

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de postgrados**

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXURAL DE LA RESINA  
FILTEK P60 SOMETIDA A POLIMERIZACIÓN A TRAVÉS DE  
DIFERENTES LÁMPARAS DE FOTOCURADO**

**DICSON JAIR ANDRADE CORAL**

**TESIS DE GRADO PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL  
TITULO "ESPECIALISTA EN REHABILITACIÓN ORAL**

**QUITO, MAYO DEL 2009**

**Universidad San Francisco de Quito  
Colegio de postgrados**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Evaluación de la resistencia flexural de la resina Filtek P60  
sometida a polimerización a través de diferentes lámparas de  
fotocurado**

**Dicson Jair Andrade Coral**

**Dr. Alejandro Castillo** .....

**Director de Tesis**

**Dra. Nancy Mena** .....

**Miembro del  
Comité de Tesis**

**Dr. Ivan García** .....

**Miembro del Comité de Tesis**

**Dr. Francisco Buenaño** .....

**Miembro del Comité de Tesis**

**Dr. Mauricio Tinajero** .....

**Director del programa de  
Especialidades Odontológicas**

**Dr- Enrique Noboa** .....

**Decano del Colegio de Ciencias de la Salud**

**Victor Viteri Breedy, Ph.D.** .....

**Decano del Colegio de Postgrados**

**Quito, Mayo del 2009**

**© Derechos de autor**

**Dicson Jair Andrade Coral**

**2009**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mi familia, a los amigos y a las personas que me acompañaron hasta el final, a quien sino.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Dra. Anita Armas quien sin su tutela, paciencia y dedicación este trabajo no hubiera sido posible. Agradezco a mis profesores del postgrado quienes a más de instruirme durante esta dura carrera, me enseñaron el verdadero valor de mi profesión, a ellos mi más profundo respeto y cariño, a mi familia por su sacrificio y la confianza depositada en mí, espero no haberlos defraudado, a todas las personas que desde la oscuridad hicieron luz para mí impulsándome a llegar hasta el fin de este sueño y al comienzo de muchos más.

Gracias a todos

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la resistencia flexural de la resina compuesta Filtek P60 (3M/ESPE) al ser fotocurada por 3 lámparas LED y una lámpara halógena. Los tiempos de fotoactivación fueron de 20 segundos para las lámparas LED y de 40 segundos para la lámpara halógena. La distancia de la punta de fotoactivación en todos los casos fue de 2 mm de altura. La resina compuesta fue insertada mediante técnica incremental en un molde metálico realizado según la especificación ISO 4049 en molde metálico de 25 mm de largo, 2 mm de altura y 2 mm de ancho aproximadamente. Los especímenes fotocurados fueron almacenados en agua destilada a 37°C por una semana antes de la realización de las pruebas. Luego de lo cual fueron posicionados en un soporte con dos columnas paralelas distanciadas a 20 mm y cargadas en la mitad con otra columna hasta que la fractura ocurra. Los datos obtenidos tras la prueba de resistencia flexural fueron analizados por medio de ANOVA pudiendo concluir que pese a la variabilidad de las resistencias con la lámpara halógena, las cuatro lámparas presentan valoraciones de resistencia similares.

Palabras clave: Resistencia flexural, resina compuesta, lámpara LED, lámpara halógena, fotopolimerización

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the resistance flexural of the composite resin Filtek P60 (3M/ESPE) to being light-cure for 3 units LED and a halogen unit. The times of fotoactivación were of 20 seconds for the lamps LED and of 40 seconds for the halogen unit. The distance of the light-cure tip in all cases was of 2 mm high. The composite resin was inserted by incremental technique in a metallic mold carried out according to the specification ISO 4049, the metallic mold is approximately of 25 mm long, 2 mm high and 2 mm wide. The specimens light-cured were stored in water distilled at 37°C by one week before the realization of the tests. The specimens were positioned in a support with two parallel columns distanced to 20 mm and loaded in the half with another column until the fracture happens.

The obtained data of the resistance flexural were analyzed by means of ANOVA the obtained results they will allow to conclude that all the carried out tests point to show that the variability of the resistances of the halogen unit is bigger that the others lamps, but the results of the units LED they spread to be homogeneous; at level of the resistances average the 4 lamps would have similar resistance valuations.

**Key Words:** Strenght flexural, composite resin, unit LED, halogen unit, light-cure

## TABLA DE CONTENIDOS

	<b>Página.</b>
Derechos de autor.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
Tabla de Contenidos.....	viii
Lista de Tablas.....	xi
Lista de Gráficos .....	xii
Lista de Figuras.....	xiii
1. Introducción.....	1
2. Revisión de la literatura.....	5
2.1 Fuentes de activación de las resinas compuestas.....	5
2.1.1 Luz halógena.....	7
2.1.1.1 Ventajas.....	9
2.1.1.2 Desventajas.....	10
2.1.2 Lámparas LED.....	13
2.1.2.1 Uso de las lámparas L.E.D. en Odontología.....	17
2.1.2.2 Ventajas.....	17
2.1.3 Lámparas de arco de plasma.....	21
2.1.4 Láser.....	23
2.1.4.1 Láser de Argón.....	23
2.2 Modos de curado.....	24
2.2.1 Boost/High/Fast.....	24
2.2.2 Regular/Normal/Standard.....	24



2.2.3	Bajo o adhesivo.....	25
2.2.4	Step.....	25
2.2.5	Rampa.....	25
2.2.6	Pulso.....	25
2.3	Reacción de fotopolimerización.....	25
2.4	Fotoiniciadores.....	28
2.4.1	Canforoquinona.....	28
2.4.2	Fenilpropanodiona.....	30
2.4.3	Lucerina.....	30
2.5	Pruebas de eficiencia en el proceso de polimerización.....	31
2.6	Resistencia Flexural.....	31
3.	Objetivo.....	38
3.1	Objetivos específicos.....	38
4.	Hipótesis.....	38
5.	Materiales y métodos.....	39
5.1	Tipo de estudio.....	39
5.2	Muestra.....	39
5.3	Método.....	39
5.3.1	Preparación de bloques cilíndricos.....	39
5.3.2	Almacenamiento de las muestras.....	44
5.3.3	Análisis de Resistencia Flexural.....	45
5.3.4	Grupos de Estudio.....	47
6.	Resultados.....	47
6.1	Resultados de análisis descriptivo.....	47
6.2	Estimaciones de máxima verosimilitud.....	54

6.3 Análisis no paramétrito.....	58
7. Discusión.....	59
8. Conclusiones.....	63
9. Bibliografía.....	64
Anexo 1.....	69
Anexo 2.....	70

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página.</b>
Tabla 1. Grupos y lámparas.....	47
Tabla 2. Resultados de las pruebas de resistencia flexural.....	48
Tabla 3. Prueba Kolmogorov-Smirnov.....	52
Tabla 4. Prueba ANOVA.....	52

## LISTA DE GRÁFICOS

	<b>Página.</b>
Gráfico 1. Longitud de onda de la canforoquinona.....	29
Gráfico 2. Longitud de onda de la fenilpropanodiona.....	30
Gráfico 3. Longitud de onda de la lucerina.....	31
Gráfico 4. Resistencia según el tipo de lámpara.....	49
Gráfico 5. Variabilidad de resistencias según lámpara.....	50
Gráfico 6. Resistencias promedio.....	51
Gráfico 7. Intervalos de confianza.....	53
Gráfico 8. Estimación de máxima verosimilitud.....	54
Gráfico 9. Resistencias promedio según lámpara.....	55
Gráfico 10. Valoración de eliminación temporal.....	56

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página.</b>
Figura 1. Espectro electromagnético.....	6
Figura 2. Bombilla halógena y filtro óptico para luz azul.....	7
Figura 3. Puntas turbo.....	. 8
Figura 4. Estructura de un LED.....	14
Figura 5. Color Original de la luz sin filtrar emitida por bombilla halógena, de plasma y LED.....	16
Figura 6. Estructura química y fotografía de la canforoquinona.....	29
Figura 7. Prueba de resistencia flexural.....	32
Figura 8. Colocación del molde metálico.....	40
Figura 9. Aplanamiento de la muestra.....	41
Figura 10. Colocación de la matriz metálica (2mm).....	41
Figura 11. Polimerización de las muestras.....	42
Figura 12. Intensidad máxima de las diferentes lámparas.....	43
Figura 13. Almacenamiento de las muestras.....	44
Figura 14. Velocidad de la carga.....	45
Figura 15. Prueba de resistencia flexural.....	45

Figura 16. a) Medidor de la fuerza máxima de fractura, b) Máquina de ensayos universal MTS modelo 5000.....46

## 1. INTRODUCCIÓN

Ante el aumento en la demanda de la odontología estética y conservadora, la industria ha incrementado sus esfuerzos en el desarrollo y la aplicación de nuevas fuentes de luz cada vez más rápidas y eficaces para la fotoactivación de materiales clínicos. Los odontólogos, que hasta hace muy pocos años sólo utilizábamos y conocíamos un único tipo de lámparas de polimerización nos vemos ahora obligados a navegar entre múltiples opciones tecnológicas a la hora de elegir una fuente lumínica adecuada (Gumbau, 2003).

Con la llegada de las resinas compuestas, la calidad de la fotopolimerización se ha convertido en una de las grandes preocupaciones de los investigadores en el área. Para esto nuevas tecnologías han sido desarrolladas para conseguir producir la luz apropiada para la conversión adecuada de los composites, produciendo mejoras en sus propiedades físico –mecánicas (Hammesfahr y cols, 2002).

La activación por luz es todavía preferida universalmente, las principales ventajas de los composites activados por luz son una estructura libre de poros, la homogeneidad de la activación (mejora físico-químicas y resistencia al desgaste) y la posibilidad de una aplicación en múltiples capas para mejorar la adaptación y la estética (Lutz y cols., 1984; Lutz y cols, 1986; Ruyter, 1985).

La luz ultravioleta fue el primer tipo de fuente lumínica utilizada para la fotoactivación de composites en la década de los setenta, aunque fue rápidamente reemplazada por otros sistemas debido a su escasa capacidad de penetración (Poloniato, 1998), lentitud de fotoactivación y riesgo de dermatosis o lesión ocular ante exposiciones prolongadas (Hammesfahr y cols. 2002).

Desde mediados de los ochenta y hasta mitad de los noventa, la principal fuente de iluminación utilizada ha sido la lámpara halógena, la cual ha sufrido una escasa evolución cualitativa durante este periodo, ya que los principales esfuerzos científicos se encaminaban hacia la mejora de la polimerización mediante el desarrollo y la evolución sobre la propia composición química de los materiales fotocurables (Gumbau, 2003).

En los aparatos de luz halógena, los filtros utilizados para no dejar pasar la longitud de onda inactivos para una canforoquinona forman un haz de luz mucho más pequeño, resultando en apenas 1% de energía aprovechada. Además las altas temperaturas generadas en el funcionamiento que degradan los componentes de los bulbos de la lámpara de luz (Duna y Bush, 2002; Hammesfahr y cols. 2002).

En la búsqueda de mejorar la eficiencia de la fotoactivación, nuevos aparatos han sido desarrollados, ya que como se sabe una polimerización adecuada depende principalmente de la intensidad de la fuente de luz, de la longitud de onda emitida y del tiempo de radiación (Leonard y cols. 2001), es por esto que las lámparas LED (luz de emisión de diodos) se presentan como una opción adecuada.

Las LED fueron propuestas en 1995 como alternativa para fotoactivar resinas compuestas. En lugar de los filamentos usados en los bulbos de la luz halógena, uniones de semiconductores son utilizadas para generar luz, por ser resistentes a choques y vibraciones, además de generar menor calor y gastar poca energía. Las LED producen luz con intensidad de onda de 400 a 500 nm (nanómetros), próximo a la banda de absorción de la canforoquinona (Duna y Bush, 2002).

A pesar de que estos nuevos aparatos de fotoactivación pueden ser utilizados en la práctica clínica, es necesario que sean probados en un laboratorio. La fotoactivación de resinas compuestas de forma insuficiente, puede resultar en fallas en las restauraciones, disminuyendo su longevidad (Rode, 2006). Una de las

pruebas utilizadas para verificar la profundidad de polimerización en las propiedades físicas de la resina es resistencia flexural.

Según el tipo de luz utilizada, otros factores pueden interferir en la profundidad de polimerización de las resinas compuestas como el tiempo de exposición, color de la resina, tipo de resina, calidad de luz emitida y localización de la luz (Correr y cols., 2000; Leloup y cols., 2002). La distancia entre la fuente de luz y la resina, por ejemplo, interfiere directamente en la intensidad de luz sobre la superficie de la resina, y por ende en la profundidad de la polimerización. Según la literatura, la intensidad de la luz disminuye cuando la punta del aparato esta distanciada de la resina compuesta (Caldas y cols. 2003; Pires y cols. 1993).

Clínicamente, el control de esta distancia es mucho más difícil, debido a algunos factores que no permiten que la punta del aparato se aproxime a la resina compuesta durante la fotoactivación (puntas de cúspides, restauraciones proximales, posición del diente en la arcada (Rode, 2006).

Las magnitudes fundamentales para conocer la resistencia a las fuerzas oclusales de un material determinado son: la resistencia a la flexión, el módulo de elasticidad y la resistencia a la fractura (Sabbagh y cols. 2002). Por tanto, su cuantificación permite también predecir la aparición de fracturas tanto en el propio material como en los márgenes (Manhart 2000) de la restauración, o lo que es lo mismo, la longevidad de la restauración bajo condiciones clínicas simuladas (Gladis y cols. 1997).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento mecánico de la resina Filtek P60 (3M/ESPE) por medio de la determinación de la resistencia flexural de dicha resina al ser fotopolimerizada con 3 lámparas LED y una lámpara halógena, todos materiales disponibles en nuestro mercado.



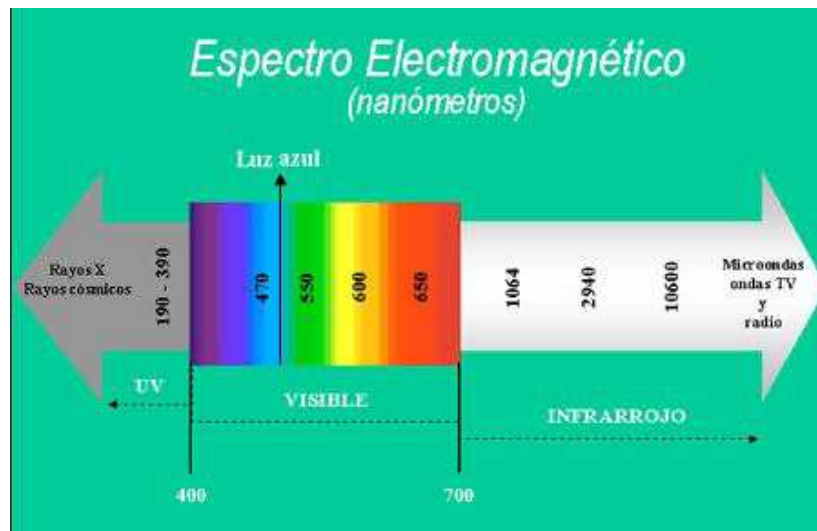
## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1 FUENTES DE ACTIVACIÓN EN ODONTOLOGÍA

Yearn (1985) estudió algunos factores que determinan las características de polimerización y eficiencia de los composites activados por luz visible (composición del material restaurador, luz incidente y técnica utilizada por el profesional). El autor relata que la composición de la resina (matriz y/o carga) puede afectar la transmisión de la luz, y que longitudes de onda debajo de 400 y encima de 500 nm contribuyen poco a la foto activación de las resinas, siguiere como ideal 470 nm. Las características de la fotoactivación dependen la longitud de la onda de luz disponible, que a su vez depende de la fuente luminosa utilizada. Utilizando un aparato de fotoactivación con intensidad de 300 a 1000 mW/cm<sup>2</sup> (miliwats por centímetro cuadrado), observaron que el aumento de la intensidad y la disminución de la distancia de la punta no sólo afectarán la profundidad de polimerización sino también la dureza máxima de la superficie. Sugieren que el profesional deba controlar el tiempo de irradiación y la distancia de la punta fotoactivadora.

Tate y cols (1999) abordaron algunas relevancias en el proceso de fotoactivación. El espectro de absorción para el más común fotoiniciador de composites fotoactivados, la canforoquinona, está entre 450 y 500 nm (nanómetros) con un máximo de absorción de 477 nm (Figura 1). La luz de polimerización es medida en intensidad de radiación (mw/cm<sup>2</sup>) y puede afectar las propiedades físicas de los composites, como la adhesión. Los autores verificaron en la literatura que lo mínimo de 400 mw/cm<sup>2</sup> es indicado para polimerizar resinas compuestas, y que altas intensidades pueden aumentar la contracción de polimerización. Un instrumento eficiente para medir la intensidad de radiación de los aparatos fotoactivadores de luz visible es el radiómetro, que es capaz de medir la intensidad de luz en una estrecha longitud de onda. Verificarán también que algunos factores pueden influenciar en la transmisión de luz a través de los materiales como, la espesura del color del material (color oscuro perjudica la transmisión de luz), forma de cavidad y la distancia entre la fuente y la superficie de la restauración. Y

demonstraron que, como la polimerización de los materiales restauradores generalmente disminuye de la superficie para el interior de la resina, la dureza de superficie no puede ser considerada como un buen indicador de que la resina fue completamente polimerizada.



