por medio de un análisis estadístico T-test se determinó una $p < .001$ por lo que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los tiempos de 10 y 20 segundos, presentándose una mayor dureza en la muestra de un espesor de 2 mm a 20 segundos de fotopolimerización para las tres resinas utilizadas. Presenta una mayor dureza que las muestras de 4mm.

Cuadro 6.

Valores de dureza Shore D de la superficie superior (A) de tres tipos de resina compuesta en ambos grosores (2 y 4 mm).

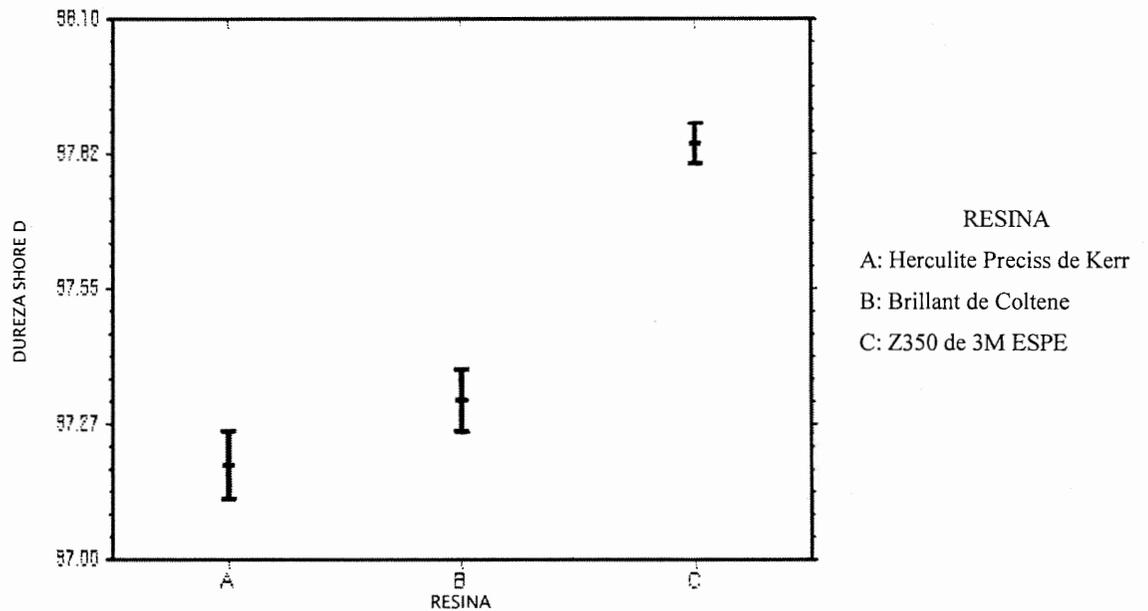
Resina	Media Dureza	Desviación S	N
Herculite Preciss de Kerr (A)	97.191	.742	120
Brilliant de Coltene (B)	97.325	.694	120
Z350 DE 3M ESPE (C)	97.845	.457	120

p < .001

Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Gráfica 6.

Valores de dureza Shore D de la superficie superior (A) de tres tipos de resina compuesta en ambos grosores (2 y 4 mm).



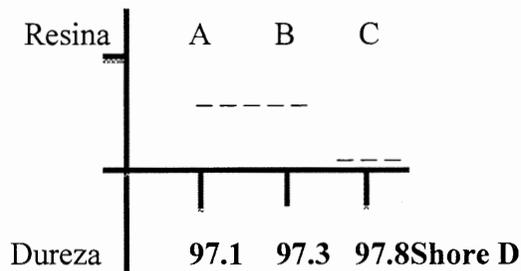
Fuente: Datos de cuadro 6.

Interpretación de cuadro y gráfica No. 6

La resina C presenta mayor dureza de la muestra en ambos grosores (2 y 4mm) solo de la superficie superior (A) comparada con las otras dos resinas utilizadas (A y B), encontrando una $p < .001$, estableciendo así una diferencia estadísticamente significativa.

Gráfica 6.1.

Valores de dureza Shore D de la superficie superior (A) de tres tipos de resina compuesta de ambos grosores (2 y 4 mm).



Interpretación de gráfica No. 6.1

Según la representación gráfica de Dunnett muestra una diferencia entre el grupo C y los grupos A y B siendo estos dos últimos iguales entre sí, en cuanto a dureza de ambos espesores (2 y 4mm) solo de la superficie superior (A).

Cuadro 7.

