



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA
LICENCIATURA EN ESTOMATOLOGÍA**

TESIS

**INFLUENCIA DE LA DISTANCIA DE POLIMERIZACIÓN DE TRES TIPOS DE
LÁMPARAS DE FOTOCURADO EN LA PROFUNDIDAD DE CURADO Y
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE RESINA COMPUESTA**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE LICENCIADO EN ESTOMATOLOGÍA

PRESENTA

**MADÉLIN RUIZ PEÑARRIETA
MATRICULA 201546616**

DIRECTORA DE TESIS

**Dra. en Cs. ABIGAILT FLORES LEDESMA
ID 100324622**

DIRECTOR DISCIPLINARIO

**Dra. en Cs. MARÍA DE LOS ANGELES MOYAHU BERNAL
ID. 100289266**

DIRECTOR METODOLÓGICO

**L.E.E.R.O JOSÉ ARTURO SALAZAR VERGARA
ID. 100530220**

ASESOR EXTERNO

M. en Cs. JUANA PAULINA RAMIREZ ORTEGA

LECTOR

**MTRA. GLORIA PATRICIA PEREA GONZÁLEZ
ID.100035922**

SEPTIEMBRE 2022



BUAP

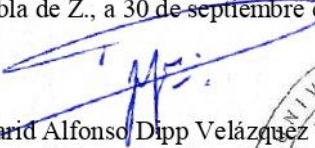
Oficio No. FESIEP/138/2022

C. Madelin Ruiz Peñarrieta
Matrícula: 201546616
Alumno de la Licenciatura en Estomatología
De la Facultad de Estomatología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P R E S E N T E.

El que suscribe, **MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez**, Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por este medio me permito informar a usted que esta Secretaría **aprueba la impresión de la Tesis titulada “INFLUENCIA DE LA DISTANCIA DE POLIMERIZACIÓN DE TRES TIPOS DE LÁMPARAS DE FOTOCURADO EN LA PROFUNDIDAD DE CURADO Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE RESINA COMPUESTA”**, misma que presentará para realizar su examen profesional y obtener el grado de **Licenciada en Estomatología**.

Sin más por el momento, deseándole lo mejor, le reitero mi distinguida consideración.

Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z., a 30 de septiembre de 2022.


MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez
Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA
SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESINA RECEPCIONAL

Para obtener el Grado de: **Licenciado en estomatología**
Registro CIFE: 2022177 Fecha: 30 de septiembre de 2022

Título de la Tesis: **INFLUENCIA DE LA DISTANCIA DE POLIMERIZACIÓN DE TRES TIPOS DE LÁMPARAS DE FOTOCURADO EN LA PROFUNDIDAD DE CURADO Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE RESINA COMPUESTA**

Nombre del alumno: **Madelin Ruiz Peñarrieta** Matrícula: 201546616

Domicilio: **Calle Ébano #125 col. Bugambilias, Puebla, Pue.**

Tel: **222 487 93 10**

Fecha de ingreso a la Facultad: **agosto 2015**

Firma: _____

Director de tesis: **Abigail Flores Ledesma**
Odontológicas

Grado académico: **Doctora En Ciencias**

Adscripción: **Facultad de Estomatología**

ID: 100324622 Tel: 5537376611

Firma: _____

Director disciplinario: **María de los Ángeles Moyaho Bernal**
Salud

Grado académico: **Doctora En Ciencias de la**

Adscripción: **Facultad de Estomatología**

ID: 100289266 Tel: 2222788841

Firma: _____

Director metodológico: **José Arturo Salazar Vergara**
Oral

Grado académico: **Especialidad en Rehabilitación**

Adscripción: **Facultad de Estomatología**

ID: 100530220 Tel: 2221579236

Firma: _____

Asesor externo: **Juana Paulina Ramírez Ortega**

Grado académico: **Maestría en Ciencias**

Adscripción: **Universidad Nacional Autónoma de México**

ID: n/a Tel: 55 2215 7259

Firma: _____

Lector: **Gloria Patricia Perea González**
Estomatológicas en Integral

Grado académico: **Maestría en Ciencias**

Adscripción: **Facultad de Estomatología**

ID: 100035922 Tel: 2221924583

Firma: _____

Nombre y firma de aprobación del Presidente de la academia de Estomatología Integral de la Facultad de Estomatología B.U.A.P

Firma: _____

Dra. En Cs. Carolina Sámano Valencia

La Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología, autoriza la impresión de la Tesis.

MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez

Fecha: 30 septiembre 2022

Sello:



AGRADECIMIENTOS

A mi hijo, Luis Ángel, por motivarme a continuar luchando por mis sueños hasta hacerlos realidad, por darme su amor incondicional cada día y por todos los maravillosos momentos que la vida nos tenga por delante, a ti te dedico cada uno de mis logros.

A mis padres Delfina Peñarrieta Domínguez y José Luis Ruiz Bautista por permanecer a mi lado en este camino y darme las oportunidades para lograr este sueño, gracias por permitirme seguir su camino para ser una profesional con valores y ética, también por ser el mejor ejemplo de superación para mí y para mi hijo.

A mis hermanos José Luis y Shirley, por ser mis cómplices, por nunca dejarme sola y por todo su apoyo incondicional. A mi sobrina, por enternecer mi vida.

A la Dra. en Cs. Abigail Flores Ledesma, por aceptarme para realizar este proyecto de su mano y por toda su dedicación y entrega para que se pudiera llevar a cabo, también por ser un gran ejemplo de vida tanto en lo personal como en lo profesional, así como por enseñarme y motivarme a dar lo mejor de mí y seguir el camino de la ciencia.

A la Dra. En Cs. María de los Angeles Moyaho Bernal, por todo el apoyo brindado y el tiempo dedicado en este trabajo, por creer en mí y brindarme su conocimiento incondicionalmente.

A la M. en Cs. Juana Paulina Ramírez Ortega, y el L.E.E.R.O José Arturo Salazar Vergara por su disposición y cooperación en este proyecto, y por haberme brindado las herramientas necesarias para la realización de este trabajo.

A mi mejor amiga Blanca M. López Castillo por brindarme su amistad incondicional desde que nos conocimos, por creer en mí incluso antes de emprender este camino y por seguir alentándome a dar lo mejor de mí a cada momento.

A mis amigas Dulce O. Francisco Capultitla y Claudia García Cruz, por acompañarme durante todos los años de carrera brindándome su apoyo y amistad permaneciendo a mi lado aún en los momentos más difíciles.

A mi amiga Berenice Pérez Castro, por hacer este camino más ameno, por motivarme y alentarme cada día desde que inicie este proyecto.

A mi compañero y mejor amigo, gracias por estar para mí cada día de mi vida.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. PALABRAS CLAVE	3
3. ANTECEDENTES	4
3.1 Antecedentes generales	4
3.2 Antecedentes específicos	24
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	28
5. JUSTIFICACIÓN	29
6. HIPÓTESIS	30
7. OBJETIVOS	31
7.1 Objetivo general	31
7.2 Objetivos específicos	31
8. MATERIALES Y MÉTODOS	32
8.1 Diseño experimental	32
8.2 Tamaño de muestra	32
8.3 Criterios de selección	32
8.3.1 Criterios de inclusión	32
8.3.2 Criterios de exclusión	32
8.3.3 Criterios de eliminación	32
8.4 Variables	33
8.5 Concordancia y fiabilidad	34
8.6 Ubicación espacio-temporal	34
8.7 Procedimientos	34
8.8 Diagrama de flujo	41
8.9 Análisis estadístico	41
9. RESULTADOS	42
10. DISCUSIÓN	50
11. CONCLUSIONES	52
12. ALCANCES DEL ESTUDIO	53
13. BIBLIOGRAFÍA	54
14. ANEXOS	57
14.1 Hoja de especificaciones de lámpara Bluephase N® MC	57
14.2 Hoja de especificaciones de lámpara Bluephase N®	58
14.3 Hoja de especificaciones de lámpara NANO	59
14.4 Hoja para la recolección de datos.	60
14.5 Hoja para la recolección de datos de irradiancia.	61

1. INTRODUCCIÓN

A través de los años los materiales dentales han sido perfeccionados para ofrecer mayor rendimiento estético y tiempos de trabajo reducidos, de esta manera surgieron los materiales fotopolimerizables, como las resinas compuestas. La fotopolimerización es un proceso mediante el cual un material pasa de un estado a otro, por medio de una reacción química iniciada por una fuente de energía; en las resinas compuestas este proceso se lleva a cabo mediante la excitación de los fotoiniciadores, por una fuente de luz visible producida por una lámpara de polimerización dental. ^(1,2)

Las primeras lámparas de polimerización dental (LCU- Light Curing Units) en el mercado brindaban resultados satisfactorios, ya que eran capaces de activar a la canforquinona que era el fotoiniciador más utilizado, como las de arco de plasma, lámparas de luz visible conocidas comúnmente como halógenas y las de luz láser.⁽³⁾ Sin embargo, las continuas modificaciones de las resinas en su búsqueda de brindar mejores resultados han llevado a los fabricantes a incluir en su composición materiales que brinden mejores características estéticas, agregando de este modo diferentes fotoiniciadores como la lucerina (TPO) o la ivocerina (IVO),⁽⁴⁾ estas modificaciones necesitaron mejor rendimiento de las unidades de polimerización, exigiendo diferentes longitudes de onda capaces de fotoactivar a todos los iniciadores, de este modo surgieron las lámparas de luz emitida por diodos (LED). Las primeras lámparas LED poseían un rango de onda de 465 a 470 nm y tenían una baja intensidad de luz,^(3,5) además presentaban un diodo o muy pocos diodos con una potencia muy baja; de manera progresiva se logró mejorar estas lámparas al introducir más de un led con diferentes rangos de onda de esta manera la potencia de emisión de luz.

En la actualidad este tipo de lámparas se han convertido en un instrumento muy importante en la práctica odontológica, por esta razón, en el mercado existen marcas y modelos diferentes, es necesario conocer sus características para identificar si realmente cumplen con su propósito; ya que se ha observado que dentro de los factores que afectan la polimerización de las resinas compuestas se encuentran, la distancia del haz de luz hasta la superficie del material y la potencia de la luz emitida⁽⁴⁾ es por esto que, esta investigación busca determinar la profundidad de curado y resistencia a la flexión de una resina compuesta fotopolimerizada a distancias de 0mm y 5mm, utilizando tres tipos de lámparas de fotocurado, según los estándares de la Norma ISO 4049:2019.⁽⁶⁾

2. PALABRAS CLAVE

Unidades de fotocurado dental (LCU), resina compuesta, profundidad de curado, resistencia a la flexión, fotopolimerización.

3. ANTECEDENTES

3.1 Antecedentes generales

La luz

La luz es una manifestación de la energía y se entiende como una radiación electromagnética que se encuentra presente en todo el universo, podemos describirla como un campo electromagnético o como partículas individuales llamadas fotones.⁽⁷⁾ Tanto la luz como la radiación forman parte de un espectro electromagnético, el cual no tiene fronteras ni barreras.

El espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas son la propagación simultánea de los campos eléctricos y magnéticos producidos por una carga eléctrica las cuales transportan energía desde alguna fuente a un receptor y los parámetros que caracterizan este movimiento son la longitud de onda y la frecuencia,^(7,8) los cuales permiten determinar su energía, visibilidad y poder de penetración.

La longitud de onda es la distancia entre las crestas o las depresiones consecutivas de las ondas como se observa en la Figura 1.

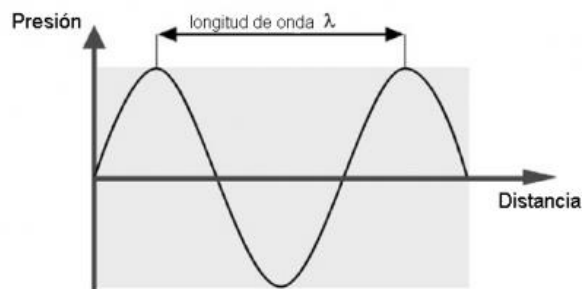


Figura 1. Representación de la longitud de onda.

(www.academiatesto.com.ar/cms/longitud-de-onda-de-una-oscilacion)

Por otra parte, la frecuencia se refiere a la cantidad de repeticiones de una onda en una unidad de tiempo⁽⁶⁾ Figura 2.

La importancia de la relación entre estos conceptos es que entre mayor sea la frecuencia menor será la longitud de onda y viceversa. Si las ondas electromagnéticas se organizan de acuerdo con la longitud, tenemos longitudes con distancias de metros a kilómetros en un extremo y en el otro, longitudes con ondas de una billonésima de metros; a estas zonas se les conoce como regiones del espectro electromagnético.

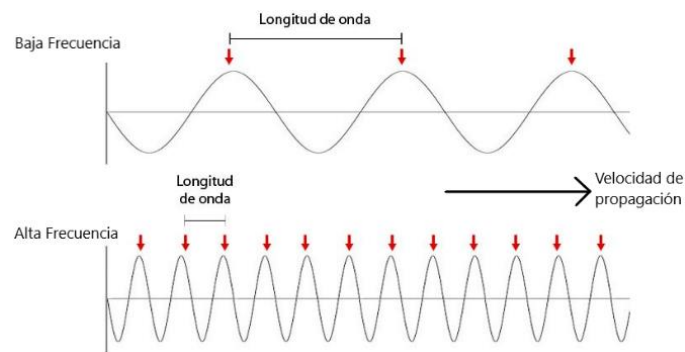


Figura 2. Esquema donde se representa la frecuencia de las ondas (<http://esero.es/practicas-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/frecyLong.png>)

Regiones del espectro electromagnético

El espectro electromagnético está dividido en diferentes regiones las cuales se pueden observar en la Figura 3, sin embargo, estas divisiones no tienen fronteras rígidas entre regiones adyacentes por lo que existen transposiciones entre tipos vecinos pudiendo así quedar una misma longitud de onda incluida entre dos rangos diferentes.⁽⁸⁾ Las regiones que comprenden el espectro son: Rayos gamma, Rayos X y una zona denominada región visible, donde se encuentra la radiación ultravioleta, la luz visible y el infrarrojo; después se encuentran las microondas y ondas de radio.⁽⁸⁾

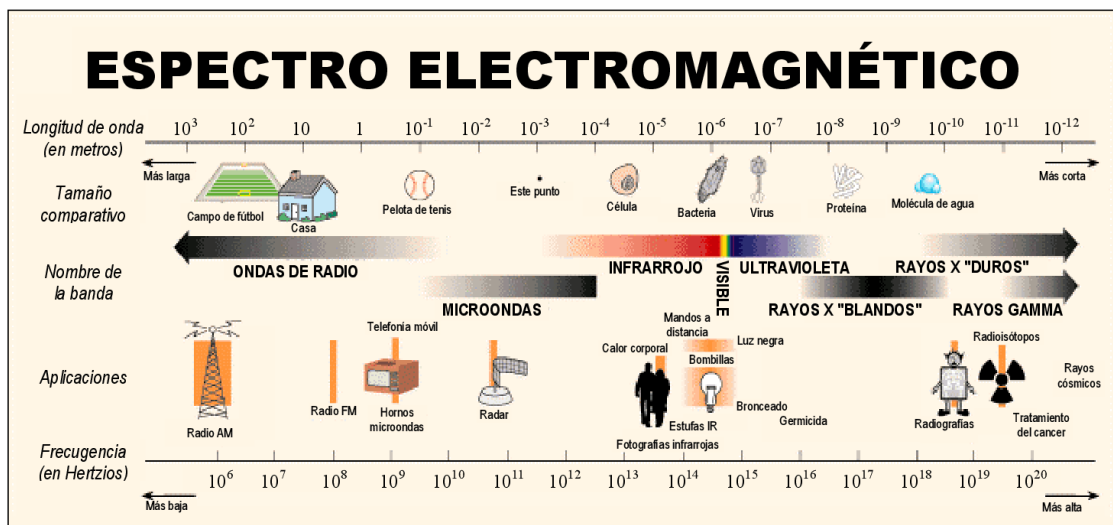


Figura 3. Regiones del espectro electromagnético.