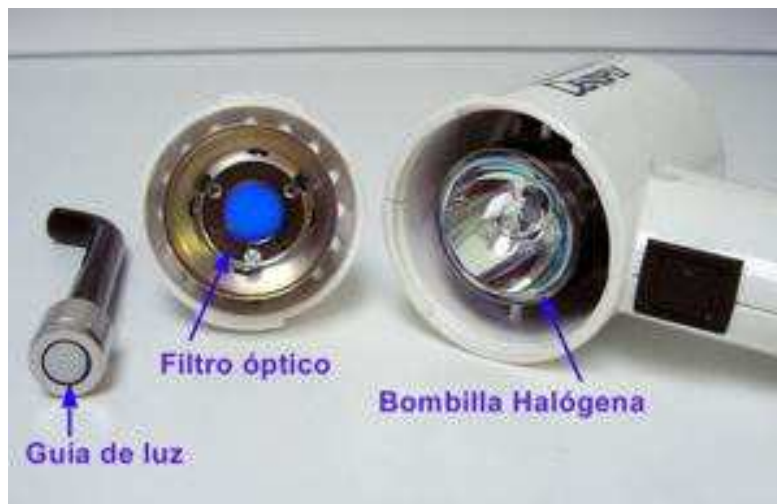
**Figura 1.** Espectro electromagnético (Quintessence Vol. 16, Número 3, 2003)

Para la adquisición de una lámpara es preciso analizar una serie de factores, como la potencia que brinda, si posee características de manipulación adecuadas en cuanto a eficiencia y confort, si es una unidad con cable o sin cable, el tipo de señales acústicas que emite, junto con otras características. Existe cierta desinformación de lo que significa el curado inadecuado de una restauración, secuela que no podrá detectarse tal vez por años (Barrancos, 2006).

### 2.1.1 LUZ HALÓGENA

La luz halógena convencional consiste en un filtro de 100 nm. de banda que oscila entre los 400 y 500 nm. La base física de producción de luz se basa en que objetos calentados emiten radiación electromagnética. En el caso de las lámparas de luz halógena la luz se produce cuando una corriente eléctrica fluye a través de

un filamento de tungsteno. El filamento actúa como una resistencia y el paso de corriente genera calor, en el interior de su ampolla de vidrio existe una atmósfera gaseosa de halógeno (Grupo VII en la tabla periódica) cuya función es evitar que el filamento incandescente se quemara (Rovira, 2006).

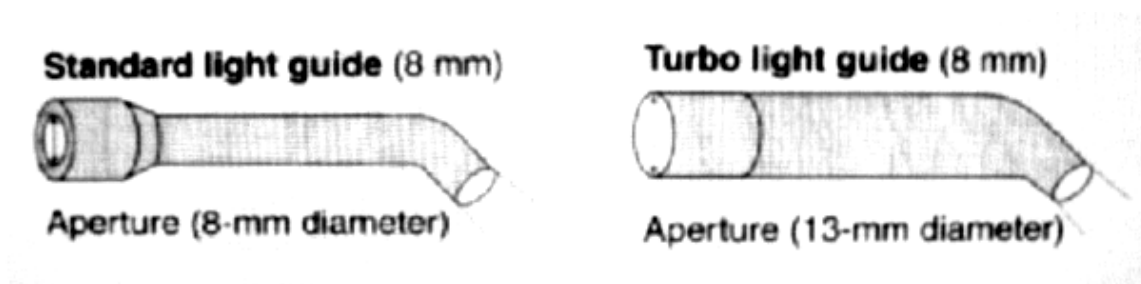


**Figura 2.** Bombilla halógena y filtro óptico para luz azul (Quintessence Vol. 16, Número 3, 2003)

Un filamento calentado aproximadamente a  $1000^{\circ}\text{C}$  (mil grados centígrados) genera calor en forma de radiación infrarroja (longitudes de onda larga). Cuando la temperatura sube hasta  $2000-3000^{\circ}\text{C}$  una porción significativa de la radiación se emite en forma de espectro de luz visible (longitudes de onda corta). Estas lámparas producen luz blanca. Para producir luz de una longitud de onda específica, ésta debe ser filtrada (Figura 2). Como resultado gran parte de esta gran radiación es desperdiciada (Rovira, 2006).

Según Gumbau en su artículo "*Fuentes lumínicas para la fotoactivación en odontología*" (2003), el espectro de emisión de estas lámparas es de 360-500 nm, con un pico energético en los 460 nm. En función de su potencia lumínica, pueden subdividirse a su vez en 2 tipos:

- a) Halógenas convencionales, con una densidad de potencia (potencia lumínica por unidad de superficie) de 350-700 mW/cm<sup>2</sup>
- b) Halógenas de alta densidad de potencia, con una densidad de potencia mayor de 700-1700 mW/cm<sup>2</sup>, que consigue mediante el uso de bombillas más potentes o puntas “turbo” (Figura 3), las cuales son capaces de recoger una mayor cantidad de luz procedente de la bombilla para enfocarla en un área más pequeña que, por tanto, recibirá una mayor densidad lumínica (incrementos de hasta 49% en la densidad de potencia frente a una guía lumínica estándar).



**FIGURA 3.** Puntas turbo (Geodental.com publicado en el 28/05/02)

En la Optilux 500 la intensidad de salida con la guía Turbo+ es de más del doble que la obtenida con la estándar, mientras que a 4 mm de distancia la intensidad registrada con la guía Turbo+ es de 470 mW/cm<sup>2</sup> y con la estándar es de 489 mW/cm<sup>2</sup> (Price y col. 2000). Además, la profundidad de polimerización es similar a la conseguida con la estándar, la fuerza de adhesión que consiguen es menor, el calor producido es significativamente mayor y, además son más caras (Mallat, 2002).

Bhamra y Fleming, en el 2008 evaluaron si las variables de irradiación de luz (diámetro de la punta, intensidad, protocolo de irradiación) tenía influencia sobre la resistencia flexural y el módulo de elasticidad de cuatro resinas compuestas basadas en metacrilato (RBCs). Para lo cual, barras rectangulares (25 mm x 2 mm x 2 mm; n=20 por grupo) de 4 RBCs fueron irradiadas a varias intensidades (640 y

790 mW/cm<sup>2</sup>; en modo estándar y modo boosted) con diferentes diámetros de puntas (8, 11, 13 y 25 mm) y para el diámetro de punta turbo 8 mm a una intensidad de 880 y 1040 mW/cm<sup>2</sup> (modo estándar y boosted). Los especímenes fueron almacenados en un contenedor a prueba de luz por 24h a 37° C y probadas en flexión en 3 puntos. Un análisis One-way de variación fue hecha P=0.05, guiados por una corrección de Tukey en análisis múltiples parciales. Encontrándose como resultados que la media de la resistencia flexural y el módulo flexural de las cuatro RBC, irradiadas con varias intensidades, diámetros de punta y protocolos de irradiación no mostraron diferencias estadísticas. Igualmente la punta convencional de 8 mm y la punta turbo mostraron que no hay diferencias significantes para la variedad de intensidades y protocolos de irradiación. Concluyendo que dentro de las limitaciones de este estudio el diámetro de la punta de luz halógena, intensidad y protocolo de irradiación no tiene influencia en la resistencia flexural y el módulo de elasticidad.

#### **2.1.1.1 VENTAJAS**

- Su espectro de emisión de luz que es más próximo a la curva de absorción de la canforoquinona y a pesar de no ser tan próxima a la curva de absorción de la propandiona, y próximo a la región de 400 a 450 nm, lo que permite la sensibilización de este tipo de fotoiniciador también (Hammesfahr y cols. 2002).
- Es un aparato disponible ya bastante tiempo que ha sido probado a lo largo de los años, con un aumento de su potencia así como la disminución del tiempo necesario para la fotoactivación de las resinas (Hammesfahry cols. 2002).
- Bajo costo (Rovira 2006).

### 2.1.1.2 DESVENTAJAS

- La emisión de un largo espectro de luz, desde infrarrojo a ultravioleta, siendo necesario un filtro para que apenas un pequeño porcentaje de ese espectro, útil para la activación de las resinas, sea transmitida. Por causa de la gran cantidad de luz infrarroja es generado también mucho calor, por eso la necesidad de refrigeración del aparato (Hammesfahr y cols. 2002).
- Inadecuada intensidad de luz, que puede ser causada por fluctuación en el voltaje, deterioro del bulbo, reflector o filtro, contaminación del patrón de luz, o los efectos nocivos de los procedimientos de desinfección de la unidad (Craford. Y cols., 2001).

Friedman y Hassan (1984) estudiaron la profundidad de polimerización de varios aparatos de luz halógena de marcas diferentes, por medio de la medida de dureza Barcol de cuatro resinas. Antes de cada prueba, la intensidad de luz de cada aparato fue medida con un radiómetro. Los mayores valores de dureza fueron obtenidos con los aparatos que generaban mayor intensidad de luz y con mayor diámetro en la punta.

Rueggeberg, Caugman y Curtis Jr, (1994) investigaron la interdependencia entre el tiempo de exposición y la intensidad de la fuente de luz en las resinas compuestas en varias profundidades. Utilizaron una resina híbrida y una microparticulada. Evaluaron las intensidades de 800, 578, 400 y 233 mw/cm<sup>2</sup>. Las muestras fueron fotoactivadas por 20, 40, 60 y 80 segundos. Evaluaron por medio de espectroscopia de infrarrojo y verificaron que, con el aumento de la profundidad, hay una disminución drástica de polimerización de resinas compuestas. Los autores concluirán que 60 segundos de exposición es recomendado para promover una polimerización uniforme y compensar la disminución en la intensidad de fuente de luz. Los incrementos de resina no

deberían pasar de 2 mm de espesura, siendo que lo ideal sería incrementos de 1 mm, polimerizados con una intensidad mínima de 400 mW/cm<sup>2</sup>, y que no se debería utilizar intensidad menor que 233 mW/cm<sup>2</sup>, por ser responsables de los peores resultados de polimerización.

Las luces fotoactivadoras de alta intensidad son recomendadas casi que universalmente. Unterbrink y Muessner (1995) estudiaron la influencia de luz en los composites restaurados en relación a las propiedades de contracción de polimerización; el módulo de resistencia flexural; perfil de dureza Vickers y adaptación marginal. Utilizaron 2 sistemas adhesivos de dos resinas compuestas, ambos polimerizados por 40 segundos, con dos intensidades luminosas 450 mW/cm<sup>2</sup> y 250 mW/cm<sup>2</sup>. Los autores concluyeron que la alta intensidad de luz reduce la calidad del margen de las restauraciones; el módulo flexural fue influenciado por la intensidad luminosa. La dureza no fue afectada por la intensidad de luz a una profundidad de 4,5 mm.

Manga, Charlton y Wakefield (1995) investigaron in vitro el uso de un radiómetro para prever una profundidad de polimerización correlacionando con valores porcentuales de dureza Knoop. El valor de 80% de dureza fue usado como patrón para indicar la polimerización satisfactoria. Los valores fueron correlacionados con las lecturas del radiómetro para evaluar la polimerización de los aparatos. Pruebas estadísticas mostraron que hay un 10% de probabilidades de que un aparato fotopolimerizador con una lectura de 300 mW/cm<sup>2</sup> en el radiómetro produzca resina compuesta con más de 80% de porcentaje de dureza. Los autores concluyeron que el radiómetro es un método acertado para determinar la eficiencia de aparatos fotopolimerizadores para polimerizar resinas compuestas. Y que el valor de 300 mW/cm<sup>2</sup> en el radiómetro tal vez sea muy bajo para polimerizar resinas compuestas adecuadamente.

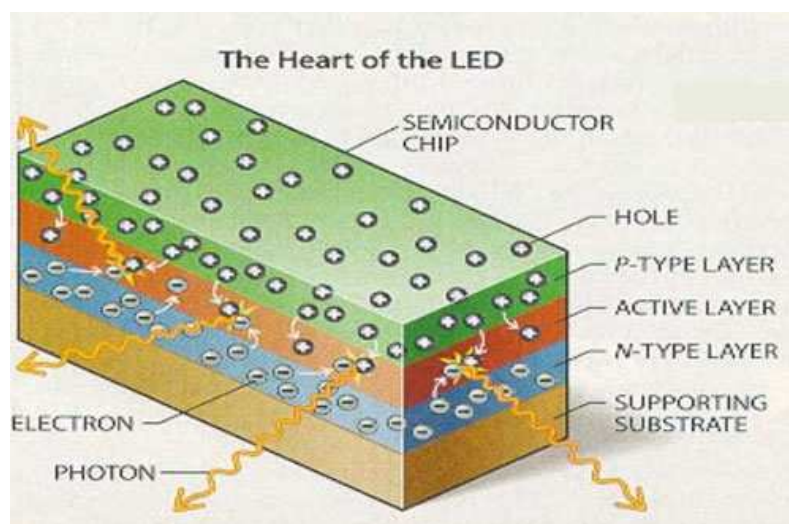


Leonard y cols. (2001) determinaron una irradiación mínima requerida para la fotoactivación de un composite híbrido y uno de micropartícula con 2 mm de espesor, utilizando un tiempo de 40 y 60 segundos, y valores de potencia de 100 hasta 700 mW/cm<sup>2</sup>, con aumento cada 25 mW/cm<sup>2</sup>. después de 24 horas, la dureza Knoop fue medida para cada lado de la muestra y fue calculado el porcentaje de dureza Knoop de superficie y de fondo. Un valor mínimo de 80% fue usado para indicar una polimerización satisfactoria (la media de los valores de superficie dividida por la media de los valores de fondo multiplicado por 100). Los resultados mostraron que una potencia de 300 mW/cm<sup>2</sup> parece adecuada para una apropiada polimerización de las resinas híbridas, pero una resina de micropartícula precisa de más de el doble de irradiación que la híbrida para ser considerada fotoactivada adecuadamente, probablemente debido a las pequeñas partículas de las resinas de micropartículas que causan dispersión de la luz, disminuyendo la profundidad y efectividad de la polimerización. Los autores concluyeron que estos resultados indican que los valores mínimos de irradiación previamente determinados pueden ser insuficientes para la fotoactivación adecuada de composites resinosos de micropartículas.

### **2.1.2 LAMPARAS LED**

Es bien sabido que las lámparas halógenas deben proveer un mínimo de irradiación (densidad de poder) de 300 mW/cm<sup>2</sup> a 400 mW/cm<sup>2</sup> para una adecuada polimerización de 1,5 a 2 mm de resina compuesta usando los tiempos de curado recomendados por el fabricante, esta recomendación fue hecha cuando las luces halógenas dominaban el mercado, y no se consideró los efectos de los diferentes espectros de emisión dados por las nuevas generaciones de lámparas de fotocurado, el tipo de resinas compuestas o el área de superficie de un composite polimerizado (Fan y cols., 2002).

Luz emitida por diodos, no produce una luz visible por el calentamiento de filamentos metálicos, pero presenta efectos quatum-mecánicos. Básicamente esta tecnología corresponde a una 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. Los n-doped semiconductores tienen un exceso de electrones y los p-doped semiconductores tienen una necesidad de electrones. Cuando ambos tipos de semiconductores son combinados y un voltaje es ampliado, los electrones de material n-doped y los agujeros del p-doped son conectados. Como resultado de la característica del diodo se genera una luz con una específica longitud de onda (Figura 4).



**Figura 4.** Estructura de un LED (Scientific American, 2, 63-67(2001))

Las lámparas LED constituyen el tipo de lámparas de fotopolimerización de tecnología más reciente. Utilizan como fuente de iluminación los LED (luz visible emitida por diodos). Este tipo de fuente luminosa es una de las más comúnmente utilizadas en la industria de la optoelectrónica para paneles indicadores de todo

tipo. Las LED son lámparas de tipo “luminiscente” basadas en la utilización de determinados materiales semiconductores que poseen la propiedad de polarizarse al ser atravesados por la corriente eléctrica, emitiendo energía óptica en forma de luz visible (fenómeno de electroluminiscencia) (Gumbau, 2003).

El color de la luz emitida (longitud de onda) depende del tipo de semiconductor utilizado en la confección del LED. En las lámparas de fotopolimerización habitualmente se utilizan varios LED de forma simultánea (7 a 21 diodos) de semiconductor SiC o InGaN, ordenados en círculos concéntricos que emiten una luz azul de 450-480 nm, con un pico en los 470 nm y potencia lumínica en torno a 400 mW/cm<sup>2</sup> (kurachi, 2001).