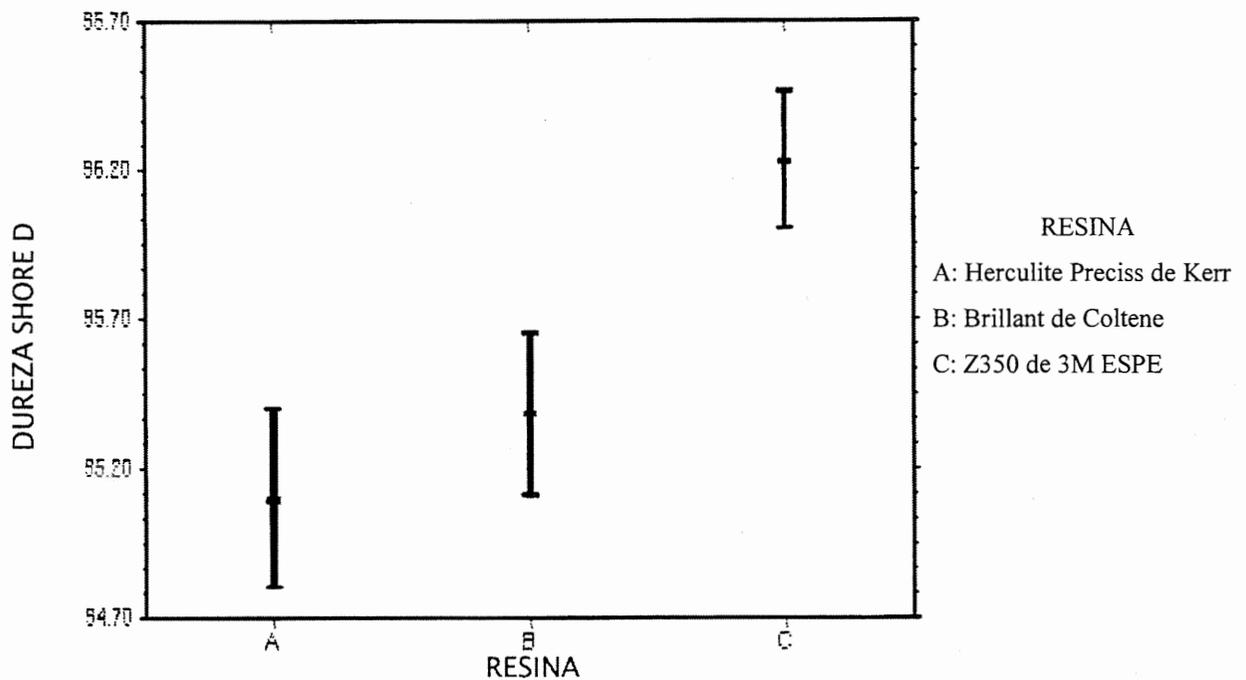
Valores de dureza Shore D de la superficie inferior (B) de tres tipos de resina compuesta de ambos grosores (2 y 4 mm).

Resina	Media Dureza	Desviación S	N
Herculite Preciss de Kerr (A)	95.1	3.255	120
Brilliant de Coltene (B)	95.383	2.986	120
Z350 DE 3M ESPE (C)	96.233	2.527	120
	p=.009		

Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Gráfica 7.

Valores de dureza Shore D de la superficie inferior (B) de tres tipos de resina compuesta de ambos grosores (2 y 4 mm).



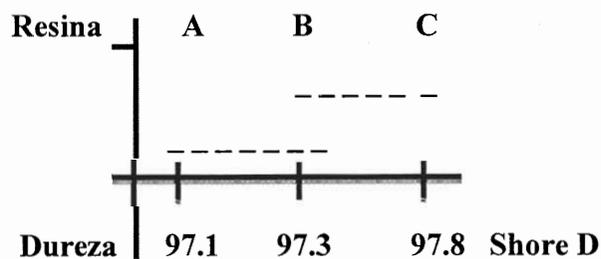
Fuente: Datos de cuadro 7.

Interpretación de cuadro y gráfica No. 7

La resina C presenta mayor dureza de la muestra en ambos grosores (2 y 4mm) solo de la superficie inferior (B) comparada con las otras dos resinas utilizadas (A y B), encontrando una $p < .009$ por medio del análisis estadístico ANOVA, estableciendo así una diferencia estadísticamente significativa.

Gráfica 7.1

Valores de dureza Shore D de la superficie inferior (B) de tres tipos de resina compuesta de ambos grosores (2 y 4 mm).