(<https://esquema.net/espectro-electromagnetico-2/>)

En la tabla I se indican los rangos aproximados de las diferentes regiones del espectro electromagnético.

Tabla I. Regiones del espectro electromagnético con frecuencias y longitudes de onda.

Región	Longitud de onda en nm	Frecuencia
Rayos gamma	10^{-11} - 10^{-14}	10^{19} - 10^{22}
Rayos X	10^{-8} - 10^{-11}	10^{17} - 10^{20}
Ultravioleta	10^{-6} - 10^{-8}	10^{15} - 10^{17}
Visible	4×10^{-6} - 7×10^{-6}	10^{14} - 10^{15}
Infrarrojo	10^{-3} - 10^{-5}	10^{11} - 10^{14}
Microondas	10^{-1} - 10^{-3}	10^9 - 10^{11}
Ondas de radio	10^5 - 10^{-1}	10^3 - 10^9

Fuente propia

Rayos Gamma

Los rayos gamma son los que contienen mayor energía dentro del espectro electromagnético, es decir, son la fuente de luz más poderosa y energética que

existe (Figura 4). Su rango de energía es proporcional a la frecuencia, entre mayor sea su frecuencia, mayor será su energía.

Este tipo de energía solamente es capaz de producirse en el universo por medio de procesos relacionados con explosiones, estallidos o agujeros negros. En la tierra no existe materia que pueda suministrar tal cantidad de energía.

Actualmente la astronomía de alta energía es la encargada de investigar el universo, en busca de los procesos que producen este tipo de energía, sin embargo, al ser una ciencia reciente todavía falta mucho por lograr.^(7,9)

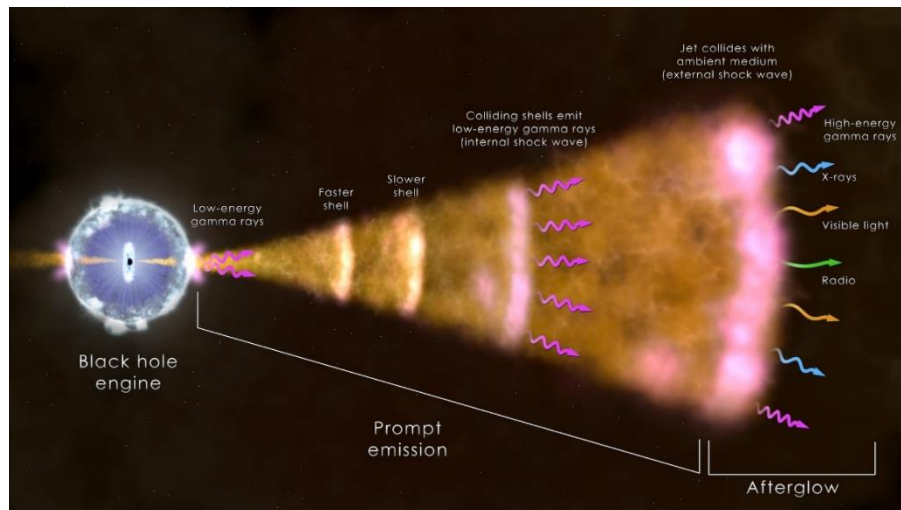


Figura 4. Ejemplo de la producción de rayos gamma y su viaje por el espacio.

(<https://svs.gsfc.nasa.gov/12038>)

Rayos X

Los rayos X son un tipo de radiación del espectro electromagnético y tienen una longitud de onda muy corta, lo que a su vez significa que tienen una alta frecuencia; se generan cuando se aceleran electrones y se hacen chocar en una placa metálica. Poseen la capacidad de atravesar los tejidos y retratarlos en placas metálicas, su

longitud de onda se encuentra en el rango de 10 nanómetros (nm) a 100 picómetros (10^{-8} a 10^{-11}); este tipo de radiación tiene la capacidad de producir ionización.⁽⁷⁾

La ionización es el fenómeno por el cual los rayos X golpean un átomo y remueven un electrón de los orbitales internos, provocando que el átomo se convierta en un ion positivo y el electrón removido en un ion negativo.

Las fuentes de radiación ionizante pueden surgir de manera natural pero también se ha logrado su reproducción de manera artificial, las principales funciones de este tipo de radiación se han desarrollado en el área médica e industrial (Figura 5). Pueden atravesar los tejidos y permitirnos la visibilidad de estructuras y ultraestructuras anatómicas densas, su uso en la medicina se ha vuelto muy importante específicamente en el área odontológica, ya que, gracias a la comprensión de estos elementos nos permite identificar la patología a tratar de manera adecuada y así llevar a cabo los tratamientos dentales correctos.^(10,11)

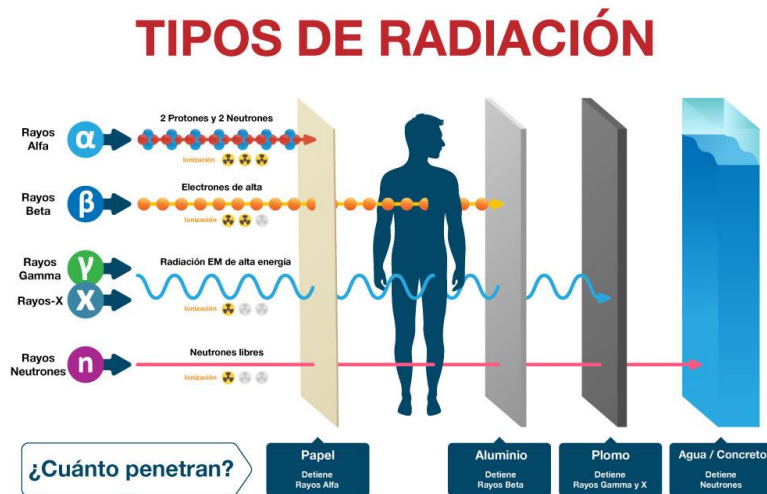


Figura 5. Capacidad de penetrar tejidos de la radiación ionizante.

[\(https://www.novusmed.cl/acerca-de-la-radiacion/\)](https://www.novusmed.cl/acerca-de-la-radiacion/)

Rayos ultravioleta (UV)

Este tipo de radiación constituye una gran parte de la radiación que es enviada por el sol a la tierra, esta radiación tiene tal energía, que logra producir la ionización de átomos formando la ionosfera en la tierra; esta capacidad de ionización los hace capaces de producir mutaciones cancerígenas en la piel. La longitud de onda de estos rayos se extiende desde los 10 nm hasta los 400 nm.⁽⁸⁾

Luz visible

Esta región del espectro es reducida pero muy importante, ya que nuestra retina es sensible a cualquier tipo de energía producida en esta banda y se extiende desde los 400 nm de longitud de onda hasta los 700 nm.⁽¹²⁾ Los rangos de longitud de onda de la luz visible se pueden observar en la Tabla II.

Tabla II. Longitudes de onda en el rango visible y los colores asociados a cada longitud.

Región	Longitud de onda en nm
Rojo	780-622
Naranja	622-597
Amarillo	597-577
Verde	577-492
Azul	492-455
Violeta	455-390

Fuente propia

Según las frecuencias y longitudes de onda será la sensación de color que podamos percibir (Figura 6), siendo que las frecuencias más bajas y con longitudes de onda larga las percibimos como rojas y las de frecuencia más alta con longitud de onda corta las vemos violetas. Sin embargo, la división de los colores que vemos no es más que una transición gradual.

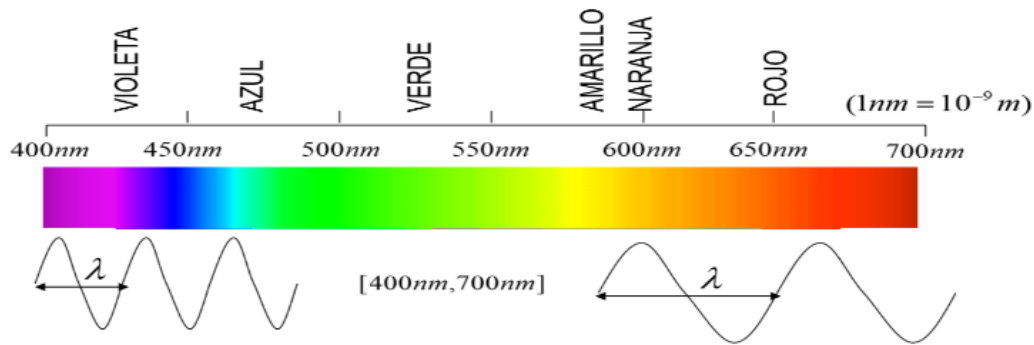


Figura 6. Espectro visible de la luz y los colores visibles ante el ojo humano.

(https://www.researchgate.net/publication/333717805_PATRONES_DE_CONDUCTA_FACIAL_PARA_IDENTIFICAR_ACCESOS_INFORMATICOS_NO_AUTORIZADOS/figures?lo=1)

Infrarrojo

Su nombre indica que se encuentra “por debajo” del rojo, lo que hace referencia a una longitud de onda mayor a la encontrada en el espectro visible, pero a su vez es menor que la de las microondas. La luz infrarroja se extiende en el espectro de 780 nm a 1 mm (1000 nm),⁽⁸⁾ por tal motivo no puede ser visible, pero si es capaz de detectarse. Cualquier objeto que genere calor produce radiación infrarroja y puede ser detectada.

Microondas

Son ondas electromagnéticas con longitud de onda mayores a las del infrarrojo, pero menores que las ondas de radio, se encuentran en el rango de 1mm a 30 cm.

Esta región del espectro electromagnético tiene muchas aplicaciones en la vida cotidiana, desde sus aplicaciones en los hornos de microondas caseros usados para calentar y cocinar alimentos, hasta su aplicación en las telecomunicaciones como el radar aéreo y la comunicación satelital o en el radar Doppler para monitorear huracanes e incluso en las redes de telefonía celular.⁽¹⁾

Radiofrecuencia u Ondas de Radio

En este espectro encontramos a las ondas con mayores longitudes que van desde milímetros a kilómetros, y las cuales poseen menor frecuencia que las demás.^(1,2)

Polimerización

En las resinas compuestas, la polimerización surge como un proceso en el que los dobles enlaces de carbono (C=C) presentes en los monómeros son convertidos en enlaces simples (C-C), formando las cadenas de polímeros y esto se genera cuando el radical libre se une a un carbón de doble enlace del monómero, formando así un par con uno de los electrones de la unión doble, convirtiendo al otro miembro del par del carbón en un nuevo radical libre, lo que genera la acción en cadena.^(4,13,14)

En los materiales dentales, todos los monómeros contienen un carbono de doble unión y se transforman en polímeros y copolímeros por medio de iniciadores. Los iniciadores y activadores determinan la forma en que se inicia la reacción de polimerización. La reacción en cadena comienza al ser estimulado el iniciador, ya sea por una reacción química o por efecto de un estímulo físico.⁽¹⁾

Durante el proceso de conversión de monómeros a polímeros los materiales dentales de resinas pasan por cuatro etapas importantes:

- Activación
- Iniciación
- Propagación
- Terminado

Fases de la reacción de la fotopolimerización

El proceso de fotopolimerización de las resinas compuestas consta de dos fases: la fase lumínica, la cual se activa en el momento en el que la lámpara está encendida, y consta de varias subetapas; y una fase oscura, que ocurre durante las primeras 24 horas tras el comienzo de la reacción.^(14,15)

Fases de la reacción lumínica

1) Fase de activación

Se refiere al proceso de activación de un fotoiniciador, que se separa para formar un radical libre mediante el uso de una luz visible.⁽¹⁵⁾ Los fotoiniciadores son moléculas que absorben

energía fotónica y se activan a longitudes de onda variables para reaccionar y crear radicales libres que inician la polimerización Figura 7.⁽²⁾ El fotoiniciador varía dependiendo de la resina que se desee utilizar, los más importantes son:

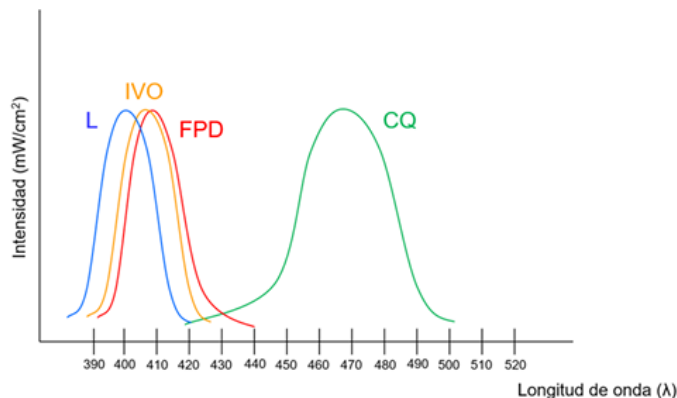


Figura 7. Tipos de fotoiniciadores y su espectro de absorción.
(http://prosthodonticsmcm.com/cuestiones-relevantes-de-las-lamparas-de-polimerizar/?upm_export=print)

- I. Canforquinona (CQ): Este es el fotoiniciador más común en las resinas compuestas. Es una sustancia amarillenta, como se observa en la Figura 8, que absorbe solamente energía dentro del espectro de la luz azul, con una longitud de onda dentro de los 450 a 490 nm, su pico máximo de absorción de luz se encuentra en los 468 nm; lo cual le permite ser polimerizada con cualquier tipo lámpara de fotocurado.^(1,14,16)



Figura 8. Estructura química e imagen de la canforquinona.
(http://www.repositorio.usac.edu.gt/2097/1/T_2556.pdf)

- II. Fenilpropanodiona (PPD): El espectro de absorción de este fotoiniciador se encuentra a una menor longitud de onda que los demás, y va de los 350 a los

450 nm con un pico de absorción máximo en los 410 nm, por si solo consigue un grado similar de polimerización al de la canforquinona, pero cuando actúan en sinergia generan una fotoactivación más eficaz.⁽¹⁷⁾

A diferencia de la CQ no interfiere mucho en el color final de las resinas compuestas, esto permite su utilización en adhesivos y materiales de restauración translúcidos.