El espectro emitido coincide con una curva de absorción de la canforoquinona, la eficiencia para propandiona es limitado. Además es un dispositivo sólido, es menos frágil que los tubos de gas de laser o de los bulbos de luz halógena. (Hammesfahr y cols, 2002).

La primera generación de lámparas de fotocurado LED tenían un poder relativamente bajo y no funcionaban tan bien como una lámpara halógena en correcto funcionamiento (Gumbau, 2003), este tipo de lámparas tenía una intensidad de 150-350 mW/cm<sup>2</sup> y funcionaban sin ventilador. Las afirmaciones en publicidad que afirmaban que estos aparatos tenían “luz fría” y que “no había aumentos de temperatura” debido a estos aparatos fueron decepcionantes (Burtscher, 2007). La segunda generación de LED’s proveían un gran poder de salida, pero el rango espectral fue todavía limitado comparado con una lámpara halógena (Uhl y cols. 2004).

Los aparatos LED de alto rendimiento necesitan enfriamiento de alta eficiencia, ya que los circuitos LED se van calentando mucho durante el funcionamiento. La luz LED no puede ser llamada luz fría. Cuanto más alto sea el rendimiento del circuito

LED, más alta la intensidad y más alta la energía que es absorbida cuando la luz golpea un medio. A medida que la energía absorbida es transformada en calor las lámparas LED de alto rendimiento generan un calor considerable (Burtscher, 2007).

Poseen un bajo consumo eléctrico, lo que permite el uso de una batería que evita, a su vez la incomodidad de la existencia del cable conectado a la base. Son bombillas de larga duración y no presentan (según el fabricante) pérdida de intensidad de iluminación por envejecimiento de la bombilla (a diferencia de lo que ocurre con las bombillas halógenas y de plasma) (Gumbau 2003).

Los V-LED empleados emiten luz azul con una longitud de onda adecuada para la fotoactivación sin necesidad de interposición de filtro óptico. Esto justifica que, con menor potencia lumínica, dispongamos de una fuente luminosa de eficiencia comparable a la de las lámparas halógenas de mayor potencia, pero con ausencia de las radiaciones caloríficas indeseables próximas a la banda del rojo (Gumbau, 2003) (Figura 5).



**Figura 5.** Color Original de la luz sin filtrar emitida por bombilla halógena, de plasma y LED (Quintessence Vol. 16, Número 3, 2003)

El hecho de no requerir filtro óptico elimina el riesgo de pérdida progresiva de eficiencia lumínica derivada del deterioro por envejecimiento del citado filtro (existente en las lámparas halógenas y de plasma) (Gumbau, 2003).

#### **2.1.2.1 USO DE LAS LÁMPARAS LED EN ODONTOLOGÍA**

Según Carpio (2005) los principales usos y ventajas de las lámparas con tecnología LED en Odontología son las siguientes:

- Blanqueamiento dental (activación del gel blanqueador y polimerización de la barrera gingival)
- Restauraciones directas (resinas compuestas, ionómeros y adhesivos)
- Restauraciones indirectas (cementación adhesiva de laminados, inlays, pernos y coronas estéticas)
- Collage de brackets y accesorios ortodónticos
- Activación de materiales fotoactivados (sellantes, cementos quirúrgicos etc.)

#### **2.1.2.2 VENTAJAS**

- Son de pequeño tamaño y ergonómico debido al reducido tamaño de la fuente luminosa.
- Silenciosas debido a que el tipo de bombilla no requiere refrigeración
- Mayor duración de la vida del equipo.

- Posibilidad de confeccionarlas en un tamaño significativamente menor a las lámparas de luz halógena.
- Facilidad de limpieza y desinfección por la carencia de ranuras para su ventilación.
- Bajo consumo de energía.
- Mejores condiciones de envejecimiento del equipo.
- Mayor control sobre la intensidad y duración de la emisión de luz.
- Disminución del tiempo de trabajo clínico.

Dunn y Bush (2002) compararon aparatos fotoactivadores de luz halógena con aparatos LED. Analizando la microdureza Knoop en la superficie y en la cara opuesta de las muestras de resina verificaron que los valores fueron mejores para las resinas fotoactivadas con luz halógena cuando comparadas con las fotoactivadas con LED.

Asmussen y Peutzfeldt (2003) compararon algunas propiedades de la resina compuesta fotoactivadas por LED con las propiedades de la fotoactivada por luz halógena. Las resinas estudiadas fueron Z-250, pertac II y la Definite, ésta, según los fabricantes no posee canforoquinona como principal iniciador. Las propiedades investigadas fueron el módulo flexural, la profundidad de polimerización removiendo una parte no polimerizada después de la irradiación, contracción de polimerización y grado de conversión por el método FTIR (infra). Los resultados mostraron que las propiedades de las resinas fotoactivadas con LED fueron semejantes o inferiores cuando fueron comparadas con las de las resinas irradiadas con luz halógena. Con relación al módulo flexural y la profundidad de polimerización, las tres resinas activadas por todos los aparatos estudiados satisficieron los requisitos de las normas ISO.

Wiggins y cols. (2004) evaluaron 4 aparatos fotoactivadores, una luz halógena convencional, una luz halógena de alta intensidad, una LED 1ª generación y un

LED de alta intensidad por medio de la determinación de extensión de polimerización, de adhesión y del aumento de la temperatura. La intensidad de LED de alta intensidad fue de 1000 mW/cm<sup>2</sup> comparado al de la luz halógena de alta intensidad en módulo turbo. Las medidas de la adhesión obtenidas para las resinas fotoactivadas por la LED de alta potencia por 10 segundos fueron equivalentes a las obtenidas por los demás aparatos utilizados por 20 segundos. Una resina compuesta fotoactivada por LED de alta potencia por 10 segundos mostró un menor aumento de temperatura que la de la luz halógena de alta intensidad cuando utilizados a un mismo tiempo con la luz halógena convencional utilizada por 20 segundos. Concluyeron que el aparato LED de alta intensidad que funciona con baterías puede ser efectivo reduciendo el tiempo de fotoactivación por la mitad.

Bala y cols (2005) compararon la efectividad de dos aparatos fotoactivadores por medio del grado de conversión infrarrojo. Fueron utilizadas muestras de diferentes resinas compuestas (dos híbridas, cuatro condensables y una con base cerámica) y después fotoactivadas por 40 segundos con un aparato de luz halógena (Hilux Ultra Plus) y un LED (Elipar Freelight). Con excepción de surefil y de Z 250 que no mostraron diferencia significativa entre ser fotoactivada con una LED o con luz halógena, para las otras resinas, la LED tiene un desempeño superior. Con esto los autores concluirán que la LED utiliza energía suficiente para polimerizar hasta 2 mm con un tiempo de 40 segundos siendo superior que los aparatos de luz halógena.

Nakfoor y cols. (2005) compararon 6 tipo de aparatos LED's con una de luz halógena convencional, no encontraron diferencia en la contracción de polimerización de resinas microhíbridas fotoactivadas tanto con LED como luz halógena, la resina híbrida mostró menor contracción cuando fue fotoactivada con la luz halógena. Todos los aparatos LED estudiados mostraron valores de dureza Knoop menores que los obtenidos con luz halógena tanto en la superficie como en la cara opuesta de las muestras de resina.

Recientemente han sido comercializados una segunda generación de aparatos fotoactivadores LED, que según los fabricantes son capaces de polimerizar la resina compuesta en la mitad del tiempo que los aparatos antecesores. Shortall (2005), al estudiar la extensión de profundidad de polimerización (por medio de la utilización de un penetrómetro digital) de una misma resina compuesta, pero de colores diferentes, mostró que los aparatos LED de segunda generación (Freelight 2-3M) utilizando por 20 segundos obtiene profundidades de polimerización semejantes a las obtenidas por los aparatos LED de primera generación (Freelight-3M) y por los aparatos de luz halógena (XL 3000-3M), ambos utilizados por 40's. con esto, confirmaron que los aparatos LED de segunda generación pueden ser utilizados por la mitad del tiempo cuando son comparados con los aparatos que los antecedieron.

Los estudios realizados demuestran que la calidad de luz de polimerización no es exclusivamente debido a la intensidad de luz; también se debe tomar en cuenta el nivel de absorción del sistema iniciador. Esto hace que el espectro emitido sea un factor importante y determinante en el desempeño de una lámpara de polimerización. La curva de absorción de la canforoquinona se extiende entre 360 a 520 nm, con un máximo a 465 nm. El espectro de emisión óptimo de una fuente de polimerización es por lo tanto entre 440 y 480 nm.

En los dispositivos de polimerización convencionales, 95% de la luz es emitida en longitud de ondas entre 400 y 510 nm. De tal modo que la mayor porción de los fotones son emitidos por afuera del rango de espectro óptimo para fotopolimerizar. Estos fotones, no pueden, o sólo mediante una reducida probabilidad, ser absorbidos por la canforoquinona. En contraste, 95% del espectro emitido por las LED azules es situado entre 440 y 500 nm. La emisión máxima de un LED azul es 465 nm, la cual es idéntica que el máximo de la canforoquinona. La probabilidad de un fotón emitido por una lámpara de polimerización LED de ser absorbido por la canforoquinona es por lo tanto mayor que para una lámpara halógena. La siguiente conclusión puede ser tomada de las siguientes consideraciones: las



lámparas LED poseen menor intensidad de luz que las lámparas halógenas, pero su luz azul emitida puede ser utilizada con mayor eficiencia para comenzar la reacción de polimerización (Perfil técnico del producto Elipar Freelight: Lámpara de polimerización inalámbrica 3M/ESPE. 2002).

### **2.1.3 LÁMPARAS DE ARCO DE PLASMA**

Su aplicación en odontología ha sido relativamente reciente (1997-1998). Son lámparas de “arco”, es decir emiten luz mediante una descarga eléctrica en forma de arco voltaico entre dos electrodos de tungsteno separados a una determinada distancia. En el interior de la lámpara existe gas xenón a elevada presión que evita la evaporación de los electrodos. Este gas será ionizado y reflejado en el interior de la mencionada cámara, de tal modo que se genera un haz de radiación concentrado de una intensidad que puede llegar a los 2.400 mW/cm<sup>2</sup>, estas unidades han sido introducidas con el objetivo de acortar los tiempos de exposición y obtener polimerización a niveles más profundos (Watts y cols, 1987).

La luz generada con este tipo de dispositivo es de elevada potencia (1400-2700 mW/cm<sup>2</sup>), y al igual que en las lámparas halógenas, es de color blanco por lo que también requiere la interposición de un filtro óptico para la obtención de la banda de longitud de onda deseada (Keogh 2001).

No obstante el espectro luminoso original de este tipo de lámparas, al contrario de las lámparas halógenas, carece prácticamente de rayos infrarrojos, por lo que según el fabricante, es un tipo de luz con menor poder calorífico y, por tanto, con

menos riesgo de provocar sobrecalentamiento pulpar durante la fotopolimerización (Gumbau 2003).

Los fabricantes de este tipo de dispositivos aseguran que los materiales fraguados con estas lámparas tienen propiedades comparables a los producidos por las convencionales lámparas de luz halógena disminuyendo significativamente los tiempos de exposición. Lo que puede ser una ventaja en cuanto a la precisión del fotón emitido, se convierte en defecto cuando encontramos fotoiniciadores distintos a la canforoquinona (con un pico de absorción alejado de los 465 nm) como la propandiona, cuya longitud de onda óptima es de 410 nm (Rovira, 2006).

Además de su reducido espectro las lámparas de Xenon proporcionan una intensidad alta (más de 2000 mW/cm<sup>2</sup>). Según los fabricantes la profundidad de polimerización es mucho mayor sin que la adaptación marginal sufra ningún tipo de deterioro (Hasegawa, 2001), aunque deben tenerse en cuenta multitud de variables al hacerse esta afirmación. La química de la resina, el grosor de capa y la cantidad de paredes abarcadas en la cavidad son factores que juegan un papel importante cuando polimerizamos a altas intensidades. La polimerización se produce más de prisa con lo que el estrés de polimerización es mayor, provocando una contracción mayor. Sus desventajas son el elevado costo y su poca experiencia en el campo de la odontología.

Debido a que estas lámparas eran hasta cinco veces más caras que una buena lámpara halógena y que no habían cumplido con las expectativas creadas a su alrededor, la gente poco a poco perdió interés por ellas. Aún más, el mayor distribuidor presentó quiebra (Burtscher, 2007).

## **2.1.4 LÁSER**

### **2.1.4.1 LÁSER DE ARGÓN**

Es un láser con un medio activo de tipo gaseoso (gas argón). Según los modelos, emite una luz azul de 488 nm o azul verde de 488-514 nm y densidad de potencia entre 750 y 1300 mW/cm<sup>2</sup> (Gumbau 2003).

La luz se genera cuando se pasa energía a un átomo elevando un electrón a un nivel de energía más alto pero inestable. El electrón volverá a nivel estable emitiendo luz a través del medio de gas argón (Barrancos, 2006).

El haz luminoso del láser altamente monocromático y coherente (fotones con una única longitud de onda y emitidos en una misma dirección con mínima divergencia del haz) puede conseguir una disminución de la potencia necesaria para lograr el mismo efecto que los otros tipos de lámparas (mayor eficiencia lumínica). Posee por lo tanto, una importante capacidad de penetración y genera poco sobrecalentamiento pulpar. Según algunos estudios permite una fotopolimerización rápida de resinas (3 veces más rápida que con una lámpara halógena convencional) y con una mayor fuerza de adhesión (Powell, 1996).

No requiere filtro óptico ya que su longitud de onda se aproxima bastante a la longitud de onda de la canforoquinona, por lo que puede utilizarse tanto para la fotopolimerización de composites como para la activación de la mayoría de agentes blanqueadores fotoactivables existentes en el mercado (Gumbau, 2003). No obstante, el autor refiere que al tratarse de un haz luminoso monocromático con espectro de longitud de onda extremadamente estrecho, podrá existir un mayor número de materiales fotoactivables no compatibles con este sistema de fotopolimerización, lo que, unido a su elevado precio, explica su escasa difusión para este tipo de aplicaciones clínicas.

Algunos estudios han demostrado que mejoran las propiedades físicas de los composites fotopolimerizados. Esto se atribuye a la alta especificidad de la longitud de onda de las partículas de energía emitidas (longitud de onda más estrecha de unos 40 nm) respecto al pico de absorción del fotoiniciador, disminuyendo de esta forma la temperatura total del proceso. Debido a la velocidad a la que se produce la polimerización, el grado de contracción aumenta. Los estudios in vitro realizados hasta la fecha indican que el estrés de polimerización en la interfase resina/diente es mayor para láser y arco de plasma comparado con la luz halógena convencional (Brackett, Corey, 2002).

Es muy rápida, muy cara, de tamaño mayor que la halógena puede no curar todos los materiales y sus puntas son muy pequeñas para la mayoría de las restauraciones (Barrancos, 2006)

## **2.2 MODOS DE CURADO**

De acuerdo a la edición del 2006 de la revista Reality existen los siguientes modos de fotocurado:

**2.2.1 BOOST/HIGH/FAST** Por lo general, la más alta potencia que la lámpara puede generar. Esta potencia es producida dentro de pocos segundos de activación. Todo el intervalo de curado estará en este nivel de potencia.

**2.2.2 REGULAR/NORMAL/STANDARD** Es un nivel de potencia un poco más bajo, si una lámpara no tiene diferentes niveles de poder, entonces el modo regular deberá ser el nivel de poder más alto. Cura todo tipo de restauraciones (Barrancos, 2006)

**2.2.3 BAJO O ADHESIVO** Recomendado como un nivel seguro de energía para fotocurar adhesivos que presumiblemente no requieren un alto poder como para composites y cementos. Es presumiblemente seguro ya que este modo produce menos calor.

**2.2.4 STEP** Curado a bajo poder (usualmente cerca de 150 mW/cm<sup>2</sup>) por 10 segundos, seguido por un instantáneo “repunte” a un poder mucho más alto (usualmente el máximo de la lámpara) por 10 segundos, y entonces permanece en este alto nivel por el resto del intervalo de fotocurado.

**2.2.5 RAMPA** El curado comienza a baja potencia (alrededor de 150 mW/cm<sup>2</sup>) seguido de un incremento lineal hacia una potencia mayor (usualmente el máximo de la lámpara) por diez segundos, y luego permanece a esta potencia por el resto del intervalo de fotocurado.