Interpretación de gráfica No. 7.1

Según la representación gráfica de Dunnett muestra una diferencia entre el grupo C y el grupo A siendo el grupo C el que presenta mayor dureza; mientras que en B y C no hay diferencia, en cuanto a dureza de ambos espesores (2 y 4mm) solo de la superficie inferior (B).

Cuadro 8.

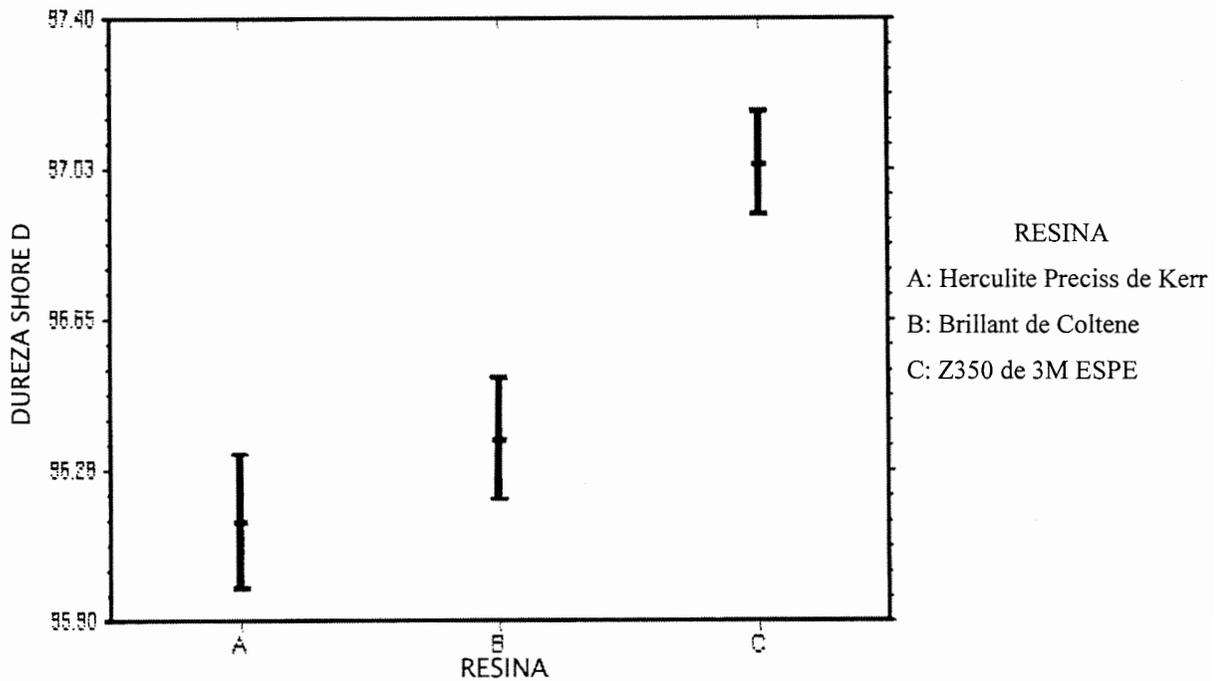
Valores de dureza Shore D de ambas superficies (A y B) de tres tipos de resina compuesta de ambos grosores (2 y 4 mm).

Resina	Media Dureza	Desviación S	N
Herculite Preciss de Kerr (A)	96.145	2.578	240
Brilliant de Coltene (B)	96.354	2.372	240
Z350 DE 3M ESPE (C)	97.039	1.984	240
p=<.001			

Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Gráfica 8.

Valores de dureza Shore D de ambas superficies (A y B) de tres tipos de resina compuesta de ambos grosores (2 y 4 mm).



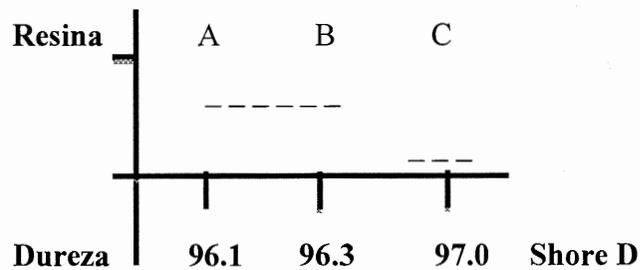
Fuente: Datos de cuadro 8.

Interpretación de cuadro y gráfica No. 8

La resina C presenta mayor dureza de la muestra en ambos grosores (2 y 4mm) amabas superficies (A y B) comparada con las otras dos resinas utilizadas (A y B), encontrando una $p < .001$, estableciendo así una diferencia estadísticamente significativa.

Gráfica 8.1.