- III. Lucerina (TPO): Existe un tercer fotoiniciador llamado lucerina (TPO), cuyo espectro de absorción se encuentra entre los 350 a los 430 nm, con un pico máximo de absorción de 400nm y al igual que la fenilpropanodiona, tiene un color claro Figura 9.⁽¹⁸⁾



Figura 9. Imagen de la lucerina (TPO).

https://www.researchgate.net/publication/331792629_Light-curing_of_resin-based_restorative_materials_an_evidence-based_approach_to_clinical_practice_application/figures?lo=1

- IV. Ivocerina (IVO): Fue desarrollado por Ivoclar Vivadent para sus resinas Bulk fill (Figura 10), este fotoiniciador se activa en un rango de longitud de onda entre los 355 a 460 nm, y al igual que la PPD tiene un pico máximo de absorción en los 410 nm, lo que les permite a estas resinas lograr una profundidad de curado de hasta 4 mm, con un tiempo de activación de 10 segundos, utilizando una intensidad igual o mayor a 1000 mW/cm²(potencia radiante).⁽¹⁸⁻²⁰⁾



Figura 10. Resinas Bulk-Fill que contienen ivocerina como fotoiniciador.

(<https://www.dentaltix.com/es/blog/tecnica-obturacion-bulk-fill-restauraciones-un-solo-paso#:~:text=T%C3%A9cnica%20Bulk%20Fill%20o%20de,para%20asegurar%20la%20polimerizaci%C3%B3n%20y>)

2) Fase de iniciación

Tras la activación por la fuente de luz, el fotoiniciador presente en la resina compuesta pasa a un estado de excitación generando radicales libres.⁽¹⁾

3) Fase de propagación

Una vez formados los radicales libres, se combinan con los monómeros permitiendo su unión a otros monómeros mediante enlaces covalentes, para formar moléculas de cadenas más largas llamadas polímeros. Cuando el proceso comienza, este se lleva a cabo a gran velocidad hasta su término.⁽¹⁾

4) Fase de terminación

La reacción de polimerización puede terminar por diversas razones:

- La concentración de monómero disponible disminuye a medida que la reacción avanza, hasta tener alta dificultad para difundirse a través de la matriz de la resina.
- Dos extremos radicales en crecimiento chocan, dando lugar a la formación de un enlace covalente entre sí; deteniendo el crecimiento de la cadena polimérica.
- Puede ser que la cadena en crecimiento reaccione con impurezas dejando de ser reactiva.⁽¹⁵⁾

Unidades de fotopolimerización (LCU-Light Curing Units)

Gracias a los avances en la tecnología del fotocurado dental, surgieron los materiales dentales polimerizables en la década de los 70's, dichos avances dieron lugar a las primeras unidades de fotopolimerización las cuales han ido cambiando y evolucionando con el paso del tiempo, hasta llegar a las lámparas de fotocurado actuales, dentro de la Tabla III encontramos los nombres y características de cada tipo de lámparas de fotopolimerización dental.⁽²¹⁾

Tabla III. Lámparas de fotopolimerización y sus características.

Tipo de lámparas	Fuente de luz	Rangos de longitud de onda en nanómetros (Nm)	Intensidad de luz mW/cm ²
Halógenas de Cuarzo y Tungsteno (QTH)	Luz incandescente	400 y 500	300 y 3000
Arco Plasma (PAC)	De arco, xenón	470	1400-2700
Láser de Argón	Argón, de diodos	488-514	750-1300

Fuente propia

Lámparas Halógenas de Cuarzo y Tungsteno (QTH)

Estas lámparas son de tipo incandescente, es decir, su luz se genera por un filamento de wolframio puesto en incandescencia por el paso de corriente (Figura 11). Su intensidad de emisión oscila entre los 300 y 3000 mW/cm², debido a esto, es necesario incluir un sistema de ventilación para disminuir la temperatura; generando así tiempos de curado de 40 a 60 segundos. Como poseen un amplio rango de emisión de longitudes de onda, son capaces de fotoactivar distintos tipos de fotoiniciadores.⁽¹⁵⁾

El espectro de la radiación de las QTH es continuo en el rango visible, sin embargo, la radiación aumenta considerablemente hacia el extremo rojo del espectro y este tipo de radiación no contribuye a la polimerización y debe ser filtrada; lo que resulta en la implementación de filtros para poder seleccionar únicamente, las longitudes de onda de la luz azul que se encuentra entre aproximadamente 400 y 500 nm.⁽²²⁾



Figura 11. Lámpara halógena de Cuarzo y tungsteno. (Carrillo Sánchez, 2009)

Lámparas de Arco Plasma (PAC)

Son lámparas de arco, es decir, que emiten la 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 un gas (generalmente es de Xenón) a elevada presión, que evita la evaporación de los electrodos. La cantidad de luz generada es elevada (intensidad entre 1400-2700 mW/cm²), y de color blanco, por lo que requiere de la interposición de un filtro óptico para la obtención de la banda de longitud de onda deseada. La emisión final presenta un pico alrededor de 470 nm.⁽¹⁵⁾

Este tipo de curado se basaba en la premisa de que si se producía una alta radiación, en poco tiempo se produciría una mejor polimerización; sin embargo, al producirse muy rápidamente, existía el riesgo de generar una contracción de polimerización muy elevada.⁽²²⁾



Figura 12. Lámpara de arco plasma.

(<http://www.dentalsbay.com/2016/10/02/en-funcion-de-su-potencia-luminica-pueden-subdividirse-a-su-vez-en-2-tipos/>)

Lámparas de Láser de Argón

A diferencia de otros tipos de luz, la luz láser tiene sólo una longitud de onda y se basa en alimentar la energía por medio de un gas para que los átomos desprendan luz; cuando esta luz choca con los átomos vecinos se genera una acción en cadena. Este método de polimerización tiene como medio activo a un gas de argón. Emiten una longitud de onda de 488-514 nm y su irradiancia se encuentra entre 750-1300 mW/cm².

La desventaja de este tipo de lámparas es que, para producir la cantidad suficiente de energía, se requiere de la presencia de un equipo muy grande (Figura 12), donde exista una base extensa en la cual se aloje el gas y un sistema de enfriamiento; lo que hace a estos equipos muy costosos y de difícil manipulación. Además, al poseer una longitud de onda muy estrecha no todos los fotoiniciadores son capaces de estimularse adecuadamente, lo que genera una inadecuada polimerización.^(15,23)

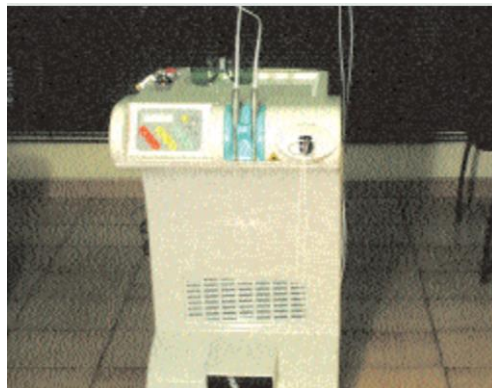


Figura 12. Láser Dental Lokki (Cosme, 2004)

Unidades de fotopolimerización de diodos emisores de luz (LED)

Los diodos emisores de luz (LED), son fuentes de luz de banda estrecha que se basan en componentes semiconductores, donde los electrones son forzados a atravesar desde un lado de un material semiconductor, (sustrato "N") que tiene un exceso de electrones, hasta uno (sustrato "P") con deficiencia de electrones; cuando una corriente fluye a través de ellos generando luz, presentan longitudes de onda que van desde el infrarrojo al ultravioleta, dependiendo de la composición de cada sustrato del semiconductor.⁽²²⁾

Las luces LED tenían compuestos que generaban un rango de luz visible rojo y verde, sin embargo, los LED azules eran muy difíciles de fabricar y, fue hasta la década de los 90's que se logró fabricar el color azul utilizando sustratos de infio-galio-nitrilo (InGaN).⁽²⁴⁾ Poco después los investigadores los incorporaron a los modelos de lámparas de polimerización dental.

1. Unidades de fotopolimerización LED: Primera generación

Al principio se crearon prototipos para demostrar que, la emisión espectral de estas lámparas de fotocurado podían activar con éxito los materiales dentales a base de canforquinona; presentaban un rango de onda de 465 a 470 nm y tenían una baja intensidad de luz de 100-400 mW/cm².^(3,4) La potencia de salida muy baja se debió a que algunas de estas lámparas solo presentaban un diodo o muy pocos diodos en la punta (Figura 13). Individualmente cada diodo (de 5mm aproximadamente) tenía una potencia de salida muy baja, por lo cual se requería que estos LED's individuales se dispusieran de 8 a 64 y, así, junto al uso de una punta de turbo para incrementar su irradiancia, se lograra generar energía suficiente para poder competir con las lámparas existentes.^(23,24)

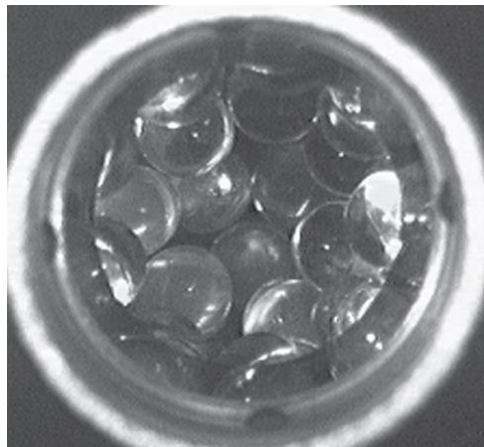


Figura 13. Agrupamiento de diodos individuales en lámparas LED de primera generación. (Rueggeberg, 2017)

Debido a que los diodos se encontraban muy próximos entre sí, fue necesaria la implementación de un disipador de calor, para evitar el sobrecalentamiento de la lámpara. Algunos modelos implementaron carcasas metálicas, lo que les confería una mejor

estabilidad estructural y, además, contaban con una gran superficie para la disipación térmica.⁽²⁴⁾

Durante esa época las baterías se limitaban al uso de níquel cadmio (NiCAD), las cuales tenían un tiempo de trabajo reducido y había que recargarlas constantemente para aumentar el tiempo de trabajo.⁽²⁵⁾

2. Unidades de fotopolimerización LED: Segunda generación

Los avances en la industria de los LED permitieron que, en la década de 2000, aparecieran las lámparas de LED de segunda generación, e implementaron nuevos chips de 1 Watt (que poseía una salida de energía de 140 milliWatts) y otras de 5 Watts (W)⁽⁴⁾ (con una salida aproximada de 600 mW), y un rango de onda de 420 a 490 nm, aumentando de esta manera la potencia de emisión de luz de las lámparas LED de la primera generación, Figura 14.

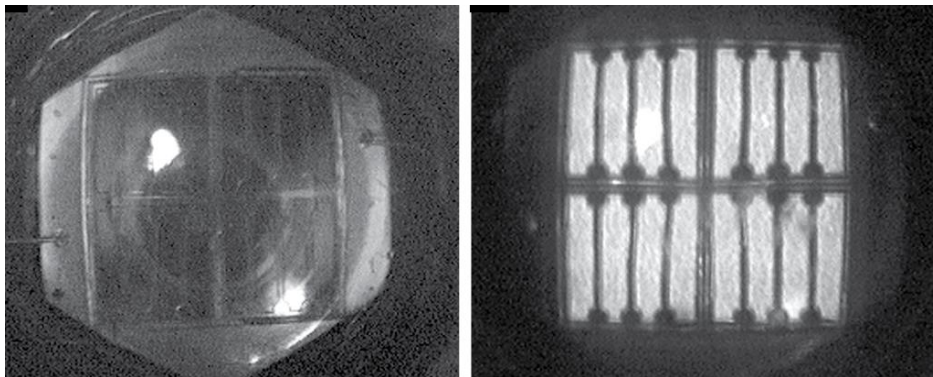


Figura 14. Implementación de chips en lámparas LED de segunda generación (Rueggeberg, 2017)

La tecnología de las luces LED, continuó avanzando y aparecieron dispositivos de 10-15 Watts, aumentando la potencia hasta 1400 mW/cm², Figura 15, logrando una profundidad de polimerización muy similar a la lograda con las lámparas de QTH en un menor tiempo de exposición; además, para mejorar el tiempo de trabajo, se incorporaron baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) optimizando su desempeño pero, al generar mayor potencia se ocasionaba un sobrecalentamiento por lo que debieron implementarse sistemas que disiparan el calor.^(20,22)

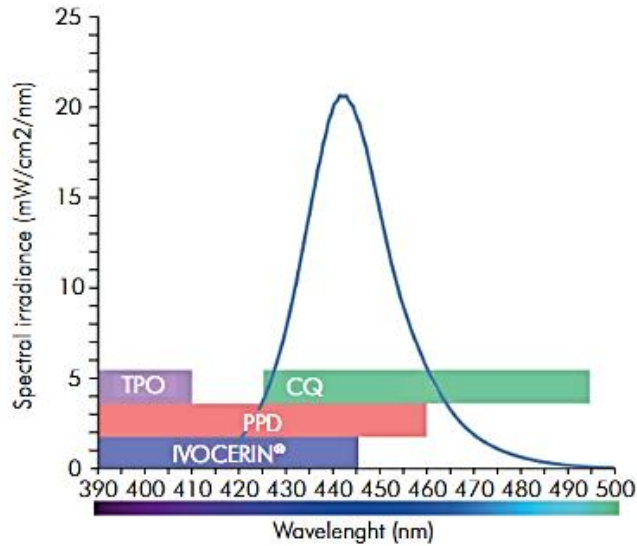


Figura 15. Espectro de emisión de las lámparas de segunda generación, capaces de activar la CQ. (Rueggeberg, 2017)

3. Unidades de fotopolimerización LED: Tercera generación:

Surgen a raíz del incremento de fotoiniciadores, que se emplearon en los nuevos materiales dentales para aportarles un mayor valor cromático, y que representaron una mejor profundidad de curado incluso en materiales dispuestos en masa (Resinas Bulk-fill).⁽²⁶⁾

Alcanzan valores de irradiancia incluso mayores a 3200 mW/cm². Estas fuentes de luz implementaron la utilización de baterías de iones de Litio (LiMH).^(3,25)

Para lograr activar este tipo de fotoiniciadores (TPO e Ivocerin®) se debieron implementar en este tipo de lámparas más de un color, es decir, se agregaron chips que no solo generaran luz azul, sino una longitud de onda entre violeta y azul.⁽²⁵⁾

Las primeras lámparas que implementaron un chip de luz azul fuerte, colocado al centro con una gran potencia (5 W), rodeado de 4 leds violetas de menor potencia (aproximadamente 400 nm de longitud de onda), fueron las lámparas de Ultradent: Ultralum LED 5^(19,21) Figura 16.



Figura 16. Disposición de los diodos de la lámpara Ultralum 5. (Rueggeberg, 2017)

Un método diferente fue el empleado por las lámparas Bluephase Style Light de Ivoclar, Figura 17, utilizando dos diodos azules y uno violeta.



Figura 17. Disposición de los diodos en una lámpara Bluephase N® de Ivoclar (Fuente propia)

Otro tipo de mecanismo fue utilizado por lámparas VALO de Ultradent®, Figura 18, y se basa en 4 diodos, dos azules con una longitud de onda de 460 nm, otro azul con una menor longitud de onda (445nm) y uno violeta de menor longitud de onda (400 nm).⁽²⁴⁾



Figura 18. Utilización de 4 diodos de diferentes potencias en lámparas VALO de Ultradent. (fuente propia)

En cuanto a estas lámparas han utilizado los mismos diseños empleados en las lámparas de QTH con modificaciones, el primero es el clásico diseño en forma de pistola, donde el chip se encuentra en el cuerpo de la pistola y utiliza una guía de fibra óptica para llegar a la zona objetivo⁽¹⁹⁾ Figura 19.