**2.2.6 PULSO** Tiene un significado distinto para diferentes lámparas, pero usualmente significa que la potencia hace ciclos en alta y baja cada segundo, o bien la potencia se interrumpe y luego recomienza a cada segundo y otras variantes desde el comienzo del curado

## **2.3 REACCION DE FOTOPOLIMERIZACIÓN**

Las primeras resinas de activación por luz emplearon la luz UV (ultravioleta) como iniciador de los radicales libres. Actualmente, las resinas compuestas de fraguado mediante luz UV se han reemplazado por los sistemas de activación de luz visible

azul, que mejoran mucho más la profundidad de polimerización y el tiempo de trabajo, y proporcionan mayores ventajas. Debido a estas cualidades, las resinas compuestas fotoactivadas se emplean mucho más que los materiales de activación química. Las resinas compuestas fotopolimerizables se suministran en una sola pasta que está dentro de una jeringa que impide la exposición a la luz. El sistema de iniciación de los radicales libres, que consiste en una amina iniciadora y una sustancia sensible a la luz se encuentra en pasta. Sin embargo la exposición a una luz de la región azul (longitud de onda de aprox. 468 nm) produce un estado excitado del agente fotosensible que le hace interactuar con la amina y formar los radicales libres que inician la polimerización de adición (Philips, 2004).

La canforoquinona es un agente fotosensible que se emplea comúnmente y que absorbe la luz azul con una longitud de onda entre 400 y 500 nm con un pico ideal de 468 nm. La energía (fotones) será absorbida por la molécula, la cual pasará para el estado excitado o estado tríptico. Para acelerar esta reacción de polimerización, es adicionada una cantidad razonable de amina a los componentes. En cuanto a la canforoquinona, permanece en estado excitado, este colide con la amina, ocurre la transferencia de electrón, resultando en la formación de radical libre. Este radical libre es una molécula extremadamente reactiva, con electrón libre en la región externa, procurando desesperadamente formar un enlace covalente. Este radical libre irá a reaccionar con el monómero, que posee un enlace doble de carbono ( $C=C$ ), que irá a iniciar la reacción. De esta forma se inicia la reacción en cadena, en la cual el enlace doble de carbono, reacciona con el radical, pasando a tener un electrón libre que está listo para reaccionar con otro enlace doble de carbono. La reacción de polimerización sólo terminará cuando dos radicales complejos estén próximos. Si el oxígeno estuviera presente, los radicales libres irán preferentemente a reaccionar con él, formando un radical de peróxido, poco reactivo, generando la inhibición de la polimerización. Cuanto mayor la intensidad de luz, mayor números de fotones estarán presentes y cuanto mayor sea el número de fotones presentes, mayor el número de moléculas

de canforoquinona que irán a alcanzar el estado excitado, para reaccionar con la amina y formar radicales libres. Así, mientras mayor sea la intensidad de luz, mayor será la extensión de la polimerización de la resina compuesta (Rueggeberg y Jordan, 1993; Davidson-Kaban y cols., 1997; Rueggeberg, 1999; Friedman, 1999).

Davidson-Kaban y cols. (1997) resaltaron la importancia de la adecuada conversión de los monómeros para la manipulación de las propiedades físicas y mecánicas de la resina compuesta. Mediante un estudio de laboratorio, los autores evaluaron la influencia de la variación de la intensidad de luz y del tiempo de exposición, en la conversión y la mantención de las propiedades mecánicas de dos marcas comerciales de resina compuesta (Silux-Plus y P-50, 3M), en tres diferentes colores. Verificaron que los colores no influyen los resultados, mas la reducción de la intensidad de luz o el tiempo de exposición disminuye significativamente la dureza de los cuerpos de prueba.

Seabra (2000), probando la profundidad de polimerización de algunas marcas comerciales de resinas condensables, verificó que el tiempo de exposición a la luz interfiere en la profundidad de polimerización, pudiendo afectar el grado de polimerización mínimo determinado por los fabricantes. Rueggeberg & Jordan (1993) y Rueggeberg (1999) observaron que la cantidad de luz necesaria para excitar el fotoiniciador es bastante reducida en la medida que está pasa de la superficie al centro de la restauración, debido a la dispersión y a la absorción de la luz. A partir de la superficie, a 0,5 mm de profundidad, 50% de la energía es perdida; a 1 mm, apenas 25% está disponible; a 2 mm, 9% y a 3 mm de profundidad, sólo el 3% de la energía de la luz permite activar la canforoquinona. Para compensar la reducción de moléculas de canforoquinonas no activadas por la luz, se debe aumentar el tiempo de exposición y/o la intensidad de energía de la

luz, con el fin de dar oportunidad a esas moléculas de canforoquinona de ser excitadas, reaccionen con la amina y generen radicales libres.

## **2.4. FOTOINICIADORES**

### **2.4.1 CANFOROQUINONA**

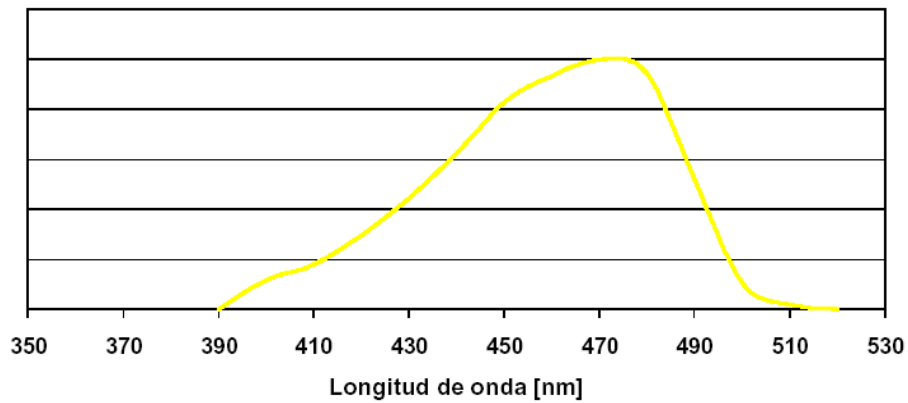
En 1971, ICI patentó el fotoiniciador canforoquinona que también absorbe la luz en el rango de longitud de onda visible. Desde entonces, la mayoría de los composites fotopolimerizables disponibles comercialmente contienen este iniciador. (Burtscher, 2007).

La canforoquinona es casi exclusivamente usada como fotoiniciador. Es una sustancia amarillenta que es capaz de absorber luz en la región azul del espectro de luz visible (400-500 nm), con una absorción máxima de 465-575 nm (Gráfico 1). Por esto se absorbe la luz en la zona azul, lo cual explica el fuerte color amarillo inherente de la canforoquinona (Figura 6). Los composites suelen presentar un contenido de canforoquinona del 0,15 – 0,20%. Por el hecho de aumentar la proporción del fotoiniciador no se consigue una mayor profundidad de polimerización ni un mayor grado de conversión del composite (Mallat, 2005).

Durante la activación del iniciador y la subsiguiente polimerización del material, la canforoquinona no se desintegra completamente. Como resultado, los composites fotopolimerizables siempre tienen un color amarillento. Normalmente este color amarillento no afecta la restauración, ya que la estructura natural del diente también contiene un poco de amarillo, sin embargo si se tienen que restaurar dientes a los que se ha realizado un blanqueamiento el contenido de la



canforoquinona tiene que ser reducido para poder lograr un grado comparable de blanco (Burtscher, 2007).



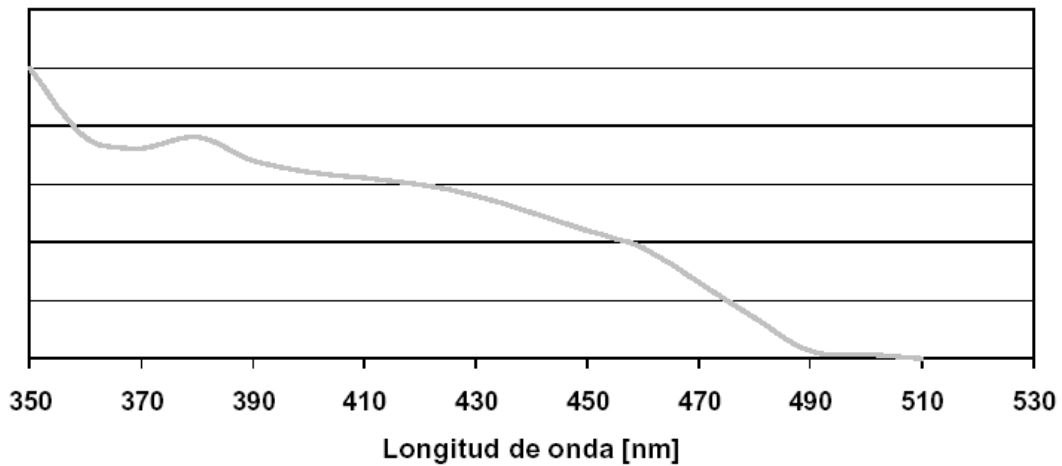
**Gráfico 1.** Longitud de onda de la canforoquinona (Ivoclar Vivadent Información técnica Bluephase)



**Figura 6.** Estructura química y fotografía de la canforoquinona (Repor, N° 18, 2007)

#### 2.4.2 FENILPROPANODIONA

PPD (fenilpropandiona): El espectro de absorción de PPD se extiende desde la franja de longitud de onda UV hasta aprox. 490 nm (Gráfico 2).

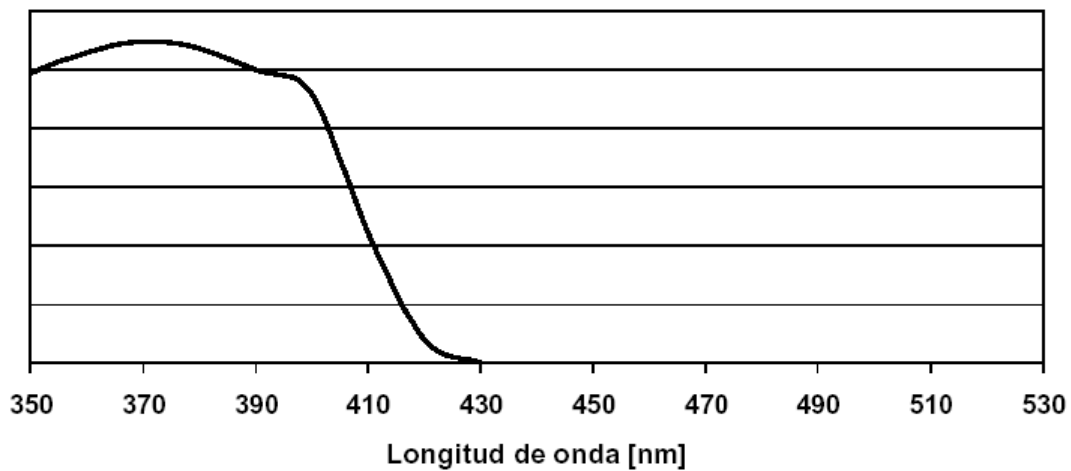


**Gráfico 2.** Longitud de onda de la fenilpropandiona (Ivoclar Vivadent Información técnica Bluephase)

Este fotoiniciador consigue por si solo un grado de conversión similar al de la canforoquinona y, cuando se utilizan juntos, actúan sinérgicamente dando lugar a una reacción de fotoactivación más eficaz. La PPD se suele utilizar en los adhesivos monocomponentes y en los composites de tonos esmalte o translúcidos (Mallat, 2005).

### 2.4.3 LUCERINA

La Lucerina es un óxido de acilfosfina. Este fotoiniciador ha ganado en popularidad gracias a que se blanquea completamente una vez que la fotoreacción ha finalizado. Su pico de sensibilidad se ha desplazado a una franja de longitud de onda considerablemente menor (Gráfico 3).



**Gráfico 3.** Longitud de onda de la lucerina (Ivoclar Vivadent Información técnica Bluephase)

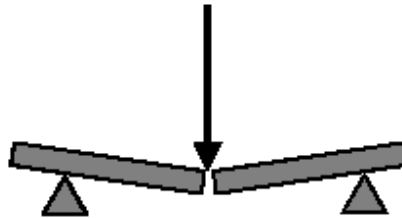
La Lucerina TPO y PPD se pueden polimerizar sólo hasta un cierto punto con las convencionales lámparas LED de primera y segunda generación, ya que su baja salida espectral apenas cubre el espectro de absorción de estos iniciadores. El objetivo en el desarrollo de las nuevas lámparas LED fue, por lo tanto, emitir luz en franjas de longitud de onda más bajas, que exciten a la Lucerina TPO y PPD de forma similar a las lámparas halógenas. (Documentación Científica bluephase®).

## 2.5 PRUEBAS DE EFICIENCIA EN EL PROCESO DE POLIMERIZACIÓN

### 2.5.1 RESISTENCIA FLEXURAL

La resistencia a la flexión se define como la carga máxima a la que el material se fractura (Gladys y cols., 1997) (Figura 7). Los factores que más influyen en las propiedades mecánicas de un material son su contenido de relleno, el tamaño de las partículas, su distribución y las interacciones entre el relleno y la matriz, siendo el contenido en volumen del relleno la propiedad que más se correlaciona con la

resistencia del material, con su módulo elasticidad, así como con su resistencia a la fractura (Manhart y cols., 2000).



**Figura 7.** Prueba de resistencia flexural

De acuerdo con la literatura, las propiedades mecánicas de los materiales híbridos aumentan en relación a su contenido resinoso. De este modo, las más bajas corresponderían a los cementos de ionómero de vidrio modificados con resina, serían mejores en el caso de las resinas modificadas con poliácidos y máximas para las resinas compuestas (El-Kalla y Garcia Godoy, 1999).

La resistencia a la flexión de los materiales se correlaciona con su módulo de elasticidad, de tal forma que si la primera es alta el módulo de elasticidad lo será también (Attin, Vataschki, Hellwig, 1996).

El módulo de elasticidad describe la relación entre el estrés y la deformación que un material sufre para una carga determinada (Abe, 2001), es por tanto una medida de la rigidez relativa de un material (Sabbagh y cols 2002). Un material más rígido requerirá una carga mayor para deformarse (Abe, 2001).

Idealmente, el módulo de elasticidad de los materiales ha de ser semejante al tejido dentario. En las restauraciones de clase V los materiales tienen que tener un módulo de elasticidad que les permita deformarse durante la flexión del diente, mientras que en las cavidades de clase II el módulo de elasticidad debe ser lo suficientemente alto como para soportar las deformaciones y evitar la fractura de las cúspides (Xu y cols., 1998). Sin embargo, el diente está compuesto

fundamentalmente por esmalte y dentina, y ambos tejidos tienen un comportamiento elástico completamente diferente (Abe, 2001), por ello se asume que los materiales que se utilicen para restaurar dientes posteriores deben tener un módulo de elasticidad al menos igual al de la dentina o mayor, que esta determinado en 18 GPA (Willems y Lambrechts 1992).

Sari y cols, en el 2006 evaluaron también la resistencia flexural (FR) y el módulo de elasticidad (ME) de tres resinas micro-híbridas (Filtek Z250; Charisma; P60) y una submicrohíbrida (Concept) utilizando LED y polimerización con luz halógena. 20 especímenes (25x2x2 mm) de cada resina compuesta fueron confeccionados y polimerizados usando LED y luz halógena y posteriormente almacenados en agua destilada a 37° C durante 30 días. Pruebas de FS y ME fueron realizadas con una máquina de ensayo universal Instron (0.75mm/min). ANOVA y comparaciones múltiples (SNK) mostraron que los dos sistemas de polimerización no presentan diferencias significantes ( $p > 0.05$ ) para a FS de Charisma y Filtek Z250. Los dos métodos de polimerización también produjeron resultados similares para ME de Charisma, Concept y Filtek Z250. Diferencias significantes de FS y ME fueron encontradas con el sistema halógeno presentando mejores resultados que con el sistema LED. Las diferencias significativas en la resistencia flexural y el módulo de elasticidad siempre apuntaran a una superioridad para el sistema de luz halógena.

Fay y cols. (2002), realizaron una investigación en la cual observaron las propiedades mecánicas de las resinas compuestas usando la unidad de polimerizado LED (Elipar FreeLight/3M ESPE) vs. unidades de polimerización Halógena (Elipar TriLight/3M ESPE). Los materiales usados en este trabajo fueron la resina compuesta Filtek Z250 y el sistema adhesivo Single Bond (3M/ESPE), las propiedades mecánicas evaluadas fueron: resistencia flexural y módulo de elasticidad, resistencia compresiva y fuerza de adhesión a esmalte. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las propiedades mecánicas.

Concluyeron que las resinas compuestas fotoactivadas por LED y por unidades halógenas presentaron las mismas propiedades.

Demirel y cols, 2002 Compararon las propiedades la resistencia flexural de 3 resinas compuestas indirectas (Artglass, Belleglass HP, Targis) comparadas con dos resinas compuestas directas (P60 y Z-100). Cinco muestras de cada material fueron fabricados de acuerdo a las instrucciones de los fabricantes. La resistencia flexural fue medida usando una prueba de doblamiento. La prueba estadística usada para resistencia flexural fue One-way Anova. El nivel de estadística significativa escogido fue  $p=0.05$ . Los resultados de este estudio mostraron que Filtek P60 fue superior al de los otros composites en todas las pruebas. Las diferencias en la resistencia flexural pueden deberse a las diferencias en la química o el método de polimerización de los composites.