Valores de dureza Shore D de ambas superficies (A y B) de tres tipos de resina compuesta de ambos grosores (2 y 4 mm).



Interpretación de gráfica No. 8.1

Según la representación gráfica de Dunnett muestra una diferencia entre el grupo C y los grupos A y B siendo estos dos últimos iguales entre sí, en cuanto a dureza de ambos espesores (2 y 4mm) y ambas superficies (A y B).

Cuadro 9.

Valores de dureza Shore D en superficies superior e inferior (A y B) de ambos grosores (2 y 4 mm).

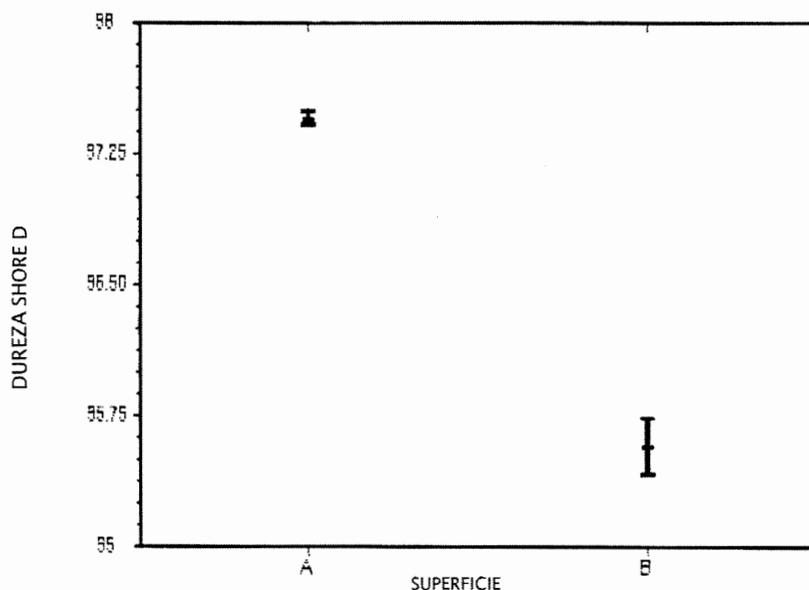
SUPERFICIE	Media Dureza	Desviación Standar	N
Superior (A)	97.454	.701	360
Inferior (B)	95.572	2.969	360

$p < .001$

Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Gráfica 9.

Valores de dureza Shore D en superficies superior e inferior (A y B) de ambos grosores (2 y 4 mm).



Fuente: Datos de cuadro 9.

Interpretación de cuadro y gráfica No. 9

La superficie superior presenta una mayor dureza que la superficie inferior ya que se presenta una $p < .001$ por medio del análisis T-test, estableciendo así una diferencia estadísticamente significativa entre las dos superficies no importando el tipo de resina compuesta.

Cuadro 10.

Valores promedio de dureza Shore D de ambas superficies (superior e inferior) en muestras de espesor de 2 y 4mm de resina compuesta.

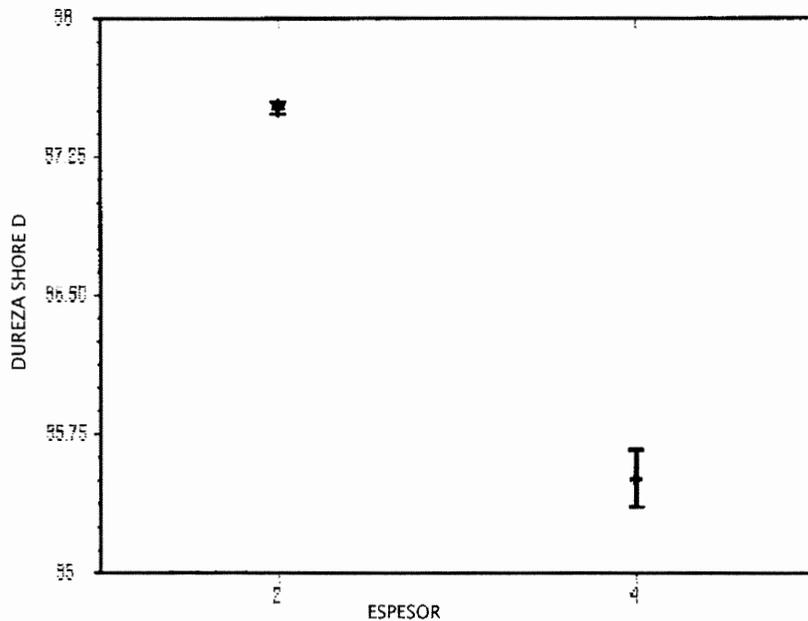
Espesor	Media Dureza	Desviación Standar	N
2 mm	97.515	.573	360
4 mm	95.511	2.956	360

p=<.001

Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Gráfica 10.