Figura 19. Diversas guías de fibra de vidrio. (https://es.made-in-china.com/co_fsvimeldental/product_Dental-Optical-Fiber-Curing-Light-Guide-Rod-Tip-8mm_eonsihrhg.html)

Otro diseño es el de un cuerpo de tipo lápiz, el cual seguía usando guías de fibra óptica extraíbles, o fijos que tenían el conjunto de chips colocados directamente en el extremo distal de la lámpara y dirigido de forma normal al eje del cuerpo de la unidad, logrando así que la luz brille directamente sobre el objetivo sin necesidad de utilizar las guías de luz de fibra óptica. Este nuevo diseño tiene como ventaja permitir una mejor posición de la punta para lograr una mejor polimerización. Este último tipo de producto tiene la ventaja de una mayor facilidad de colocación intraoral que facilita la posición de la punta y permite una iluminación más directa y la máxima transferencia de luz a la restauración.⁽²⁴⁾

Características de fuente de luz involucrados en la polimerización

Dentro de los factores que pueden afectar la polimerización y que son dependientes de la fuente de luz se encuentran los siguientes:

- *Espectro de emisión*

Se refiere a las longitudes de onda emitidas por las unidades de fotopolimerización.

- *Longitud de onda*

Corresponde a la cantidad de energía de cada fotón dentro del espectro de luz visible, necesaria para la activación de distintos fotoiniciadores.

- *Irradiancia*

Se define como una potencia radiante recibida por una unidad de área.⁽²⁷⁾

Dentro de este valor se pueden distinguir dos términos importantes.

- a) Energía radiante, es la energía emitida por la lámpara de fotocurado y se mide en Joule (J).
- b) Flujo radiante, es la energía emitida, transportada o recibida por unidad de tiempo por la lámpara y se mide en W o J/Segundo.⁽²⁸⁾

3.2 Antecedentes específicos

Aravamudhan⁽²⁹⁾ *et al.*, en el 2006 determinaron la relación entre la intensidad de las LCU LED y LCU QTH y la profundidad de curado de un composite de resina a diferentes distancias, evaluaron cuatro lámparas de polimerización LED (Flashlite 1001, Freelight 2, Smartlite IQ y Ultralume 5) y una halógena de tungsteno (Optilux 501, con puntas de 8 y 11 mm de diámetro) y midieron la intensidad a distancias de 0, 2, 4, 6, 8 y 10 mm entre la punta de luz y el detector, se midió la profundidad de curado de una resina TPH Spectrum tono A2 a las mismas distancias. Los resultados demostraron que en todas las LCU, la intensidad disminuyó al aumentar la distancia, también se mostraron una correlación logarítmica entre la intensidad y la profundidad de curado, y una correlación lineal entre la profundidad de curado y la distancia. Concluyeron que tanto la intensidad como la profundidad de curado disminuyen al aumentar la distancia, la relación entre estos factores y la distancia puede no ser similar para todas las luces y puede depender de las características de cada una de ellas.

Rojas⁽³⁰⁾ *et al.*, en el 2015 realizaron un estudio para determinar si la relación entre la distancia de la fuente de luz y el material de sellador de fasetas y fisuras afecta la profundidad de curado, realizaron 90 muestras de sellador de fasetas y fisuras (Helioseal F®), según la norma 27 de la ADA, para polimerizarlas con una LCU LED (Bluephase C5) durante 20 segundos a diferentes distancias; 30 muestras se polimerizaron a 0 mm de distancia de la fuente de luz, 30 más a 5 mm de distancia y las 30 restantes a 10 mm de distancia, retirando posteriormente con ayuda de una espátula para resinas (Suter Dental®) el material no polimerizado, obteniendo como resultados que el grupo polimerizado a 0 mm de distancia tuvo una profundidad de curado de 2.01 mm, y el grupo a 10 mm fue el que presentó menor profundidad de curado con 1.62 mm. Se concluyó que al alejar la fuente de luz de los selladores de fasetas y fisuras se afecta su profundidad de curado.

Price⁽³¹⁾ *et al.*, en el 2020 analizaron las características que deben considerarse para describir, comprar o utilizar las unidades de fotopolimerización, utilizando los términos del Sistema Internacional de Unidades (SI) de potencia radiante (mW), potencia radiante espectral (mW/nm), irradiancia de salida (mW/cm²) y la irradiancia recibida en la superficie (mW/cm²). Utilizaron además el concepto de un perfil de haz de irradiancia para mapear la exposición radiante (J/cm²) de la LCU. Los resultados demostraron que incluso los

pequeños cambios en el diámetro de la punta activa de la LCU tendrán un gran efecto en la salida radiante, además de que los espectros de emisión y los efectos de la distancia sobre la irradiancia suministrada no son los mismos en todas las LCU, incluso algunas LCU tienen "puntos calientes" de alta emisión radiante que superan el estándar actual ISO 10650, provocando una falta de homogeneidad en el curado de las resinas e incluso pueden llegar a dañar los tejidos blandos. Se concluyó que usar un único valor de irradiancia promedio para describir la LCU puede ser muy engañoso y que los fabricantes deben informar la potencia radiante, la potencia radiante espectral, la compatibilidad del espectro de emisión con los fotoiniciadores utilizados, el diámetro de la punta óptica activa, la salida radiante, así como el efecto de la distancia desde la punta en la irradiancia entregada y el perfil del haz de irradiancia de la LCU.

Gutierrez-Leiva⁽⁵⁾ *et al.*, en el 2020 compararon la profundidad de polimerización de tres tipos diferentes de resinas compuestas bulk fill fotopolimerizada con dos unidades de fotoactivación LED (polywave versus monowave), se realizaron muestras de tres marcas de resinas bulk fill (Filtek One Bulk Fill Restorative, Tetric N-Ceram Bulk Fill y Opus Bulk Fill APS) polimerizadas por 2 LCU LED, una con tecnología monowave (Bluephase N) y la otra de tecnología polywave (LED D), con tiempos de curado estandarizado de 20 y 30 segundos respectivamente para generar una densidad de energía de 24 J/cm², como resultados se obtuvo que la lámpara LED D produjo mayores valores de profundidad de polimerización en todas las resinas bulk fill evaluadas, llegando a la conclusión de que la lámpara LCU LED Monowave presentó una mayor profundidad de polimerización que la de tecnología Polywave, sin importar el tipo de resina bulk fill utilizada.

Wang⁽³²⁾ *et al.*, en el 2021 evaluaron el efecto de la intensidad de curado en la generación de calor y, si estos cambios afectan las propiedades químico-mecánicas de las resinas Bulk-Fill. Usaron 4 materiales de restauración Bulk-Fill (Filtek One bulk-fill, Tetric PowerFill, Beautifil-Bulk y Admira Fusion X-tra), utilizando un total de 100 muestras (25 muestras de cada resina) y su polimerización se realizó con una LCU LED Monowave (Elipar DeepCure-L) con una intensidad de luz de 1470 mW/cm² y una LCU LED Polywave (Bluephase PowerCure) con tres intensidades de luz diferentes (1200, 2000 y 3050 mW/cm²). El cambio de temperatura se midió mediante cinco termopares de tipo K colocados en cada capa de 1 mm de los composites, evaluando la dureza y el grado de conversión en cada nivel. Obteniendo como resultado temperaturas máximas de la LCU polywave entre 31.4 -

63.5 °C (registrando la mayor temperatura con la mayor intensidad de la lámpara) y la LCU monowave entre 29.5-60 °C. Concluyeron que, el cambio de temperatura durante la polimerización de los composites Bulk-fill es proporcional al aumento de la intensidad de la LCU y que la dureza después de la polimerización era mejor en aquellos materiales donde se usaron LCU Monowave en comparación con las LCU polywave.

Bin Nooh⁽³³⁾ *et al.*, en el 2021 evaluaron la influencia de diferentes intensidades de luz de curado de LCU LED, en el grado de conversión y la contracción volumétrica de polimerización de resinas bulk fill; tomaron 24 muestras de 4 diversas resinas (Filtek One bulk fill posterior, Reveal HD Bulk, Tetric N-Ceram y Filtek Z350) y fueron colocadas en moldes para su posterior polimerización con una LCU LED de alta intensidad (1200 mW/cm²) durante 20 segundos y con otra de baja intensidad (650 mW/cm²) por 40 segundos, después se procedió a analizar el grado de conversión y la contracción volumétrica de polimerización de cada muestra, obteniendo que, con la luz de curado de alta intensidad (Reveal HD) se obtuvo el mayor grado de conversión, mientras que Tetric N-Ceram la más baja; no se presentaron diferencias significativas en la contracción volumétrica de polimerización usando diferentes intensidades de luz, sin embargo, el mayor valor lo presentó Reveal HD (2.834-3.193 %). Concluyeron que, las diferencias entre las intensidades de luz de las LCU LED no influyen significativamente en el grado de contracción volumétrica de las resinas bulk fill.

Brandt⁽³⁴⁾ *et al.*, en el 2008 evaluaron la resistencia a la flexión y el módulo de flexión de diferentes resinas compuestas después de haber sido fotopolimerizadas con una LCU de luz halógena y una LCU de luz LED, para lo cual midieron la irradiancia de cada lámpara; la resistencia a la flexión se determinó por medio de un ensayo de flexión de tres puntos según la Norma ISO 4049, y el módulo de flexión se midió a partir del rango lineal elástico en el perfil de tensión-deformación, los datos que recopilaron fueron analizados con la prueba ANOVA de dos vías y por medio de la prueba Tukey, encontrando diferencias estadísticamente significativas. Concluyeron que, la resistencia a la flexión y el módulo de flexión dependieron de la irradiación y de la emisión espectral de las LCU, así como de la resina.

Soto⁽³⁵⁾ *et al.*, en el 2011 evaluaron la intensidad de la salida de la luz de las lámparas de fotocurado de una clínica dental, utilizando radiómetros para medir la intensidad de la luz emitida por las unidades de luz halógena y de luz LED, analizaron la intensidad de las lámparas al irradiar durante 40 segundos, los datos recolectados fueron analizados mediante un análisis bivariado usando la prueba χ^2 . Concluyeron que, únicamente el 40% de las LCU evaluadas tenían una intensidad de irradiancia adecuada, es decir que solo estas unidades de polimerización tienen la capacidad de polimerizar adecuadamente a las resinas compuestas.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La odontología actual se ha dedicado a desarrollar nuevos y mejores materiales de restauración, confiriéndoles mejoras no solo estéticas, sino en sus propiedades mecánicas, en este sentido la práctica odontológica ha evolucionado a la par, sin embargo, es necesario evaluar los métodos de polimerización y analizar qué grado de efectividad les otorgan a estos materiales para poder aprovechar al máximo dichas mejoras. Para conocer que tan eficaz es la fotopolimerización, se deben analizar las características de las unidades de polimerización, como la irradiancia, si es alámbrica o inalámbrica o si poseen múltiples LED (poly-LED) o un único LED (monowave); estas características sumadas a la distancia de la restauración al haz de luz, así como el diámetro de la punta de la lámpara, tienen una gran influencia en la calidad de polimerización de estos materiales.

Por lo anteriormente expuesto se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la influencia de la distancia de polimerización en la profundidad de curado y resistencia a la flexión de una resina compuesta al ser fotopolimerizada con tres tipos de lámparas de fotocurado?

5. JUSTIFICACIÓN

Los nuevos materiales de restauración dental han hecho que las unidades de polimerización se conviertan en un instrumento vital en la práctica odontológica moderna, sin embargo, en la actualidad existen gran cantidad de modelos de LCU con características y propiedades diferentes. Para saber si se está realizando una correcta polimerización debemos tomar en cuenta todos los factores que pueden influir tanto de las LCU, como las del material restaurador, entre ellas su profundidad de curado, la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad. El conocer estas características, indicará las consecuencias que puede ocasionar la polimerización de un material restaurativo a distintas distancias y proveerá del conocimiento necesario para saber cómo esto afecta las propiedades mecánicas en dicho material.

6. HIPÓTESIS

- H0. La distancia de polimerización no afectará la profundidad de curado y la resistencia a la flexión de la resina compuesta fotopolimerizada con los tres tipos de lámparas de fotocurado.
- Ha. La distancia de polimerización afectará la profundidad de curado y la resistencia a la flexión de la resina compuesta fotopolimerizada con los tres tipos de lámparas de fotocurado.

7. OBJETIVOS

7.1 Objetivo general

- Comparar la influencia de la distancia de polimerización en la profundidad de curado y resistencia a la flexión de resina compuesta fotopolimerizada con tres tipos de lámparas de fotocurado

7.2 Objetivos específicos

- Comparar la profundidad de curado de una resina compuesta fotopolimerizada con tres tipos de lámparas de fotocurado dental a 0mm y 5mm de distancia.
- Comparar la resistencia a la flexión de una resina compuesta fotopolimerizada con tres tipos de lámparas de fotocurado dental a 0mm y 5mm de distancia.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Diseño experimental

Transversal, prospectivo, descriptivo, experimental, in vitro.

8. 2 Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra se calculó de acuerdo con el método de Tang usando el estadístico F; con base a un estudio previo, donde se tomó la media, la desviación estándar y el número de repeticiones para trabajar con una potencia del 80%, con un intervalo de confianza del 95%. se obtiene un tamaño de muestra de $n=10$, es decir 10 muestras para cada prueba por distancia y por lámpara.

8.3 Criterios de selección

8.3.1 Criterios de inclusión

- Resina compuesta convencional tono OA2: Palfique LX5, Tokuyama cuyo periodo de uso este vigente.
- Muestras de resina con medidas de acuerdo con los estándares de la norma ISO 4049.⁽⁶⁾

8.3.2 Criterios de exclusión

- Resinas compuestas que no sean tono OA2: Palfique LX5, Tokuyama.
- Resinas compuestas con caducidad cumplida.
- Cuerpos de prueba que presenten grietas, burbujas y fracturas.
- Cuerpos de prueba que presenten irregularidades en la superficie

8.3.3 Criterios de eliminación

- Muestras que durante el trabajo experimental se fracturen.

8.4 Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Unidad de medida	Tipo de variable
Variables independientes				
Lámparas de fotocurado dental (LCU)	Dispositivo de uso dental que a través de cierta longitud de onda e irradiancia completarán el proceso de polimerización.	Se emplearán 3 tipos de lámparas: Grupo 1: Bluephase N® MC Grupo 2: Bluephase N® Grupo 3: Nano, COXO	Grupo 1: Bluephase N® MC (800 mW/cm ²) Grupo 2: Bluephase N® (650 mW/cm ²) Grupo 3: Nano, COXO (1100-1200 mW/cm ²)	Cualitativa nominal Policotómica
Distancia de polimerización	Distancia que existe entre la punta de la lámpara de fotocurado y la superficie de la resina.	Distancia que existe entre la punta de la lámpara de fotocurado y la superficie de la resina. Se utilizarán 2 distancias de fotopolimerización	- 0mm - 5mm	Cuantitativa de razón
Variables dependientes				
Profundidad de curado	Reacción de polimerización inducida por luz LED en longitudes de onda entre 350-470nm	Profundidad de curado en mm de acuerdo con la ISO-4049 medida a través de un micrómetro a distintas distancias de polimerización.	mm	Cuantitativa continua
Resistencia a la flexión	La resistencia a flexión es la capacidad de un material de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal, en tres puntos.	La resistencia máxima de la resina en un ensayo de flexión de tres puntos después de ser polimerizado distintas distancias.	MPa	Cuantitativa continua
Irradiancia de la lámpara	Es el poder radiante o recibido por unidad de área. Refleja el promedio en un área definida.	Poder radiante o recibido por unidad de área, a distancias de 0mm y 5mm.	mW/cm ²	Cuantitativa continua

8.5 Concordancia y fiabilidad

La alumna investigadora fue capacitada con base en la norma ISO 4049:2019,⁽⁶⁾ sobre la metodología de profundidad de curado y resistencia a la flexión a través de prueba piloto para la estandarización del manejo de los equipos. Fue asesorada en la interpretación de los resultados por los investigadores participantes en el proyecto.