Adabo y cols, evaluaron el contenido de partículas inorgánicas y la resistencia flexural de composites condensables para dientes posteriores en comparación a los composites híbridos convencionales. La determinación del contenido de partículas inorgánicas fue realizada por el peso de la masa del composite polimerizado antes y después de la eliminación de la fase orgánica. El contenido volumétrico de partícula fue determinado por un método práctico basado en un principio de Arquímedes, el cual calcula el volumen de los composites y sus partículas por la medición diferencial de masa en el aire y en el agua. La resistencia flexural de tres puntos fue evaluado de acuerdo a la norma ISO 4049:1988. Los resultados muestran los siguientes contenidos de relleno: Alert, 67.26%; Z-100, 65.27%; Filtek P 60, 62.34%; Ariston pHc, 64.07%; Tetric Ceram, 57.22%; Definite, 54.42%; Solitaire, 47.76%. En la prueba de resistencia flexural, los materiales presentaron el siguiente orden decreciente de resistencia: Filtek P 60 (170.02 MPa)>Z-100 (151.34 MPa)>Tetric Ceram (126.14 MPa)=Alert (124.89 MPa)>Ariston pHc (102.00 MPa)=Definite (93.63 MPa)>Solitaire (56.71 MPa). Los composites condensables para dientes posteriores presentan una concentración

de partículas inorgánicas similar a los composites híbridos pero no necesariamente presentan mayor resistencia flexural.

Matson en el 2005 evaluó el grado de conversión de una resina compuesta microhíbrida (Filtek Z250-3M) a través de pruebas de resistencia flexural, cuando activada por tres formas de activación distintas: luz halógena con densidad de potencia de 550 mW/cm<sup>2</sup> por 20 segundos (convencional); luz halógena por método "soft", con densidad de potencia creciente a 950 mW/cm<sup>2</sup> en un período de 5 segundos, permaneciendo esta potencia hasta completar 20 segundos de activación; luz halógena con densidad de potencia de 950 mW/cm<sup>2</sup> por 20 segundos (Estándar). Los resultados en Newtons fueron transformados en MPa, y recibieron tratamiento estadístico (ANOVA) a un nivel de significancia de 5%. A través del análisis estadístico fue posible verificar que los mayores valores fueron conseguido con el método "soft" (218,73 ± 21,76 MPa), seguidos por la activación por la técnica convencional (214,46 ± 20,11 MPa), dejando a la activación por la técnica estándar con una media de 190,30 ± 23,48 MPa.

Silva y cols en el 2005 compararon la resistencia flexural de dos materiales resinosos Dyract Ap/Dentsply (DYR) y TPH Spectrum/Dentsply (TPH) polimerizados por luz halógena (LH) (XL 3000/3M) y una LED (SmartLite PS/Dentsply). Fueron confeccionados 40 cuerpos de prueba (CP), utilizando una matriz de teflón bipartida (25 mm x 2 mm x 2,0 mm), donde el material fue insertado en incremento único. Los CP fueron divididos en 4 grupos, de acuerdo con el material y la fuente de luz polimerizadora utilizada: G.1- DYR polimerizado con LH por 40 s, con intensidad de 470 mW/cm<sup>2</sup> y longitud de onda entre 400 e 510 nm; G.2- DYR polimerizado con LED, por 10 s, con intensidad de 950 mW/cm<sup>2</sup>; G.3- TPH polimerizado con LH por 40 s; G.4- TPH polimerizado con LED por 10 s. Los CP fueron almacenados en agua destilada en estufa biológica a 37°C, durante 24 horas. Posteriormente, fueron sometidos a la prueba de flexión en tres puntos en una máquina universal de ensayos Emic DL 10.000 con una

célula de carga de 50 kgf y velocidad de 0,5 mm/min. Los valores medios de resistencia a la flexión en Mpa fueron: G.1 =  $170,06 \pm 25,91$ ; G.2 =  $151,39 \pm 12,17$ ; G.3 =  $217,13 \pm 28,20$ ; G.4 =  $170,81 \pm 38,43$ . ANOVA y una prueba de contraste SNK ( $p < 0,05$ ) aplicados los resultados revelaron que la resistencia flexural mostrada por el grupo 3 es estadísticamente distinta que la mostrada por los demás grupos. Basado en este estudio los autores concluyeron que a) la luz halógena es más efectiva en la polimerización de la resina TPH b) La luz halógena y la LED proporcionan los mismos resultados con los compómeros.

Miranda y cols (2005). Evaluaron la resistencia flexural de 3 resinas compuestas con dos diferentes recursos: LED y una unidad de curado gradual convencional. Se prepararon 60 especímenes de las resinas compuestas Z250/3M ESPE (Z), Palfique Estelite Paste/J Morita (P) y W3D/Wilcos (W) usando un molde metálico (1x2x10mm) y fueron polimerizadas por 40 segundos, de acuerdo a los siguientes grupos: G1: Z + LED Radium (SDI) -1400mW/cm<sup>2</sup>; G2: P + LED Radium; G3: W + LED Radium; G4: Z + unidad de curado convencional gradual CL - K200 (Kondortech) - 150 a 450mW/cm<sup>2</sup>; G5: P + CL - K200; G6: W + CL - K200. Los especímenes fueron almacenados por 24 horas y, después de esto se realizó la prueba de flexión en 3 puntos (distancia: 6mm) en una máquina universal EMIC con una velocidad de 1 mm/min. La información fue evaluada mediante una prueba ANOVA 2-way y Tukey ( $p < 0,05$ ) y las medias de la resistencia flexural fueron: (MPa±SD): G1:  $228,6 \pm 40$ ; G2:  $70,3 \pm 6$ ; G3:  $189,6 \pm 43$ ; G4:  $247 \pm 28$ ; G5:  $77,5 \pm 7$ ; G6:  $165,8 \pm 21,5$ . de los composites estudiados, independientemente de los recursos de polimerización, se observaron diferencias estadísticamente significantes, comenzando con los altos valores de la resina Z250, seguida por W3D y Estelite. No hay diferencia estadística entre los diferentes recursos de polimerización para cada resina. Se concluyó que la LED y la unidad de curado convencional no mostraron diferencias en la resistencia flexural para cada resina, sin embargo, hay diferencias entre los materiales probados.



Nuria (2006) comparó la resistencia flexural y el módulo elástico de cuatro resinas condensables (Filtek P-60, Pyramid Dentin, Solitaire 2, SureFil) y tres resinas compuestas híbridas (Charisma, InTen-S, Tetric Ceram). Las resinas se insertaron en un molde de 25 mm longitud, 2 mm ancho y 2 mm de espesor (n =10). Las muestras fueron preparadas y se probaron según ISO especificación 4049. La resistencia flexural y el módulo elástico fue determinado a las 24 horas y nueve meses después. El centro de la barra fue sometido a una carga compresiva a una velocidad de 1 mm/min. Se realizaron los análisis estadísticos usando el análisis de variación (ANOVA) y el Rango Múltiple del Duncan. Los resultados indicaron diferencias estadísticamente significantes ( $p < 0.05$ ) entre las resinas compuestas probadas. Filtek P-60 a 24 horas proporcionó la resistencia flexural más alta y la rigidez más alta ( $p < 0.05$ ). Los resultados al final de nueve meses también mostraron que Tetric Ceram, Filtek P-60 y SureFil tenían significativamente superior la resistencia flexural que InTen-S, Pyramid Dentin, Solitaire 2 y Charisma ( $p < 0.05$ ). Para la mayoría de los materiales la resistencia flexural y el módulo de elasticidad no cambiaron después del almacenamiento en agua durante nueve meses. Sólo la resistencia flexural y el módulo de elasticidad de Filtek P-60 disminuyeron ( $p < 0.05$ ) y el módulo de elasticidad de Pyramid Dentin aumentó significativamente ( $p < 0.05$ ). Según los resultados de este estudio algunos de los materiales condensables son similares a los compuestos híbridos en su resistencia flexural y el módulo elástico. Los compuestos condensables pueden ser más fáciles para el manejo clínico que los compuestos basados en resina convencionales, sin embargo se debe ser cuidadoso en la selección de estos materiales ya que no todos califican para una carga en stress en restauraciones posteriores.

### **3. OBJETIVO**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar a través de pruebas de compresión la resistencia flexural de la resina Filtek P60 fotocurada con 3 tipos de diferentes lámparas LED y una lámpara de fotocurado de control.

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer a través de pruebas de resistencia flexural si la polimerización de las lámparas de luz halógena es superior a las LED.
- Establecer a través de pruebas de resistencia flexural si existe diferencia en cuanto a polimerización entre 3 lámparas tipo LED.

### **4- HIPÓTESIS**

Las unidades de fotopolimerización LED al tener mejores propiedades ofrecen una mejor polimerización y brindan mayor resistencia flexural a las resinas compuestas

### **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Esta investigación es de tipo In vitro, experimental, analítico y comparativo, debido a que se contó con un grupo control y 3 grupos de estudio.

#### **5.2 MUESTRA**

Las muestras están constituidas por 40 bloques cilíndricos según las especificaciones de la norma ISO 4049 de 25 mm de largo, 2 mm de ancho y 2 mm de espesor elaboradas en resina compuesta microhíbrida Filtek P60 (3M-

ESPE); 10 bloques fueron fotocurados con la lámpara halógena Elipar 2500 (3M-ESPE); 10 bloques fueron fotocurados con lámpara LED Elipar Freelight 2 (3M-ESPE); 10 bloques fueron fotocurados con lámpara LED Bluephase (Ivoclar); 10 bloques fueron fotocurados con lámpara LED Radium (SDI). La luz halógena fue utilizada en un tiempo de 40 segundos y las lámparas LED por 20 segundos.

## **5.3 MÉTODO**

### **5.3.1 PREPARACIÓN DE BLOQUES CILÍNDRICOS**

Las propiedades de flexión de los materiales se determinaron mediante un test de flexión en tres puntos de acuerdo con la norma ISO 4049. Para la elaboración de los bloques se utilizó una matriz metálica de 25 mm de largo, 2 mm de ancho y 2 mm de espesor, que fue relleno con la resina Filtek P60 (3M-ESPE) color B2 lote 8AM la cual fue manipulada según las instrucciones del fabricante.

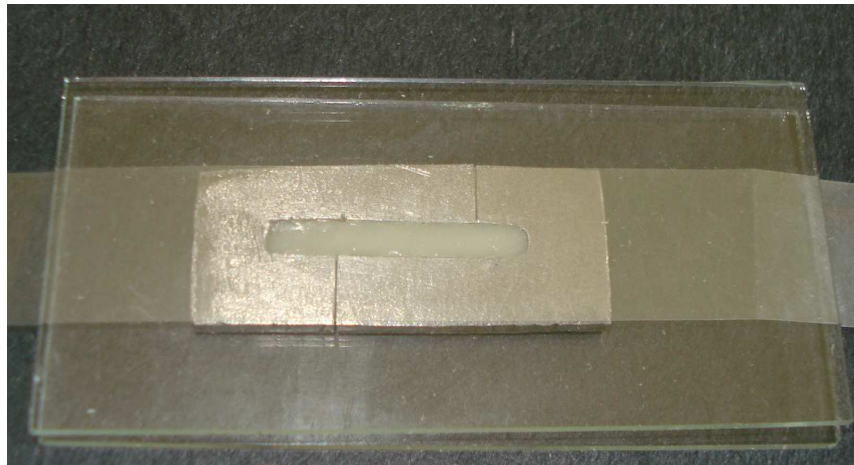
Se formaron 4 grupos de 10 muestras cada uno, dependiendo con qué lámpara la resina fue polimerizada.

Cada matriz fue apoyada sobre una lámina de vidrio para microscopio que sirvió para dar apoyo y estabilidad y una obtención de una superficie plana y lisa de la resina compuesta, se colocó una cartulina negra para evitar que existiera reflexión en el fondo de la luz (Figura 8).



**Figura 8.** Colocación del molde metálico

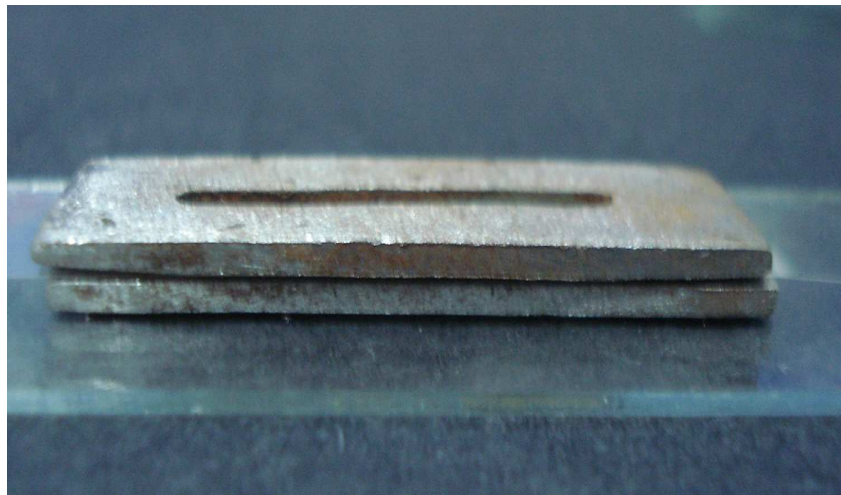
La colocación de la resina fue en técnica incremental en capas de 1 mm de espesor, con una espátula de resina marca Hue-fredy presionando en la cavidad de la matriz. Sobre la misma fue colocada una tira de poliéster, con la finalidad de aplanar y dar una superficie lisa y evitar la formación de una capa inhíbita en la superficie de la resina.



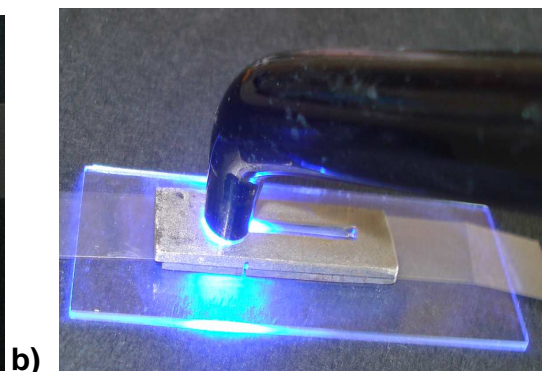
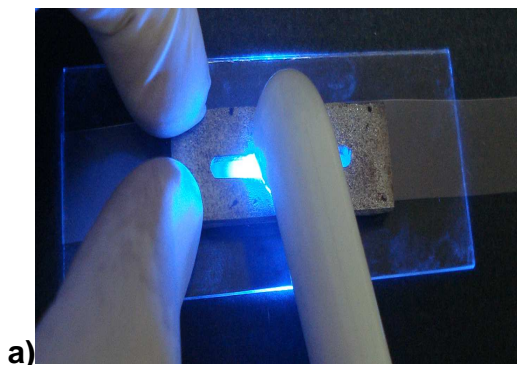
**Figura 9.** Aplanamiento de la muestra

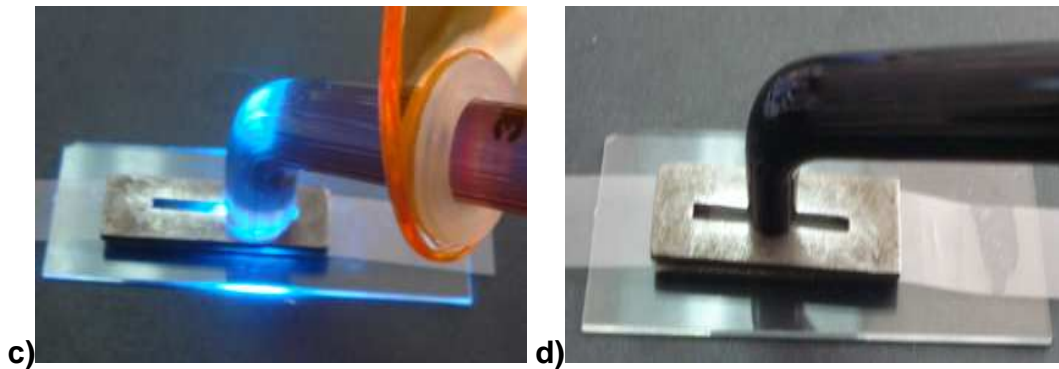
Para dar aplanamiento y paralelismo de la superficie fue también utilizada temporalmente otra lámina de vidrio 33de microscopio sobre la superficie (Figura

9), que enseguida era retirada para la colocación de otra matriz metálica de iguales dimensiones que la primera para estandarizar la distancia de polimerización de la punta a la resina la cual fue de 2 mm (figura 10) y se aplicaba la luz de fotopolimerización, primero en el centro y luego a los extremos (Figura 11).