Valores promedio de dureza Shore D de ambas superficies (superior e inferior) en muestras de espesor de 2 y 4mm de resina compuesta.



Fuente: Datos de cuadro 10.

Interpretación de cuadro y gráfica No. 10

La dureza de un espesor de 2mm presenta una mayor dureza en comparación al espesor de 4mm en ambas superficies debido a que presenta una $p < .001$ estableciendo así una diferencia estadísticamente significativa entre los dos grupos según el análisis estadístico T-test.

Cuadro 11.

Valores de dureza Shore D de ambas superficies (superior e inferior) en ambos grosores (2 y 4 mm) según la intensidad en mW/cm² de la lámpara de fotocurado.

Intensidad	Media Dureza	Desviación S	N
400	95.232	3.786	144
500	96.281	2.574	48
600	96.743	1.830	216
700	96.885	1.221	96
800	97.005	1.366	192
900	97.166	1.863	24
	<i>p=<.001</i>		

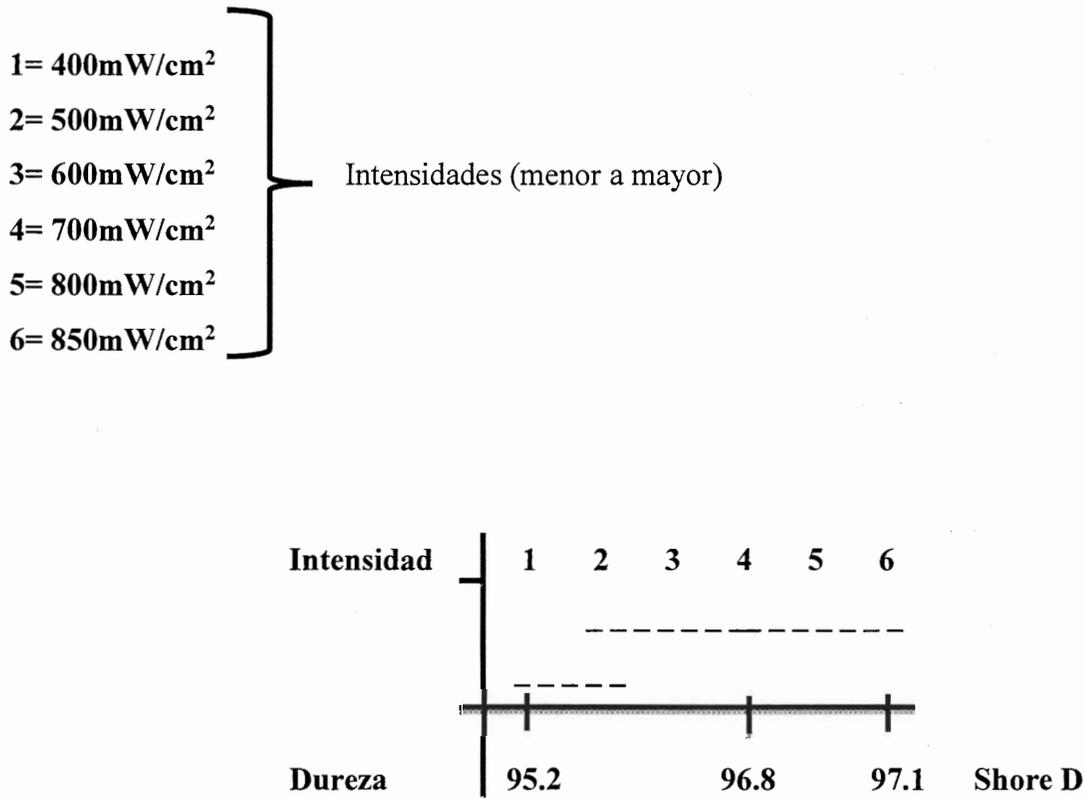
Fuente: Resultados del programa Kwikstat 4.1, valores obtenidos durante el trabajo de campo.

Interpretación de cuadro No. 11

Hay diferencia estadísticamente significativa entre estos grupos ya que se presenta una $p < .001$, estableciendo que entre menor intensidad menor dureza, presentando mayor dureza a una intensidad de 900 mW/cm² y menor dureza a una intensidad de 400 mW/cm².

Gráfica 11.