8.6 Ubicación espacio-temporal

Las pruebas de profundidad de curado y resistencia a la flexión se realizaron en el Laboratorio de Materiales Dentales, en la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, la carga de las muestras de flexión se realizó en el Laboratorio de Investigación de Materiales Dentales y Biomateriales de la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Odontología, UNAM. La medición de la irradiancia y la emisión del espectro de luz de las lámparas de fotocurado se realizaron en el Laboratorio Central del Instituto de Física “Ing. Luis Rivas Terrazas” en el periodo junio-julio 2022.

8.7 Procedimientos

Materiales

En el presente estudio, se utilizó una resina compuesta: Palfique LX5 tono OA2 de Tokuyama, así como tres Unidades de polimerización LED: Bluephase N®, Bluephase N® MC y NANO. La información sobre la resina compuesta, así como de las LCU se describen en las tablas IV y V respectivamente.

Tabla IV. Información de la resina compuesta empleada en este estudio.

Características de la Resina	
Nombre	Palfique LX5
Marca	Tokuyama Dental
Tonalidad	OA2
País	Japan
Tipo de relleno	Sílice/Dióxido de Zirconio
Matriz	Bis-GMA, TEGDMA
Fotoiniciador	CQ/RAP

Bis-GMA: Bisfenol A-Diglicidileter Metacrilato

TEGDMA: Dimetacrilato trietilenglicol

CQ/RAP: Canforoquinona/Fotopolimerización amplificada por radicales

Tabla V. Información de las unidades de polimerización empleadas en este estudio.

Características de las Unidades de Polimerización					
Lámpara	Marca	País	Alámbrica/ Inalámbrica	Poliwave/ Monowave	Irradiancia
Bluephase N®	Ivoclar Vivadent	Austria	Alámbrica	Poliwave	Low Power: 650 mW/cm ²
Bluephase N MC®	Ivoclar Vivadent	Austria	Alámbrica	Monowave	800 mW/cm ²
NANO	COXO	China	Inalámbrica	Poliwave	1100-1200 mW/cm ²

Profundidad de curado

Se prepararon muestras cilíndricas de la resina compuesta en moldes metálicos de 4 mm de diámetro x 6 mm de altura (Figura 20a), con el fin de retirar fácilmente la muestra se colocó un aceite de silicona como separador al molde metálico. Se rellenó el molde con la resina compuesta Palfique LX5 Color OA2, utilizando una espátula de teflón para resina

marca 6B (Figura 20b), procurando excluir burbujas de aire (Figura 20c) posteriormente se colocó una banda de celuloide entre el molde metálico y la punta de la guía de luz de la lámpara y se irradió la muestra durante 20 segundos a 0 mm y 5 mm de distancia (Figura 20d y 20e) utilizando la lámpara de fotocurado correspondiente a cada grupo durante 20 segundos con las tres LCU a estudiar: NANO COXO, Bluephase N® MC y Bluephase N® Figura 21.

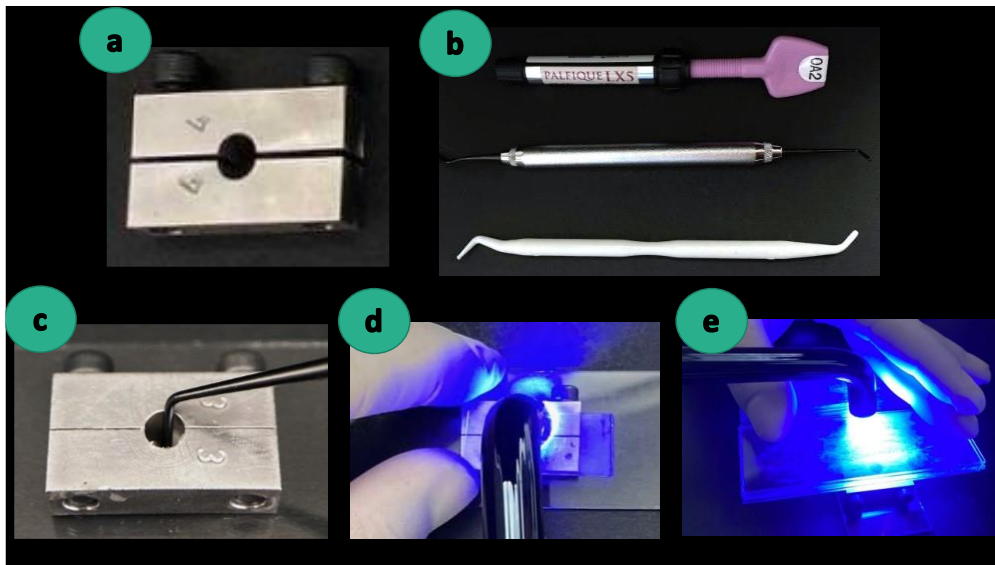


Figura 20. Procedimiento para realizar las muestras para la prueba de profundidad de curado. a. Moldes para la conformación de las probetas. b. Resina compuesta Palfique LX5 Color OA2 y espátulas para resina de teflón y de plástico. c. Colocación de la resina compuesta dentro del molde metálico. d. Irradiación de la muestra durante 20 segundos a 0mm de distancia. e. Irradiación de la muestra durante 20 segundos a 5 mm de distancia. (Fuente propia)

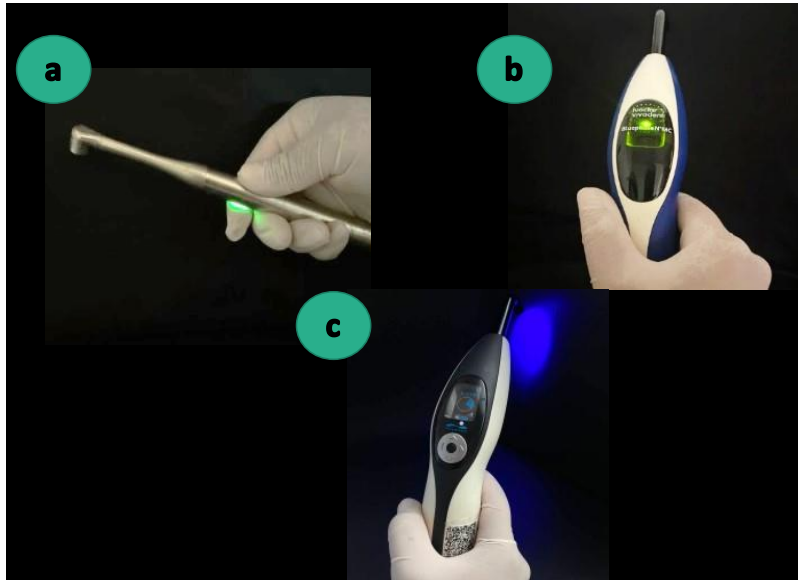


Figura 21. Unidades de polimerización estudiadas: a) Nano COXO, b) Bluephase N® MC, c) Bluephase N®. (Fuente propia)

Después de irradiar la muestra, se retiró del molde metálico y se eliminó el material no polimerizado con una espátula de plástico (Figura 22a). Una vez que se retiró la resina sin polimerizar se procedió a medir la muestra con un micrómetro digital (Figura 22b), registrando los valores obtenidos y posteriormente se dividieron entre dos, este valor se registró como la profundidad de curado.

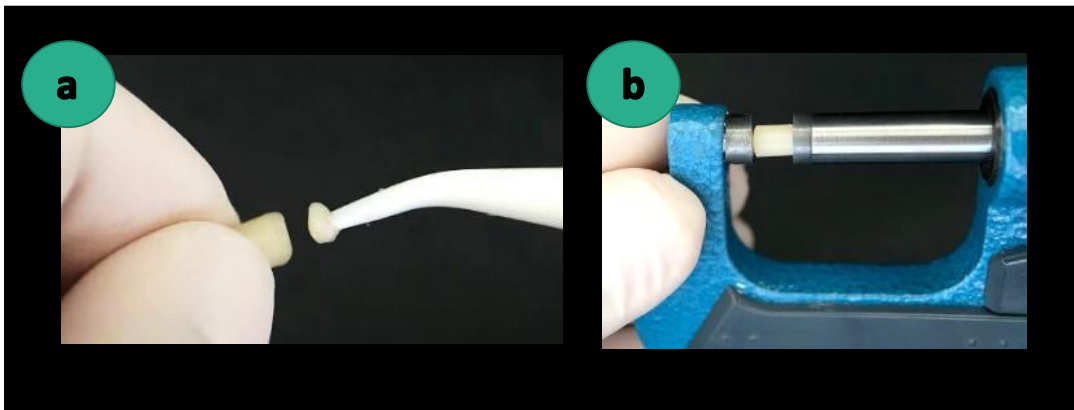


Figura 22. a. Eliminación de resina no polimerizada de la muestra con la ayuda de la espátula para resina de plástico. b. Medición de la probeta con un micrómetro digital. (Fuente propia)

Prueba de resistencia a la flexión con base en la Norma ISO 4049:2019

Para la elaboración de las muestras de resina compuesta se usaron moldes metálicos de 25 mm de largo, 2 mm de ancho y 2 mm de grosor, los cuales se colocaron sobre una loseta de vidrio para obtener una superficie plana y lisa (Figura 23a), después se colocó un aceite de silicona al molde para facilitar la extracción de la muestra (Figura 23b) y se rellenó con resina compuesta Palfique LX5 color OA2 utilizando la técnica de incrementos con una espátula de resina de teflón marca 6B, presionando la resina para evitar la presencia de burbujas.

Se colocó una tira de celuloide sobre el molde y se aplanó con un portaobjetos para desbordar el material sobrante (Figura 23c), se retiró el vidrio para proceder con la polimerización a 0 y 5 mm, utilizando la lámpara de fotocurado correspondiente (Figura 24d) a cada grupo durante 20 segundos, grupo 1: Bluephase N® MC, grupo 2: Bluephase N®, grupo 3: Nano, COXO.

Se comenzó a irradiar en el centro de la muestra, posteriormente la parte derecha y finalmente la parte izquierda, continuando así hasta que toda la muestra fue irradiada por completo; este procedimiento se repitió por el otro lado de la muestra, después se retiró la muestra del molde y se eliminaron las rebabas con una lija de papel abrasivo Figura 24e.

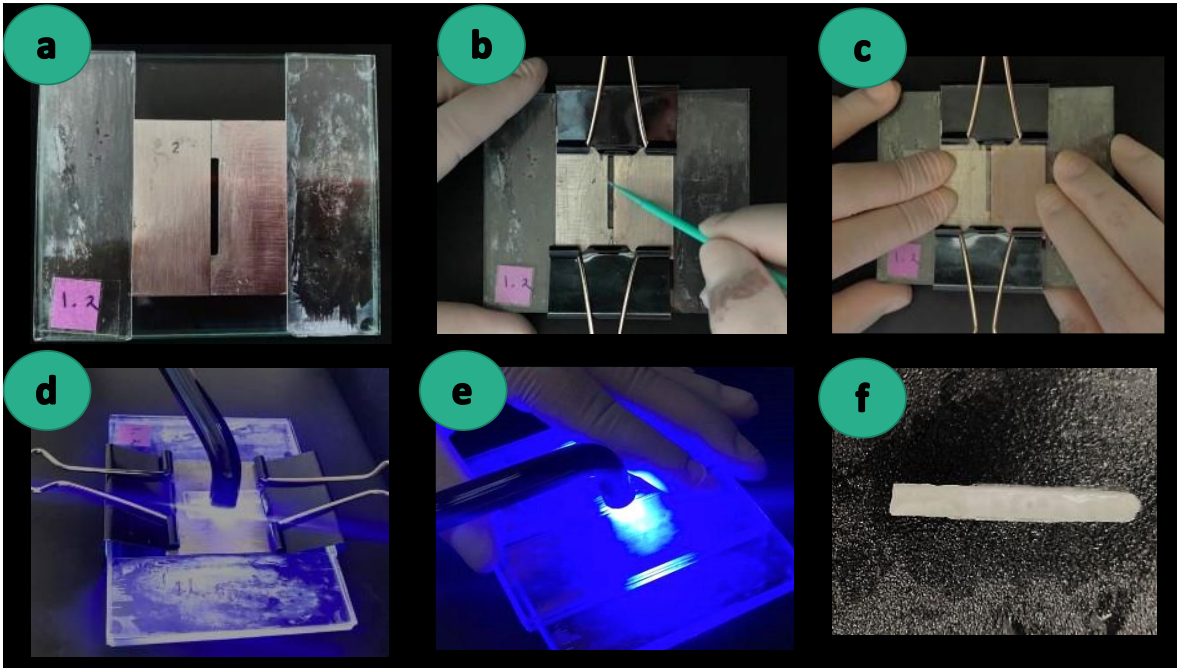


Figura 24. Procedimiento para realizar las muestras para la prueba de resistencia a la flexión. a. Moldes para la conformación de las muestras. b. Colocación de aceite a base de silicona. c. Desborde del material con ayuda de un portaobjetos. d. Irradiación de la muestra durante 20 segundos a 0mm de distancia. e. Irradiación de la muestra durante 20 segundos a 5 mm de distancia. (Fuente propia)

Una vez concluida la fotopolimerización las muestras se conservaron en agua a 37°C por 24 horas. La prueba de resistencia a la flexión de las muestras se realizó mediante una Máquina Universal de Pruebas Mecánicas Instron 5567, Figura 25, aplicando una carga a velocidad constante de $.75 \pm 0.25$ mm/min a un régimen de carga de (50 ± 16) N/min registrando la tensión máxima del material para producir una fractura.