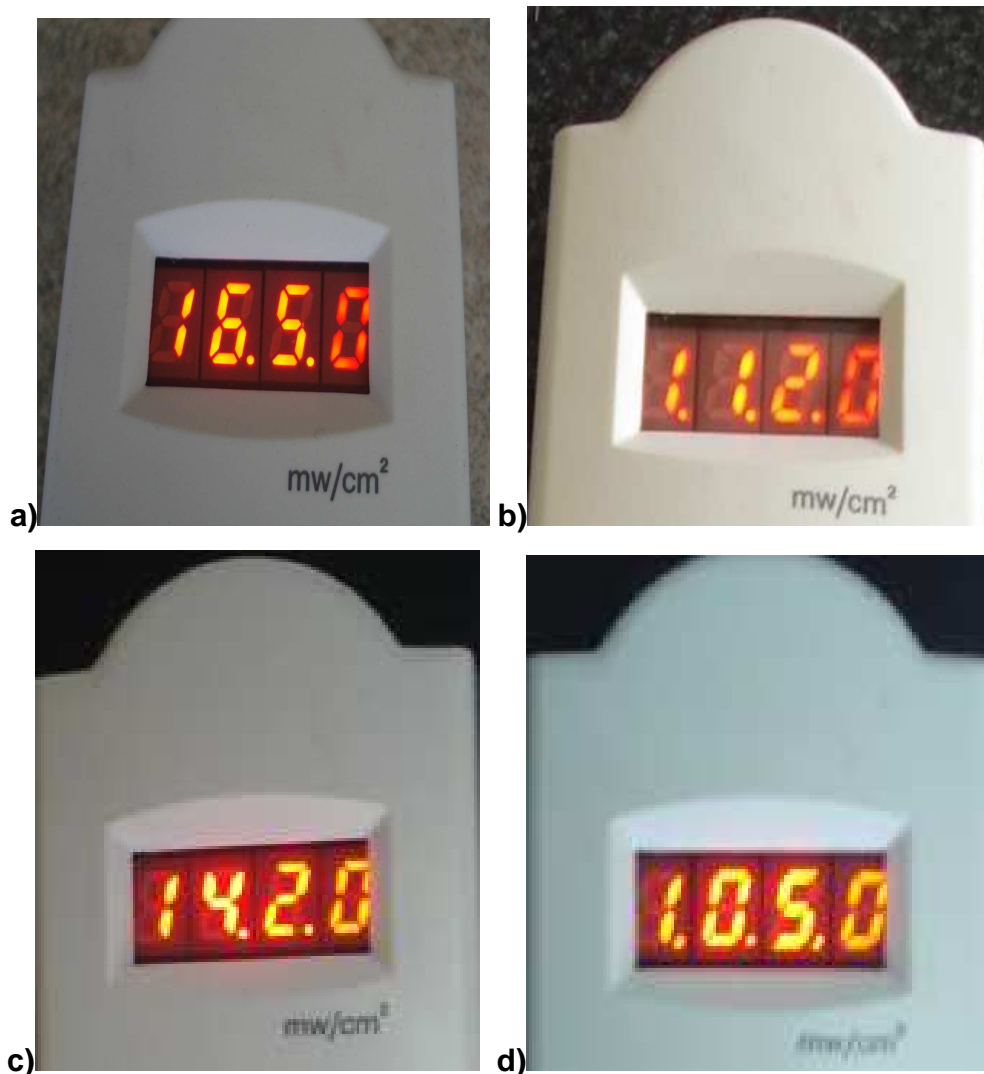
**Figura 10.** Colocación de la matriz metálica (2 mm)





**Figura 11.** Polimerización de las muestras a) Radii, b) Bluephase, c) Elipar 2500, d) Freelight 2

Después que la resina compuesta era fotoactivada con la lámpara fotoactivadora correspondiente a cada grupo, es decir: para el primer grupo se utilizó la lámpara Elipar 2500 (3M/ESPE), cuya intensidad de luz fue de  $1420 \text{ mW/cm}^2$  por un tiempo de 40 segundos para cada muestra, para el segundo grupo se utilizó la lámpara Freelight 2 (3M/ESPE) cuya intensidad fue  $1050 \text{ mW/cm}^2$  por un tiempo de 20 segundos para cada muestra, para el tercer grupo se utilizó la lámpara Radii (SDI) cuya intensidad de luz fue de  $1650 \text{ mW/cm}^2$  por un tiempo de 20 segundos para cada muestra y finalmente para el tercer grupo se utilizó la lámpara Bluephase (Ivoclar) con una intensidad de luz de  $1120 \text{ mW/cm}^2$  por un tiempo de 20 segundos para cada muestra, obteniendo al final un total de 40 muestras. Las mediciones se realizaron con el radiómetro Coltolux Light meter (coltene/whaledent), cada 9 exposiciones se verificó que la densidad de potencia de la lámpara fuera la misma para todas las muestras (Figura 12).

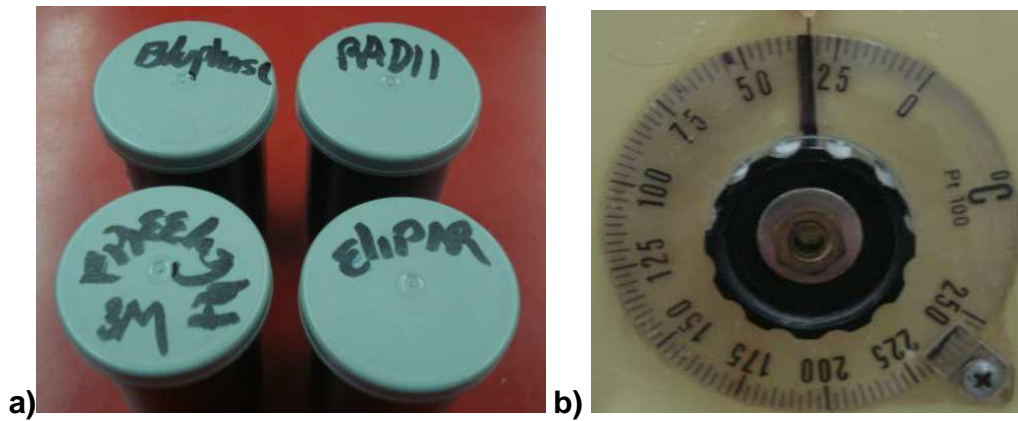


**Figura 12.** Intensidad máxima de las diferentes lámparas a) Radii, b) Bluephase, c) Elipar 2500, d) Freelight 2

### 5.3.2 ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Después de la fotoactivación de la resina compuesta cada grupo fue almacenado en recipientes protegidos de luz con agua destilada a 37°C por una semana en una estufa de microbiología de la Universidad San Francisco de Quito (Figura 13).





**Figura 13.** Almacenamiento de las muestras a) Recipientes oscuros etiquetados, b) Control de la temperatura, c) Estufa de la U.S.F.Q

### 5.3.3 ANÁLISIS DE RESISTENCIA FLEXURAL

Las muestras fueron sometidas al ensayo de flexión en tres puntos en una máquina de ensayos universales (MTS Modelo 5000) del laboratorio de mecánica de materiales de la Escuela Politécnica del Ejército (Figura 16) aplicando una

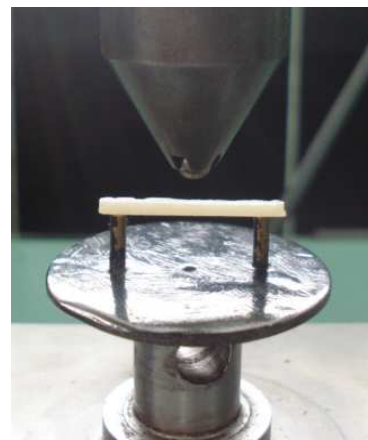


fuerza a una velocidad de 0.3 mm/min (Figura 14) lo que nos dará como resultante la fuerza a la que las barras de resina se rompen.



**Figura 14.** Velocidad de la carga

Durante el ensayo las barritas fueron apoyadas en dos puntos los cuales estaban separados a 20 mm. La carga se aplicó en la superficie opuesta a los puntos de apoyo, en un punto equidistante de los dos anteriores (Figura 15). En la zona cóncava se producen fenómenos de compresión, mientras que en la zona convexa se aprecia fenómenos de tensión, hasta que se produce la fractura de la barrita.



**Figura 15.** Prueba de resistencia flexural

Los datos que se obtuvieron fueron en newtons y fueron cambiados a MPa mediante la siguiente formula:

$$\text{Resistencia flexural (MPa)} = \frac{3FL}{2BH^2}$$

Donde F es la fuerza en newtons, L la distancia de los apoyos de soporte la cual en todos los casos fue de 20 mm, B la base de la muestra y H la altura de la

muestra, las cuales fueron medidas individualmente para cada prueba por medio de un calibrador digital (Sylvac).



**Figura 16.** a) Medidor de la fuerza máxima de fractura, b) Máquina de ensayos universal MTS modelo 5000

#### 5.3.4 GRUPOS DE ESTUDIO

Estudio experimental donde serán evaluadas la resistencia flexural de la resina Filtek P60 (3M/ESPE) al ser fotopolimerizada con 3 lámparas LED y una lámpara halógena, las cuales han sido consideradas como eficaces por literatura científica odontológica, todos estos materiales accesibles en nuestro medio (Tabla 1).

**Tabla 1.** Grupos y lámparas

<b>GRUPOS</b>	<b>LÁMPARAS</b>	<b><i>Elipar 2500 (3M/ESPE)</i></b>	<b><i>Freelight 2 (3M/ESPE)</i></b>	<b><i>Radii (SDI)</i></b>	<b><i>Bluephase (Ivoclar-Vivadent)</i></b>
1		N:10	N:10	N:10	N:10
2		N:10	N:10	N:10	N:10
3		N:10	N:10	N:10	N:10
4		N:10	N:10	N:10	N:10

## 6. RESULTADOS

### 6.1 RESULTADOS DE ANÁLISIS DESCRIPTIVO:

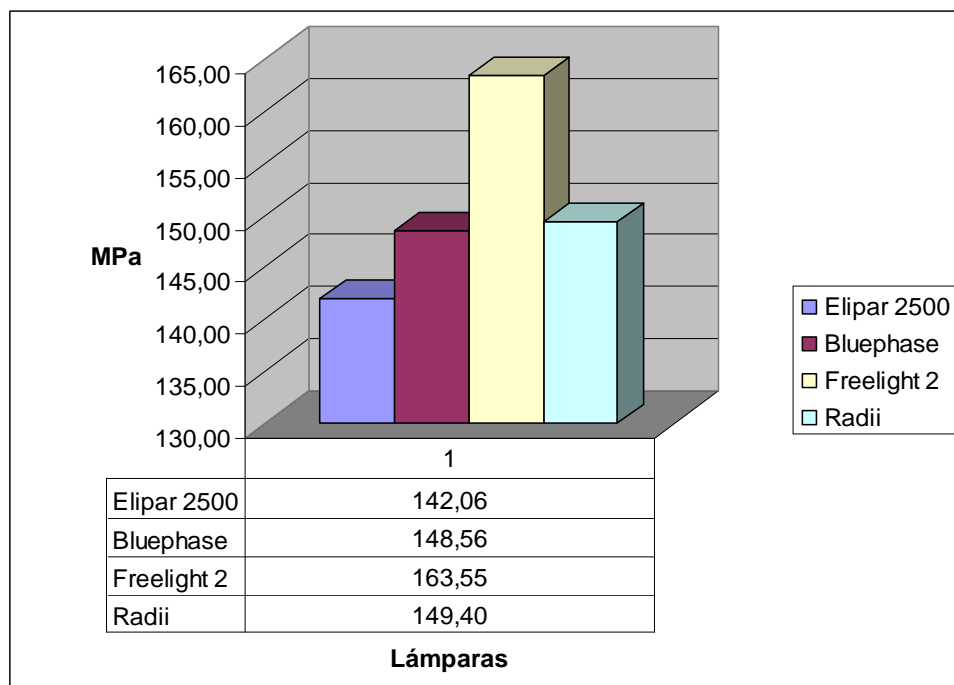
Para el procesamiento de los datos se utilizaron los paquetes estadísticos SPSS v11.5 y el software R, v.2.7.1. mostrando como resultado los siguientes valores (Tabla 2.)

Lámpara	Casos	Mínimo	Máximo	Rango	Mediana	Moda	Media	Desviación típ.
Elipar 2500 (3M/ESPE)	10	79.10	191.78	112.68	144.73	79.10	142.06	34.99
Freelight 2	10	114.61	234.47	119.86	160.80	114.61	163.55	30.19

(3M/ESPE)								
Radii (SDI)	10	104.22	172.31	68.09	151.29	104.22	149.46	21.10
Bluephase (Ivoclar- Vivadent)	10	130.69	170.56	39.87	143.76	130.69	148.58	16.91
Total	40	79.10	234.47	93.21	155.86	79.10	150.91	26.92

**Tabla 2.** Resultados de las pruebas de resistencia flexural

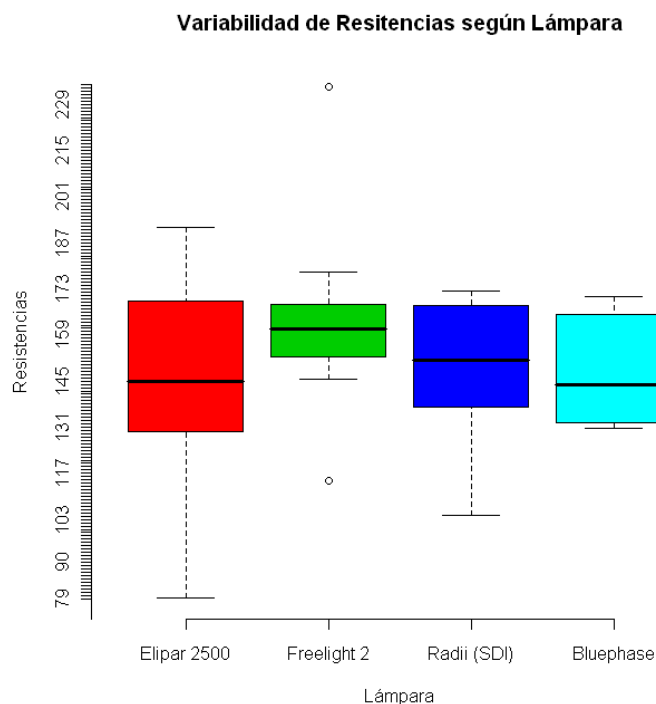
Donde se observa que los valores mínimos de Elipar 2500 y Radii (SDI) tienden a ser muy similares, más no así sus resistencias máximas que muestran cierta diferencia. Para Freelight 2 y Bluephase (Ivoclar-Vivadent) se nota que sus valores mínimos tienden a ser algo similares y algo mayores a los valores mínimos de las otras lámparas, sin embargo los máximos de estas lámparas son muy diferentes (Grafico 4).



#### Grafico 4. Resistencia según el tipo de lámpara

Sin embargo, los rangos de las 3 primeras lámparas tienden a ser muy parecidos. Este resultado hace pensar que la lámpara Freelight 2 tiende a lograr valores más altos que las otras lámparas y que Elipar 2500 junto con Radii (SDI) tenderían a marcar similares resistencias y algo bajas

Analizando la variabilidad de los datos (Gráfico 5), se puede notar cómo las resistencias logradas por la lámpara Elipar 2500 tiende a ser la mayor de las otras y que el valor máximo de la lámpara Freelight 2 se logra únicamente por un caso que “cae fuera de lo normal”, es decir, un dato extremo por encima de los otros, es decir, la lámpara Elipar 2500 tiende a tener valores de mayor variabilidad o sea que sus resultados tienden a ser más dispersos.

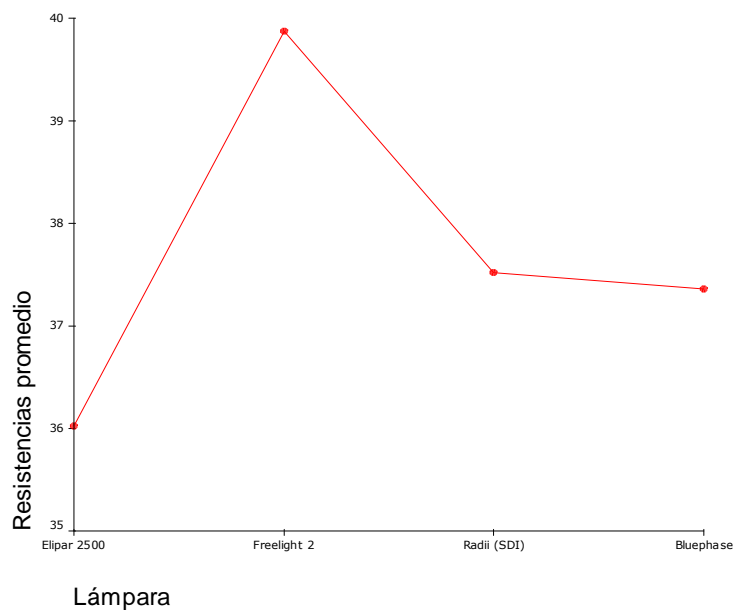


**Grafico 5.** Variabilidad de Resistencias según lámpara

Algo similar ocurre con las resistencias de la lámpara Radian (SDI), en que se alcanza un mínimo “muy por debajo de los otros valores”.