Valores de dureza Shore D de ambas superficies (superior e inferior) en ambos grosores (2 y 4 mm) según la intensidad de la lámpara de fotocurado.



Interpretación gráfica No. 11

Según la representación gráfica de Dunnett en los grupos 2, 3, 4, 5 y 6 no hay diferencia al igual que entre el grupo 1 y 2; mientras que los grupos 3, 4, 5 y 6 son diferentes al grupo 1.

DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio fue analizar la profundidad de polimerización de las resinas compuestas, provocado por diferentes rangos de intensidad y diferentes intervalos de tiempo de polimerización, con las lámparas de fotopolimerización LED utilizadas por estudiantes de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Esto se logró por medio de una medición inicial de las variables: intensidad, tiempo y dureza.

En cuanto a la medición de la intensidad, la mayor intensidad alcanzada por las lámparas en el estudio fue de 900 mW/cm^2 y la mínima de 400 mW/cm^2 , que estarían en un rango aceptable.

La dureza superficial obtenida a diferentes grosores (2mm y 4mm), mediante un durómetro de dureza Shore D, las marcas de lámparas de fotopolimerización: Woodpecker con una media de intensidad de 666.66 mW/cm^2 y la Monitex con intensidad de 800 mW/cm^2 ; mostraron durezas más elevadas en los 2mm de profundidad, estableciendo una diferencia estadísticamente significativa ($p < .001$) en comparación con los demás grupos. No obstante a una profundidad de 4mm la Spring Healt Products (inalámbrica) y la Monitex ambas con una intensidad de 800 mW/cm^2 presentaron la mayor dureza. Según Rahiotis, C. et al. la unidad LED con la más alta intensidad da como resultado una superficie con mayor dureza. ⁽¹⁵⁾

El espesor de resina se relaciona directamente a la obtención de una mayor o menor obtención de dureza superficial, ya que en incrementos de resina de 2mm de grosor se presenta mayor dureza superficial en comparación con los incrementos de resina de 4mm de grosor, los cuales presentan una dureza superficial inferior, estableciendo una $p < .001$. Es por esta razón que se recomienda un incremento de resina de 2mm para una adecuada polimerización según Price, R. et al. ⁽¹²⁾

En relación al tiempo de fotocurado necesario para crear una dureza superficial aceptable, es recomendable un tiempo de 20 segundos, ya que éste es el intervalo que promueve una mayor dureza superficial en la resina compuesta comparado con un intervalo de 10 segundos; además es importante mencionar que para las lámparas de fotocurado que presentan una intensidad de luz baja es necesario

incrementar a 40 segundos como mínimo el tiempo de fotocurado, para crear una dureza aceptable, todo esto basado en los resultados obtenidos en el presente estudio.

Según el estudio realizado por Webb, L. et al. para todos los grupos, la dureza fue mayor en la superficie superior que en la inferior; ⁽¹⁹⁾ lo que concuerda con el estudio que se presenta, ya que las superficies evaluadas, en este caso la superficie A (superior) fue la que presentó mayor dureza en comparación con la superficie B (inferior); con estos hallazgos se pudo verificar la reducción de valores de microdureza en las zonas más profundas. Esto está directamente relacionado a la cantidad de luz incidente o intensidad de luz. La superficie superior está en contacto con la punta activa lo que significa una mayor cantidad de luz o fotones efectivos para reaccionar con los fotoiniciadores. La superficie inferior se encuentra alejada de la punta activa por lo que la luz tendrá que atravesar el material y por fenómenos de absorción y dispersión de la luz existen menos fotones disponibles para reaccionar con los iniciadores, por lo tanto, existe una menor conversión de monómero a polímeros que se manifiesta en una disminución en la dureza.

Haciendo referencia a la dureza superficial de las superficies superior e inferior, Machado, C. et al. obtuvo que con todos los tipos de aparatos de luz utilizados, fue observado que las capas superficiales obtuvieron valores mayores de dureza que las profundas. ⁽⁸⁾

Hubo una diferencia estadísticamente significativa entre las marcas de las resinas compuestas ($p=.001$) en cuanto a la evaluación de la dureza superficial; siendo la resina compuesta Z350 de 3M ESPE, la que presentó la mayor dureza, mientras que la de menor dureza fue la Herculite Preciss de Kerr, como bien lo menciona O'Brien: entre más grande la partícula presentan mayor dificultad de polimerización, dado que la resina compuesta Z350 3M ESPE es la única que presenta nanotecnología. ⁽¹⁴⁾