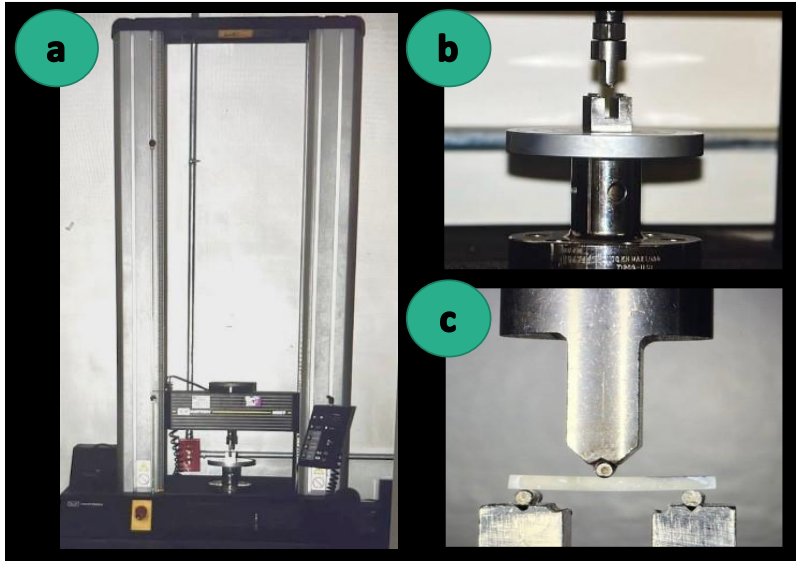


Figura 25. a. Máquina Universal de Pruebas Mecánicas Instron 5567. b. Base para colocar las muestras. c. Prueba de resistencia a la flexión. (Fuente propia)

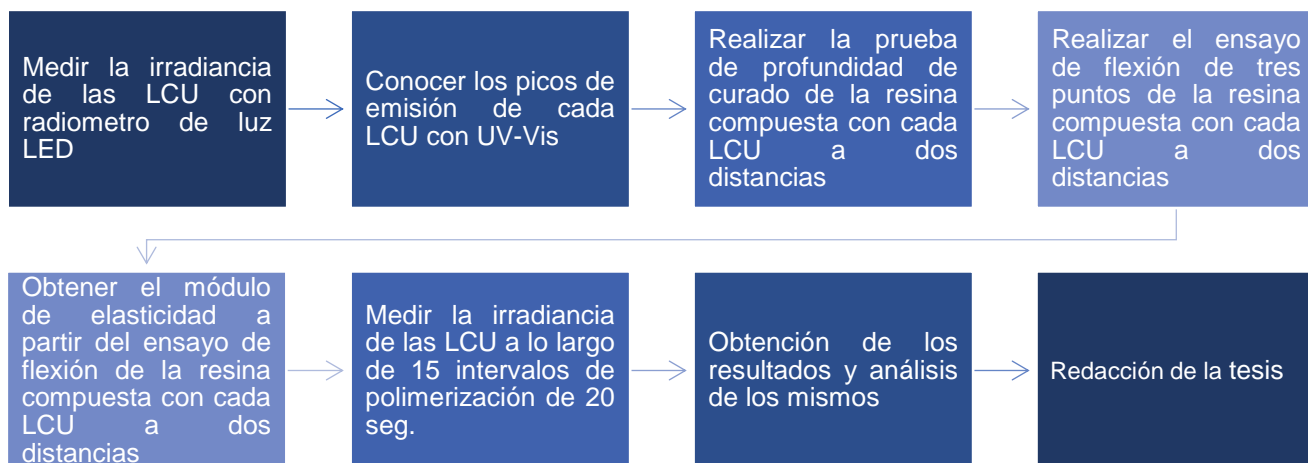
Medición de la irradiancia

La irradiancia en mW/cm^2 de cada lámpara se midió con un radiómetro digital de luz LED con un rango de medición de $50\text{-}3600 \text{ mW}/\text{cm}^2$, en longitudes de onda de $350\text{-}550 \text{ nm}$, se colocó la punta de la lámpara de fotocurado totalmente adosada al sensor del radiómetro inicialmente a 0 mm y posteriormente a la distancia de 5 mm .



Figura 2. Medición de la irradiancia con un radiómetro digital LM-1 Woodpecker. (Fuente propia)

8.8 Diagrama de flujo



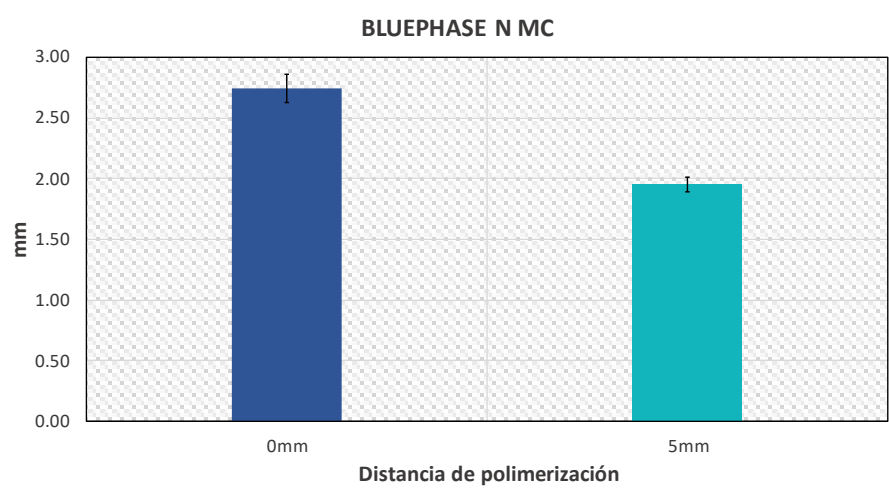
8.9 Análisis estadístico

Los resultados se registraron en las hojas de control y en el programa Excel y los datos se analizaron en el paquete estadístico, Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 21 para Windows Statistical (IBM, New York, USA), realizando la prueba ANOVA y prueba *post hoc* Tukey para las comparaciones en profundidad de curado, resistencia a la flexión y módulo de elasticidad y prueba T-Student pareada para evaluar la irradiancia de cada lámpara a los 15 intervalos de polimerización.

9. RESULTADOS

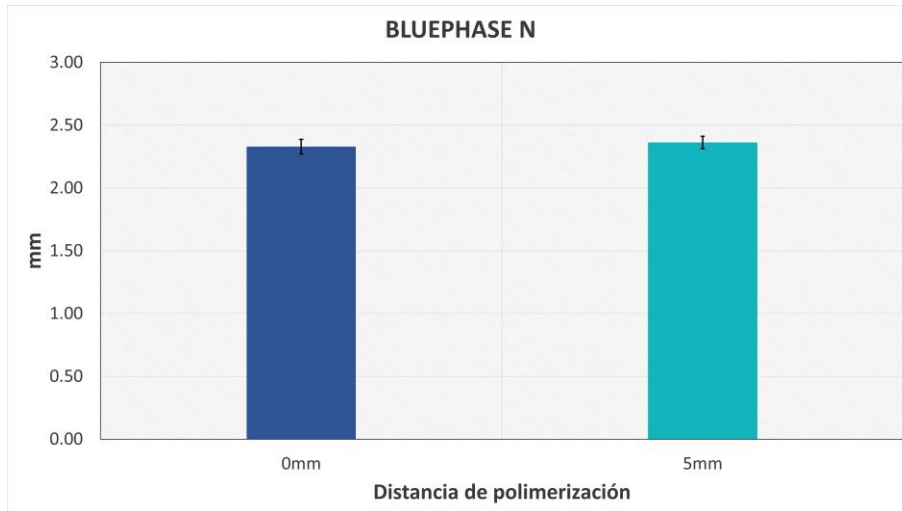
Profundidad de curado

La Gráfica 1, muestra la profundidad de curado de la lámpara Bluephase N® MC a dos distancias de polimerización. Se observa que posee una mayor profundidad de curado a la distancia de 0 mm que oscila entre los 2.74 mm, mientras que a la distancia de 5 mm disminuye significativamente ya que ronda los 1.95 mm. Encontrando diferencias estadísticamente significativas.



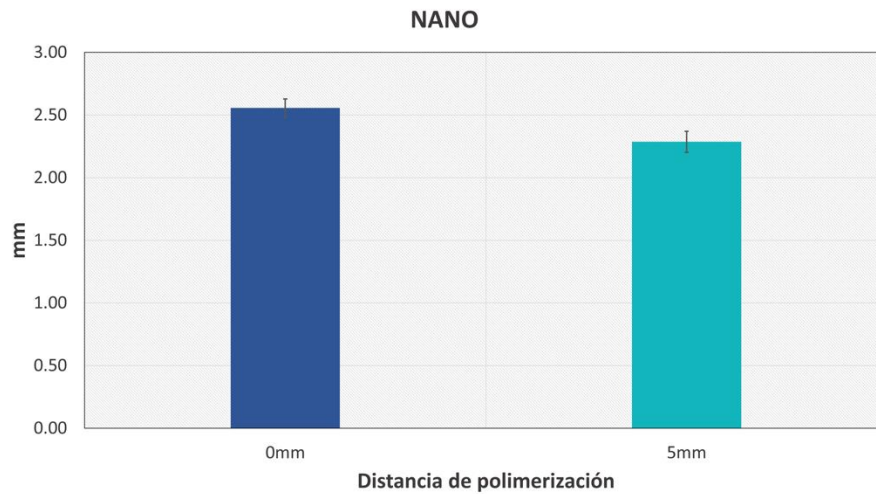
Gráfica 1. Profundidad de curado de la lámpara Bluephase N® MC (T-Student $p < 0.05$)

La Gráfica 2, muestra la profundidad de curado de la lámpara Bluephase N a dos distancias de polimerización. Se observa que posee una menor profundidad de curado a la distancia de 0 mm la cual se encuentra en los 2.33 mm, mientras que a la distancia de 5 mm aumenta ligeramente a 2.36 mm. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas.



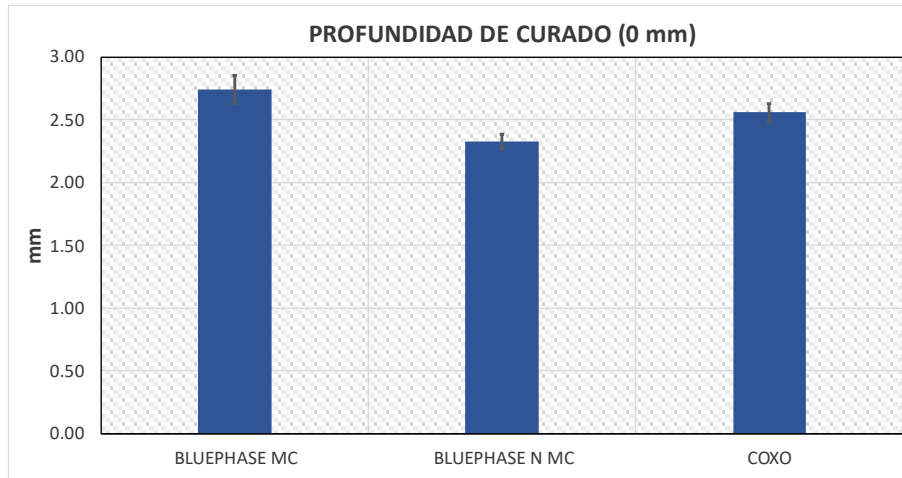
Gráfica 2. Profundidad de curado de la lámpara Bluephase N® (T-Student $p > 0.05$)

La Gráfica 3, muestra los resultados de profundidad de curado obtenidos con la lámpara NANO COXO, a dos distancias de polimerización, se puede observar una profundidad de curado mayor a 0 mm de distancia que se encuentra en los 2.56 mm, y que disminuye a la distancia de 5 mm con un resultado de 2.29 mm. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas.



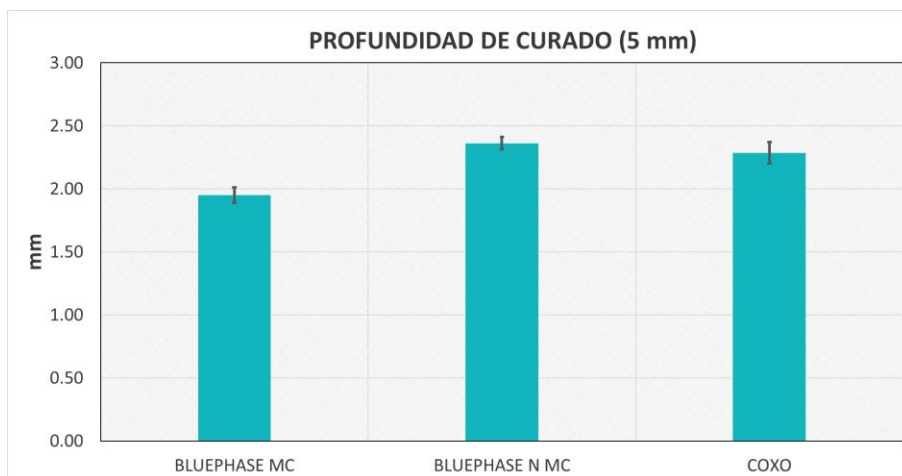
Gráfica 3. Profundidad de curado de la lámpara Nano COXO (T-Student $p < 0.05$)

En la Gráfica 4, se observan las diferencias obtenidas en la profundidad de curado de las tres lámparas, a 0 mm de distancia de polimerización, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas.



Gráfica 4. Profundidad de curado de las tres lámparas estudiadas a 0 mm de distancia. (Anova $p < 0.05$, post hoc Tukey $p < 0.05$ entre todos los grupos)

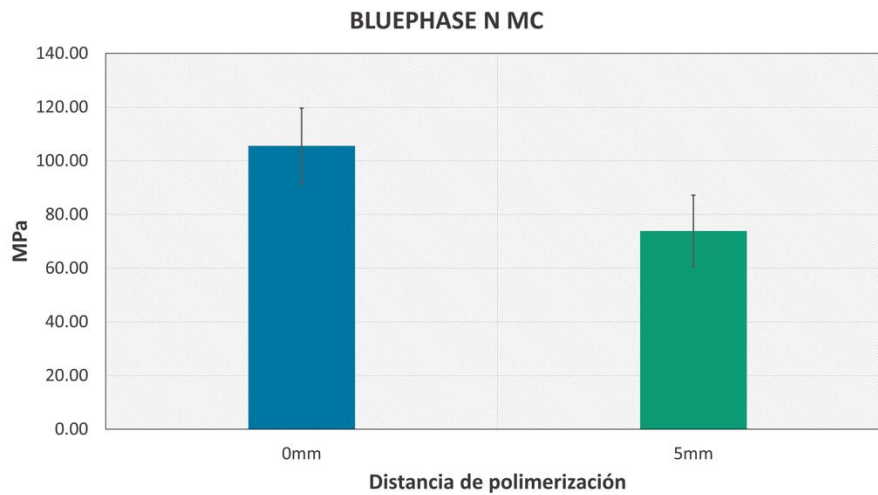
En la Gráfica 5, se observan las diferencias obtenidas en la profundidad de curado de las tres lámparas, a 5 mm de distancia de polimerización donde se observa una disminución en la profundidad de curado, cabe destacar que en el caso de la lámpara Bluephase N® MC, la diferencia en la profundidad de curado fue mínima. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas.