Así, se tiene la impresión de que la homogeneidad de las resistencias de la lámpara Bluephase (Ivoclar-Vivadent), salvo por casos aislados, es mayor a las otras. Sin embargo, se nota que las tres lámparas LED, sin considerar los datos extremos, tienden a ser de similar homogeneidad

Revisando las resistencias promedio (Gráfico 6), se vuelve a tener la impresión de que la resistencia promedio de la lámpara Freelight 2 es superior a las otras y que la resistencia promedio de la lámpara halógena Elipar 2500 es inferior a las otras lámparas. Además, a priori, las otras lámparas parecerían tener similar resistencia.



**Gráfico 6.** Resistencias promedio

Para ratificar, o refutar estas primeras impresiones, se procede a realizar un ANOVA que es un análisis de varianza que permite contrastar la hipótesis (nula) de que las resistencias promedio son iguales, en contra de la hipótesis (alternativa) de al menos una de las resistencias promedio es diferente, pero para esto, requerimos verificar que los datos se ajustan a una distribución normal que implica que la ley de probabilidades que rige los datos es una densidad normal, es decir, que se puede establecer la probabilidad de que la resistencia sea menor (o mayor) que cualquier valor con la ayuda de la distribución normal de probabilidades y que las varianzas es decir la medida de homogeneidad de los datos son iguales.

Para lograr esto, se realiza una prueba de bondad de ajuste denominada de Kolmogorov-Smirnov (Tabla 3), donde los valores p de esta prueba se muestran en la tabla 3.

<b>LÁMPARA</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>Valor p</b>
Elijar 2500	142.06	34.98	0.929
Freelight 2	163.55	30.19	0.623
Radii (SDI)	149.45	21.10	0.987
Bluephase (Ivoclar-Vivadent)	148.57	16.90	0.828

**Tabla 3.** Prueba Kolmogorov-Smirnov

Usualmente se considera un valor p superior o igual a 0.05 para tomar una conclusión. Si  $p > 0.05$  se dice que no se rechaza la hipótesis nula que para este caso es: los datos se ajustan a la distribución normal.

Lo que indicaría la tabla 3 es que se puede considerar que las resistencias registradas por cada lámpara se ajustan a la distribución normal, además, se realiza una prueba de homogeneidad de varianzas denominada prueba de Levene

cuyo valor p resulta ser 0.405, lo cual indicaría que las impresiones iniciales de la similaridad de la varianza, puede ser ampliada a los 4 tipos de lámparas.

Con estos supuestos cumplidos, se puede plantear un ANOVA (Tabla 4).

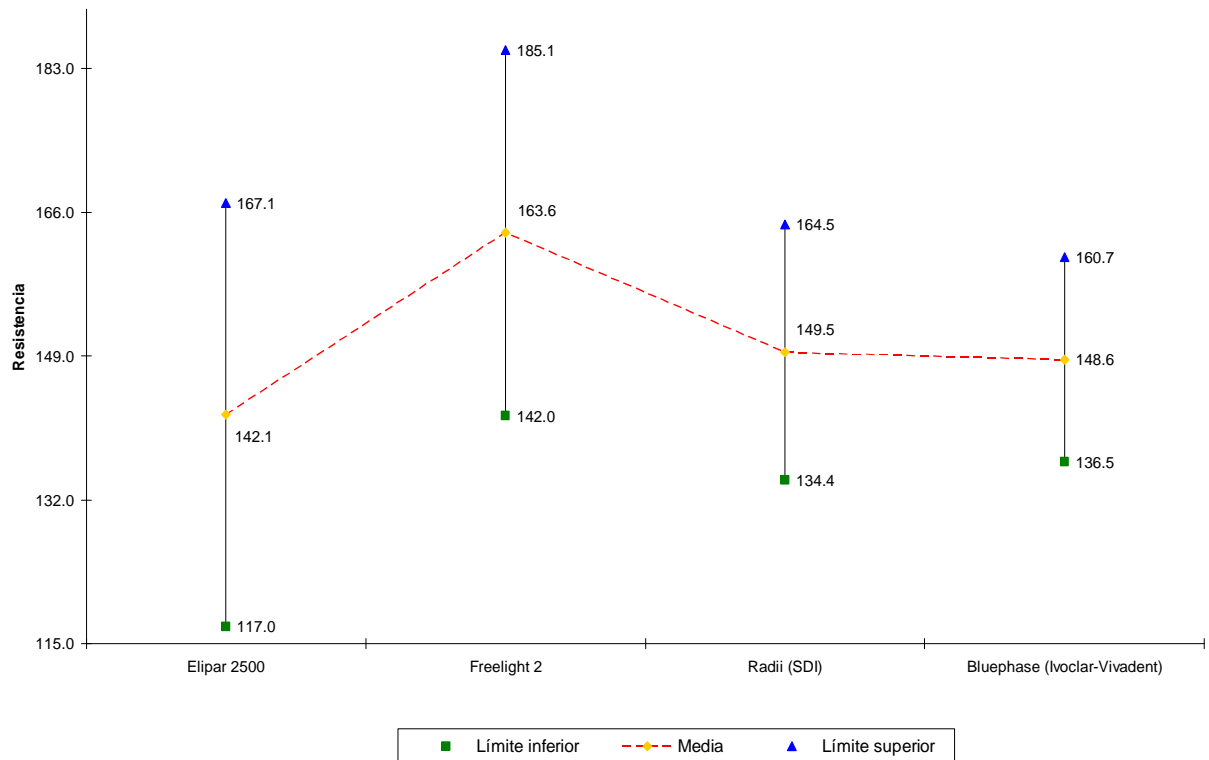
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Inter-grupos</b>	2455.85	3	818.620	1142	345
<b>Intra-grupos</b>	25801.449	36	716.707		
<b>Total</b>	28257.308	39			

**Tabla 4.** Prueba ANOVA

Este resultado muestra un valor p (o valor de significancia) de 0.725, lo cual indicaría que no existe suficiente evidencia para pensar que alguna de las resistencias promedio de los cuatro grupos de lámparas es diferente de los otros, por lo que si el valor  $p > 0.05$  la hipótesis nula de “los promedios son iguales” no es rechazada, pero no es lo mismo decir que la hipótesis nula es aceptada a decir que no se rechaza.

Este resultado, se puede complementar con los intervalos de confianza (Gráfico 7) en el cual se calcula al 95% y se puede interpretar que la probabilidad de que los valores calculados cubran “al verdadero valor promedio” es del 95%.





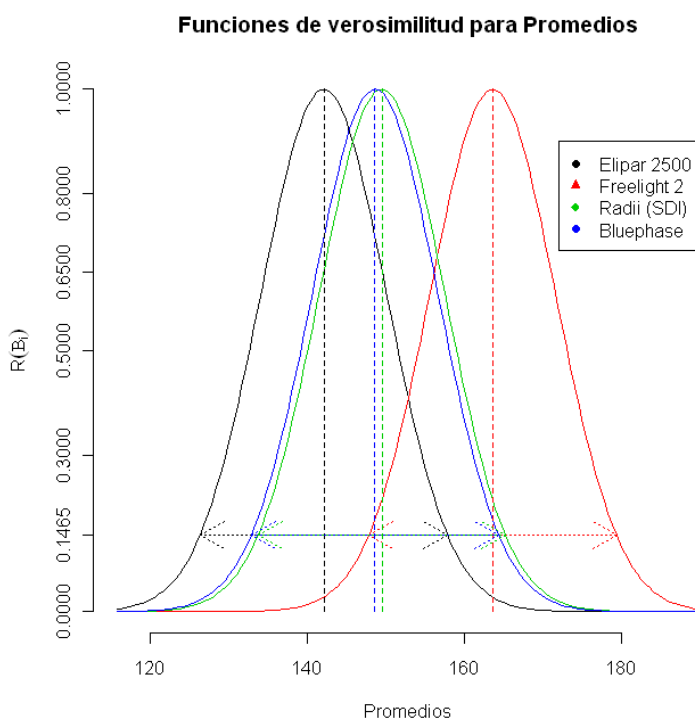
**Gráfico 7. Intervalos de confianza**

Observado la medida de los traslapes de los intervalos se puede concluir respecto de la “igualdad” o “diferencia” de los valores promedio. Se nota que existe un fuerte traslape entre los intervalos, lo cual corrobora el resultado logrado con el ANOVA, que “no hay diferencia significativa” entre las resistencias promedio de las 4 lámparas, lo cual nos lleva a concluir que las resistencias promedio son iguales.

Una forma de verificar la “igualdad” de los promedios es observando en qué medida se traslapan los intervalos de confianza construidos, en este caso, se nota que los valores promedio de las resistencias si tenderían a ser similares.

## 6.2 ESTIMACIONES DE MÁXIMA VEROSIMILITUD

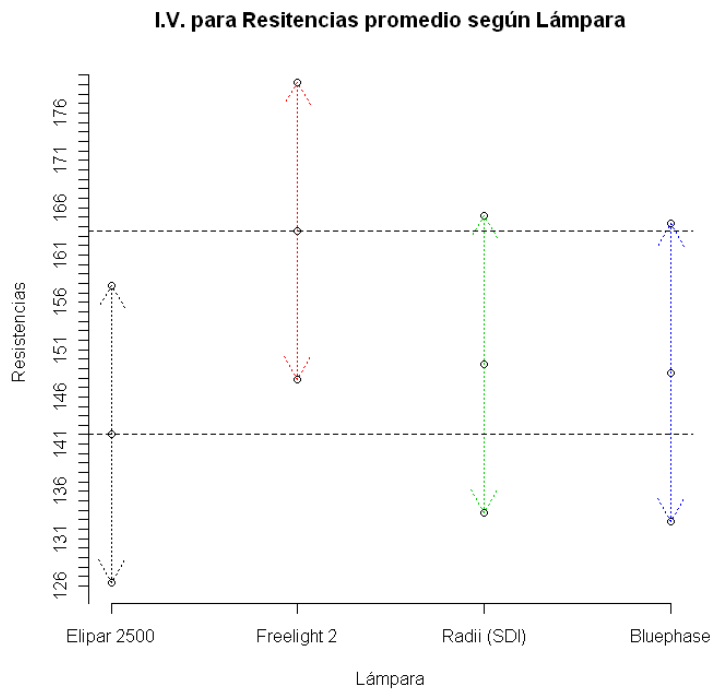
Un posible “pero” que se tiene para los resultados anteriores es la presencia de los valores extremos detectados en las lámparas Freelight 2 y Ralii (SDI), por tal motivo se plantea estimaciones de máxima verosimilitud para los valores promedios de las resistencias de las 4 lámparas (Gráfico 8). Para este tipo de estimación se asume que los datos se ajustan a una distribución de probabilidades (en este caso ley normal) y construye la función de verosimilitud para la media  $R(\beta_i)$  en función de los datos observados. En la medida que estas curvas se traslapen, se puede afirmar que las varianzas, o medias, pueden ser consideradas iguales.



**Gráfico 8.** Estimación de máxima verosimilitud

Cada curva del gráfico 8 representa la función de verosimilitud de la resistencia promedio de cada lámpara, nótese como las lámparas 3 y 4 prácticamente tienen

la misma curva de verosimilitud. La curva de la lámpara 2 está más a la derecha y de la lámpara 1 está más a la izquierda. A la altura 0.1465 (equivalente al 95% de los intervalos de confianza) se visualizan los intervalos de verosimilitud (I.V.)



**Gráfico 9.** Resistencias promedio según lámpara

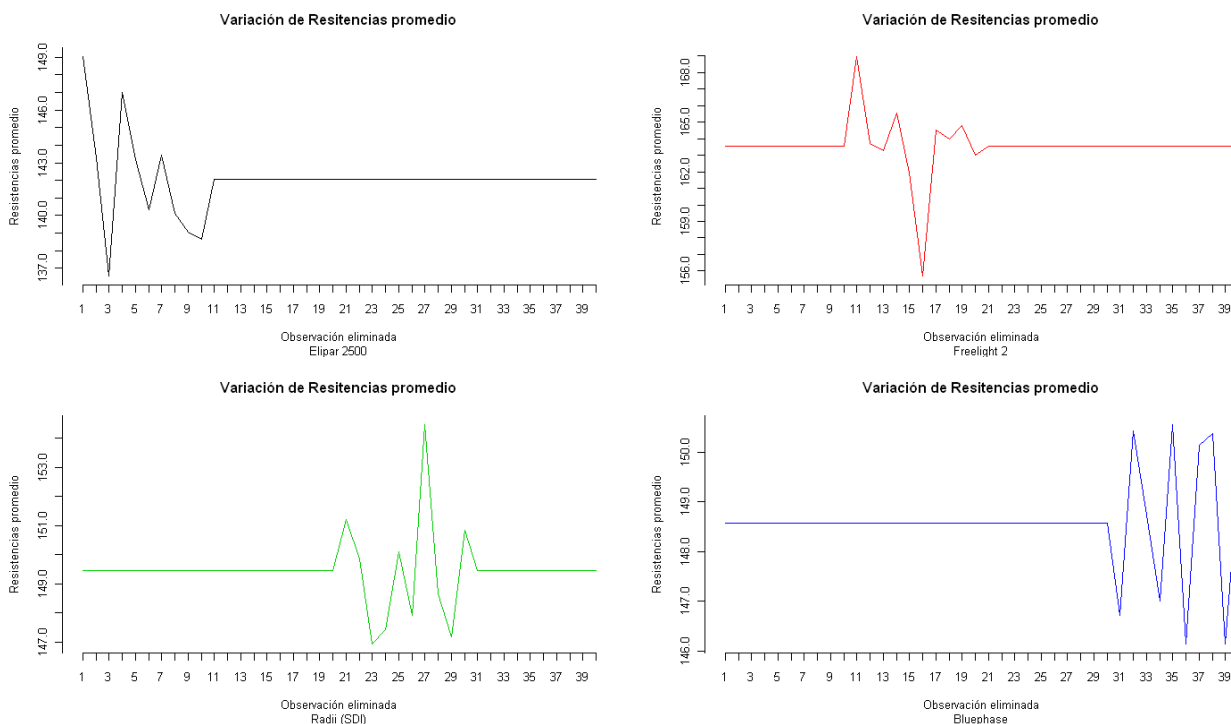
En el gráfico 9 se puede ver un similar comportamiento a los intervalos de confianza, sólo se han añadido dos líneas horizontales que muestran el menor promedio (lámpara 1) y el promedio más alto (lámpara 2). Se puede ver que los 4 intervalos se traslapan en el rango construido, por lo cual se puede concluir que no existe evidencia para rechazar que los 4 promedios sean iguales, es decir las 4 lámparas muestran similares resistencias.

La evaluación realizada confirma que al igual que los intervalos de confianza, los intervalos de verosimilitud se traslapan de tal manera que no es posible identificar

diferencia significativa entre las resistencias promedio de las diferentes lámparas utilizadas.

Sin embargo, se puede notar que las lámparas Radian (SDI) y Bluephase tienden a ser “más similares” entre ellas, la lámpara halógena tiende a ser la que menos resistencia presenta y la Freelight 2 la de mayor resistencia.

Otro factor a considerar es la “eliminación temporal” de una observación y su influencia en las estimaciones de los promedios. Esto se lo hace con la finalidad de “observar” la posible influencia de los valores extremos (Gráfico 10).



**Gráfico 10.** Valoración de eliminación temporal

En este tipo de valoración se considera como que se elimina una observación, en el gráfico se han ordenado las observaciones de 1 a 40, en el orden enviado en la

base de datos. La pregunta que ayuda a responder este gráfico es ¿Qué pasa si elimino una observación?.

En el gráfico 10 se muestra el efecto que sufre el valor promedio de la resistencia si eliminamos una observación. El gráfico superior izquierdo se muestra la variación de la resistencia promedio de la lámpara Elipar 2500 al ir eliminando secuencialmente, la observación 1, la observación 2, etc. Nótese como se muestra un efecto en la eliminación de las 10 primeras observaciones las cuales corresponden a las observaciones de la lámpara Elipar 2500.

Lo mismo ocurre con las otras lámparas, sólo hay variación del promedio en las observaciones que les corresponden a cada lámpara es decir: lámpara 1 = observaciones de 1 a 10, lámpara 2 observaciones de 11 a 20...etc.

La línea continua corresponde al promedio inicialmente calculado, luego la gráfica te permite comparar la variación del promedio (sin la observación) respecto del promedio original (con todos los datos).