Machado, C. et al. manifiesta que la fotoactivación insuficiente de las resinas compuestas es frecuentemente citada entre las principales causas de fracaso clínico de las restauraciones realizadas con ese material; además menciona que la aplicación de luz fotoactivadora con intensidad muy alta sobre la resina compuesta, puede causar daños en la adaptación marginal de la restauración, lo que provoca aumento del estrés de contracción. ⁽⁸⁾

CONCLUSIONES

Treinta lámparas de fotocurado se utilizaron para evaluar la dureza superficial de muestras de 2 y 4mm de tres tipos de resina compuesta en la Facultad de Odontología de la Universidad San Carlos de Guatemala, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Deben utilizarse únicamente lámparas $>500 \text{ mW/cm}^2$ para lograr una dureza adecuada de la resina con un intervalo de tiempo de 20 segundos.
- Para la adecuada polimerización de las lámparas con una intensidad baja (400 mW/cm^2 y 500 mW/cm^2) debe incrementarse el tiempo de fotocurado a 40 segundos.
- Los incrementos de resina compuesta deben ser no mayores a 2mm para promover una dureza superficial adecuada.
- Se comprobó la hipótesis demostrando que a diferentes: a) intensidades de luz, b) intervalos de tiempo de fotopolimerización y c) distancias; se afecta proporcionalmente la dureza superficial de las resinas compuestas.
- Se demostró que la media de intensidad en las lámparas evaluadas pertenecientes a los estudiantes de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala se encuentra en 627.64 mW/cm^2 .
- En las mediciones efectuadas se demostró que existen diferencias estadísticamente significativas, por lo que se concluye que al aumentar la intensidad de las lámparas de fotopolimerización así como al aumentar el tiempo, reduciendo la distancia entre la resina compuesta y lámpara de fotopolimerización y utilizando resinas compuestas con nanotecnología aumentará la dureza superficial de las resinas compuestas.

RECOMENDACIONES

- Realizar más estudios donde se evalúe el grado de deterioro o cuidado brindado a la lámpara de fotopolimerización, donde se pueda verificar si esto es un impedimento en el correcto funcionamiento.
- Utilizar lámparas de fotopolimerización de mayor intensidad para comprobar si éstas presentarían algún cambio sobre la dureza superficial de la resina compuesta.
- Utilizar otras marcas de resina compuesta para establecer una diferencia en cuanto a dureza superficial.
- Tomar los criterios del presente estudio para tener una guía en la compra de equipo.
- Elaborar el mismo estudio con el advenimiento de futuras marcas de resinas para evaluar si su comportamiento es el mismo.

LIMITACIONES

- Se dificultó la adquisición de un equipo específico para la medición de dureza superficial por lo que tuvo que hacerse una compra directa al extranjero.
- El alto precio del aparato para medir la dureza superficial.
- No se pudieron evaluar lámparas de alta intensidad debido al precio de éstas, ya que no hubo estudiantes que la tuvieran.

BIBLIOGRAFÍA

1. Anusavice, K. J. (2004). **Phillips ciencia de los materiales dentales**. 11 ed. Madrid: Elsevier. pp. 34-40.
2. Baggio, F. et al. (2007). **Effect of light curing modes and light curing time on the microhardness of a hybrid composite resin**. J Contemp Dental Practice Res. 8 (6): 1-10.
3. Baum, LL.; Phillips R. W. y Lund, M. R. (1988). **Tratado de operatoria dental**. Trad. Irina Lebedeff Spengler. 2 ed. México: Interamericana. pp. 87-90.
4. Giner, L. et al. (2004). **Lámparas de emisión de diodos (L.E.D.). El futuro de la fotopolimerización**. España: Universidad Internacional de Catalunya, Área de Biomateriales y Prótesis. pp. 1-2.
5. Gomes Filho, E. et al. (2008). **Evaluación de la dureza knoop de resina compuesta en función de la variación de la técnica de polimerización complementaria**. Acta Odont Venez Res. 46 (1): 1-8.
6. Grau Grullón, P. et al. (2008). **Polimerización de un cemento de composite a través de restauraciones de cerámico utilizando lámparas halógenas y LEDs**. Avanc en Odontoestomatol Res. 24 (4): 1-4.
7. Lafuente, D.; Blanco, R. y Brenes, A. (2005). **Efecto del tipo de lámpara de fotocurado en la polimerización de varias resinas**. Universidad de Costa Rica, Facultad de Odontología. 7: 89-91.