Gráfica 5. Profundidad de curado de las tres lámparas estudiadas a 5 mm de distancia. (Anova $p < 0.05$, post hoc Tukey $p < 0.05$ entre todos los grupos)

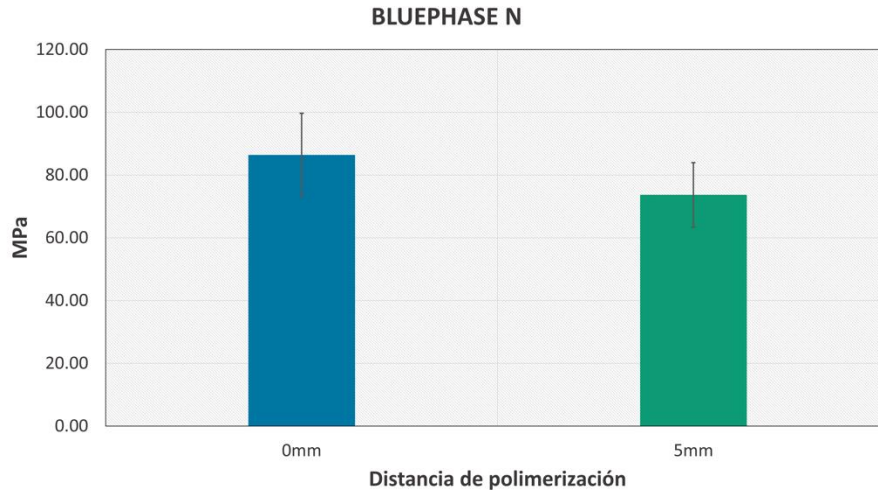
Resistencia a la flexión.

En la Gráfica 6, se observa la resistencia flexural de las muestras polimerizadas con la lámpara Bluephase N® MC a las dos distancias de polimerización estudiadas, nos muestra que existe una mayor resistencia a la distancia de 0 mm cuyos valores se registraron en 105 MPa de resistencia, mientras que a una distancia de 5 mm estos valores disminuyeron a 73 MPa. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas.



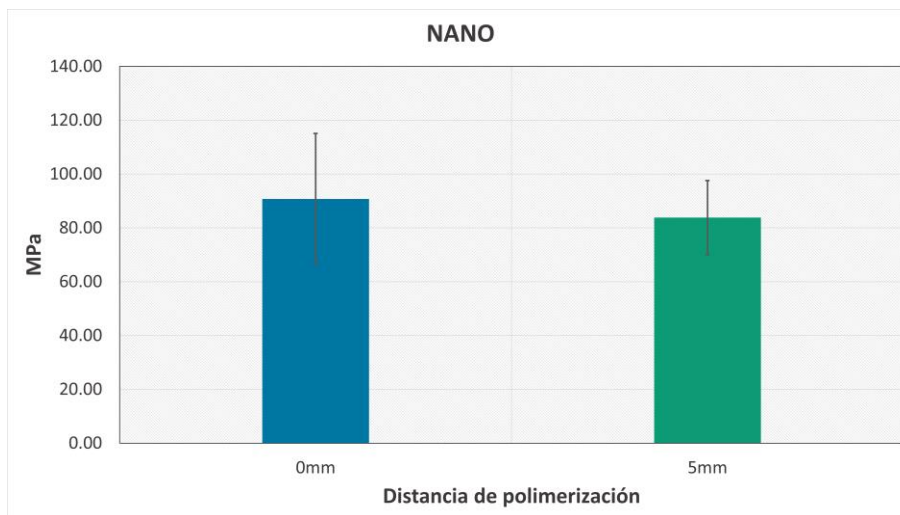
Gráfica 6. Resistencia a la flexión de la lámpara Bluephase N MC (T-Student $p < 0.05$)

La Gráfica 7, muestra la resistencia flexural de las muestras polimerizadas con la lámpara Bluephase N® a las dos distancias de polimerización estudiadas. Se observa que a la distancia de 0mm presenta mayor resistencia a la flexión registrando un valor de 86 MPa, y a 5 mm de distancia este valor disminuyó a 73 MPa. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas.



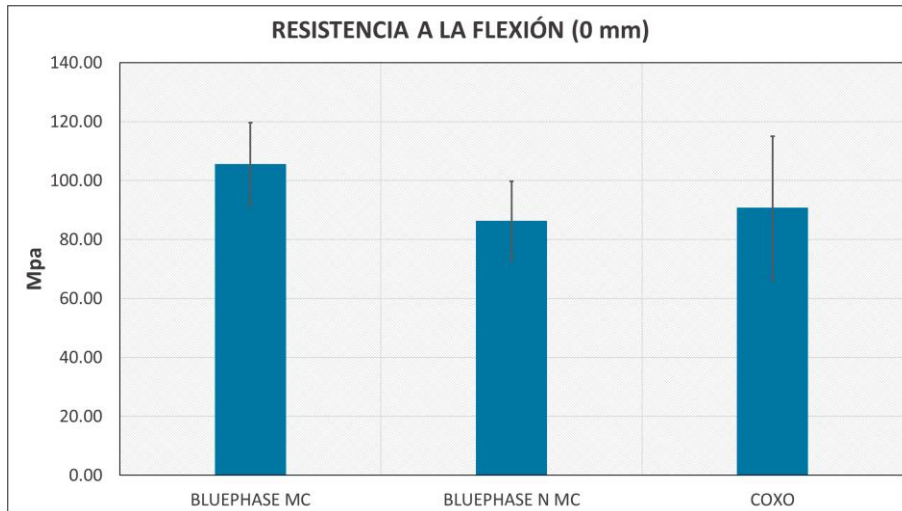
Gráfica 7. Resistencia a la flexión de la lampara Bluephase N® (T-Student $p < 0.05$)

La Gráfica 8, muestra la resistencia flexural de las muestras polimerizadas con la lámpara NANO, a las dos distancias de polimerización estudiadas. Se observa que a la distancia de 0mm presenta mayor resistencia a la flexión registrando un valor de 90 MPa, mientras que a 5 mm de distancia este valor disminuyó a 83 MPa. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas.



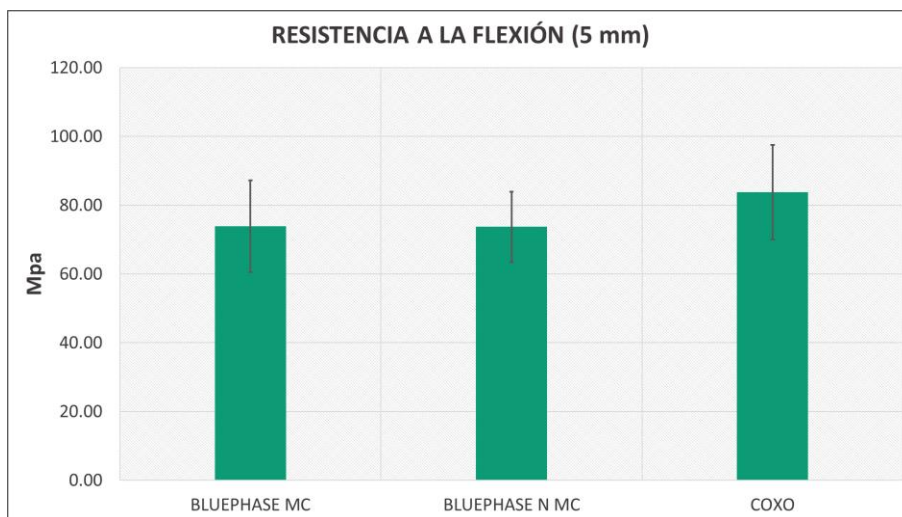
Gráfica 8. Resistencia a la flexión de la lampara NANO (T-Student $p > 0.050$)

En la Gráfica 9 se observan las diferencias obtenidas en la resistencia flexural de las tres lámparas, a 0 mm de distancia de polimerización, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.



Gráfica 9. Resistencia a la flexión de las lámparas estudiadas a 0 mm de distancia (Anova $p > 0.59$)

En la Gráfica 10 se observan las diferencias obtenidas en la resistencia flexural de las tres lámparas, a 5 mm de distancia de polimerización, se observa que la resistencia flexural también disminuyó a una mayor distancia de polimerización, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.



Gráfica 10. Resistencia a la flexión de las lámparas estudiadas. (Anova $p > 0.137$)

Irradiancia de las lámparas a las distintas profundidades

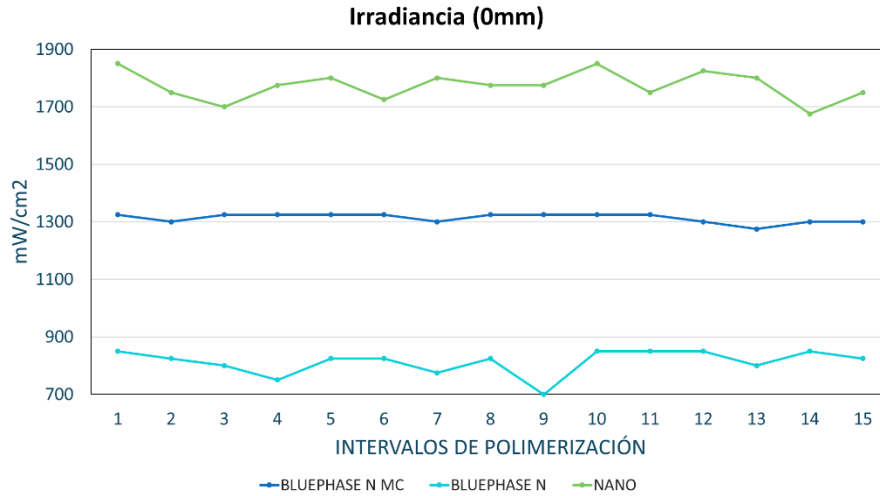
En la tabla VI se observan los valores de irradiancia reportados por el fabricante, así como los obtenidos en este estudio a las distancias de 0 mm y 5 mm, entre paréntesis se observan las desviaciones estándar de cada LCU. Se aplicó prueba T de una muestra para comparar cada distancia con el valor de irradiancia del fabricante. En todos los casos se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la irradiancia y el valor reportado por el fabricante, (prueba T de una muestra $p < 0.001$). Posteriormente se aplicó prueba de t pareada para comparar los cambios en la irradiancia de cada lámpara con la distancia de 0 y 5mm, se observaron diferencias estadísticamente significativas en cada lámpara, (prueba de t para muestras pareadas, $p < 0.001$).

Tabla VI. Valores de irradiancia dados por el fabricante, y los obtenidos a dos distancias de polimerización.

	BLUEPHASE N® MC	BLUEPHASE N®	NANO
Irradiancia reportada por el fabricante en mW/mm^2	800 +	650 +	>1500 +
0mm en mW/mm^2	1313.3 (16) ^{a,+}	813.3 (43.2) ^{b,+}	1773.3 (50) ^{c,+}
5mm en mW/mm^2	906.7 (27.5) ^{a,+}	605.0 (28.7) ^{b,+}	995.0 (92.7) ^{c,+}
Disminución de irradiancia entre 0 vs 5mm	31 %	26%	44%
Diferencia entre la irradiancia reportada y la observada a 0 mm	>64%	>25%	>18%
Diferencia entre la irradiancia reportada y la observada a 5 mm	>13%	<7%	<34%

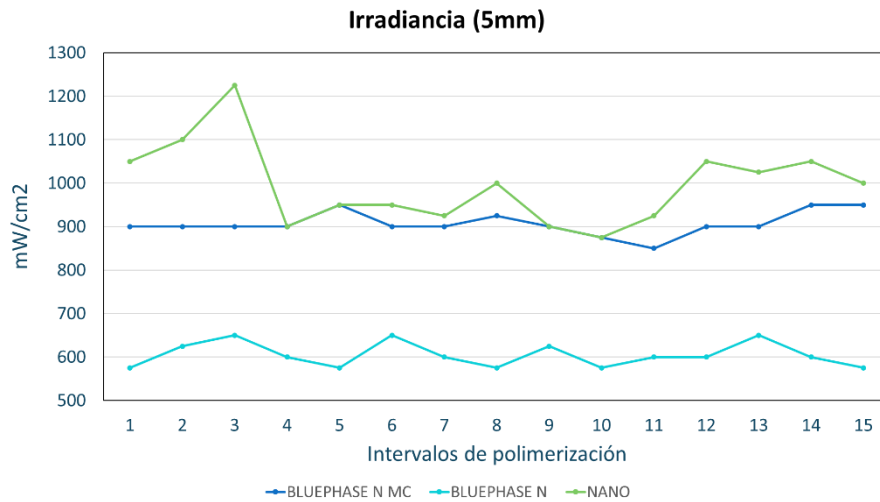
Las letras minúsculas en superíndice indican diferencias estadísticamente significativas de cada lámpara entre la distancia de 0 y 5mm (Prueba de t para muestras pareadas, $p < 0.001$). El símbolo + indica las diferencias estadísticamente significativas de cada lámpara por distancia vs el valor reportado por el fabricante, (Prueba t de una muestra $p < 0.001$).

La Gráfica 11 muestra el comportamiento de las LCU a lo largo de cada medición de irradiancia a 0 mm de distancia, se observa que la lámpara Bluephase N® MC presenta mayor homogeneidad a través de las mediciones, mientras que, tanto la lámpara Bluephase N® como NANO, muestran más variaciones a lo largo de las mediciones.



Gráfica 11. Irradiancia de las lámparas durante 15 intervalos de polimerización durante 15 segundos a 0 mm de distancia.

La Gráfica 12 muestra el comportamiento de las LCU a lo largo de cada medición de irradiancia a 5 mm de distancia, se observa que al igual que en las mediciones a 0 mm de distancia la lámpara Bluephase N® MC presenta mayor homogeneidad, sin embargo, es más notoria la variación de la lampara NANO, en comparación con la Bluephase N®.



Gráfica 12. Irradiancia de las lámparas durante 15 intervalos de polimerización de 20 segundo a 5 mm de distancia.

10. DISCUSIÓN

En este estudio se analizó la profundidad de curado, así como la resistencia a la flexión de una resina compuesta utilizando 3 unidades de polimerización, de las cuales 2 son alámbricas y una inalámbrica, además se analizó la influencia de la irradiancia en la disminución de dichos valores, debido a que son características que ayudan a comprender el comportamiento de la polimerización.

Existen diversos protocolos para evaluar la profundidad de curado como la descrita por Rojas⁽³⁰⁾ *et al.*, 2015, quienes analizaron si la relación entre la distancia de la fuente de luz y el material restaurador afectaba la profundidad de curado, utilizando el método establecido por la norma 27 de la ADA, quienes concluyeron que el grupo de estudio polimerizado a una distancia mayor fue el que presentó menor profundidad de curado, estos resultados guardan relación con lo descrito en el presente estudio donde se comprobó que la profundidad de curado disminuye significativamente al alejar la unidad de polimerización de la resina.

De igual manera Aravamudhan⁽²⁹⁾ *et al.*, en 2006, analizaron si existe relación entre la intensidad de las LCU y la distancia de polimerización en la disminución de la profundidad de curado de un composite, para lo cual analizaron 4 LCU LED, concluyendo que la profundidad de curado puede verse afectada por las características particulares de cada unidad de polimerización, sin embargo, en este estudio se encontró que la profundidad de curado disminuye al aumentar la distancia de polimerización sin importar la unidad de polimerización utilizada.

En este estudio se analizó la resistencia a la flexión de la resina compuesta al ser polimerizada a dos distancias, se encontró que al ser polimerizada a mayor distancia la resistencia a la flexión disminuyó, debido a que la cantidad de irradiancia disminuyó significativamente al aumentar la distancia entre la unidad de polimerización y la resina, esto coincide con lo reportado por Brandt⁽³⁴⁾ *et al.*, en el 2008, que analizaron la influencia de la cantidad de irradiancia al polimerizar diversas resinas compuestas, quienes concluyeron que los valores de resistencia a la flexión dependerán directamente de la irradiancia recibida por el material.