Obsérvese que si hay “grandes variaciones” en los promedios según sea la observación eliminada, sin embargo, cualquiera que sea, los promedios siempre caen dentro del intervalo de confianza y del intervalo de verosimilitud, lo cual confirma que la variación dada por una observación extrema no altera significativamente las estimaciones realizadas.

### **6.3 ANÁLISIS NO PARAMÉTRICO**

Un equivalente no paramétrico del ANOVA de un factor que contrasta si varias muestras independientes proceden de la misma población es la denominada prueba de Kruskal-Wallis. El resultado de esta prueba arroja un valor  $p = 0.579$ , lo

cual indicaría que los 4 grupos de datos provienen de una misma población, es decir, tienen estadísticos similares.

Así, también se mostraría que no existe diferencia significativa entre las resistencias de las 4 lámparas utilizadas.

Al final se obtiene como conclusión estadística que todas las pruebas realizadas apuntan a mostrar que la variabilidad de las resistencias de la lámpara halógena es mayor a las otras lámparas, siendo los resultados de las lámparas LED más homogéneos y “más similares entre ellas”; pero a nivel de resistencias promedio las 4 lámparas tendrían valoraciones similares.

## **7. DISCUSIÓN**

Las lámparas de fotoactivación de las resinas compuestas actuales presentan algunas ventajas sobre las utilizadas anteriormente. Con el objetivo de mejorar las propiedades de las resinas fotoactivadas se ha disminuido el tiempo de activación para con esto optimizar el trabajo y mejorar las propiedades de las resinas siendo varios los tipos de lámparas recomendados (Consani y cols., 2002; Wiggins y cols., 2004).

El proceso físico-químico por el cual la resina se polimeriza es iniciado por un fotoiniciador que se activa con luz visible en una longitud de onda de entre 370-500 nm este fotoiniciador por lo general es la canforoquinona, pero es sabido que no todas las resinas presentan a este como fotoiniciador sobre todo en resinas de características claras o traslucidas lo que perjudicaría su utilización con ciertos dispositivos de fotopolimerización cuya acción se presenta limitada cuando no presente este fotoiniciador, de esta manera la efectividad del proceso de polimerización depende en gran parte de las características químicas de la resina y de la lámpara de fotocurado utilizada (Ivoclar Vivadent Información técnica

Bluephase), en este estudio tratando de padronizar y evitar variables fue utilizada la resina Filtek P60 (3M/ESPE) que por su composición la cual consiste en un material de relleno de zirconio/sílice, su cantidad de relleno inorgánico de 61% de volumen, propiedad por la cual en teoría mejoraría su resistencia flexural (Gladys y cols. 1997, Manhart y cols. 2000) y un tamaño de partícula que oscila entre 0.01 y 3.5 micras (Información técnica Filtek P60 3M) se presenta como idónea para las pruebas ya que su fotoiniciador nos permitió trabajar con las lámparas usadas en este estudio.

Pese a existir muchos métodos estadísticos y dinámicos para determinar las propiedades mecánicas de las resinas, la prueba de flexión en tres puntos descrito por la ISO 4049 es el más utilizado, en dicha norma las resinas deben tener una resistencia flexural  $\geq 80$  MPa, parámetro que se presentó en todas las pruebas realizadas en este estudio

Según Attin y cols. en su artículo publicado en la revista Quintessence Int. de 1996, la resistencia a la flexión se define como la carga máxima a la que el material se fractura. En el presente estudio, la resina compuesta híbrida Filtek P60 (3M/ESPE) presentó una resistencia más elevada con la lámpara LED Freelight 2 (3M/ESPE) lo que contrasta con un estudio realizado por Sari y cols. en el 2006, en el cual la resina Filtek P60 presentó mayores resultados de resistencia al ser fotocurada con una lámpara de luz halógena. Además O,bala y cols. (2005), confirman que el uso de la unidad LED fue clínicamente satisfactorio al polimerizar durante 40 segundos a 2 mm de profundidad (Leonard y cols. 2001) al fotopolimerizar resina empacable como la resina Filtek P 60, a este respecto sin embargo en nuestro estudio fue utilizado 40 segundos de fotopolimerización con la luz halógena y 20 segundos con las LED pues se considera que éstas por sus características propias las lámparas LED fotopolimerizan en mitad del tiempo que las halógenas.

Durante este estudio el grupo que presentó mayor variabilidad en los resultados obtenidos tras las pruebas de resistencia luego del fotocurado con la lámpara ELipar 2500 (3M/ESPE), que a pesar de poseer una polimerización lineal a una misma intensidad de luz aparentemente ésta no se presenta continua, es decir los posibles cambios generados en la fuente de luz pueden alterar su intensidad lo que podría explicar esta variabilidad ya que en todos los casos fue utilizado un mismo molde metálico y el mismo operador, y a cada tres cuerpos de prueba elaborados se evaluó la intensidad de dicha lámpara.

Un dato interesante es la aparente relación existente entre el grosor de las muestras y la resistencia flexural, lo cual explicaría el valor extremo en la lámpara Radii (SDI) ya que el valor más bajo fue de 104.22 MPa en una muestra que presentó 2 x 1,82 mm mientras que el valor más alto en ese mismo grupo de de 172.81 MPa en una muestra de 2,79 x 1,82 mm, donde creemos que su base al ser más gruesa aumenta la resistencia de la muestra.

La distancia en este estudio fue estandarizada a 2 mm ya que estudios realizados y mencionados en este trabajo certifican como la distancia idónea para el fotocurado de las resinas, dicha distancia es más difícil de conseguir clínicamente debido a que al fotocurar en boca, nos encontramos con estructuras que dificultan la polimerización como cúspides, restauraciones, etc.

Al parecer las mejores unidades de fotopolimerización LED poseen un sistema de ventilación, de las lámparas utilizadas en este estudio la única como unidad LED que posee sistema de ventilación es la lámpara Bluephase (Ivoclar/vivadent) la cual según la literatura científica llega a generar cierto grado de calor después de 10 minutos de fotopolimerización. La lámpara Radii (SDI) y la Elipar Freelight 2 (3M) no poseen sistemas de ventilación pero justifican su ausencia en la literatura con que ellas producen alta energía sin generar exceso de calor, sin embargo, la publicación Reality (2006) afirma que la lámpara Elipar Freelight 2 no poseyendo sistema de ventilación llega a generar un calor moderado.

Al parecer la intensidad de luz no está ligada al aumento en la resistencia flexural, ya que como observamos en este estudio, la lámpara Radii (SDI) fue la que



presentó los valores más altos de intensidad y no necesariamente sus resultados de resistencia flexural fueron los más altos, la lámpara halógena produjo la menor intensidad y sin embargo pese a presentar valores similares a la lámpara LED Radian (SDI) fue la que resultados más variables obtuvo.

Otro factor a tener en cuenta es el sonido que emiten las lámparas por cada intervalo de tiempo, se encontró que las lámparas Elipar 2500 (3M) y Radian (SDI), presentan una señal auditiva cada 10 segundos, lo cual ayuda al operador al control de la polimerización, la lámpara Bluephase (Ivoclar/vivadent) al tener varios modos de polimerización, se puede configurar su tiempo de fotocurado en cualquiera de sus programas, para este estudio dicha lámpara fue programada en el modo HI P para tener una misma intensidad de luz en todas las muestras fotopolimerizadas. La lámpara Elipar Freelight 2 (3M) no emite ningún tipo de sonido ya que su programación sólo presenta opciones de fotocurado cada 5 segundos y únicamente hasta 20 segundos, apagándose automáticamente al cumplir el tiempo programado, lo cual según creo no es muy confiable ya que habrá restauraciones profundas o en las cuales se dificulte colocar la punta de la lámpara a la distancia adecuada del material a fotocurar y se deberá reprogramar la lámpara en boca para aumentar el tiempo de fotopolimerización para compensar dichas dificultades.

Los factores de mayor influencia en las propiedades mecánicas de un material son su contenido en relleno, el tamaño de la partícula, su distribución y las interacciones entre el relleno y la matriz, (Lazzetti y cols. 2001; Manhart y cols. 2000; Kim y cols 2002, Kalliyana y Yamuna. 1998), pero también debe tenerse en cuenta la composición del material, el tipo y concentración de fotoiniciador, la longitud de onda y el máximo de intensidad de luz de la lámpara que usamos y el tiempo de fotocurado. (Fan y cols 2002) para obtener éxito una máxima eficiencia en el uso de los materiales que empleamos.

## **8. CONCLUSIONES**

Dentro de las limitaciones y bajo las condiciones empleadas en este estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

- La resistencia flexural de la resina Filtek P60 no fue mayor al ser fotocurada con la lámpara halógena Elipar 2500 que con las lámparas LED.
- De entre las 3 lámparas LED la que dio mayores valores de resistencia flexural fue la lámpara Freelight 2, aunque estadísticamente, los valores promedio de las 3 lámparas fueron homogéneos y presentaron valoraciones similares.

## **9. BIBLIOGRAFIA**

- T. Hasegawa, K. Itoh, W. Yukitani, S. Wakumoto, H. Hisamitsu. Effects of “Soft-Start” irradiation on the depth of cure and marginal adaptation to dentin. *Operative Dentistry*, 2001, 26, 389-395.

- Brackett WW, DA Corey, HA St. Germain Jr. One-year clinical performance of a self-etching adhesive in class V resin composites cured by two methods. *Operative Dentistry*, 2002, 27, 218-222.
- Hu, X.- Marquis, M. Shortall, C. Influence of filler loading on the two-body wear of a dental composite. *J. Oral Rehabil.* (2003); 30:729737.
- Ralph W. Phillips, *Ciencia de los materiales dentales*, Ed 11, Elsevier España, 2004
- Yearn JA. Factors affecting cure of visible Light activated composites. *Int Dent J* 1985;35(3):218-25.
- Tate WH, Porter KH, Dosch RO. Successful photocuring: don't restore without it *Oper Dent* 1999; 24 (2): 109-14.
- Hammesfahr PD, O'connor MT, Wang X. Light-curing technology: past, present and future. *Comp Cont Educ Dent* 2002;23 (9 suppl1):18-24
- Friedman J, Hassan R. Comparison study of visible curing lights and hardness of light-cured restorative materials. *J Prosthet Dent* 1984;52(4):504-6.
- Rueggebert FA, Jordan DM. Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite. *Int J Prosthodont* 1993;6(4):364-70
- Unterbrink GL, Muessner R. Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent* 1995;23(3):183-9
- Manga RK, Charlton DG, Wakefield CW. In vitro evaluation of a curing radiometer as a predictor of polymerization depth. *Gen Dent* 1995;43(3):241-3
- Leonar DL, Charlton DG, Robert HR, Hilton TJ, Zionic A. Determination of the minimum irradiance required for adequate polymerization of a hybrid and a microfill composite. *Oper Dent* 2001;26(2):176-80
- Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K, Geary R, Eichmiller FC. Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. *J Am Dent Assoc* 2002;133(4):429-34

- Gumbau GC. Fuentes Lumínicas para la fotoactivación en odontología. Quintessence (ed. esp.) Vol. 16, Nº 3, 2003.
- Demirel F, Saygili G, Sahmali S. Comparative mechanical property characterization of three indirect composite resin materials compared with two direct composites. *Polymers for Advanced Technologies*, Vol. 14 Issue 6, Pages 380 - 386
- Adabo GL, dos Santos Cruz CA, Fonseca RG, Vaz LG. The volumetric fraction of inorganic particles and the flexural strength of composites for posterior teeth. *J Dent*. 2003 Jul;31(5):353-9
- Rovira Marc. Lámparas de fotopolimerización: Estado actual. *Rev Oper Dent Endod* 2006;5:29
- Ersoy M, Civelek A, L'Hotelier E, Say EC, Soyman M. Physical properties of different composites. *Dent Mater J*. 2004 Sep;23(3):278-83.
- Carpio I, Lámparas de luz emitida por diodos (tecnología L.E.D.) Artículo Marzo 2005. Disponible en <http://www.odontomarketing.com> (10.03.2005).
- Rodriguez G, Pereira S. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. Vol. 46 nº3 / 2008 Disponible en [http://www.actaodontologica.com/ediciones/2008/3/evolucion\\_tendencias\\_resinas\\_compuestas.asp](http://www.actaodontologica.com/ediciones/2008/3/evolucion_tendencias_resinas_compuestas.asp)
- MCGRORY KR, FAY RM, KATZ JL, and POWERS JM. Compressive and Flexural Properties of Composites. Disponible en [http://iadr.confex.com/iadr/2002SanDiego/techprogram/abstract\\_18267.htm](http://iadr.confex.com/iadr/2002SanDiego/techprogram/abstract_18267.htm)
- Brandão L; Adabo GL, Vaz LG Saad JRC. Compressive strength and compressive fatigue limit of conventional and high viscosity posterior resin composites. *Braz. oral res.* vol.19 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2005
- Sari, DM; Duquia RC, Martos J, Osinaga PWR. Flexural strength and modulus of elasticity of four dental composites polymerized with light emitting diode (LED) and halogen Light. *Ciênc. odontol. bras*;9(3):13-18, jul.-sep. 2006. tab.

- Bhamra GS, Fleming GJ. Effects of halogen light irradiation variables (tip diameter, irradiance, irradiation protocol) on flexural strength properties of resin-based composites. J Dent. 2008 Aug;36(8):643-50. Epub 2008 Jun 12
- Ruiz JM, Ceballos L, Fuentes MV, Osorio R, Toledano M, García-Godoy F. Propiedades mecánicas de resinas compuestas modificadas o no con poliácidos. Av. Odontoestomatol2003; 19-6: 291-297.
- Mallat CE, Parámetros de interés de las lámparas de polimerizar disponible en: [http://clinicamallat.com/05\\_formacion/art\\_cien/odon\\_con/odc07.pdf](http://clinicamallat.com/05_formacion/art_cien/odon_con/odc07.pdf)
- Hervás A, Martínez MA, Cabanes J, Barjau A, Fos P. Composite resins. A review of the materials and clinical indications. Med Oral Patol Oral Cir Bucal 2006;11:E215-20.
- Scientific facts 3M/ESPE Disponible en <http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?66666UuZjcFSLXTtM8T6M8&aEVuQEcuZgVs6EVs6E666666-->,  
<http://multimedia.mmm.com/mws/mediawebserver.dyn?222222PNZ6729Jg2tJg222cd3rffffE->
- Rode K. Estudio del efecto de la distancia de la punta de aparatos fotoactivadores en la microdureza y el grado de conversión de la resina compuesta usando luz halógena, láser de argonio y LED (Tesis Doctoral) Universidad de Sao Paulo, 2006.
- O. Bala, Effect of LED and halogen light curing on polymerization of resin-based composites. Journal of Oral Rehabilitation 2005 32; 134–140
- Nilgun A, Usumez A, Ozturk B & Usumez S. Influence of different light sources on microleakage of class V composite resin restorations. Journal of Oral Rehabilitation 2004 31; 500–504
- Yoon TH, Lee YK, Lim BS & Kim CW. Degree of polymerization of resin composites by different light sources. Journal of Oral Rehabilitation 2002 29; 1165–1173

- Tarle Z, Meniga A, Ristic M, Sutalo J, Pichler G y Davinson CL. The effect of the photopolymerization method on the quality of composite resin simples. Journal of Oral Rehabilitation 1998 25: 436-442
- Assis CP. Estudo da resistência e fadiga flexural de resina composta associada a cimentos de ionómero de vidro modificados por resina. (Tesis Doctoral) Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações / Mestrado em Clínica Odontológica, 2008.
- Bluephase® - LED para todos los usos. Disponible en el Cd-rom 5º Seminario Internacional Ivoclar Vivadent 2008.
- Nuray Yalçyn. A Comparison of the Flexural Strength and Elastic Modulus of Condensable and Hybrid Composite Resins. Disponible en <http://dishekdergi.hacettepe.edu.tr/hdtergi/makaleler/20061.sayimakale-6.pdf>
- Moszner N. La química de la matriz de monómero o polímero de los composites dentales. Report N°18 Agosto 2007.
- Burtscher P. Fraguado con luz visible de las resinas composites. Report N°18 Agosto 2007.
- Siegwad D. Pruebas in Vitro de composites de restauración – Qué pruebas tienen sentido y ofrecen resultados clínicamente relevantes?. Report N°18 Agosto 2007.
- Barrancos MJ. Operatoria dental. 4ª Ed. 2006. Ed. Panamericana.
- Craig R, Powers J, Huata J. Dental Materials. 8ª Edition. Ed. Mosley. 2004.
- Reality Publishing Co. Vol 20. 2006. Curing Lights 149-195
- Robertson TM. Operatoria dental arte y ciencia. Ed. Mosby. 1996.
- Lanata EJ. Operatória dental. Grupo guia. 2003.
- Nichols JI. Hablando en términos prácticos. Quintessence (ed. esp) Vol. 16, N° 10. 2003
- Keneth J. Anusavice. Ciencia de los materiales dentales de Philips. 10ª ed. Mc Graw Hill. 1998