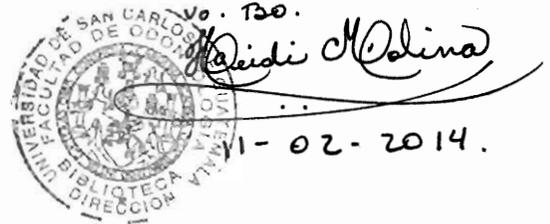
vo. 30.
Heidi Molina
11-02-2014.

8. Machado, C. et al. (2010). **Efecto de la unidad de luz y de la profundidad de polimerización sobre la microdureza de un composite.** Costa Rica: Odont Vital Res. 2 (13): 47-55.
9. Malhotra, N. y Mala, K. (2010). **Light-curing considerations for resin-based composite materials: a review. Part I.** Compen of Conti Edu in Dent Res. 31(7): 498- 505.
10. _____ (2010). Compen of Conti Edu in Dent Res. 31(8): 584- 590.
11. Nevarez Rascón, A. (2007). **Microdureza de tres tipos de composite fotopolimerizados con luz halógena y por diodo emision de luz.** Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Granada: Universidad de Granada, Departamento de Estomatología. 19 p.
12. Price, R. et al. (2010). **Knoop hardness of five composites cured with single-peak and polywave LED curing lights.** Quintes inter Res. 41(10): 181-191.
13. Price, R.; Felix, C. y Andreou, P. (2003). **Evaluation of a second-generation LED curing light.** J Canadian Dent Assoc Res. 69: 666a – 666i.
14. Pulgar, R. et al. (2004) **Valoración radiométrica de la lámpara smartlite®.** España: Universidad de Granada, Facultad de Odontología. 2 p.
15. Rahiotis, C. et al. (2010). **Curing efficiency of high-intensity light-emitting diode (LED) devices.** J of Oral Science Res. 52 (2): 187- 195.
16. Reviejo Fragua, M. (2002). **Eficacia de polimerización de una moderna lámpara halógena a través de la cerámica.** Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Madrid: Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Odontología. pp. 38-64.
17. Santos, E. et al. (2001). **Acerca del ensayo de dureza.** Industrial Data. Res. 4(2): 73-80.



No. 130.
Maidei Molina
11-02-2014.
65

18. Universidad Central de Venezuela. (2007). **Influencia de las unidades de curado led y luz halógena sobre la resistencia compresiva de las resinas compuestas.** Acta Odont Venez Res. 45 (2): 1-5.
19. Webb, L. et al. (2009). **Evaluación de la microdureza superficial de una resina compuesta según fuente de luz, su opacidad y tiempo de exposición.** Rev Estomatol Herediana Res. 19(2): 96-102.



El contenido de esta tesis es única y exclusiva responsabilidad del autor.



Carlos Augusto López Vásquez
Autor

FIRMAS DE TESIS DE GRADO



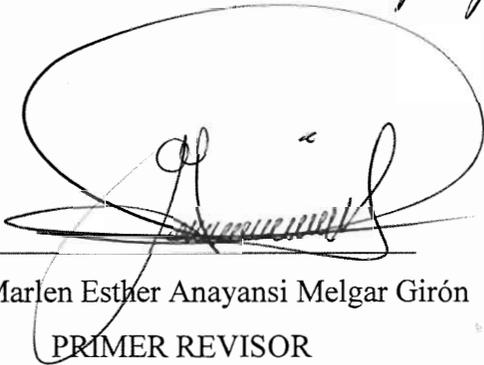
Carlos Augusto López Vásquez

SUSTENTANTE



Dr. Herman Horacio Mendía Alarcón

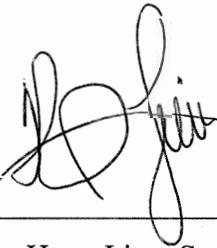
ASESOR



Dra. Marlen Esther Anayansi Melgar Girón

PRIMER REVISOR

Comisión de Tesis



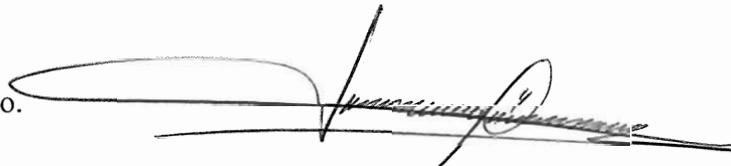
Dr. Víctor Hugo Lima Sagastume

SEGUNDO REVISOR

Comisión de Tesis

IMPRIMASE

Vo. Bo.



Dr. Julio Rolando Pineda Córdón
Secretario Académico
Facultad de Odontología
Universidad de San Carlos de Guatemala