En cuanto a la irradiancia, existen estudios como los reportados por Soto⁽³⁵⁾ *et al.*, en el 2011, analizaron la irradiancia en lámparas de polimerización de una clínica dental,

encontraron que solo el 40% de las lámparas de polimerización que estudiaron cumplían con una irradiancia adecuada, así mismo, en esta investigación se encontró que la irradiancia reportada por el fabricante no corresponde con la obtenida en este estudio, además que la irradiancia disminuyó significativamente al polimerizar el material de restauración a mayor distancia, este factor influye en la correcta polimerización y en las propiedades químico-mecánicas del material restaurador.

Lo anteriormente reportado guarda concordancia con lo descrito por Wang⁽³²⁾ *et al.*, en el 2021, quienes describieron que, el aumento de la intensidad de la LCU aumenta la temperatura durante la polimerización y esto afecta a las propiedades químico-mecánicas de la resina, y que el aumento de temperatura es proporcional al aumento de la intensidad de la LCU, por lo cual es necesario analizar la irradiancia para verificar si el proceso de fotopolimerización se está generando de una manera adecuada.

Uno de los hallazgos más interesantes fue que al medir la irradiancia las LCU que mantenían valores más constantes sin importar la distancia fueron las alámbricas, sin embargo, hasta el momento no existen estudios para comparar estos datos.

11. CONCLUSIONES

1. La profundidad de curado disminuye significativamente al alejar la unidad de polimerización de la resina.
2. Todas las unidades de polimerización disminuyeron significativamente su irradiancia al aumentar la distancia entre la unidad de polimerización y la resina.
3. La distancia de polimerización afecta la profundidad de curado y la resistencia a la flexión de la resina.
4. La irradiancia fue más uniforme en las LCU alámbricas en comparación con la inalámbrica.
5. Los odontólogos deberían tomar en cuenta el efecto de la distancia de la punta óptica activa a la resina.

12. ALCANCES DEL ESTUDIO

- Tomar en cuenta la distancia entre la punta óptica activa a la resina, y de ser necesario modificar el tiempo de foto activación para asegurar un grado de polimerización adecuado.
- Analizar los componentes de la resina a utilizar y evaluar si la LCU proporcionada es capaz de activar a los fotoiniciadores presentes en el material.

13. BIBLIOGRAFÍA

1. Moradas Estrada M, Álvarez López D. Dinámica de polimerización enfocada a reducir o prevenir el estrés de contracción de las resinas compuestas actuales. Revisión bibliográfica. *Av Odontoestomatol*. 2017;33(6):261–72.
2. Salgado VE, Albuquerque PPAC, Cavalcante LM, Pfeifer CS, Moraes RR, Schneider LFJ. Influence of photoinitiator system and nanofiller size on the optical properties and cure efficiency of model composites. *Dental Materials*. 2014;30(10):264–71.
3. Jandt KD, Mills RW. A brief history of LED photopolymerization. *Dental Materials*. 2013;29(6):605–17.
4. Medina M, Carvajal S. Estudio comparativo in vitro de la profundidad de curado de 2 resinas bulkfill a distintas distancias de fotoactivación según la Norma ISO 4049. Universidad Andrés Bello; 2016.
5. Gutierrez-Leiva A, Pomacóndor-Hernández C. Comparación de la profundidad de polimerización de resinas compuestas bulk fill obtenida con dos unidades de fotoactivación LED: polywave versus monowave. *Odontol Sanmarquina*. 2020;23(2):131–8.
6. Asociación Española de Normalización. UNE-EN ISO 4049. Materiales de restauración a base de polímeros. (ISO 4049:2019). Madrid: Asociación Española de Normalización 2020.
7. Fontal B, Suárez T, Reyes M, Bellandi F, Contreras R, Romero I. *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones*. 1st ed. Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química, editor. Mérida; 2005. 1–151 p.
8. Herrera M, Porras L, Carlos E. Propuesta de declaración del espectro electromagnético para Ecuador. *Revista Geoespacial*. 2018;15(1):15–32.
9. Fishman GJ. Astronomía de alta energía y estallidos cósmicos de rayos-gamma. *Bol Acad Malag*. 2020 Dec;VII(22):9–14.
10. Barba Ramírez L, Ruiz García De Chacón V, Rivas AH. El uso de rayos X en odontología y la importancia de la justificación de exámenes radiográficos. *Av Odontoestomatol* . 2020;36(3):131–42.
11. Serrato D, Nieto-Aguilar R, Aguilera-Mendez A. Efectos negativos de la radiación ionizante empleada en diagnóstico odontológico. *Investig Cienc*. 2018;26(74):81–7.
12. Tippens PE. *Física, conceptos y aplicaciones*. 7th ed. México: McGraw-Hill; 2008. 1–782 p.
13. Abbasi M, Moradi Z, Mirzaei M, Kharazifard MJ, Rezaei S, Rezaei S. Polymerization Shrinkage of Five Bulk-Fill Composite Resins in Comparison with a Conventional Composite Resin. *J Dent*. 2018;15(6):355–64.

14. Carrillo Sánchez C, Monroy Pedraza AM. Materiales de resinas compuestas y su polimerización. Parte 1. Revista ADM. 2009;65(4):10–7.
15. Saleh A. Influencia de la fuente de fotoactivación, y del espesor sobre la variación del color y la translucidez de nuevos composites. [Granada]: Universidad de granada; 2006.
16. Cadenaro M, Maravic T, Comba A, Mazzoni A, Fanfoni L, Hilton T, et al. The role of polymerization in adhesive dentistry. Dental Materials. 2019;35(1):1–22.
17. Sánchez Soler LA, Espías Gómez AF. La fotopolimerización en 2002. Av Odontoestomatol. 2004;20(6):289–95.
18. Watts DC, Kaiser C, O'Neill C, Price RB. Reporting of light irradiation conditions in 300 laboratory studies of resin-composites. Dental Materials. 2019;35(3):414–21.
19. Yu P, Yap AUJ, Wang XY. Degree of conversion and polymerization shrinkage of bulk-fill resin-based composites. Oper Dent. 2017;42(1):82–9.
20. Tsuzuki FM, Castro-Hoshino LV de, Lopes LCP, Sato F, Baesso ML, Terada RSS. Evaluation of the influence of light-curing units on the degree of conversion in depth of a bulk-fill resin. J Clin Exp Dent. 2020;12(12):1117–23.
21. Chaple Gil AM, Montenegro Ojeda Y, Álvarez Rodríguez J. Evolución histórica de las lámparas de fotopolimerización. Revista Habanera de Ciencias Médicas. 2016;15(1):8–16.
22. Eliades G, Watts DC, Eliades T. Dental Hard Tissues and Bonding: Interfacial phenomena and related properties. 1st ed. Heidelberg: Springer Berlin, Heidelberg; 2005. XII–198.
23. Carrillo Sánchez C, Monroy Pedraza AM. Métodos de activación de la fotopolimerización. Parte 2. Revista ADM. 2009;65(5):18–28.
24. Rueggeberg FA, Giannini M, Galvão Arrais CA, Price RBT. Light curing in dentistry and clinical implications: A literature review. Braz Oral Res. 2017;31(supp1):64–91.
25. Rueggeberg FA. State-of-the-art: Dental photocuring - A review. Dental Materials. 2011;27(1):39–52.
26. Sierra Vaca KG. Efectividad de las lámparas de fotocurado usadas por los estudiantes de odontología, de acuerdo a la irradiancia obtenida y a la integridad de la fibra óptica. [Quito]; 2019.
27. Soares CJ, de Bragança GF, Pereira RA da S, Rodrigues M de P, Braga SSL, Oliveira LRS, et al. Irradiance and radiant exposures delivered by LED light-curing units used by a left and right-handed operator. Braz Dent J. 2018;29(3):282–9.
28. Michaud PL, Price RBT, Labrie D, Rueggeberg FA, Sullivan B. Localised irradiance distribution found in dental light curing units. J Dent. 2014;42(2):129–39.

29. Aravamudhan K, Rakowski D, Fan PL. Variation of depth of cure and intensity with distance using LED curing lights. *Dental Materials*. 2006;22(11):988–94.
30. Rojas AV, Ibarra JG, Nagano AY, Santana FHB. Profundidad de curado de selladores de fosetas y fisuras utilizando luz emitida por diodos (LED) a diferentes distancias. *Rev Odont Mex*. 2015;19(2):76–80.
31. Price R, Ferracane JL, Hickel R, Sullivan B. The light-curing unit: An essential piece of dental equipment. *Int Dent J*. 2020;70(6):407–17.
32. Wang WJ, Grymak A, Waddell JN, Choi JJEC. The effect of light curing intensity on bulk-fill composite resins: heat generation and chemomechanical properties. *Biomater Investig Dent*. 2021;8(1):137–51.
33. Nahedh H, Nooh AN, Alrefeai M, Alkhudhairy F. The effect of irradiance on the degree of conversion and volumetric polymerization shrinkage of different bulk-fill resin-based composites: An in vitro study. *Eur J Dent*. 2021;15(2):312–9.
34. Brandt W, Cardoso L, Moraes R, Sinhoreti MA, Sobrinho L. Influence of light-curing units on the flexural strength and flexural modulus of different resin composites. *Braz J Oral Sci*. 2008;7(25):1555–8.
35. Soto OP, Acebedo JE, Joya LD, López AM. Evaluación de la intensidad de salida de la luz de las lámparas de fotocurado de una clínica dental. *Rev Colomb Investig En Odontol*. 2011;2(4):24–32.

14. ANEXOS

14. 1 Hoja de especificaciones de lámpara Bluephase N® MC

8. Especificaciones del producto

Fuente de luz	LED
Rango de longitud de onda	430 – 490 nm
Intensidad de luz	800 mW/cm ² ± 10 %
Funcionamiento	Funcionamiento continuo
Conducto de luz	Ø 10 mm, negro, desinfectable y esterilizable en autoclave
Conos antideslumbrantes	esterilizables en autoclave
Transmisor de señal	señal sonora luego de 10 segundos y cada vez que se presiona el botón de inicio / botón de selección de tiempo
Dimensiones de la pieza de mano (sin conducto de luz)	L = 260 mm, A = 42 mm, H = 120 mm
Peso de la pieza de mano (transformador y cable de alimentación incluidos)	420 g
Voltaje para el funcionamiento de la pieza de mano	5 VDC con el transformador
Transformador	Entrada : 100–240 VAC; 50-60 Hz; 0.28 – 0.14A Salida: 5 VDC / 2 A Fabricante: Friwo Tipo: FW7401M/05
Condiciones de funcionamiento	Temperatura +10 °C a +35 °C (+50 °F a +95 °F) Humedad relativa 35 % a 75 % Presión ambiental 700 hPa a 1060 hPa
Dimensiones de la base de carga	D = 205 mm, A = 150 mm, H = 85 mm
Peso del soporte de la pieza de mano	220 g
Condiciones de transporte y almacenamiento	– Temperatura –20 °C a +60 °C (-4 °F a +140 °F) – Humedad relativa 10 % a 75 % – Presión ambiental 500 hPa a 1060 hPa – La lámpara de curado debe conservarse en un ambiente cerrado y cubierto. Proteja el dispositivo de golpes fuertes.
Forma de entrega	1 Soporte de la pieza de mano 1 Pieza de mano 1 Transformador con cable de alimentación 1 Conducto de luz de 10 mm, negro 3 Conos antideslumbrantes 1 Instrucciones de uso

14. 2 Hoja de especificaciones de lámpara Bluephase N®

Especificaciones del producto

Forma de suministro

1 Base de carga, 1 Cable eléctrico, 1 Unidad de alimentación, 1 Pieza de mano, 1 Batería (Li-Po), 1 Conducto de luz de 10 mm, 3 conos antideslumbrantes, 1 juego de instrucciones de uso

Accesorios

Se dispone de los siguientes accesorios para Bluephase N

REF	Descripción
656196	Conducto de luz 10 mm, negro (N)
608538	Conducto de luz Pin Point 6>2 mm, negro
551756	Conos antideslumbrantes
592496	Pantalla antideslumbrante
659956	Bluephase N batería
659681	Bluephase N pieza de mano
607922	Bluephase Meter
608554	Bluephase fundas

Datos técnicos

Voltaje de funcionamiento base de carga	5 VDC
Voltaje de funcionamiento pieza de mano	3.7 VDC con batería 5 VDC con unidad alimentadora
Unidad alimentadora	100-240 VAC / 50-60 Hz / máx. 0.4 A Fabricante Friwo
Salida	5 VDC
TIPO 15.2630	

Condiciones de funcionamiento

Temperatura	+ 10° C a 35° C (+50 a + 95° F)
Humedad relativa	30% a 75%
Presión ambiente	700 hPa a 1060 hPa
Dimensiones de la base de carga	Longitud = 205 x Ancho = 150 x Altura = 85 (mm)
Peso de la base de carga	250 g
Tiempo de carga	aprox. 2 horas (con la batería vacía)
Suministro eléctrico de la pieza de mano batería Li-Po	
Máximo tiempo de batería	aprox. 60 min. (con una batería ueva completamente cargada).
Fuente de luz	Polywave® LED
Franja de longitud de onda	385–515 nm
Intensidad lumínica	máx. 1.200 mW/cm ² ± 10%
Funcionamiento	5 min. en funcionamiento / 6 minutos desconectado (intermitentemente)
Dimensiones de la pieza de mano	Longitud = 260 x Ancho = 42 x Alto = 120 (mm)
Peso de la pieza de mano	(batería incl.) 225 g

14.3 Hoja de especificaciones de lámpara NANO

7. TECHNICAL DATA, WARRANTY TERMS

Technical Specifications

AC supply	AC100-240V / 50-60Hz
Charging Base Power input	5V, 1.5A
Operation Ambient temperature	5 °C - 40 °C
Operation Humidity	20% - 80%
Transport and Storage temperature	-10 °C - 55 °C
Transport and Storage Humidity	≤93% (non-condensing)
Battery performance	<ul style="list-style-type: none">• Recharge time: Approximately 2 hours.• 3.7V, 300 mAh
Curing light intensity	More than 1500 mW/cm ²
Output peak wavelength range	380 nm - 520 nm
Handpiece dimensions (with battery & tip)	Length 19.7cm; Width 1.35cm
Weight Handpiece with battery pack	75.5 grams

Classifications

Type of protection against electric shock Class II

Degree of protection against electric shock Type B Applied Part

According to medical device directive: I (Rule 12) (IEC 60601)

Disposal of Unit

For environmental reasons, dispose of device and battery according to local environmental guidelines or regulations.

Warranty terms

- Manufacturer grants a 2-year warranty on all components of the unit except the battery. The battery is covered by a 1-year warranty. The warranty commences on the date of purchase. Within the warranty period, Manufacturer will eliminate free of charge any defects in the appliance resulting from faults in material or workmanship either by repairing or exchanging parts or exchanging the whole device at Manufacturer's discretion.
- Not covered by this warranty: Damage arising from improper use (operation with incorrect

14.4 Hoja para la recolección de datos.

Fecha:		
Prueba:	Profundidad de Curado ()	Resistencia a la Flexión ()
Lampara:		
	Distancia de polimerización	
Muestra	0mm	5mm
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

14.5 Hoja para la recolección de datos de irradiancia.

Fecha:		
Lampara:		
	Distancia de polimerización	
Intervalos de polimerización	0mm	5mm
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		